



# Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)



## Impressum

Auftraggeber	Bundesamt für Umwelt BAFU Abteilung Boden und Biotechnologie CH-3003 Bern
Datum	28. 2. 2017
Version	Schlussfassung Version.def-B
Datei	Bericht_Bedürfnisabklärungen_Bodeninformationen_def-B
Autoren	Marianne Knecht, Ambio GmbH, 8008 Zürich Claude Lüscher, arcoplan, 5408 Ennetbaden Franz Borer, Borer Bodenexpertisen, 4552 Derendingen
Begleitung BAFU	Fabio Wegmann, Ruedi Stähli
Hinweis	Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	1
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	3
1 Zusammenfassung.....	5
2 Auftrag BAFU.....	7
2.1 Postulat Walter .....	7
2.2 Hauptziel des vorliegenden Auftrages .....	7
2.3 Ausgangslage und Rückblende .....	8
2.4 Umfeld und Einbettung in KOBİ .....	8
2.5 Relevante parallele Aktivitäten / Studien und Projekte .....	9
2.6 Arbeitsmethodik und Arbeitsschritte.....	10
2.7 Personelle Konstellation der „Arbeitsgemeinschaft AAB“ .....	10
3 Methoden zur Beschaffung von Bodendaten.....	12
3.1 Grundsätzliches zur Erhebung von Bodeninformationen .....	12
3.2 FAL-Kartiermethode+ .....	12
3.2.1 Standard-Datenset der FAL-Kartiermethode+ .....	13
3.2.2 Praktische Beispiele zur Nutzung von Bodeninformationen.....	14
3.3 Modellierung von Bodendaten .....	18
3.3.1 Kausaler Modellansatz.....	18
3.3.2 Statistischer Modellansatz des DSM (Digital Soil Mapping) in NFP 68.....	19
3.3.3 Erfahrungen mit modellierten Bodendaten in der Schweiz .....	21
3.3.4 Eine Anmerkung zur Modellierung von Bodendaten.....	21
4 Interviews – Vorgehen, Auswahl und Spektrum .....	23
4.1 Methodik der Interviews.....	23
4.2 Anzahl und Auswahl der Gesprächspartner.....	23
4.3 „Gruppenbild“ der befragten Nutzerkreise resp. –gruppen .....	24
4.4 Kommentar zur Auswahl der interviewten Personen.....	24
4.5 Information der Gesprächspartner und Gesprächsform .....	24
4.6 Protokolle .....	25
4.7 Systemgrenzen .....	25
4.8 Berggebiet als wichtiger Spezialfall .....	25
4.9 Nicht berücksichtigte Bereiche.....	26
5 Resultate - Kurzfassung der Interviews .....	27
6 Ergebnis-Matrix .....	37
6.1 Wieso eine Matrix? .....	37
6.2 Aufbau der Matrix .....	37
6.3 Ausfüllen der Matrix.....	39
6.4 Beispiele aus der Auswertungsmatrix .....	41
6.5 Ergebnisse der Auswertungsmatrix .....	43
6.6 Einige nachgefragte, noch nicht nutzbar gemachte Bodeninformationen.....	43
7 Wichtigste generelle Aussagen zur Bedürfnisabklärung .....	45
8 Ökonomische Überlegungen und Aspekte .....	50
8.1 Kosten und Nutzen von Bodeninformationen.....	50
8.2 Mit Bodendaten Böden erhalten und Kosten senken .....	50

8.2.1	Landwirtschaft.....	51
8.2.2	Forstwirtschaft.....	52
8.2.3	Kommentar .....	52
8.3	Bodendaten: Nachfrage und Angebot? - Ergebnisse aus den Interviews.....	53
8.4	Aufwand vs. Ertrag .....	53
8.4.1	Aufwand und Ertrag bei Bodenkartierung „state of the art“ .....	53
8.4.2	Aufwand vs. Ertrag für Bodenmodellierungen .....	54
8.5	Zur Wahrnehmung des Bodens durch den Menschen .....	54
8.6	Willingness to pay (WTP) .....	55
8.7	Finanzierungsmöglichkeiten .....	56
8.7.1	Finanzielle und personelle Aspekte der Beschaffung von Bodendaten .....	56
8.7.2	Vorinvestitionen .....	56
8.7.3	Finanzierung und Möglichkeiten der Zusammenarbeit .....	57
9	Konkretisierung der Beschaffung von Bodeninformationen .....	63
9.1	Gesamt-Flächenübersicht Kantone, Kartierungsstand und FFF.....	63
9.2	Basiswerte.....	65
9.3	Differenzierungen zur Aufwandschätzung .....	66
9.4	Mögliche (etappenweise) Realisierungsvarianten.....	68
10	Ausblick .....	69
10.1	Grundsatz.....	69
10.2	Zusammenfassende Beurteilung nach Anwendungsbereichen.....	69
10.2.1	Landwirtschaft.....	69
10.2.2	Fruchtfolgeflächen FFF / Raumplanung .....	70
10.2.3	Forstwirtschaft.....	70
10.2.4	Hydrologische Fragestellungen.....	72
10.2.5	Andere Anwendungen.....	73
10.3	Methoden .....	73
10.3.1	FAL-Bodenkartierung+ .....	73
10.3.2	Modellierte Bodendaten .....	73
10.4	Oekonomische Aspekte.....	74
10.5	Die Umsetzung der Bodeninformationsbeschaffung als Langzeitprojekt.....	74
11	Dank .....	74
12	Anhänge .....	75
12.1	Orientierungsschreiben an die Interviewten .....	75
12.2	Interview-Raster .....	77
12.3	Auswertungs-Matrix.....	79
13	Begriffe .....	91
14	Literaturverzeichnis .....	95

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Wasserhaushaltsgruppen und pflanzennutzbare Gründigkeit [aue LU] .....	14
Abb. 2: Pflanzennutzbare Gründigkeit; Basis für die Ausscheidung von FFF [Abt. LW GL] ....	15
Abb. 3: Anwenderkarte 'Säuregrad des Bodens und Kalkbedarf' [AUE Kt. SG] .....	16
Abb. 4: Nutzbare Feldkapazität nFKWe, klassiert in 50mm-Klassen [AfU Kt. SO] .....	17
Abb. 5: Verdichtungsempfindlichkeitskarte für Waldböden [AfU Kt. SO].....	17
Abb. 6: Regelwerk zur Herleitung von Abflussprozessen [Schmocker-Fackel et al., 2007].....	18
Abb. 7: Typische Wurzelarchitektur von Waldbäumen .....	71
Abb. 8: Math. Funktion der pF-Kurve für die Bodenart IrS (lehmreicher Sand) .....	72
Abb. 9: Unterschied zwischen Punkt- und Flächendaten.....	92

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vorgehen bei der FAL-Kartiermethode+ .....	12
Tab. 2: Attributtabelle der FAL-Kartiermethode+ .....	13
Tab. 3: Ergebnisse der Interviews („Rohdaten“) .....	27
Tab. 4: Nutzungs- und Anwendungsklassen der Auswertungsmatrix .....	37
Tab. 5: Spaltendaten der Matrix .....	39
Tab. 6: Beurteilungsparameter und Codierung .....	39
Tab. 7: Wichtigste generelle Aussagen zur Bedürfnisabklärung .....	45
Tab. 8: Ökonomische Auswirkungen einer bodendaten-gestützten Landwirtschaft .....	51
Tab. 9: Ökonomische Auswirkungen einer bodendaten-gestützten Forstwirtschaft .....	52
Tab. 10: Zahlungsbereitschaft (WTP) für drei unterschiedliche Kartentypen .....	55
Tab. 11: Mögliche Zusammenarbeit der Nutzerkreise sowie Finanzierung auf Bundesebene (eigene Zusammenstellung) .....	59
Tab. 12: Vorinvestitionen und Vergleich von Produkten in Bezug auf Kosten, Adressaten, Priorisierungen, Nutzen und Methoden (eigene Zusammenstellung) .....	61
Tab. 13: Flächenübersicht, Kartierungsstand und FFF (eigene Berechnungen) .....	63
Tab. 14: Berechnung der Basiswerte für die FAL-Kartierung+ (eigene Berechnungen) .....	65
Tab. 15: Umsetzung der Datenerhebung, aufgeteilt auf Flächenzonierung und Deckungsgrad (eigene Berechnungen) .....	67
Tab. 16: Mögliche (etappenweise) Realisierungsvarianten (eigene Berechnungen).....	68
Tab. 17: Parameterliste zum Ausfüllen der Auswertungs-Matrix (eigene Klassifikation) .....	79
Tab. 18: Auswertungs-Matrix: Bedarf an Attribut-(AD) und davon abgeleiteten kombinierten Nutzerdaten (ND) (eigene Klassifikation) .....	80



## 1 Zusammenfassung

Aufgrund seiner natürlichen Eigenschaften als Filter, Puffer, Speicher, Regenerator und Regulator, sowie als Lebensraum und Pflanzenstandort nimmt der natürliche Boden eine zentrale Stellung im Ökosystem ein. Das Bedürfnis nach Bodeninformationen ist entsprechend gross und grundsätzlich unbestritten. Eine Konkretisierung der Bedürfnisse und der Grad der Nachfrage bei bereits aktiven oder potentiellen Bodendatennutzern soll diese Lücke schliessen.

Hauptziel dieses BAFU-Auftrages war deshalb, den Bedarf an Bodendaten, die Dringlichkeit bei deren Beschaffung und inhaltliche und räumliche Prioritäten auf der Basis von Studien und durch persönliche Interviews zu erheben und zu dokumentieren. Die Erkenntnisse sollen kurzfristig in die Arbeiten in Erfüllung des Bundesratsauftrages zum Postulat Walter, mittel- bis langfristig auch in die Etablierung eines Konzeptes Bodeninformation Schweiz einfließen.

Das Ergebnis nach Sichtung der neueren Literatur und vor allem die Bewertung der Inhalte der 17 durchgeführten Gespräche ist eindeutig: In der Schweiz besteht ein grosser und vielfältiger Bedarf an Bodendaten in fast allen durch die Interviews abgedeckten Bereichen, Anwendungsgebieten und mit dem Boden verbundenen Fachdisziplinen.

Wie erwartet, haben Vertreter aus der Landwirtschaft den dringlichsten Bedarf angemeldet, sowohl in inhaltlicher und räumlicher Art, als auch die zeitliche Priorität betreffend. Dieser Bedarf ist zunehmend eng verknüpft mit hydrologischen Fragestellungen, dies vor dem Hintergrund des Klimawandels. Es werden detaillierte Bodendaten als Flächenaussagen mit einem breiten Spektrum an Informationen in der dritten Dimension, zunehmend auch in der 4. Dimension (Zeitabhängigkeit) gefordert. Weit voran steht auch der Bedarf an Informationen zum landwirtschaftlichen Ertragspotenzial oder zur Eignung der Böden als Fruchtfolgeflächen.

Die Forstwirtschaft vertraut im Gebirgswaldbau weiterhin schwergewichtig den Aussagen, die auf Vegetationsinformationen basieren. In den produktiven Mittellandwäldern setzt sich aber zunehmend die Erkenntnis durch, dass angesichts der Herausforderungen des Klimawandels und zur Absicherung der sehr langfristig ausgelegten waldbaulichen Entscheidungen detaillierte Bodeninformationen flächendeckend notwendig sind.

Auch in anderen Bereichen sind in erster Linie detaillierte, flächendeckende Informationen zum Boden als ‚Naturobjekt‘ gefragt. Das bedeutet, dass vor allem naturräumliche Eigenschaften des Bodens interessieren und - zunächst jedenfalls - weniger die anthropogenen Einflüsse, wie z.B. die Schadstoffbelastung, die durch Monitoring-Programme erhoben werden.

Ein grosses Thema ist über viele Anwendungsbereiche hinweg der Wasserhaushalt und die Wasserverfügbarkeit. Hier herrscht oft noch ein statisches Denken vor, was sich oft in Form von eher starren Bilanzierungen äussert, dies unter Nicht-Berücksichtigung der grossen Dynamik, die diesen Prozessen innewohnt.

Die Ergebnisse der Interviews wurden protokolliert und zusammen mit den Erkenntnissen aus dem intensiven Literaturstudium in einer umfangreichen Ergebnis-Matrix festgehalten, die den Datenbedarf für viele Nutzungs- und Anwendungsbereiche detailliert auflistet.

Die Empfehlungen der Autorenschaft sind eindeutig und einfach: Für ausgewählte Gebiete der Schweiz sind detaillierte Bodendaten mit flächenhaft erhobenen Aussagen unabdingbar. Punktdaten allein genügen den Ansprüchen der meisten Nutzergruppen nicht. Modellierte Bodendaten befriedigen, gemäss den bis heute vorliegenden Resultaten, die durch die Nutzer geäusserten Ansprüche nicht.

Am häufigsten erwähnt wurden Attributdaten wie die Wasserhaushaltsgruppe, die Körnung und damit die Bodenart, der Skelettgehalt, die pflanzennutzbare Gründigkeit, zusammen mit dem

Boden(-unter)typ. Meist genannte Pedotransferfunktionen waren die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum, gefolgt von der effektiven Lagerungsdichte, den Eckwerten der pF-Kurven sowie der Verdichtungsempfindlichkeit und der Sorptionsfähigkeit für Schadstoffe.

Es wurden auch einige bis heute nicht erhobene Bodeninformationen nachgefragt, so zum Beispiel die Mächtigkeit des Bodens, dies im Zusammenhang mit Abflussprozessen. Dann die Makroporosität als Summenparameter der weiten Grobporen der Matrix und der Makroporen des sekundären Porensystems, welche durch die schnelle Entwässerung u.a die Filterwirkung des Bodens massiv herabsetzen. Ein weiteres Thema war die Versauerungsgefährdung und die Beeinträchtigung der Pufferkapazitäten des Bodens. Eine solche funktionale Bodenkarte dürfte vor allem für ausgewählte Waldböden sinnvoll sein.

Nicht alle Naturräume der Schweiz sind gleich zu behandeln. So sind das Berggebiet und weite Teile der Voralpen, der Alpen, teilweise auch des Karst-Juras, gesondert zu betrachten. Die konkreten Fragestellungen zeigen, dass flächendeckende Daten zum einen aus topographischen und lokalen Gründen dort kaum erfassbar wären, zum andern nicht notwendig und letztlich auch nicht gefragt sind. In den tieferen Lagen (Mittelland, Hügelland) hingegen sind flächendeckend erhobene Bodendaten für viele Nutzungsbereiche sehr wichtig, nicht zuletzt im Hinblick auf den Klimawandel und die damit zusammenhängenden Veränderungen des Wasserhaushalts.

Die flächendeckende Datenbeschaffung ist arbeitsintensiv und benötigt gut ausgebildete und erfahrene Bodenfachleute. Diesem offensichtlichen Bedarf an fachkundigen Bodenkundlern steht in jüngerer Zeit eine Entwicklung gegenüber, die zu strukturellen und personellen Lücken führt oder schon geführt hat. Es bedarf grosser Anstrengungen, um diesem drohenden Wissensverlust mittels vermehrter Investitionen in die Aus- und Weiterbildung entgegen wirken zu können.

Die zu erwartenden Kosten der Bodeninformationsbeschaffung gemäss heutigem Stand der Technik sind eindrücklich, als Investition in die Zukunft und in Relation zum Nutzen jedoch sehr gut vertretbar. Prioritär sind jene Gebiete zu erfassen, deren Böden akut bedroht sind. Dazu zählen z.B. Fruchtfolgeflächen und Ackerböden in Siedlungsnähe, erosionsgefährdete Lagen, zudem auch die produktiven Waldböden des Mittellandes.

## 2 Auftrag BAFU<sup>1</sup>

### 2.1 Postulat Walter

Mit einem Postulat verlangte Nationalrat Hansjörg Walter im Jahre 2010 einen Bericht zu einer "nachhaltigen Wasserstrategie aus Sicht der verschiedenen Nutzergruppen"<sup>2</sup>. Der Bundesrat hat im Oktober 2012 einen Bericht dazu verabschiedet, in dem er vorab festhielt, dass die Schweiz heute über genügend Wasser verfüge – und dies voraussichtlich auch so bleiben werde. Allerdings sei in Zukunft vermehrt damit zu rechnen, dass langandauernde sommerliche Trockenperioden aufträten, während denen es zeitlich beschränkt, lokal oder regional zu Knappheitsproblemen kommen könne.<sup>3</sup>

Der Bericht stellt allerdings auch fest, dass die Schweiz über keine flächendeckenden Bodeninformationen verfüge. Diese seien nicht nur für hydrologische und hydrogeologische Fragestellungen sondern insbesondere für Fragen einer dem Standort angepassten Landwirtschaft und für Bewässerungsfragen zentral. Bodeninformationen seien in weiteren Fachbereichen/-politiken nützlich, so zeige beispielsweise der Teilbericht 3 des BGS-Projektes Bodeninformation Schweiz BI-CH „Bodendaten – Ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden“ zwanzig verschiedene Nachfrageprofile für Bodendaten auf.

Das Brainstorming „Zukunft Bodeninformation Schweiz“ hatte ebenfalls festgehalten, dass Bodeninformationen längst nicht nur für bodenkundliche Fragestellungen benötigt würden, auch raumplanerische Prozesse hätten Bodenbezug, ebenso die Prävention gegen Naturgefahren.<sup>4</sup> Die Strategien zur Anpassung an den Klimawandel sind auf möglichst gute Bodendaten angewiesen, sollen die Kenntnisse über die Speicherung und Freisetzung von Klimagasen verbessert werden. Der Boden erfüllt somit eine Vielzahl von Bodenfunktionen, deren Bewertung nur auf der Basis von möglichst guten Informationen über die Bodeneigenschaften erfolgen kann.

Das Bedürfnis nach Bodeninformationen ist weitherum anerkannt und unbestritten. Eine Konkretisierung dieser Nachfrage bei bereits aktiven oder potentiellen Bodendatennutzern auf der Basis von Interviews ist aber, soweit bekannt, noch nicht erfolgt. Die Daten-Harmonisierung ist bezüglich der Punktdaten bereits erfolgt, für die Flächendaten steht eine solche noch aus.

### 2.2 Hauptziel des vorliegenden Auftrages<sup>5</sup>

Die Bedürfnisse und der davon abzuleitende Bedarf an Bodendaten sind auf der Basis bereits existierender Studien und persönlicher Interviews mit Fachleuten zu erheben und zu dokumentieren. Diese Erkenntnisse sollen kurzfristig in die Arbeiten zur Erfüllung des Bundesratsauftrages zum Postulat Walter und mittel- bis langfristig auch in die Etablierung eines Konzeptes Bodeninformation Schweiz einfließen.

---

<sup>1</sup> BAFU: Auszüge aus dem Pflichtenheft Bedürfnisabklärungen Bodeninformation vom 19.8.2015

<sup>2</sup> Postulat 10.353 „Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen“ von Nationalrat Hansjörg Walter vom 17. Juni 2010

<sup>3</sup> UVEK, Bundesamt für Umwelt BAFU, Umgang mit lokaler Wasserknappheit in der Schweiz, Bericht des Bundesrates zum Postulat „Wasser und Landwirtschaft. Zukünftige Herausforderungen“ Bern, 17. Oktober 2012

<sup>4</sup> Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bodenkundliche Ges. der Schweiz, S. Tobias: Brainstorming Zukunft Bodeninformation Schweiz, Projektabschlussbericht, Birmensdorf ZH, 2012.

<sup>5</sup> Siehe Fussnote 1

### 2.3 Ausgangslage und Rückblende

2004 veröffentlichte die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz BGS im Rahmen des Projektes Bodeninformation Schweiz BI-CH einen Leitfaden Bodenkartierung mit dem Titel: Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden.<sup>6</sup>

Ein Auszug aus der Zusammenfassung des Berichtes zeigt, was die Untersuchung damals ergab:

*„Für die Erstellung dieses Leitfadens wurden mit Hilfe eines Rasters 20 Nachfrager-/Akteurgruppen ausfindig gemacht, die einen aktuellen und/oder potentiellen Bedarf an Bodendaten haben. Die Auswahl der Personen war subjektiv; auch haben die Personen nicht stellvertretend oder gar offiziell für ‚ihre‘ Disziplin geantwortet.*

*Alle angefragten Personen haben Stellung genommen. Die Zusammenstellung zeigt, dass in den meistens Fällen ein Bedarf nach Daten besteht oder zumindest postuliert werden kann: Nicht nur die Bodenkunde und ihr nahe verwandte Gebiete benötigen Bodendaten, auch andere, zum Teil weiter entfernte Disziplinen sind daran interessiert; manche können ihrerseits sogar Bodendaten liefern!*

*Weniger klar ist, wie dieser Bedarf in eine Nachfrage umgewandelt werden kann, wissen doch die wenigsten Vertreter nicht-bodenkundlicher Disziplinen, über welche Daten die Bodenkunde verfügt. Es fehlt eine Vermarktungsstrategie für Bodendaten. Ein koordiniertes Vorgehen zur Sammlung und Bündelung bis zur adressatengerechten Aufbereitung (Interpretation) solcher Daten ist nötig.*

*Die Zusammenstellung zeigt weiter, dass, wenn schon, in der Regel vorwiegend Bodendaten erwünscht sind, die zumindest auf Parzellenebene Auskunft geben können. Grossmassstäbliche Karten wären somit eher gefragt.*

*Im weitem müssen Bodendaten interpretiert werden können. Pedologische Daten sind für die allermeisten Nutzer kryptisch und werden kaum verstanden. Sie müssen sprachlich auf die Akteur-/Nutzergruppen angepasst, resp. übersetzt werden. Dies könnte mit ein wesentlicher Grund sein, weshalb bisher nur in sehr beschränktem Rahmen Bodendaten ausserhalb der eigentlichen Bodenkunde verwendet wurden. ...*

*Ein eigentliches Marketing für Bodendaten wäre dringend nötig. Nur wenn die ausgemachten Nachfrager/Akteure den bereits bestehenden Umfang und die Bedeutung von Bodendaten für ihre eigene Disziplin erkennen können, werden sie vermehrt danach verlangen. So käme wahrscheinlich auch eine bessere finanzielle Basis zustande, um weiterhin grossflächige und detailierte Bodendatenerhebungen (sprich Kartierungen) durchzuführen. ...“*

In der Zwischenzeit wurden bereits viele praxisorientierte Anwendungen auf der Basis von Bodenkartierungen gemäss Stand der Technik erarbeitet und stehen potentiellen Anwendern zur Verfügung. (s. Kap. 3.2.2).

### 2.4 Umfeld und Einbettung in KOBİ

Das BAFU initiierte in der Folge ein Projekt Konzept Bodeninformationssystem (KOBİ). Dieses hat vorwiegend die Regulierungsfunktion des Bodens bezüglich Wasserhaushalts zum Ziel. Es soll aber auch aufzeigen, welche Möglichkeiten bestehen, dieses System zu einem umfassenden

---

<sup>6</sup> Lüscher C. (2004): Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden: Leitfaden Bodenkartierung. Im Auftrag des BUWAL, Projekt Bodeninformation Schweiz BI-CH/Teilprojekt 3. Arcoplan, Ennetbaden.

den und flächendeckenden Informationssystem auszubauen, das auch die nicht bewirtschaftete Böden und Waldböden umfasst. Das vorliegende Projekt Bodeninformation steuert Beiträge zum Projekt KOBİ bei, insofern, als damit ersichtlich werden soll, wer in der Schweiz über welche Bodendaten/-information bereits verfügt oder gerne verfügen möchte und welcher Art diese Informationen sein sollen.

Es ist schwierig, einen Überblick über alle Aktivitäten/Arbeiten zu gewinnen, die zurzeit zum Thema Boden im Umfeld des BAFU geleistet werden.

In einer Start- und Koordinationssitzung mit Vertretern des BAFU und der Projektleitung von KOBİ konnte etwas Klarheit gewonnen werden. Leider gibt es kein Organisationsschema, welches die Zusammenhänge darstellen könnte. Auch variiert die Begrifflichkeit erheblich.

Immerhin kann aus diversen Protokollen folgendes herausgeschält werden: KOBİ ist der Oberbegriff für Konzept Bodeninformation. Laut BAFU ist das Hauptziel dieses Projekts, die Aufträge des Bundesrates gemäss Postulat Walter zu erfüllen. Das Postulat fokussiert hauptsächlich auf das Thema Wasser.

Das Projekt KOBİ wird von einem Kernteam und einer Begleitgruppe von Fachleuten aus der Verwaltung von Bund und Kantonen erarbeitet:

- Ein Auftrag an das Büro ‚BHP‘ Zürich beinhaltet die Erstellung eines Konzeptes Bodeninformationssystem.
- Durch die Meteotest AG erfolgt eine Evaluation der laufenden Bodenfeuchtemessnetze und die Erstellung eines Konzeptes für eine Erweiterung des Monitorings und der Messnetze<sup>7</sup>.
- In diesem hier bearbeiteten Projekt ‚Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen‘ werden zusätzlich auch alle andern Bedarfsgruppen erfasst, die mit Boden und/oder Bodendaten zu tun haben.

Diese Projekte laufen mehr oder weniger parallel. Die Ergebnisse fliessen letztlich in den Bericht des BAFU an den Bundesrat ein.

## 2.5 Relevante parallele Aktivitäten / Studien und Projekte

Agroscope, das Kompetenzzentrum des Bundes für landwirtschaftliche Forschung, ist mit dem Projekt der Nationalen Bodenbeobachtung Schweiz NABO, sowie mit der Projektbearbeitung von Forschungsaufträgen im Rahmen des NFP 68 Boden, die sich mit dem Umgang mit Bodendaten, resp. mit den Möglichkeiten der Modellierung beschäftigen, indirekt involviert.

Die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz BGS führt ihrerseits eine Arbeitsgruppe Bodenkartierung, welche sich seit Jahren mit dem Thema der Beschaffung von Bodendaten und der Bodenkartierung beschäftigt (Stichwort BI-CH).

Kürzlich veröffentlichte die Bodenkundliche Gesellschaft einen Bericht zum Stand der Bodenkartierung in der Schweiz, die wohl umfassendste Zusammenstellung aller Aktivitäten in der Schweiz, die Bodendaten im weitesten Sinn zum Thema hatten.<sup>8</sup>

Die Revision der Klassifikation der Böden wird in einer speziellen Arbeitsgruppe KLABS bearbeitet.<sup>9</sup>

---

<sup>7</sup> Stehrenberger E., Huguenin-Landi, B. (2016): Evaluation Bodenfeuchtemessnetze. Meteotest, 3012 Bern. Im Auftrag Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Boden und Biotechnologie.

<sup>8</sup> BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Arbeitsgruppe Bodenkartierung (2014): Bodenkartierung Schweiz. Entwicklung und Ausblick. Autoren: Borer F. und Knecht M., Dokument BGS. 92 S.

<sup>9</sup> Siehe unter: <http://www.soil.ch/cms/index.php?id=bodenkartierung>, abgerufen am 21.4.16

Die Kartierungsanleitungen der damaligen FAL für Landwirtschaftsböden und des BUWAL für den Wald werden derzeit ebenfalls überarbeitet und – u.a. basierend auf den langjährigen Erfahrungen mit der Gewinnung von Bodendaten im Rahmen der Bodenkartierung Kanton Solothurn – ergänzt und überarbeitet.<sup>10</sup>

In den letzten rund 10 Jahren wurden auch verschiedene Projekte im Bereich von modellierten Bodendaten initiiert, beim bis anhin jüngsten Projekt handelt es sich um die im Rahmen des NFP 68 „Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden“ laufenden Arbeiten unter dem Titel „PMSoil: Predictive mapping of soil properties for the evaluation of soil functions at regional scale“.<sup>11</sup> (Details dazu s. Kap. 3.3.2).

## 2.6 Arbeitsmethodik und Arbeitsschritte

Die Erfüllung des Auftrags „Bedürfnisabklärungen Bodeninformation“ war bezüglich der Arbeitsmethodik stark am „Kundenkontakt“ ausgerichtet. Der weitaus grösste Teil der zur Verfügung stehenden Ressourcen wurde dazu verwendet, die Bedürfnisse der Bodendatennutzer möglichst detailliert zu erkunden, um davon in einem folgenden Schritt den konkreten Datenbedarf ableiten zu können.

Das schrittweise Vorgehen gestaltete sich folgendermassen:

- Schritt 1: Auftragsklärung und Koordination mit parallel verlaufenden Projekten und Untersuchungen des BAFU
- Schritt 2: Konsultation Literatur, Studien, Projekte
- Schritt 3: Identifikation der Bedarfs- und Nachfragegruppen für Interviews
- Schritt 4: Raster für Interviews und Testinterview, Anpassungen
- Schritt 5: Parallel: Erarbeiten einer Matrix mit Bodendaten resp. -informationen
- Schritt 6: Durchführen der Interviews
- Schritt 7: Auswertung Interviews, Matrix ausfüllen
- Schritt 8: Schlussfolgerungen und Empfehlung

## 2.7 Personelle Konstellation der „Arbeitsgemeinschaft AAB“

Das Dreierteam als Autoren des vorliegenden Berichtes besteht aus:

- Marianne Knecht, Teilhaberin bei **Ambio** Zürich, formelle Auftragnehmerin des BAFU Biologin mit u.a. langjähriger Erfahrung mit Bodenkartierungen im Wald. Projektleiterin der Projektes BI-CH der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz.
- Claude Lüscher, **Arcoplan** Ennetbaden.  
Ingenieur Agronom, Mitinhaber des Büros Arcoplan. Hat sich sehr intensiv mit dem Sachplan Fruchtfolgeflächen auseinandergesetzt und war langjähriger Projektmanager der Bodenkartierung Kanton Solothurn.

---

<sup>10</sup> Revision KLABS und Kartieranleitung: RevKLABSKA

<sup>11</sup> Internet-Abfrage vom 30082016: <http://p3.snf.ch/project-143096>: Schweizerischer Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (SNF), Bern: Projekt PMSoil: Predictive mapping of soil properties for the evaluation of soil functions at regional scale: „Lay summary“

- Franz Borer, **Borer Bodenexpertisen**, Derendingen  
Forstingenieur, langjähriger Leiter der Bodenschutzfachstelle des Kantons Solothurn und u.a. auch für den Aufbau der Bodenkartierung im Kanton Solothurn verantwortlich.

### 3 Methoden zur Beschaffung von Bodendaten

#### 3.1 Grundsätzliches zur Erhebung von Bodeninformationen

Aufgrund seiner natürlichen Eigenschaften als Filter, Puffer, Speicher, Regenerator, Lebensraum und Pflanzenstandort nimmt der Boden im Naturraum eine zentrale Stellung ein. Dementsprechend wird auch das Interesse an Bodeninformationen noch zunehmen.

Eine qualitativ sichere Bodenansprache auf der Basis umfassender pedologischer Kenntnisse und Erfahrungen ist die Basis verlässlicher Bodeninformationen und darauf basierender, ausreichend genauer praxisbezogener Bodenkarten.

Auch bei der Modellierung von Bodenkarten sind qualitativ gute Bodenbasisdaten (u.a. Kovariablen-Datensätze) gefragt, um eine ausreichende Genauigkeit des Produktes, der Bodenkarte, zu erreichen.

#### 3.2 FAL-Kartiermethode+

Die Bodenkartierungs-Methode hat in der Schweiz eine mehr als 60-jährige Geschichte mit einer fortwährenden Entwicklung, die immer noch anhält und neue Hilfsmittel und Techniken zur Erhebung der Bodendaten, deren Verwaltung und Darstellung dauernd integriert.

Stand der Technik bei der weiterentwickelten feldgestützten FAL-Kartiermethode+ ist eine Kombination von digitalen Grundlagendaten mit den Daten der Boden-Ansprache durch fachkundige Bodenkartierfachleute im Feld. Damit wird der kausale Bezug der Bodeninformation sichergestellt. Das Ergebnis dieses Vorgehens sind vektorisierte Flächengrenzen (Polygone) und digitale Attribut-Datenbanken. Sie bilden die Basis, um nach Bedarf Anwendungskarten (funktionale Bodenkarten) mit den entsprechenden Dateninhalten generieren zu können. In den aktuell laufenden kantonalen Bodenkartierprojekten wird das ganze Verfahren, auch ausserhalb der eigentlichen Kartiertätigkeit, von Anfang bis zum Ende durch definierte Abläufe festgelegt und mittels obligatorischer Qualitätssicherungs-Punkte überwacht.

Das heute zur Anwendung kommende Vorgehen ist (schematisch und vereinfacht) aus der folgenden Darstellung ersichtlich:

Tab. 1: Vorgehen bei der FAL-Kartiermethode+

<b>Thema</b>	<b>Methodisches</b>	<b>Stärke / Anwendung</b>
<b>Einheitliche Kartiermethode</b>	Wald- und Landwirtschaftsböden werden grundsätzlich mit gleicher Methode kartiert	Integrale Auswertungen für verschiedene Nutzungsarten sind möglich (z.B. für Hochwasserschutz)
<b>Reliefgliederung</b>	Erfassung einfacher und komplexer Geländeformen	Enger Zusammenhang von Relief und Bodenbildung
<b>Bodendaten für Punkt und Fläche</b>	Bodenbasisdaten sind unklassierte Schätzungen	Keine Klassenbildung; daher differenziertere Auswertungen möglich
	Bodenbasisdaten als Einzelattribute in DB abgelegt	Attributweiser (Karten-)Ausdruck: Visualisiert Homogenität in der Fläche Einzelattribute: je nach Anwendung (auch kombiniert) auswertbar (z.B. mit Pedotransferfunktio-

<b>Thema</b>	<b>Methodisches</b>	<b>Stärke / Anwendung</b>
		nen)
	Ein Datensatz pro Polygon	Polygonscharfe Bodeninformation; keine (aggregierten) Legenden mehr
<b>Oberboden OB und Unterboden UB</b>	Bodenbasisdaten werden im OB und UB erhoben	Die Zusatzinformation aus UB ist für zahlreiche Auswertungen erforderlich (z.B. Verdichtungsempfindlichkeit)
<b>Pflanzennutzbare Gründigkeit pnG</b>	Mächtigkeit des durchwurzelten Bodens abzüglich Skelettanteil (u.a.)	pnG: direkter Bezug zu FFF (Raumplanung) pnG: wichtige Grösse zur Festlegung des Speichervolumens; wichtig für viele Anwendungen

### 3.2.1 Standard-Datensatz der FAL-Kartiermethode+

Mit der Einführung der attributbasierten Datenerhebung bei der flächenhaften Bodenkartierung vor rund 20 Jahren ist die Basis für alle Auswertungen ein Standard-Datensatz, der die wichtigsten Bodeninformationen für jedes Polygon in einem numerischen Datenformat beinhaltet<sup>12</sup>:

Tab. 2: Attributtabelle der FAL-Kartiermethode+

<b>Attribut</b>	<b>Format</b>
BFS-Gemeindenummer	numerisch, 4-stellig
Polygonnummer	numerisch
Wasserhaushaltsgruppe	Text
Geologie	Text
Bodentyp	Text
Untertyp 1	Text
Untertyp 2	Text
Untertyp 3	Text
Geländeform	Text
Skelettgehaltsklasse OB	numerisch
Skelettgehaltsklasse UB	numerisch
Körnungsklasse OB	numerisch
Körnungsklasse UB	numerisch
Tongehalt % OB	numerisch
Tongehalt % UB	numerisch
Schluffgehalt % OB	numerisch
Schluffgehalt % UB	numerisch
Karbonatgrenze [cm]	alpha-numerisch
Karbonatgehaltsklasse OB	numerisch
Karbonatgehaltsklasse UB	numerisch
pH Hellige OB	numerisch
pH Hellige UB	numerisch
Mächtigkeit Ah-Horizont [cm]	numerisch
Humusgehalt % Ah-Horizont	numerisch
Humusform Wald	Text
Mächtigkeit Ahh-Horizont [cm]	numerisch
Gefügeform OB	Text
Gefüegerösse OB	Text
Gefügeform UB	Text
Gefüegerösse UB	Text

<sup>12</sup> Projekthandbuch zur Bodenkartierung des Kantons Solothurn, AfU Kt. SO

Pflanzennutzbare Gründigkeit	numerisch
Bodenpunktezah, Profilwert	numerisch
Bemerkungen	Text

[OB: Oberboden; UB: Unterboden]

Ein solches Datenset kann selbstverständlich erweitert werden, dies unter Berücksichtigung der Struktur des Daten-Modells.

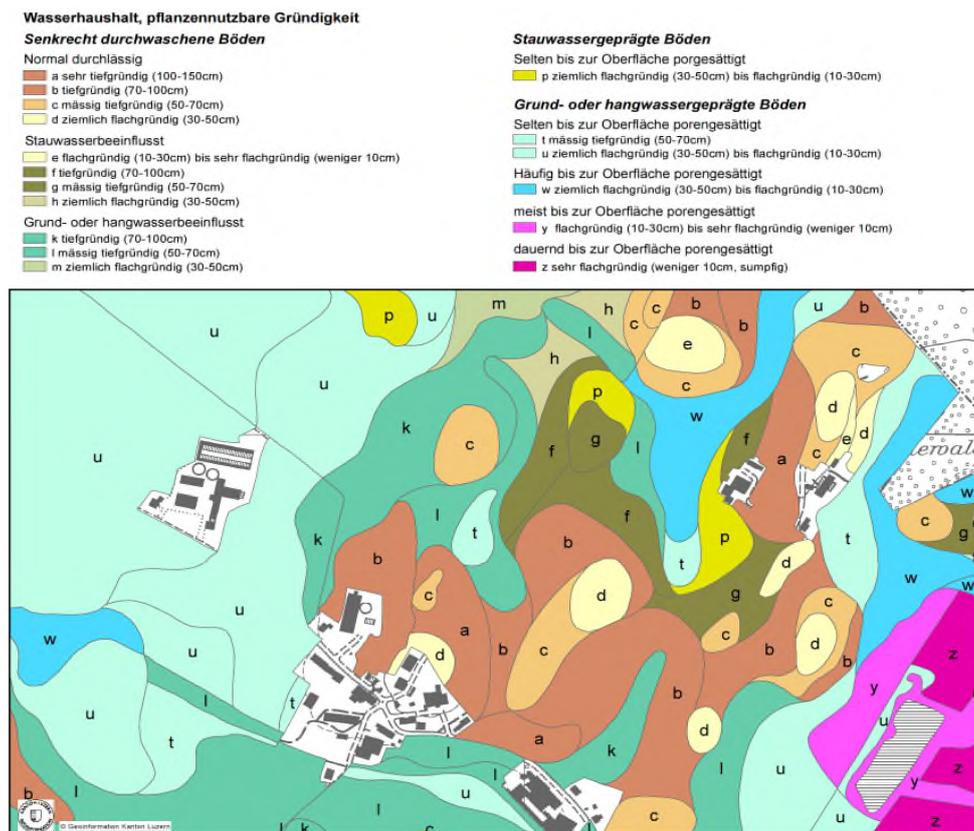
Die FAL-Kartiermethode+ ist stark nutzungsorientiert und für viele neue Fragestellungen der Bodennutzung und im Umweltschutzbereich von grossem Wert.

### 3.2.2 Praktische Beispiele zur Nutzung von Bodeninformationen

#### 3.2.2.1 Attributkarten

Als Beispiel für eine direkt auswertbare Attributkarte auf der Basis der Attributtabelle aus der Bodendatenerhebung eine Darstellung der Wasserhaushaltsgruppen in Kombination mit dem Attribut „pflanzennutzbare Gründigkeit“ im Massstab 1:5'000:

Abb. 1: Wasserhaushaltsgruppen und pflanzennutzbare Gründigkeit [aue LU]

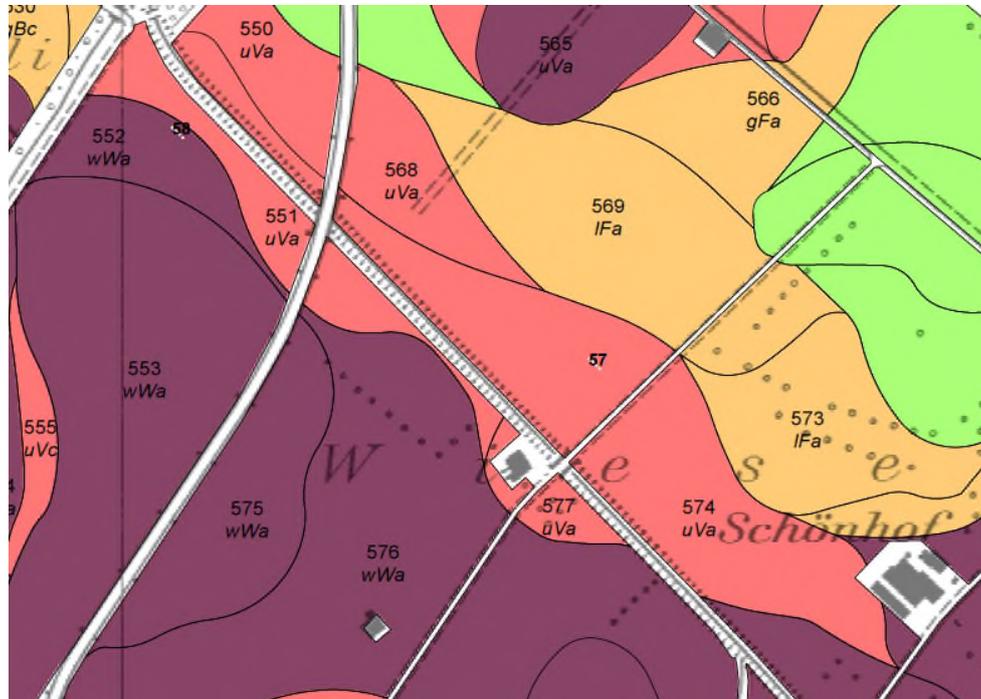


Die Wasserhaushaltsgruppen in Kombination mit der pflanzennutzbaren Gründigkeit sind zwei sehr wichtige Attribute für die Beurteilung des nachhaltig ausgerichteten Nutzungspotentials des Bodens, sowohl für Land- und Forstwirtschaft, aber auch für andere Fragestellungen im

Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt resp. der Trockenheitsgefährdung.

Oder als weitere Attributkarte eine direkt auf die Ausscheidung von Fruchtfolgeflächen FFF ausgerichtete Auswertung der pflanzennutzbaren Gründigkeit:

Abb. 2: Pflanzennutzbare Gründigkeit; Basis für die Ausscheidung von FFF [Abt. LW GL]



**Pflanzennutzbare Gründigkeit**

- unter 45 cm
- 45 cm bis unter 50 cm
- 50 cm bis unter 55 cm
- 55 cm und mehr

Leitprofil, mit Profil-Nummer

535 Polygonnummer  
10g

- Geländeform
- Bodentyp
- Wasserhaushaltsgruppe

### 3.2.2.2 Funktionale Bodenkarten

Funktionale<sup>13</sup> Karten (Anwenderkarten) oder in Englisch ‚functional soil maps‘ sind immer zweckorientiert und lassen sich bezüglich ihrer Herleitung in

- direkt ableitbare

<sup>13</sup> Synonyme zu **funktional**: zweckdienlich, funktionsgerecht, der Sache dienend, im Hinblick auf die Funktion

**Funktionale Bodenkarten**, die immer einem definierten Zweck dienen, sind zu unterscheiden von...

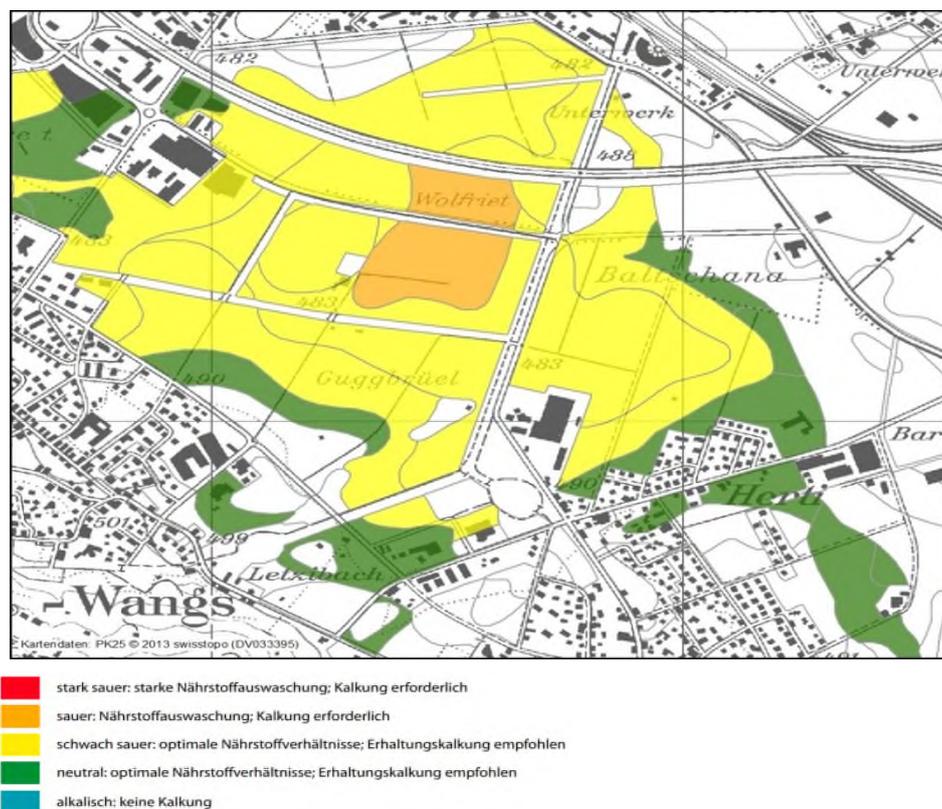
**Bodenfunktionskarten**. Diese beziehen sich auf Leistungen, welche der Boden aufgrund seiner Eigenschaften und als Teil des Gesamtökosystems für Mensch und Umwelt erbringt. Im klassischen Sinne erfolgt die Einteilung in Lebensraumfunktion, Nutzungsfunktion und Archivfunktion. Allenfalls auch mit einer feineren Unterteilung, wie z.B. die Einteilung des BAFU, 2011, mit 6 Bodenfunktionen: Produktionsfunktion, Regulierungsfunktion, Lebensraumfunktion, Trägerfunktion, Rohstofffunktion und Archivfunktion.

- mittels einfacher Algorithmen erstellte und
- mit umfangreichen Verknüpfungsregeln (Pedotransfer-Funktionen) errechnete Boden-Informationswerke („Karten“) einteilen.

Diese funktionalen (Anwender)Karten im engeren Sinne sind Karten im Massstab 1:5000 und stark (boden-)nutzungs-orientiert. Sie dienen primär dem Akteur, der direkt mit dem Boden arbeitet, als Planungs- und Arbeitsgrundlage, am unmittelbarsten dem Land- oder Forstwirt, darum zum Teil auch vereinfacht oder kombiniert.

Als Beispiel sei auf die nachfolgende Anwenderkarte verwiesen, die, basierend auf dem aktuellen Säuregrad des Bodens, den zur Stabilisierung einer optimalen Nährstoffversorgung notwendigen Kalkbedarf im Oberboden ausweist.

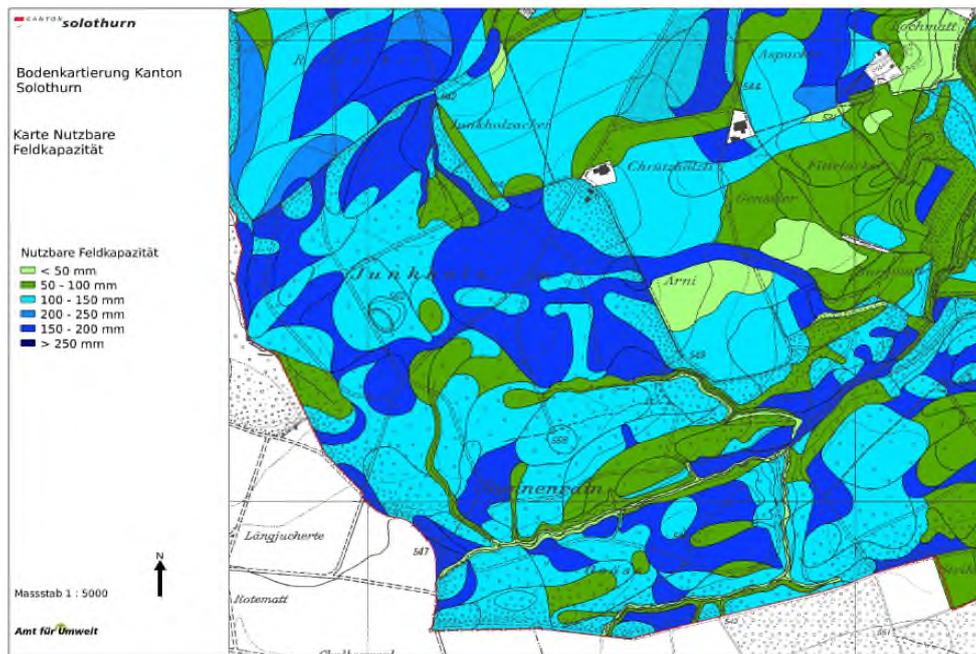
Abb. 3: Anwenderkarte 'Säuregrad des Bodens und Kalkbedarf' [AUE Kt. SG]



Mit der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum nFKWe [mm] steht eine sehr gut verständliche und praktikable Grösse zur Beschreibung des Wasserhaushalts und des Wasserspeicherpotentials im Boden zur Verfügung.

Solche Unterlagen werden vor dem Hintergrund der auch in mitteleuropäischen Verhältnissen zu erwartenden Klimaänderungen und den damit verbundenen Änderungen im Bodenwasserhaushalt an Wichtigkeit gewinnen, sei es in der Land- oder vor allem auch in der Forstwirtschaft.

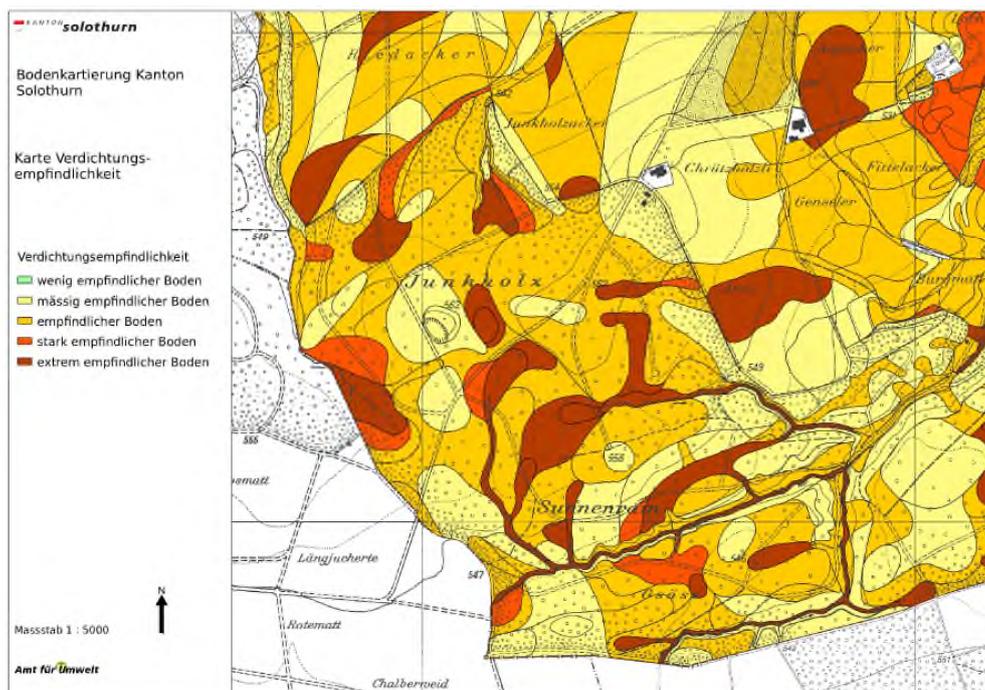
Abb. 4: Nutzbare Feldkapazität nFKWe, klassiert in 50mm-Klassen [AfU Kt. SO]



Gefahrenkarten (threat maps) sind funktionale Bodenkarten, die vor allem Themen mit Bedrohungs- resp. Schutzcharakter behandeln.

In der folgenden Abbildung eine Verdichtungsempfindlichkeitskarte für Waldböden: Vorsorglicher Schutz des Waldbodens gegen irreversible Verdichtung bei der Befahrung im Rahmen der Holzernte.

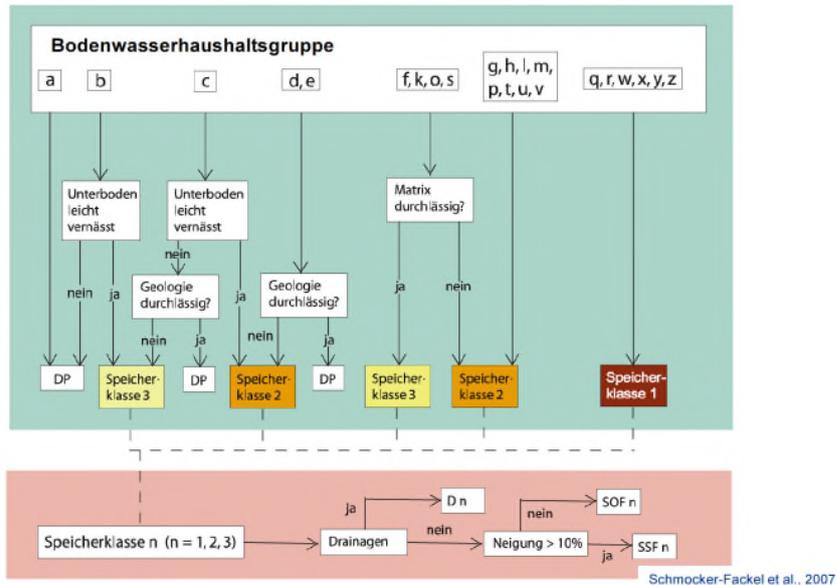
Abb. 5: Verdichtungsempfindlichkeitskarte für Waldböden [AfU Kt. SO]



Bodeninformationen sind auch wichtige Parameter für andere Anwendungen, wie z.B. bei der Erstellung von Abflussprozesskarten. Im entsprechenden Regelwerk geben die Bodenwasserhaushaltsgruppen (BWHG) ausgezeichnete Informationen über die zu erwartenden hydraulischen Verhältnisse (normal durchlässig, stauwasserbeeinflusst, grund- oder hangwasserbeeinflusst, stauwassergeprägt, grund- oder hangwassergeprägt) nebst der zu erwartenden Lage von allfällig stauenden Schichten in der Bodentiefe.<sup>14</sup>

Abb. 6: Regelwerk zur Herleitung von Abflussprozessen [Schmocker-Fackel et al., 2007]

### Regelwerk zur Herleitung von APK für Niederschläge tiefer bis mittlerer Intensität



## 3.3 Modellierung von Bodendaten

### 3.3.1 Kausaler Modellansatz<sup>15</sup>

Kausal abgestützte Modelle beschreiben die Prozesse des interessierenden Systems, dies im Gegensatz zu einem statistisch abgestützten Modell (s. nachfolgendes Kapitel).

Dazu muss zuerst geklärt werden, welche Prozesse für das System, das nachgebildet werden soll, relevant sind; diese müssen mathematisch beschrieben werden.

Damit kann das zur Diskussion stehende System im Computer erarbeitet werden, es wird ein Modell des Systems erstellt.

Die weiteren Abschnitte nach Erstellung des Modells sind die Validierung des im Modell nachgebildeten Systems durch Vergleich der durch das Modell erstellten Ausgabewerte mit Messwerten aus der Realität.

Bei anfänglicher Nicht-Übereinstimmung erfolgt eine Kalibrierung, unter Umständen mithilfe einer Sensitivitätsanalyse bezüglich der Einflüsse von Teilprozessen, Parametern und Eingabegrößen.

<sup>14</sup> Schmocker-Fackel, P., Naef, F., Scherrer, S. (2007): Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. Hydrology and Earth System Sciences. <http://hydrol-earth-syst-sci.net/11/891/2007/hess-11-891-2007.pdf>.

<sup>15</sup> Ausführungen auf der Basis: von Eckhardt, K. (2014): Hydrologische Modellierung – Ein Einstieg mithilfe von Excel. Springer Spektrum. Springer Verlag Berlin Heidelberg.

Ein Beispiel für dieses Vorgehen ist das Programm WaSiM-ETH, das u.a. unter Verwendung des Zusatzmoduls ‚Bewässerung‘ als Werkzeug für die Entwicklung und Bewertung von landwirtschaftlichen Bewässerungsmassnahmen genutzt werden kann.

Die grundsätzlich grosse Schwierigkeit, Boden zu modellieren, wird in einem Ausschnitt aus einem kürzlich publizierten Paper zur Tagung ‚Austin International Conference on Soil Modeling‘, März/April 2016 dargelegt<sup>16</sup>:

„...“

#### 2.1.1 Soil formation

*Soil formation refers to the combination of physical, chemical, biological and anthropogenic processes acting on a soil parent material over periods from years to millennia. Human activities, often related to agricultural practices, strongly contribute to short-term soil formation by causing aggregation, compaction, leaching, clay migration, salinization and changes in the carbon stock. Many specific modeling studies focus on leaching (Dann et al. 2006; Jabro et al. 2006), soil carbon change (Smith et al. 1997), soil acidification (Kros et al. 1999), compaction (Nawaz et al. 2013), or other processes. However, few models treat soil formation as a co-evolution of a large number of soil parameters (Finke and Hutson 2008) in an integrated approach, thus limiting pedogenetic modeling progress (Opolot and Finke 2014).*

...“

Darin wird also festgehalten, dass viele Modellierungsstudien lediglich auf einzelne Attribute fokussieren, wie z.B. Auswaschung, C-Änderungen, Versauerung etc. Nur wenige Modelle behandeln hingegen die Bodenbildung in einem umfassenderen Ansatz, d.h. als Resultat von interagierenden bodenbildenden Parametern; deshalb der nur kleine Fortschritt in der Modellierung der Bodenbildung.

### 3.3.2 Statistischer Modellansatz des DSM (Digital Soil Mapping) in NFP 68

Das Nationale Forschungsprogramm „Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden“ (NFP 68) mit dem Projekt „PMSoil: Predictive mapping of soil properties for the evaluation of soil functions at regional scale“ steht vor dem Abschluss. Im Rahmen dieses Projektes wird untersucht, nach welcher Methodik und mit welcher Genauigkeit räumliche Vorhersagen von Bodeneigenschaften und von Bodenfunktionspotentialen mittels statistischer Modelle aus Bodendaten berechnet werden können.

#### Vorgehen<sup>17</sup>:

Die Review-Artikel von McBratney et al. (2003) und Scull et al. (2003) geben einen guten Überblick, was unter dem Begriff *digital soil mapping* (DSM, von Scull et al. als *predictive soil mapping* bezeichnet) gemeint wird. Hier eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Bestandteile eines DSM-Projekts:

1. Definition der zu kartierenden Bodeneigenschaften (inkl. Einheiten eines pedologischen Klassifikationssystems), im Folgenden als Zielgrössen bezeichnet.
2. Zusammenstellung aller räumlich flächendeckend verfügbaren Informationen über die Bodenbildungsfaktoren im zu kartierenden Gebiet, im Folgenden als Kovariablen bezeichnet.

---

<sup>16</sup> Vereecken H., Schnepf A., Hopmans J.W., Javaux M., Or D., Roose T., Vanderborght J., Young M. et al.(2016): Modeling Soil Processes: Review, Key challenges and New Perspectives. Vadose Zone J. Accepted Paper, posted 04/13/2016. doi:10.2136/vzj2015.09.0131.

<sup>17</sup> gekürzter Zusammenzug des Beitrags von A. Papritz in: BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Arbeitsgruppe Bodenkartierung (2014): Bodenkartierung Schweiz. Entwicklung und Ausblick. Autoren: Borer F. und Knecht M., Dokument BGS. 92 S.

Kovariablen können einerseits kontinuierlich variierende (z.B.  $\tan$  (Hangneigungswinkel)) oder kategoriale Variablen sein (z.B. Kartierungseinheiten einer geologischen Karte). Solche Interaktionen erlauben nichtlineare und räumlich nichtstationäre Abhängigkeiten zwischen Zielvariablen und Kovariablen zu modellieren. Neben den klassischen Bodenbildungsfaktoren schlagen McBratney et al. (2003) vor, auch digital verfügbare Bodenkarten als Kovariablen zu berücksichtigen.

3. Wahl der Standorte, an welchen die Zielgrößen erhoben werden sollen, unter Berücksichtigung der Variation der Kovariablen im zu kartierenden Gebiet.
4. Erhebung der Zielgrößen im Feld. Alternativ zu 2. und 3. werden oft sogenannte legacy soil data (Altdaten) aus früheren Studien verwendet.
5. Modellierung der Zusammenhänge zwischen den Zielgrößen und Kovariablen mit statistischen Regressionsmodellen. Darunter werden sowohl lineare Regressionsmodelle wie auch Modelle verstanden, welche nichtlineare Abhängigkeiten von Zielgrößen und Kovariablen abbilden. Weiter werden unter dem Begriff Regressionsmodell auch die geostatistischen und geo-additiven Modelle subsumiert, welche nicht voraussetzen, dass die residualen Fehler der Modelle (= Differenzen zwischen Messwerten und gefitteten Werten) räumlich unabhängig sein müssen.

Eine schwierige Aufgabe bei der statistischen Modellierung besteht darin, aus der möglicherweise sehr grossen Anzahl von Kovariablen ein möglichst kleines Set zu selektionieren, welches erlaubt, die räumliche Verteilung der Zielgrößen mit möglichst grosser Genauigkeit zu modellieren. Neben der Genauigkeit der Vorhersagen sollte mit einer Kreuzvalidierung auch überprüft werden, wie genau das Modell die statistischen Eigenschaften der Vorhersagefehler prognostizieren kann.

6. Berechnung von Vorhersagen der Zielgrößen für ein Gitter von Punkten, welches über das zu kartierende Gebiet gelegt wird. Für jeden Gitterpunkt müssen die Werte der Kovariablen bekannt sein, die in der statistischen Datenanalyse ausgewählt worden sind, um mit dem statistischen Modell eine Vorhersage berechnen zu können. Die Maschenweite des Vorhersagegitters richtet sich nach der gewünschten Verwendung der Karte der Zielgrösse und nach der räumlichen Auflösung der verwendeten Kovariablen. Zwar bezieht sich eine Vorhersage grundsätzlich immer auf den gleich grossen Flächenausschnitt (= Support) wie bei der Erhebung der Zielgrösse im Feld verwendet (in den meisten Anwendungen „Punktsupport“), der räumliche Detaillierungsgrad der Karte der Zielgrösse wird aber durch die räumliche Auflösung der Kovariablen bestimmt. Wird z.B. die Arealstatistik der Schweiz als Kovariable verwendet, welche die Bodennutzung auf einem Raster mit 100 m Maschenweite wiedergibt (und einen Support von  $625 \text{ m}^2$  für deren Beurteilung verwendet), setzt man implizit voraus, dass die Bodennutzung in einer quadratischen Fläche von 1 ha um jeden Stichprobenpunkt der Arealstatistik konstant ist, was in Wirklichkeit nicht zutrifft. Wenn räumliche Mittelwerte über grösseren Support vorhergesagt werden sollen, als bei der Aufnahme der Zielgrösse im Feld verwendet worden ist, sollten geostatistische Block Kriging Methoden (oder deren diskrete Approximation) verwendet werden (z.B. Nussbaum et al. 2012), welche die Vorhersage von Flächenmittelwerten aus „Punktmessungen“ erlaubten.
7. Erhebung von zusätzlichen Daten über die Zielgrößen zur Validierung der statistischen Vorhersagen der Zielgrößen. Die digitale Kartierung von Bodeneigenschaften wird oft kombiniert mit einer daran anschliessenden Evaluation des Potentials der Böden für bestimmte Bodenfunktionen.

### 3.3.3 Erfahrungen mit modellierten Bodendaten in der Schweiz

Bisher sind die praktischen Erfahrungen mit DSM in der Schweiz noch eher bescheiden:

- Egli et al. (2005)<sup>18</sup> machten erste Bodenmodellierungen im Alpenraum.
- Steiner et al. (2006)<sup>19</sup> führten im Einzugsgebiet des Murtensees eine Pilotstudie durch, um zu prüfen, ob mit Daten aus alten Bodenkartierungsprojekten die benötigte räumliche Bodeninformationen zur Abgrenzung von Pufferzonen um Gewässer modelliert werden kann.
- Rehbein & Keller (2007a,b)<sup>20</sup> kartierten für den Kanton Thurgau mittels External-Drift Kriging die Schwermetallkonzentrationen im Oberboden.
- Herbst & Mosimann entwickelten 2008 zuerst eine Pedotransferfunktion mit Vergleich der Vorhersage mit halb-automatisierten Random Forest-Modellen und als Weiterentwicklung im Jahre 2010 die flächenhafte Waldbodenmodellierung mit einem Verfahren, das empirisch-statistische Analysen und Expertenwissen verbindet<sup>21</sup>.
- Auf nationaler Skala ist die Arbeit von Nussbaum et al. (2012)<sup>22</sup> bekannt. Basierend auf Daten über rund 1000 Waldbodenprofile wurden die organischen Kohlenstoffvorräte ( $C_{org}$ ) in Waldböden geostatistisch kartiert und mit External-Drift Block Kriging Schätzungen der mittleren  $C_{org}$ -Vorräte für die nach Meereshöhe stratifizierten Produktionsregionen des Landesforstinventars berechnet.
- Aktuell am weitesten fortgeschritten sind die Arbeiten im Rahmen des NFP 68 mit dem Projekt „PMSoil: Predictive mapping of soil properties for the evaluation of soil functions at regional scale“<sup>23</sup>, dies unter Leitung von A. Papritz, Institut für Terrestrische Ökosysteme ETH Zürich, in dessen Rahmen u.a. auch das Projekt von Nussbaum M. et al. zur Modellierung der Lagerungsdichte in Waldböden durchgeführt wurde.<sup>24</sup>

### 3.3.4 Eine Anmerkung zur Modellierung von Bodendaten

Es ist bemerkenswert, dass in aktuellen wissenschaftlichen Beiträgen zur Modellierung<sup>25</sup> auf die Wichtigkeit der Beachtung der bodenbildenden Faktoren hingewiesen wird, nämlich, dass die Verteilung der Bodeneigenschaften und der Prozess-Attribute nicht Zufalls-Variablen sind und nicht irgendwelchen mathematischen Verteilungen folgen, sondern das Resultat vieler bo-

<sup>18</sup> Egli M., Margreth M., Vökt U. und Keller F. (2005): Bodenmodellierung mit GIS im hochalpinen Raum. Geomatik Schweiz 8/2005: 458-462.

<sup>19</sup> Steiner, C.; Behrens, T.; Telse, D. & Stamm, C. 2006. Bodenkarten als Grundlagen für die Festlegung des Zuströmbereichs  $Z_o$ . Eine Machbarkeitsstudie. EAWAG.

<sup>20</sup> Rehbein, K. & Keller, A. (2007a): Räumliche Interpolation von Zinkgehalten in den Böden des Kantons Thurgau. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.

do. Rehbein, K. & Keller, A. (2007b): Grossräumige Schwermetallgehalte in den Böden des Kantons Thurgau. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.

<sup>21</sup> Herbst, P. & Mosimann, T. 2010. Prognose ökologisch wichtiger Waldbodeneigenschaften mit Random Forest in der Nordwestschweiz. Geomatik Schweiz, 108, 140–144

<sup>22</sup> Nussbaum, M.; Papritz, A.; Baltensweiler, A. & Walthert, L. 2012. Organic Carbon Stocks of Swiss Forest Soils. Institute of Terrestrial Ecosystems, ETH Zürich and Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL), <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:6027/eth-6027-01.pdf>

<sup>23</sup> <http://p3.snf.ch/project-143096>

<sup>24</sup> Nussbaum M., Papritz A., Zimmermann S., Walthert L. (2016): Pedotransfer function to predict density of forest soils in Switzerland. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, 2016 179, 321-326..

<sup>25</sup> Vogel H.-J., Clothier B., Li X.-Y. und Lin H.S. (2013): Hydropedology-A Perspective on Current Research, Vadose Zone J., doi:10.2136/vzj2013.09.0161

denbildender Faktoren ist, wie sie von Jenny<sup>26</sup> in grundlegender Weise vor langer Zeit definiert wurden.

Dies wird gestützt durch Aussagen, die verschiedentlich in den Interviews geäußert wurden, so, dass zum Modellieren von bodenbürtigen Prozessen sehr viele und möglichst gute „echte“ Bodendaten benötigt würden. Damit stellt sich aber die Frage nach dem Sinne der Modellierung an sich und auch nach einem möglichen Zirkelschluss-Problem?

Ein weiteres Problem, das in der Literatur zu Bodenmodellierungen immer wieder angesprochen wird, sind die unterschiedlichen Skalen der Inputdaten, die angesichts der grossen natürlichen Heterogenität der Böden zu Fehlanpassungen zwischen dem räumlichen Support der Beobachtungen und der Ausdehnung des Bereichs, der durch die Beobachtungen repräsentiert werden sollte, führt.<sup>27</sup>

---

<sup>26</sup> Jenny, H. (1941): Factors of soil formation. McGraw-Hill Book Co., New York.

<sup>27</sup> Vogel H.J., Vanderborght J. (2016): Dealing with heterogeneity and uncertainty: from aggregate to landscape. <https://www.soil-modeling.org/austin-workshop/program>

## 4 Interviews – Vorgehen, Auswahl und Spektrum

### 4.1 Methodik der Interviews

Der erste Schritt betraf die Einbettung des Projektes in die parallel verlaufenden Projekte und Untersuchungen des BAFU. Es galt zu klären, wieweit der Auftrag ‚nur‘ eine Vertiefung der seinerzeit von Lüscher erstellten Studie beinhalten sollte, oder ob anders vorgegangen werden müsste.

Es wurden persönliche Interviews im Direktgespräch durchgeführt (keine Telefoninterviews). Dazu wurde ein interner Fragebogen ausgearbeitet und ein Informationsblatt, damit die angefragten Personen sich ein Bild machen, weshalb sie kontaktiert und interviewt werden sollten.<sup>28</sup>

In der Regel wurde eine als repräsentativ für die Nutzergruppe erscheinende Person kontaktiert. Die Person wurde telefonisch kontaktiert und ein Termin für das Gespräch vereinbart. Ein Protokoll wurde erstellt, welches jeweils gegengelesen und, falls notwendig, überarbeitet wurde.

Für die Interviews/Befragungen liegen Protokolle vor, die nicht als Faksimile veröffentlicht werden.

### 4.2 Anzahl und Auswahl der Gesprächspartner

Aufgrund beschränkter Mittel wie auch der relativ knappen, zur Verfügung stehenden Zeit musste eine strenge Auswahl an potenziellen Gesprächspartnern getroffen werden. Pro ‚Bereich‘ oder ‚Disziplin‘ konnte jeweils nur eine Person befragt werden, die möglichst repräsentativ für die Gruppe sprechen sollte.

Ausgehend von Lüschers 20 Nachfrageprofilen aus dem Jahre 2004<sup>29</sup> wurden die Themen und potentielle Nachfragegruppen zusammengestellt und eine Liste von Namen erarbeitet, um geeignete Interviewpartner ausfindig machen zu können. Zudem war es ein Anliegen der Projektgruppe, möglichst mit Personen in Kontakt zu treten, die konkret mit Boden oder Bodenproblemen zu tun haben, also standen vor allem ‚PraktikerInnen‘ oder Forscher mit direktem Bezug zum Boden im Fokus. Am Ende jeden Gesprächs wurde die interviewte Person jeweils gebeten, Namen von weiteren am Thema interessierten Fachleuten zu nennen. Der Kreis der Interviewten war zu keinem Zeitpunkt geschlossen, so dass situativ auch Leute befragt werden konnten, deren Namen anfänglich nicht zur Debatte standen.

Schliesslich wurden insgesamt 17 Interviews durchgeführt, was bedeutet, dass bei rund 2-3 Stunden Gesprächsdauer pro Interview, gesamthaft 40 bis 50 Stunden lang wertvolle mündliche Aussagen entgegen genommen werden konnten.

Klar war ebenfalls, dass die im Verlauf des Teilprojektes 3 von Bodeninformation Schweiz BI-CH durch Lüscher befragten Personen nicht wieder interviewt werden sollten<sup>30</sup>. Auch wurde darauf geachtet, Personen, die bereits durch die Projektgruppe Meteotest kontaktiert worden

---

<sup>28</sup> Siehe Anhang 12.1

<sup>29</sup> Lüscher C. (2004): Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden: Leitfaden Bodenkartierung. Im Auftrag des BUWAL, Projekt Bodeninformation Schweiz BI-CH/Teilprojekt 3. Arcoplan, Ennetbaden.

<sup>30</sup> Die indirekte und vor allem auch unbewusste Anwendung der Chatham-House-Rule im Verlauf des Projektes TPR 3 durch Claude Lüscher hatte u.a. zur Folge, dass gar nicht genau rekonstruiert werden konnte, wer vor zehn Jahren befragt wurde. Ein Teil der Personen arbeitet denn auch nicht mehr (in Pension), oder hat sich beruflich weiter entwickelt, oder ist an anderer Stelle tätig; somit konnte schon aus diesem Grunde nicht auf solche Personen zurückgegriffen werden.

waren, nicht nochmals mit ähnlichen Fragen zu konfrontieren.

Freiberufliche Fachleute konnten, entsprechend der Zusage des Auftraggebers, für den Zeitaufwand in bescheidenem Ausmass entschädigt werden.

### 4.3 „Gruppenbild“ der befragten Nutzerkreise resp. –gruppen

Fachbereiche und Tätigkeiten/Organisationen

· Raumplanung:	Fachbüro, Forschung
· Landwirtschaft:	Beratung, praktischer Betrieb, Forschung
· Forstwirtschaft:	Fachbüro, Verwaltung
· Bodenschutz:	Verwaltung/Vollzug
· Bodenschutz/Landwirtschaft Berggebiet:	Fachbüro
· Hydrologie:	Verwaltung/Forschung
· Hochwasserschutz:	Fachbüro, Verwaltung
· Naturgefahren:	Forschung, Fachbüro
· Naturschutz/Biodiversität:	Fachbüro, Nichtregierungsorganisation
· Meteorologie/Klimatologie:	Forschung
· Archäologie/Urgeschichte:	Verwaltung/Forschung
· Umweltinformationen:	Verwaltung

### 4.4 Kommentar zur Auswahl der interviewten Personen

Es wurde versucht, eine möglichst grosse Bandbreite an Interessen zu erfassen und auch Gruppen ausfindig zu machen, die nicht zwingend bereits konkrete Vorstellungen hatten, welche Arten von Bodeninformationen beschafft werden könnten und in welcher Form diese vorliegen würden (z.B. Punktdaten vs. Flächendaten) oder welche zusätzlichen Informationen aus bestehenden Daten herausgelesen werden könnten.

Bezüglich der Qualität und der Repräsentativität der befragten Personen kam der beruflichen Erfahrung, der fachlichen Integrität und einem gesunden Mass an Selbstreflexion der eigenen Arbeit gegenüber eine grosse Bedeutung zu.

### 4.5 Information der Gesprächspartner und Gesprächsform

Die von der Gruppe kontaktierten Personen wurden bereits am Telefon orientiert und der Inhalt unseres Auftrages sowie das Anliegen dargelegt. Bei Zusage für ein Interview wurde vorgängig ein zweiseitiges Informationsschreiben zugestellt.<sup>31</sup> Die Fachleute wurden gebeten, sich nicht speziell vorzubereiten, sondern das Gespräch abzuwarten. Niemand hat das Angebot zum Gespräch abgelehnt; im Gegenteil, das Interesse war gross und die befragten Personen waren in der Regel sehr auskunftsfreudig

Für die Gespräche wurde ein Formular mit Ablauf und Struktur der Fragen erstellt<sup>32</sup>, Die Interviews waren demnach strukturiert geplant, wobei sich zeigte, dass im Verlauf des Gesprächs oftmals hin- und her gehüpft wurde, weil es sich inhaltlich oder aufgrund der Gesprächsdynamik so ergab.

In der Regel wurde das Gespräch von jeweils zwei Mitgliedern der Gruppe durchgeführt, um möglichst viele Aspekte beleuchten zu können und sicher zu stellen, den Inhalt der Aussagen

---

<sup>31</sup> s. Anhang 12.1

<sup>32</sup> s. Anhang 12.2

korrekt verstanden zu haben<sup>33</sup>. Eine Person stellte vorwiegend die Fragen, während der Kollege/die Kollegin Notizen machte. Dies erleichterte auch die nachträgliche Protokollierung des Gesprächs.

#### 4.6 Protokolle

Es wurden keine Tonbandaufnahmen gemacht und den Interviewten wurde zugesichert, dass die Anonymität im Rahmen der Chatham-House-Regel „unter 2“<sup>34</sup> gewährleistet werde. Zu jedem Gespräch wurde ein Protokoll verfasst, welche als Entwurf den interviewten Personen zugestellt wurde. Diese wurden gebeten, den Entwurf zu korrigieren und/oder zu ergänzen. So ergab sich ein von beiden Seiten akzeptiertes Protokoll, ohne Missverständnisse oder Unklarheiten.

Auch diese Protokolle unterstehen der ‚Chatham-House-Regel‘. Dieses Verfahren erlaubte es, sehr persönliche und differenzierte Stellungnahmen und pointierte Aussagen zu gewinnen, die Drittpersonen nicht offen stehen sollten.

Letztlich galt es, die Summe dieser Aussagen auf wichtige Ergebnisse zu konzentrieren, welche auch neue Erkenntnisse hervorrufen sollten.

#### 4.7 Systemgrenzen

Es war zum Vornherein klar, dass nur Fachleute aus der Schweiz befragt würden, und dass „das Ausland“ nicht einbezogen werden sollte. Selbstverständlich stellt dies eine Einschränkung dar und könnte zur Folge haben, dass allenfalls gewisse Punkte übersehen wurden, die möglicherweise im Ausland von Bedeutung sind. Es ist auch denkbar, dass die Früherkennung von Bodenproblemen im Ausland ausgeprägter oder anders ist als in der Schweiz – oder eben auch umgekehrt....

#### 4.8 Berggebiet als wichtiger Spezialfall

Es stellte sich erst durch die abgehaltenen Interviews heraus, dass das Berggebiet einen vorher nicht so klar erkannten Spezialfall darstellt. Böden im Berggebiet sind vielerorts ausserordentlich heterogen und dies auf kleinster Fläche, manchmal mit grossen inhaltlichen Unterschieden im Meterabstand, besonders in ‚unruhigem‘ Gelände. Eine durchgehende Beschaffung von Detailinformationen, gleich welcher Art, macht hier keinen Sinn. Das Endprodukt dürfte kaum lesbar sein und dient konkret niemandem.

Somit muss das Sammeln von Bodendaten/-informationen in diesen Gebieten auf andere, resp. angepasste Weise erfolgen. Ein Ansatz liegt darin, die Kleinlandschaft als Ganzes zu ‚lesen‘ und zu interpretieren, allenfalls durch einzelne Bohrungen zu ergänzen.

Auch spielt das Anliegen oder das konkrete Projekt eine Rolle: Handelt es sich um landwirtschaftlich genutztes Gelände, um Wald oder gar um brachliegende Flächen. Projekte, wie eine

---

<sup>33</sup> Es fanden zwei Gespräche statt, an welchen wir zu dritt beteiligt waren, weil sie uns als sehr wichtig erschienen; ein Gespräch musste aus terminlichen Gründen von unserer Seite mit nur einer Person abgehalten werden.

<sup>34</sup> The Chatham House Rule: Bei Veranstaltungen (oder Teilen von Veranstaltungen), die unter die Chatham-House-Regel fallen, ist den Teilnehmern die freie Verwendung der erhaltenen Informationen unter der Bedingung gestattet, dass weder die Identität noch die Zugehörigkeit von Rednern oder anderen Teilnehmern preisgegeben werden dürfen.

„Unter 2“ - die Information und das Umfeld der Quelle dürfen zwar wiedergegeben, aber nicht direkt zitiert werden: Siehe unter <https://www.chathamhouse.org>

kleinräumige Melioration, ein Strassenbau oder eine Strassenkorrektur, eine Hangstabilisierung und dergleichen sind jeweils ein ‚Fall für sich‘ und müssen gesondert angegangen werden.

Flächendeckende Informationen sind in solchen Gebieten jedenfalls weder sinnvoll, noch eigentlich machbar. Eine Ausnahme bilden natürlich grössere mehr oder weniger ebene landwirtschaftlich genutzte Räume oder Kammern, die sich unter Umständen gar für Ackerbau eignen würden.

Im Bergwald dominieren an Hanglagen als Themata die Naturgefahren mit Hangrutschen, Überschwemmungen, Murgängen, Übersandungen, Erosion etc. Das Erfassen von Bodeneigenschaften dient dort, wenn überhaupt, der Gefahrenprävention, allenfalls einer Wiederherstellung oder Wiederbestockung der betroffenen Geländekammern.

#### **4.9 Nicht berücksichtigte Bereiche**

Bewusst auf der Seite belassen wurden die sogenannten ‚Stadtböden‘, d.h. Böden im Siedlungsgebiet. Diese sind in der Regel anthropogen verändert (klassifikatorisch sogenannte X-Böden) und haben zum Teil ungewohnte Eigenschaften und einen ungewöhnlichen Bodenaufbau. Die Stadtbodenkartierung ist noch nicht sehr weit gediehen. Dementsprechend gibt es auch noch nicht sehr viele Ansprechpartner mit entsprechenden Erfahrungen.

Allerdings sollte man diese Böden nicht ausser Acht lassen, nehmen sie doch je nach Gebiet zwischen 5 und 20% der Gesamtfläche ein, sind nur zum Teil versiegelt und haben Funktionen, wie zum Beispiel diejenige der Speisung von Grundwasserträgern und bergen damit verbunden auch die Gefahr des Eintrags von unerwünschten Stoffen über die Bodenpassage in tiefere Zonen des Untergrunds. Die Erforschung von Stadtböden und von deren Eigenschaften muss deshalb forciert werden, damit man später auch gezielt nach bestimmten Bodeninformationen abfragen kann.

## 5 Resultate - Kurzfassung der Interviews

Nachfolgend werden die Ergebnisse aller Interviews in Form einer Tabelle mit den wichtigen Inhalten, basierend auf den detaillierten Protokollen, für alle durch die Interviewten abgedeckten Fachbereiche aufgeführt: Es handelt sich somit um die ‚Rohdaten‘.

Es sind nicht streng repräsentative Ergebnisse, aber sie spiegeln die Kenntnisse und Meinungen von aktiven, erfahrenen und sehr fachkundigen Nutzern des Bodens vielfältigster Art wider. Diese Informationen beinhalten den Kern zur Beantwortung der durch den Projektauftrag gestellten Aufgabe zur Eruierung der Bedürfnisse der Nutzer von Bodeninformationen und zum davon abzuleitenden Bedarf an Bodendaten.

Eine detaillierte Schematisierung dieser Ergebnisse erfolgt in Form einer Matrix (s. Kap. 6).

Tab. 3: Ergebnisse der Interviews („Rohdaten“)

Praktische Landwirtschaft	
<b>Anwendungsbereiche</b> <b>Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b>	Bodeninformationen betreffen in der praktischen Landwirtschaft (zumindest aktuell) <b>vor allem die ‚politische‘ Seite</b> : Raumplanung und den Schutz der besten Böden in den Kantonen, sprich die <b>FFF-Problematik</b> . Im Zentrum stehen auch sogenannte <b>anthropogene Böden</b> ; Das sind nebst aufgefüllten Kiesgruben oder Deponien vor allem organische Böden, die infolge intensiver Nutzung abgesackt sind, sowie Humus-schwund durch GW-Absenkung. Auf Basis <b>modellierter</b> Bodendaten zu <b>parzellenscharfen Aussagen</b> zu kommen, ist kaum vorstellbar. Auf Ebene Sachplan oder kleinmassstäbi-ger Darstellungen kann das angehen, aber <b>nicht auf betrieblicher Ebene</b> .
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	Die <b>Landwirtschaft braucht grundsätzlich viele Bodendaten</b> . Für den Landwirt in erster Linie aus dem <b>Oberboden</b> (Humusschicht), den kennt er aber relativ genau von der Bewirtschaftung her. Landwirte benötigen zusätzlich gute Daten zum <b>B-</b> , und auch zum <b>C-Horizont</b> . Die <b>Mächtigkeit (resp. Gründigkeit)</b> ist ein sehr wesentliches Kriterium, wie auch die Körnung im A- und im B-Horizont. Dazu braucht es grossmassstäbige <b>Bodenkarten!</b>
<b>Neue Fragestellungen</b> <b>Zukünftige Entwicklungen</b>	Ehemals organische Böden gibt es sehr viele im Kanton. Solche Flächen können durch gekonnte <b>ingenieurmässige Rekultivierung</b> aufgewertet werden. So entstehen ackerbaulich nutzbare Flächen, die aber i.d.R. die <b>Qualität von Fruchtfolgeflächen</b> nicht erreichen. <b>Bodendaten sind</b> (jetzt und in Zukunft) <b>nützlich</b> : . zum Schutze der besten Böden. . für Landabtausch bei Meliorationen. . bei Landkäufen unter Bauern in der Landwirtschaftszone. . bei Naturschutz und alten Entwässerungsprojekten. . zur Bewässerungsproblematik (Klima). Im Obstbau wird <b>Tropfenbewässerung</b> angewandt.
<b>Priorisierung</b>	Wichtig sind Kenntnisse zur <b>Durchlässigkeit des Untergrundes</b> . Wenn man die Eigenschaften des Untergrundes nicht kennt, trifft man u.U. <b>Fehlentscheide</b> (z.B. im Obstbau). Bodendaten werden zunehmend wichtiger zur <b>Rückstandsproblematik von Hilfsmitteln</b> . Hierzu braucht es auch gute Kenntnisse über den <b>Unterboden und den C-Horizont!</b>
<b>Allfällige ökonomische Aspekte</b>	<b>Ertragsausfall</b> infolge falscher <b>Kulturwahl</b> .

<b>Bodenschutz / Landwirtschaft</b>	
<b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b>	Schwerpunkt der Arbeit auf (ehemaligen) <b>entwässerten Torfböden</b> . Dazu werden spezifische Bodenkarten benötigt. <b>Bewässerungsproblematik</b> (Gemüsebau und Wiesen): „zu viel – zu wenig Wasser“. <b>FFF-Ausscheidung</b> ohne diesbezügliche Bodendaten (pnG) in Randgebieten.
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	Diverse Bodeninformationen werden für <b>KABO</b> benötigt. Dazu <b>org. C</b> als ein Schwerpunkt (landw. Bewirtschaftung), aber viele Unsicherheiten bezgl. Probenahme, Analytik und Interpretation. <b>pnG</b> und <b>Speichervolumen</b> sind die wichtigsten weiteren Parameter.
<b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b>	<b>Zeitgemässe Bodenkartierung</b> , allenfalls unter Einbezug von Elementen der Modellierung (pnG? räumliche Auflösung? Fehlerquote?). <b>Ertragskartierungen</b> vs. Bodenkartierung (Bsp. John Deere).
<b>Priorisierung</b>	Zu Postulat Walter: <b>Wasserhaushalt</b> bei leichten, kiesigen Böden, sonnenexponiert. <b>Entwässerte Torfböden</b> . <b>Schwere, tonige Böden</b> bei Verdichtung. FFF: <b>bestrittene Zusatzflächen</b> in Randgebieten.
<b>Allfällige ökonomische Aspekte</b>	<b>Bewässerungsproblematik</b> : Verteilproblem bei Wiesenbewässerung ist von Kultur abhängig und damit <b>auch von den Bodeneigenschaften</b> → Aufwand/Ertrag?

<b>Hydrologie, Grundwasserbewirtschaftung, planerischer Grundwasserschutz</b>	
<b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b>	Bodeninformationen sind generell wichtig zur <b>Ausscheidung von GW-Schutzzonen</b> . Auch für das <b>Versickern lassen</b> von Strassenabwasser muss Rückhaltevermögen des Bodens beurteilt werden. Wichtige Anwendung: Bodendaten für die <b>Vulnerabilitätsprüfung bei GW-Schutzzonen im Karst</b> (Methode EPIK). Planerischer Grundwasserschutz: Beurteilung der <b>Rückhaltekapazität und Abbaufähigkeit des Bodens für Schad- und Fremdstoffe</b>
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	Alle Bodenparameter, die die <b>Eigenschaften der Deckschicht</b> bezgl. <b>Wasserhaushalt</b> beschreiben: Bodenart, Durchlässigkeit, Mächtigkeit, Lage des Stauers etc. Sowohl im <b>Mittelland</b> , aber ebenso wichtig <b>im Karst</b> , wenn möglich im <b>M 1:5'000</b> (oder sogar grossmassstäbiger)
<b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b>	Mit der revidierten GSchV (2016) kommen neben der Zone S2 und S3 auch noch neu die Zonen <b>S<sub>h</sub></b> (Gebiete hoher Vulnerabilität) und <b>S<sub>m</sub></b> (Gebiete mittlerer Vulnerabilität) hinzu → <b>Bodendaten notwendig</b> . Konkrete Probleme durch Bewässerung im intensiven Gemüsebau: <b>Grundwasserkontamination</b> durch Dünger und giftige Hilfsstoffe. → Informationen zum <b>Bodenwasserhaushalt</b> auf Basis von <b>detaillierten</b> Bodendaten.
<b>Priorisierung</b>	Grundsätzlich sind alle Bodendaten, die den Wasserhaushalt in Grundwasser-Gebieten beschreiben, <b>wichtig</b> : Wenn immer möglich mit einer <b>grossen räumlichen und inhaltlichen Auflösung</b> , also M 1:5'000. Den Aspekt <b>Bewässerung / Grundwasserschutz</b> weiter bearbeiten!
<b>Allfällige ökonomische Aspekte</b>	<b>Leistung des Bodens als Filter</b> wird kaum abgegolten

Hochwasserstudien, Abflussprozesse	
<b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b>	<b>Geologische Karten</b> reichen nicht aus für die notwendigen Arbeiten. Es werden <b>Bodeninformationen</b> benötigt, <b>am besten 1:5000 oder 1:10000</b> ; teilweise (d.h. in einfacheren Gebieten) geht es auch mit 1:25'000-Karten, im Gebirge gar mit einem 1:50'000 Masstab.
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	Stark interessiert an <b>Wasserdurchlässigkeit des Bodens</b> (Makroporosität; Wurmgänge, Wurzeln) und Lage der <b>stauenden Horizonte</b> ; Aus Detail-Bodenkartierungen sind die <b>WH-Gruppen</b> interessant. Die <b>pnG</b> ist nicht so wichtig, aber die <b>Mächtigkeit</b> , sowie Angaben zum <b>Skelett</b> . Optimal sind <b>Bodenkarten im M 1:5000</b>
<b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b>	Einbau von <b>Abflussprozesskarten</b> in das Hochwasserprognose-Modell <b>PREVAH</b> . Modellierte Bodenkarten: Mit <b>geringen Wahrscheinlichkeitswerten</b> oder <b>grossen Klassenbreiten</b> sind sie nicht brauchbar. Problem: <b>Modellierer</b> arbeiten oft <b>unabhängig von (kausalen) Prozessabfolgen</b> . <b>Qualitätskontrollen</b> sind wichtig.
<b>Priorisierung</b>	Es sollten <b>theoretisch arbeitende Modellierer und wissenschaftliche Feldbodenkundler zusammengebracht werden</b> . In der Bodenkartierung braucht es <b>Prozesswissen und nicht rein statistische Konzepte</b> mit zum Teil <b>nicht-kausalen</b> „fremden“ Kovariablen. Ebenso wichtig ist die <b>Waldbodenkartierung</b> .
<b>Allfällige ökonomische Aspekte</b>	Es wäre schon mehrere Male möglich gewesen, in <b>Kombination</b> mit anderen Fragestellungen <b>Bodenkarten zu erarbeiten</b> , inkl. (Teil-) Finanzierung (z.B. Naturgefahrenkarten). Daher: <b>Neue Kostenträgerschaft</b> unter Hauptinteressenten suchen!

Hydrologie Forschung	
<b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b>	<b>Bodenfunktionskarten</b> bringen der Hydrologie <b>wenig</b> . Die hydrologischen Fragestellungen fallen alle in die dem Boden vom Menschen definierte <b>Regulierungsfunktion</b> .
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	Die <b>Wasserhaushaltsgruppen</b> sind sehr wichtig für die Hydrologen. Weiter folgende die <b>Parameter</b> : Gründigkeit, Skelett, Porosität, Bodenart, C <sub>org.</sub> im Oberboden (dies wegen der Aggregat-Stabilität). Die <b>Saugspannung</b> als Parameter wäre wichtig. Und dazu v.a. auch die <b>Makroporosität</b> . Bei Starkniederschlägen fliesst das Wasser z.T. an der <b>Oberfläche ab</b> und der Rest geht durch die <b>Makroporen</b> in die Tiefe.
<b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b>	Für <b>Vorhersagemodelle</b> wäre eine <b>schweizweite Bodenkartierung</b> wertvoll. Die hydrologischen Modelle sind weitgehend entwickelt, aber wenn Modellierer <b>bessere Inputdaten</b> hätten, wäre das eine markante Verbesserung für die hydrologische Ausgangslage und die Beschreibung der Prozesse. Im <b>Gebirge</b> wäre auch eine <b>modellierte</b> Bodenkarte vorstellbar, wenn sie die Anforderungen erfüllt.
<b>Priorisierung</b>	<b>Bodendaten</b> von den für die Hydrologie wichtigsten Parametern (s. vordere Spalten) sind <b>flächendeckend</b> sehr gesucht. Bezüglich des Masstabs <b>mindestens 1:25'000</b> , mit der Möglichkeit, je

	nach Bedarf <b>noch in höherer Auflösung</b> nachkartieren zu können ( <b>bis 1:5'000</b> ).
<b>Allfällige ökonomische Aspekte</b>	---

<b>Gefahrenprävention / Schutzwald (Rutschungen, Lawinen)</b>	
<b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b>	<p>Durch die Ausdehnung der <b>Schutzwald-Definition auch auf die Mittel-land-Kantone</b> kommen in den jeweiligen Schutzwald-Arealen (rutschgefährdete Einschnitte, Steinschlag etc.) auch die NaiS-basierten Anwendungen zum Tragen.</p> <p>Eine <b>Datenkompatibilität</b> der NaiS-Daten mit den gängigen CH-Bodenklassifikationen ist nicht 1:1 möglich.</p> <p>Eine Wirkungsbeurteilung von <b>Hochwasserschutzwäldern</b> unter Beizug von Bodenkarten (allerdings mit einer sehr groben Klassenbildung der verwendeten Attribute) erreichte keine genügende Voraussagequalität.</p> <p>Die <b>Bodenkenntnisse</b> der heutigen Forstpraktiker sind eher <b>bescheiden</b>.</p>
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	<p>Grundlagen sind vor allem die <b>definierten Standortstypen</b> von <b>NaiS</b>, die sich vor allem auf die pflanzensoziologischen Grundlagen und deren Interpretation abstützen.</p> <p><b>Bodeninformationen</b> werden daher vor allem <b>subsidiär</b> genutzt.</p>
<b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b>	<p>Heute steht die <b>Schutzwaldwirkung</b> bezüglich <b>Rutschungen</b> im Vordergrund, in deutlich geringerer Masse auch bezüglich <b>Lawinen</b> und <b>Steinschlag</b>.</p> <p>Es geht also um Materialeintrag, resp. um sogenannte <b>gerinne-relevante Prozesse</b>.</p> <p>Im Hinblick auf den Klimawandel werden die <b>gängigen Oekogramme überarbeitet</b> (analog zu „Gebirgsnadelwälder“, 1997).</p>
<b>Priorisierung</b>	<p>Es wird eine <b>Vollzugshilfe zu Massenbewegungen</b> erarbeitet, dabei wird zumindest die <b>Gründigkeit</b> als Bodenparameter angesprochen (Hinweis bei ‚wenig-tiefen‘ Rutschungen).</p> <p><b>Disposition für Oberflächenabfluss</b> ist auch ein Thema.</p> <p>Für die Beurteilung der mit dem Klimawandel verbundenen Szenarien wäre ein <b>besseres Prozessverständnis</b> notwendig, u.a. bezgl. des Bodens.</p>
<b>Allfällige ökonomische Aspekte</b>	<b>Schutzwald</b> ist bezüglich seiner <b>ökologischen Leistungen ökonomisch deutlich zu tief bewertet</b> .

<b>Gewässerbereich chemisch-biologisch / Biodiversität und Naturschutz / Weihersanierung und Moor-Monitoring</b>	
<b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b>	Schutz der Vielfalt der Funktionen und Prozesse: <b>Wo und wie sind die elementarsten Prozesse des Ökosystems Boden bedroht?</b> Diese Sicht der Dinge fehlt!
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	<p>Feststellung, dass <b>Boden bei Biodiversitäts-Monitoring</b> meist fehlt.</p> <p>Bodendaten sind auch ein <b>Mass für Biodiversität!</b></p> <p><b>Speicherkapazität</b> des Bodens sowie <b>Sickerleistung / Durchlässigkeit</b> des Bodens sind gefragt.</p> <p><b>KAK</b> und <b>P</b> sollten bekannt sein.</p>
<b>Neue Fragestellungen</b>	Der Begriff „ <b>funktionale Biodiversität</b> “ ist interessant.

<b>Zukünftige Entwicklungen</b>	Sehr spannende Idee: Aus <b>Bodenkartierungsdaten 3D-Darstellungen einzelner Attributverläufe generieren!</b> Hat selber keine Erfahrung mit modellierten Bodendaten; ist aber <b>skeptisch</b> , ob dies für die von ihm benötigten <b>inhaltlichen und räumlichen Auflösungen</b> zweckdienlich ist.
<b>Priorisierung</b>	Was ist das <b>Biodiversitätsziel des Bodens</b> ? Noch nicht definiert! <b>Bodenhydrologische Daten</b> für Renaturierung von Uferstreifen entlang von Gewässern und zudem für Moor-Wiederherstellung wären wichtig. Eine <b>flächendeckende Bodenkarte</b> ist <b>nicht nötig</b> , aber wenn, dann im <b>M 1:5'000</b> .
<b>Allfällige ökonomische Aspekte</b>	---

<b>Landschaftsdynamik / Landschaftsökologie</b>	
<b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b>	In einem laufenden Projekt wird die <b>Wahrscheinlichkeit, dass ein Boden x in einer nächsten Überbauungsrunde überbaut wird</b> , ermittelt, aber Gebiete ausserhalb der Bauzone werden nicht untersucht. Dies wäre grundsätzlich möglich, aber aufgrund des neuen RPG ist dieses Szenario eher akademisch.
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	Thema: <b>Ökosystemleistungen (OSL) in einer Landschaft</b> : Es werden Bodendaten aus BEK200 und Bodenkarten 1:25'000 verwendet.
<b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b>	Für OSL sollten die Bodenfunktionen aus NFP68 zur Verfügung stehen: <b>Bodenfunktionen</b> sind hilfreich für die <b>Landschaftsplanung</b> . Im Monitoringprogramm «Landschaftsbeobachtung Schweiz» (LABES) wird u.a. die <b>Entwicklung der Versiegelung erfasst</b> . Hierzu sind <b>Bodendaten wichtig</b> . Modellierung des Urban Sprawl: Aufzeigen der <b>Konflikte zwischen FFF und Bauzonen</b> .
<b>Priorisierung</b>	Es werden <b>keine Profildaten</b> , sondern <b>flächendeckende Daten benötigt</b> , insbesondere <b>Gründigkeit und C-Gehalt</b> , auch <b>Skelettgehalt</b> . <b>Flächendaten für die ganze Schweiz</b> , ohne regionale Prioritäten. Im Gebirge sind weniger genaue Karten ausreichend. <b>Zeitliche Priorität:</b> 1. Mittelland, um Siedlungszonen; 2. Alpen und grosse Alpentäler.
<b>Allfällige ökonomische Aspekte</b>	---

<b>Archéologie</b>	
<b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b>	Documentation et interprétation des <b>sols et sédiments dévoilés lors des fouilles et sondages</b> . Spécialiste en <b>micromorphologie</b> et coordinateur des éventuelles analyses environnementales supplémentaires. On est en train de faire <b>l'inventaire et la caractérisation des sols originaux</b> de la région étudiée. La <b>cartographie des sols viticoles</b> est basée sur des profils allant jusqu'à <b>2 mètres</b> de profondeur. Grâce à la problématique archéologique les tranchées ont été régulièrement <b>assez profondes</b> pour pouvoir apercevoir et étudier les <b>sols originaux</b> .
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	Si le sol archéologique enfoui est encore carbonaté, les <b>paramètres</b>

	<p><b>analytiques</b> suivants sont souhaités: granulométrie / taux de carbonates (CaCO<sub>3</sub>) / la matière organique actuelle / les analyses de Fe (ox+citr+tot) en contexte bien drainée peuvent également être utiles.</p> <p>Analyses <b>micro morphologiques</b>.</p>
<p><b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b></p>	<p>On n'utilise <b>pas les données de modélisation</b>, car les étendues des sites sont toujours très ponctuelles et la problématique archéologique est hors de sujets de modélisations standards.</p> <p><b>Deux problèmes d'érosion</b> concernant les sites archéologiques: l'un concerne les sols terrestres, l'autre l'érosion lacustre depuis les travaux des corrections des eaux du Jura.</p>
<p><b>Priorisierung</b></p>	<p><b>Accessibilité aux données pédologiques</b> plus facilement ! Pour avoir des données pédologiques il faut chaque fois faire une demande, p.ex. auprès de NABODAT!</p> <p><b>C'est irréaliste pour quelqu'un qui travaille</b> avec plusieurs projets et ayant des interventions de terrains fréquents.</p>
<p><b>Allfällige ökonomische Aspekte</b></p>	<p>Il y a <b>beaucoup de connaissances</b>, mais elles risquent <b>de se perdre</b> au cas où il n'y aurait plus de moyens ni de postes!</p>

Klima und Lufthygiene	
<p><b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b></p>	<p>Mit dem <b>NFP 61-Projekt AGWAM</b> wurde untersucht, wie der <b>Wasserbedarf in der schweizerischen Landwirtschaft</b> so angepasst werden kann, dass die zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels gemildert werden können.</p> <p>Die <b>gesteuerte Bewässerung</b>, basierend auf modellierten Bodendaten und on-line-Feuchte-Messungen ist in der Schweiz kaum bekannt. <b>Gemüse- und Obstbauern sind relativ offen</b> für Neuerungen. Aber die meisten Landwirte im Ackerbau oder mit Grünland bewässern <b>nach Gefühl</b> und damit <b>meist zu viel</b>.</p> <p>Bewässerung hat in der Schweiz, <b>mit Ausnahme der Alpen</b>, keine Tradition und es gab bis heute auch keine Ausbildung.</p> <p>Wiesenbewässerung (auf Trockenwiesen) <b>führt zur Abnahme der Biodiversität</b> und damit zum Wegfall der Entschädigung für Biodiversitätsleistungen.</p>
<p><b>Wichtige Bodenparameter</b></p>	<p>Mit dem <b>Programm WaSiM-ETH</b>, inkl. Zusatzmodul 'Bewässerung', steht ein Werkzeug für die Entwicklung und Bewertung von <b>landwirtschaftlichen Bewässerungsmassnahmen</b> zur Verfügung.</p> <p>Für das auf AGWAM folgende Pilotprojekt eines Simulationsmodells in der Region Broye/Seeland sind als <b>Input</b> die für den <b>Bodenwasserhaushalt spezifischen Bodendaten</b> sehr wichtig, wobei diese meist nicht genügen.</p> <p>Die Textur, wurde aus der BEK 200 entnommen, Saugspannung oder die Wasserleitfähigkeit wurden errechnet.</p>
<p><b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b></p>	<p><b>BLW will Grundlagen für die Bewilligungspraxis</b> und für die Subventionierung von Bewässerungsanlagen verbessern. Mit dem BAFU, Sektion Hydrologische Vorhersagen, ergab sich eine Zusammenarbeit</p> <p>Mit dem Pilotprojekt für die Projektregion <b>Broye / Seeland</b> wurde ein <b>Simulationsmodell</b> erarbeitet, mit dem Prognosen der <b>Bodenwasserreserven</b> und für das <b>Wasserdargebot</b> in Flüssen und Seen erstellt werden können.</p> <p>Bewässern ist eine Frage der <b>Schwellenwerte</b> (bezgl. Saugspannung). Es gibt zu diesem Thema Forschungsbedarf. Stichwort „<b>aktueller Wasserstatus</b>“ des Pflanzenblatts (Untersuchungen Monney VS) oder, in grösserem Massstab, mit Satellitenbildern.</p>

<p><b>Priorisierung</b></p>	<p><b>26% der landwirtschaftlichen Nutzfläche</b> in der Schweiz ist potenziell bewässerungsbedürftig.                  Es müssen auf jeden Fall <b>bestmögliche Bodendaten</b> da sein. <b>Effektive Messungen</b> sind besser als die (jetzt) <b>verfügbaren Schätzungen</b>.                  Tensiometer sind <b>nicht unkritisch</b> zum Handhaben. Es braucht ein <b>Messnetz mit zentraler Erfassung der Daten</b>.  <b>C-Quelle/C-Senke</b>: Tool für Klima-Reporting: Ableitung mit BEK 200. Ist für C einfach.  <b>Bodenmächtigkeit, Grundwasserspiegel und Textur</b> sind wichtige Parameter.                  Für ein Modell, das stimmen soll, braucht es <b>gute Boden-Inputdaten!</b></p>
<p><b>Allfällige ökonomische Aspekte</b></p>	<p><b>Bewässerung muss sich rechnen</b>, sonst investiert der Bauer nicht.                  Man kann <b>viel Wasser und Geld sparen</b>, wenn mit <b>bedarfsgerechter</b> Steuerung bewässert würde.                  Bei Bauern erreicht man mit theoretischen, eher abstrakten Klimaszenarien nicht viel; das Wasser-Problem muss mit <b>erlebten Ereignissen</b> (trockenen Jahren) und <b>konkreten betrieblichen Entwicklungsszenarien</b> verknüpft werden; dies bringt viel mehr an Verständnis und auch an Willen, etwas zu verändern.</p>

<p><b>Umweltbeobachtung</b></p>	
<p><b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b></p>	<p>Umweltbeobachtung „<b>beobachtet</b>“; die eigentlichen Daten werden von <b>andern erhoben und aufbereitet</b>.                  Im Bereich <b>Wasser- und Luftqualität</b> sind, verglichen mit dem Boden, bedeutend <b>mehr Daten</b> vorhanden, z.T. auch in regionalisierter Form.</p>
<p><b>Wichtige Bodenparameter</b></p>	<p>Bodenbeobachtung arbeitet <b>häufig mit Indikatoren</b>.                  Solche Bodenindikatoren sind aber - <b>auch international - nicht immer kompatibel</b>.                  International häufig angewandte Boden-Indikatoren sind <b>Erosion, C-Gehalt und Schadstoffgehalte</b>.                  Corine land cover sagt etwas aus zur <b>Bodenbedeckung</b>, aber nichts zur Bodenqualität.</p>
<p><b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b></p>	<p>Gewünscht sind mehr Bodendaten, die die Bildung neuer <b>aussagekräftiger Indikatoren</b> erlauben.                  Für die CH allenfalls als „<b>Bodenfruchtbarkeits-Index</b>“, in Anlehnung an die Gesetzesdefinition.                  Zudem sollte die „<b>Bodendiversität</b>“ ausgedrückt werden können.</p>
<p><b>Priorisierung</b></p>	<p>Nebst klassischen Daten und Indikatoren wäre ein „<b>Bodenindex</b>“ wünschbar, der in Form eines „Integrals“ den Gesamtzustand des Bodens beschreibt:                  Kombination der „<b>Güte</b>“ <b>des Bodens mit der räumlichen Ausdehnung</b> dieser Güte, in Analogie zum SQR (Soil Quality Rating).</p>
<p><b>Allfällige ökonomische Aspekte</b></p>	<p>Wichtig wäre die <b>ökonomische Betrachtung der Leistungen des Bodens</b> (z.B. die Leistung des Bodens als Wasserfilter).                  Man könnte zeigen, „<b>was passiert, wenn man nichts macht</b>“.</p>

<p><b>Boden, Landwirtschaft und Bau im Berggebiet</b></p>	
<p><b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b></p>	<p>Projektbezogene Beratung von <b>Bauherrschaften</b> bezüglich intensiv bis extensiv landwirtschaftlich oder alpwirtschaftlich genutzter Böden in fast jeder Höhenlage.                  Die Art, Böden zu erfassen und zu beschreiben, ist <b>eine andere in den</b></p>

	<p><b>Alpen als im Mittelland.</b> Die <b>Heterogenität im alpinen Raum ist sehr gross</b>: zwischen grossen Steinen oder Blöcken sind je nach Standort ganz unterschiedliche Boden-Verhältnisse anzutreffen.</p>
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	<p>Im Berggebiet: <b>Boden-Mächtigkeit, Abtragsmächtigkeiten</b> (für Wiederherstellung), <b>Horizontfolgen, Körnung</b>, allenfalls pH. Die <b>Analyse des Wasserhaushalts</b> ist eine zentrale Aufgabe in fast allen Projekten. Mit welchen Böden haben wir zu tun? <b>Jedes Profil, jeder Bohrstock-Einstich hilft, die Variabilität zu erkennen.</b></p>
<b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b>	<p>Grundsätzlich geht es immer darum, <b>Funktionen und Zusammenhänge</b> zu erkennen. In einem Projekt, bei dem es um Deponien in allen Höhenlagen ging, wurde für den UVP im Massstab von 1:1'000 bis 1:5'000 kartiert und auch punktuell Wissen in einem „<b>Gelände-Bodentyp</b>“ festgehalten. Bodendaten sind in alpinen Gebieten ein Thema im Zusammenhang mit <b>Bewässerungsprojekten</b>. Problem der <b>Datenherrschaft</b>: Sehr viele Daten liegen bei den Bauherrschaften und sind <b>grundsätzlich nicht zugänglich</b>. Es wäre wertvoll, wenn sich die Dateneigner zur freiwilligen Herausgabe der Daten bewegen liessen.</p>
<b>Priorisierung</b>	<p>Eine <b>flächendeckende Detailkartierung macht im Berggebiet wenig Sinn</b>. Es braucht aber zumindest <b>Angaben im Massstab 1:25'000, noch besser 1:10'000</b>, dies als Grundlage. <b>Projektbezogen</b> werden Kartierungen aber häufig im <b>M 1:2'000</b> erstellt.</p>
<b>Allfällige ökonomische Aspekte</b>	<p>Gute Argumentation, um die <b>Generierung zusätzlicher Daten</b> (z.B. eine Bodenkartierung) zu erwirken, ist das Aufzeigen der „<b>Kostenwirksamkeit</b>“ (Möglichkeit, dass bei Investition in Grundlagendaten ein Projekt per Saldo kostengünstiger ausfällt). <b>Beispiel der finanziellen Dimensionen eines Bewässerungsprojekts</b> in einer alpinen Tallandschaft: 10 Mio Fr. für 570 ha. Nach Abzug Subvention: Kosten von Fr. 4'000.-/ha. Dies, um Wasserbedarf von 190 mm / Jahr abzudecken. Wurde von den Grundeigentümern abgelehnt.</p>

<b>Raumplanungspolitik</b>	
<b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b>	<p>Der „<b>Lebensraum Boden</b>“ wird <b>nicht explizit</b> herausgestellt, sondern wird als Teil des gesamten natürlichen Lebensraumes wahrgenommen und soll auch unter diesem Aspekt geschützt werden. Das <b>Vorhandensein</b> und die <b>Verfügbarkeit von Bodendaten</b> sind zwei Paar verschiedene Schuhe (NABODAT!).</p>
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	<p>Man beschäftigt sich einerseits mit der <b>FFF-Problematik</b>. Dazu bedarf es auch eines Grundstocks an Bodendaten. <b>Weitere Boden-Daten sind gefragt</b> zu: . Belastungssituation durch Pestizide . Waldbewirtschaftung . Moor-Revitalisierung . Landw. Bewirtschaftung generell und spezifisch (z.B. pnG) . Biologische Parameter (z.B. Regenwurm)</p>
<b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b>	<p>Neue <b>Konzeption FFF</b>: Nicht nur das <b>Flächen-Argument</b> einbringen, sondern auch die <b>Qualität des Bodens erhalten</b>: Dazu braucht es <b>detaillierte Bodendaten</b>. Die <b>mangelnde Datenverfügbarkeit</b> ist unbefriedigend, wird als störend empfunden.</p>

	<p>An <b>Modellierung</b> besteht <b>theoretisches Interesse</b>, soweit es nicht reale Daten gibt.</p> <p>Vor allem sollte ein Effort zur <b>Darstellung der Bodenfruchtbarkeit</b> gemacht werden.</p>
<b>Priorisierung</b>	<p><b>Aktualisierung</b> der seinerzeitigen WWF-Dokumentation (1996): „Die Gefährdung der Böden in der Schweiz“</p> <p>Grundsätzlich sollte <b>die ganze Schweiz kartiert werden</b>. Die <b>NABO</b>-Standorte sollten <b>erweitert</b> werden, um die verschiedenen Regionen und Nutzungen repräsentativer abbilden zu können.</p> <p><b>Attribut- und Anwendungskarten sind gefragt.</b></p>
<b>Allfällige ökonomische Aspekte</b>	<p>Frage nach der <b>Verfügbarkeit der (teuren) Daten</b> taucht immer wieder auf.</p> <p>Z.B.: Warum stehen Daten, die <b>durch den Bund finanziert werden</b> (NABO), nicht uneingeschränkt zur Verfügung?</p> <p>Dieselbe Frage bezüglich der <b>FFF-Daten</b>: Diese gehören den Kantonen. Werden vom ARE offenbar nicht an NABODAT weitergegeben.</p>

<b>Räumliche Statistik / Boden-Wissenschaften</b>	
<b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b>	<p>Die <b>Datendichte sollte generell erhöht</b> werden. „<b>Alter</b>“ <b>Bodendatenbestand</b> ist z.T. nicht brauchbar, da sich pH und Humusgehalt verändern.</p> <p>Es <b>braucht</b> immer Daten aus dem <b>zu modellierenden Gebiet</b> selbst, um <b>Prognosen</b> machen zu können.</p>
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	<p>Bodendaten werden <b>verarbeitet, nicht genutzt</b>.</p> <p>Benötigtes <b>minimales Bodendatenset</b>: Skelett, Körnung, Gründigkeit, Dichte, Vernässung, Humusgehalt, KAK und pH.</p> <p>Es werden möglichst <b>alle verwendbaren Daten</b> aus Bodenkartierung, KABOs, ART- und WSL-Datensätzen, Geologie, Pflanzensoziologie, DHM, Klima, Spektrometer etc. eingesetzt.</p>
<b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b>	<p><b>Gewünschte weitere Bodendaten</b>: Porengrößenverteilung, Leitfähigkeit, Nährstoffgehalte (P, Kationen). Es ist aber fraglich, wie weit diese Daten in Zukunft zur Verfügung stehen werden.</p> <p>Es ist noch nicht klar, was die „<b>optimale</b>“ <b>räumliche Datendichte ist</b>.</p> <p>Zusätzlich am meisten gefragt sind: <b>Lagerungsdichte</b> und bodenphysikalische Messungen zum <b>Wasserhaushalt</b>.</p>
<b>Priorisierung</b>	<p>Das PMSoil (NFP68-Projekt) ist kein Abschluss. Es werden <b>Folgeprojekte</b> formuliert:</p> <p>Wo bestehen bei der Modellierung <b>Unsicherheiten</b>?</p> <p>Auch <b>dynamische Bodenfunktionen</b> sollen angegangen werden.</p> <p>Für <b>Weiterentwicklung</b> sind nicht die <b>statistischen Methoden</b>, sondern <b>gute Kovariablen, gute Bodendaten</b> gefragt.</p> <p>Zur Koordination der Aktivitäten wäre die (geplante) <b>Bundesinstitution</b> sehr wichtig.</p>
<b>Allfällige ökonomische Aspekte</b>	<p>Wertvoll wären <b>einfachere, billigere Messmethoden</b></p>

<b>Bodenschutz / Forstwirtschaft / Bodenwasserhaushalt</b>	
<b>Anwendungsbereiche Wichtige Erkenntnisse und Hinweise</b>	<p>Im (qualitativen) Bodenschutz geht es bis heute vor allem um die <b>Vermeidung chemischer und physikalischer Schäden</b> bei der Bewirtschaftung; bei schon vorhandenen Beeinträchtigungen um eine <b>Minimie-</b></p>

	<p><b> rung weiterer Schäden.</b></p> <p>Hauptprobleme sind einerseits die <b>Verdichtung des Bodens</b> und auf der anderen Seite die <b>Schadstoffbelastung</b>.</p> <p>Wichtig sind <b>prophylaktische Massnahmen</b>, wie z.B. die Verdichtungsgefährdungskarten.</p> <p>In der Forstwirtschaft sind Bodendaten relevant für die <b>Baumartenwahl</b> bei der Bestandesbegründung. Grundsätzlich auch für alle <b>Wasserhaushaltsaspekte</b>.</p>
<b>Wichtige Bodenparameter</b>	<p>Grundsätzlich <b>alle den Boden beschreibenden Parameter</b>.</p> <p>Spezifisch für <b>Bodenschutz</b>: Bodenart, org. C, pH, WHG... und davon abgeleitete Grössen.</p> <p>Spezifisch für <b>Forstwirtschaft</b>: Bodenart, org. C, pH, WHG, pnG, Skelett... und davon abgeleitete Grössen, mit besonderem Augenmerk auf die <b>Erschliessung des Wurzelraums</b>.</p>
<b>Neue Fragestellungen Zukünftige Entwicklungen</b>	<p>Die Gesetzesgrundlagen für den qualitativen Bodenschutz sind v.a. auf den <b>chemischen</b> und auf den <b>physikalischen Bodenschutz</b> fokussiert. Der biologische Teil ist kaum ein Thema, obwohl er einen wichtigen Teil der <b>Biodiversität</b> ausmacht.</p> <p><b>Für die Forstwirtschaft</b> wird die zukünftige Herausforderung eine auf die laufende Klimaveränderung angepasste <b>Baumartenwahl</b> sein. Hierzu braucht es genaue Kenntnis der Bodeneigenschaften im <b>3-dimensionalen Bodenkörper</b>.</p> <p>Daraus erwächst für beide Bereiche der Bedarf nach einer <b>flächendeckenden Bodenkartierung</b>, zumindest in den <b>Mittelland-Wäldern</b>.</p>
<b>Priorisierung</b>	<p>Erste <b>sachliche und zeitliche Priorität</b> muss der <b>grossmasstäbigen Bodenkartierung</b> zukommen. Die räumliche Auflösung muss eine <b>parzellengenaue Identifizierung</b> der Bodeneigenschaften ermöglichen, ansonsten sie für die meisten unmittelbaren Bodennutzer keinen Wert besitzt.</p> <p>Hohe Priorität kommt auch der <b>Erweiterung des nachhaltigen Bodenschutzes</b> im Sinne der <b>Biodiversität</b> zu.</p>
<b>Allfällige ökonomische Aspekte</b>	<p>Evaluation einer <b>Kosten- / Nutzen-Rechnung</b>, d.h. <b>Erfassung des Mehrwerts</b>, der bei Inanspruchnahme der <b>Nutz- und Schutzfunktionen des Bodens</b> - ermöglicht durch bessere Bodenkenntnis - generiert wird.</p>

## 6 Ergebnis-Matrix

Die nachfolgende Matrix ist das Kernstück der durch die Recherchen des Projektteams herausgearbeiteten Bedürfnisse und dem davon abgeleiteten Bedarf an Bodeninformationen.

### 6.1 Wieso eine Matrix?

Bereits mit den ersten Interviews wurde klar, dass die Ansprüche an bereits vorhandene und der Bedarf an zusätzlichen Bodeninformationen gross sind, dies zudem in einem breiten inhaltlichen Bereich.

Es war auch bald klar, dass die Ergebnisse der Interviews in eine schematisierte Form gebracht werden mussten, um den Überblick über die geäusserten vielgestaltigen Bedürfnisse an Bodendaten nicht zu verlieren.

Es lag daher nahe, die Resultate der Befragungen in Form einer einfachen zweidimensionalen Matrix abzubilden (vollständige Matrix im Anhang 12.3), die den qualitativen wie auch quantitativen Aspekt der angeforderten Bodendaten beleuchtet.

### 6.2 Aufbau der Matrix

#### Vorgehen

Zuerst wurden die in den Interviews gewonnenen Informationen innerhalb der Matrix-Zeilen den zuvor definierten 17 Klassen „Nutzung/Anwendung“ (Buchstaben A - R) respektive den entsprechenden total 62 feiner unterteilenden „Spezifikationen“ zugeordnet, wobei gewisse Spezifikationen unter unterschiedlichen „Nutzung/Anwendung“-Klassen auftreten können, z.B. die Spezifikation „Verdichtungsgefährdung“ sowohl in „A Forstwirtschaft“, „B Landwirtschaft“, „F Bodenschutz“ und „M Infrastrukturanlagen“):

Tab. 4: Nutzungs- und Anwendungsklassen der Auswertungsmatrix

<b>Nutzung/ Anwendung</b>	<b>Code</b>	<b>Spezifikation</b>
A Forstwirtschaft	A1	• Wasserpotential (Bodenwasserhaushalt)
	A2	• Verdichtungsgefährdung
	A3	• Baumartenwahl
	A4	• Filterfunktion (Quell- und Grundwasserschutz)
B Landwirtschaft	B1	• Wasserpotential (Bodenwasserhaushalt)
	B2	• Verdichtungsgefährdung
	B3	• Kalkbedarf
	B4	• Erosionsgefährdung
	B5	• Anthropogene Böden
	B6	• Degradierung organischer Böden
	B7	• Bewässerungsbedürftigkeit / Bewässerungsbedarf
	B8	• Rückstandsproblematik von Hilfsstoffen
	B9	• Bestimmung der Eignungsklassen
C Naturschutz / Biodiversität	C1	• Schaffung von Ruderalflächen
	C2	• funktionale Biodiversität des Bodens
	C3	• Bodendiversität / schützenswerte Böden
	C4	• Bodenfruchtbarkeit
D Siedlung	D1	• schadstoffbelastete Böden / Altlastenflächen
	D2	• FFF am Siedlungsrand → L2
E Ödland	E1	• Erosionsgefährdung
	E2	• Infrastrukturbauten

<b>Nutzung/ Anwendung</b>	<b>Code</b>	<b>Spezifikation</b>
F Bodenschutz	F1	• Bodenfruchtbarkeits-Index als integraler und nachhaltiger Indikator
	F2	• Schadstoffbelastete Böden
	F3	• Verdichtungsgefährdung
	F4	• Erosionsgefährdung
	F5	• Rekultivierung
	F6	• Bodendiversität
G Grundwasser	G1	• Schutzzonen (Fassungsbereiche; Zustrombereiche)
	G2	• Trinkwasserneubildung / Nitratbelastung
	G3	• Vulnerabilität Karst
	G4	• Versickerung
H Hochwasser / -Abfluss	H1	• Wasser-Resorptionsvermögen (maximal und als Variable)
	H2	• Abflussprozess-Charakter (Wasserhaushalt an Grenzschichten)
	H3	• Beeinträchtigungen des Gewässerraums
I Landschaftsschutz / LEK	I1	• Seltene Böden
	I2	• Extreme Standorte
K Geologie / Naturgefahren / Bodenmechanik	K1	• Art und Lage C-Horizont (geolog. Formation, Lithologie)
	K2	• Wasserhaushalt an Grenzschichten (Stauhorizonte / Gleithorizonte)
	K3	• Rutschungen: Bodenmechanische Parameter (Körnung / Gefüge)
L Raumplanung	L1	• Ausscheidung Eignungsklassen in Nichtbaugebiet
	L2	• FFF-Ausscheidung
	L3	• Boden-„Aufwertung“
	L4	• Stadtböden und rezent anthropogene Böden
M Infrastrukturanlagen	M1	• Verdichtungsgefährdung
	M2	• Boden-Wiederherstellung (Textur, pH; Wasserhaushalt)
	M3	• Bodenschutz und Bauen im Berggebiet (alpine Böden) inkl. Rekultivierung
N Meliorationen, Rekultivierungen	N1	• Bodenwasserhaushalt (Wasserpotential)
	N2	• Erhaltung / Wiederherstellung Bodenqualität
O Kulturgüterschutz	O1	• Archäologie / Aufschlüsse und Grabungen
	O2	• Inventar anthropogen gestörter Böden (Artefakte)
	O3	• fossile / reliktsche Böden → Geotope
P Klimawandel	P1	• Wasserhaushalt (Angebot)
	P2	• Wasserhaushalt (Steuergrößen)
	P3	• Allg. Bewässerungsfragen (Bedarf / Dargebot)
	P4	• Modellierung
	P5	• Bewässerung im Berggebiet
Q Umweltdaten / BIS neu	Q1	• Umfassende Boden-Datensammlung / Datenverwaltung
	Q2	• Datenherrschaft / Datenverfügbarkeit
	Q3	• Ökonomische Aussagen zu Boden-Leistungen
	Q4	• Boden-(Umwelt)-Indikatoren
R Digital Soil Mapping	R1	• Modellierung (Kovariablen)
	R2	• Validierung

In einem zweiten Schritt wurden für die spezifizierten Nutzungen in den Matrixspalten gemäss der nachfolgenden Tabelle die aus der Kartierungsmethode FAL+ direkt nutzbaren Attributdaten AD1 bis AD13 zugeordnet, sowie das für einige Anwendungen wünschbare Attribut „AD14 Makroporosität“ (kursiv), das bis heute noch nicht standardmässig erhoben wird.

Dazu wurden einige, auf der Basis von weitergehenden Auswertungen (automatisierte Ent-

scheidungsbaume oder Pedotransferfunktionen) erarbeitete Nutzerdaten (ND1-ND13) in die Matrix aufgenommen, welche heute bereits operabel sind oder zu erarbeiten wären (kursiv gesetzt). Diese Nutzerdaten können in Form von Anwenderkarten (funktionale Bodenkarten) genutzt werden. Diese Liste ist nicht abschliessend und beinahe beliebig erweiterbar.

Tab. 5: Spaltendaten der Matrix

**Spalten: Attributdaten (AD) und davon abgeleitete Nutzerdaten (ND)**

AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt)	Skletgehaltsklasse OB/UB	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Hellige	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodenuntertyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität; Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>eff</sub> )	Nitratrückhaltevermögen	Abflussprozesskarte (teilreich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsgefährdung (ordinaler Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Seltenheit, Naturnähe, Archijunktion etc.

### 6.3 Ausfüllen der Matrix

Im dritten Schritt wurde für jeden Schnittpunkt einer spezifizierten Nutzung mit einem für diese Nutzung sinnvollen Bodenattribut(AD) oder einer weiter entwickelten Nutzerinformation (ND) (s. Spaltenköpfe) eine Bewertung der Datenlage gemäss nachfolgendem Raster vorgenommen:

Tab. 6: Beurteilungsparameter und Codierung

Beurteilungs-Parameter	Parameter-Code und Aussage zu Beurteilungs-Parameter					
<b>Bodendaten-Charakter:</b> Charakter der für die jeweilige Nutzung notwendigen Bodendaten	<b>F</b> <sup>35</sup>	Flächendaten sowie Daten von 5-7 Bodenprofilen/100 ha (entspricht aktuellem Stand der Technik BoKa FAL+)	<b>P</b>	nur Punktdaten (standardmässig gemäss KLABS resp. KA Feld- und Waldböden)	<b>FP</b>	Flächendaten und zusätzliche Punktdaten über die standardmässige Anzahl bei der Flächenkartierung (s. „F“) hinaus.
<b>Auflösung (Ziel-Massstab):</b> <sup>36</sup> für die jeweilige Nutzung erforderliche Auflösung (Massstab)	<b>g</b>	grossmassstäbig: 1:2'500 – 1:10'000	<b>m</b>	mittelmassstäbig: 1:25'000 bis 1:50'000	<b>k</b>	kleinmassstäbig: 1:100'000 und kleiner
<b>Datenverfügbarkeit</b> Beurteilung des Datenzugangs auf der Basis der Bodenkartierungsmethode FAL+ betreffend der spezifizierten Nutzung	<b>1</b>	Daten sind normalerweise uneingeschränkt zugänglich	<b>2</b>	Daten sind mit kleinem Aufwand aus vorhandenen Attributdaten ableitbar	<b>3</b>	Datenbereitstellung bedingt grösseren Aufwand und evtl. Erhebung zusätzlicher Attribut- oder Hilfsdaten

<sup>35</sup> (F) bedeutet: Flächendaten-Erhebung mit einer reduzierten, der spezifizierten Nutzung angepassten Flächen-Ausdehnung

<sup>36</sup> Wenn keine Flächenkartierung erforderlich ist (nur Profildaten P) wird das Feld für die „Auflösung (Ziel-Massstab)“ mit „-“ ausgefüllt.

<b>Beurteilungs-Parameter</b>	<b>Parameter-Code und Aussage zu Beurteilungs-Parameter</b>													
<b>Räumliche Zuordnung</b> Zuweisung der für die jeweils spezifizierte Nutzung relevanten Zonen	<b>T</b>	Talgebiet, umfassend Tal- und Hügelzone	<b>TB1</b>	Talgebiet, umfassend Tal- und Hügelzone; sowie Bergzone I	<b>B</b>	Berggebiet, umfassend Bergzone I - IV	<b>Sö</b>	Sömmerungsweiden; alpwirtschaftliche Nutzflächen in den Alpen und im Jura	<b>WM</b>	Mittelland-Wälder	<b>WA</b>	Wälder im Jura, in den Voralpen und in den Alpen	<b>Si</b>	Siedlungsgebiete

### Beispiele typischer Kombinationen im Bewertungsraster der Matrix

Es bedeuten z.B. die Parameter-Kombinationen „**F,g,1,T**“ resp. „**F,g,1,WM**“, die häufig bei grossflächigen Bodennutzungen vorkommen (in Landwirtschaft im Talgebiet [T] resp. Forstwirtschaft im Mittelland [WM]), dass Flächendaten [F] (inkl. Profildaten von 5-7 Profilen/100 ha), die bei Anwendung der FAL-Bodenkartierung+ normalerweise uneingeschränkt zugänglich sind[1], grossmassstäbig [g] (Massstab 1:2'500 bis 1:10'000) für die jeweilige, spezifizierte Nutzung benötigt werden.

Die Kombination „**(F)P,g,1,T/WM**“ (bei „G1 Grundwasser / Schutzzonen“) weist darauf hin, dass für die Ausscheidung der Grundwasserschutzzone im Talgebiet [T] oder in einem Mittelland-Wald [WM] allenfalls nur eine beschränkte Flächenkartierung, [(F)], ansteht, diese aber eventuell mehr Profildaten [P] als bei der standardmässigen Kartierung benötigt. Die Beschaffung der Bodeninformationen ist grossmassstäbig [g] durchzuführen und die Daten sind bei Anwendung der FAL-Bodenkartierung+ normalerweise uneingeschränkt zugänglich[1].

Eine Kombination „**P,-,1,alle**“ (bei „C3 Bodendiversität / schützenswerte Böden“) deutet darauf hin, dass vor allem auf einzelne Standorte mit Profilingaben [P] fokussiert wird, die Flächenaussage meist eine untergeordnete Rolle spielt und daher auch die Massstabsfrage [-] unerheblich ist. Die standardmässigen Profilaufnahmen genügen in der Regel zur Beschreibung solcher Standorte [1] und die Möglichkeit, solche schützenswerte Böden anzutreffen, ist in allen Gebieten oder Zonen gegeben [alle].

Ein Auszug aus der im Anhang 12.3 vorhandenen vollständigen Matrixtabelle ist im folgenden Kap. 6.4 aufgeführt und erlaubt eine Angewöhnung an das „Lesen“ dieser **Matrix, die in konzentrierter Form das Gesamt-Ergebnis der vorgenommenen Bedürfnisabklärung beinhaltet.**

### 6.4 Beispiele aus der Auswertungsmatrix

Anhand einiger ausgewählter Nutzungsspezifikationen wird im Folgenden die Lesart der Matrix erläutert:

Nutzung / Anwendung ↓	Code Spezifikation	Spezifikation ↓	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A Forstwirtschaft	A3	• Baumartenwahl	Wasserhaushaltsgruppe																									
			Körnungen % OB/UB																									
B Landwirtschaft	B6	• Degradierung organischer Böden	Gründigkeit (Gesamt-)																									
			Skelettklassenge OB/UB																									
F Bodenschutz	F3	• Verdichtungsgefährdung	Pflanzennutzbare Gründigkeit																									
			Karbonatgehalt / -grenze																									
G Grundwasser	G2	• Trinkwasserneubildung / Nitratbelastung	pH Hellige																									
			Org. Substanz																									
L Raumplanung	L2	• FFF-Ausscheidung	Gefüge																									
			Humusform Wald (Bodentyp) / Bodenuntertyp																									
			Geolog. Ausgangsmaterial																									
			Landschaftselement																									
			Makroporosität																									
			Bodenart OB/UB																									
			Effektive Lagerungsdichte																									
			Verdichtungsempfindlichkeit																									
			Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)																									
			Feldkapazität, Permanenter Weikepunkt PWP, nFK																									
			Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>eff</sub> )																									
			Nitratrückhaltevermögen																									
			Abflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)																									
			FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)																									
			Schadstoffbelastung																									
			Versauerungsgefährdung (Ordinärer Wert für Basensättigung und Karbonat)																									
			Bodenfruchtbarkeitsindex																									
			Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Seitenheit, Naturnähe, Archivfunktion etc.																									
				F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	
				g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	
				(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	(F)	
				g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	
				(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	(F)P	
				g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM	WM
				F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	
				g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	g	
				1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
				T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	
				M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	

Nutzung / Anwendung	Code Spezifikation	Spezifikation	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
			Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt)	Skelettklassengruppe OB/UB	Pflanzen nutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Hellige	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodentyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFK <sub>eff</sub> )	Nitratreuevermögen	Ablflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pHG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsfähigkeit (ordinaler Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Sauerheit, Naturnähe, Archivfunktion etc.
P Klimawandel	P3	• Allg. Bewässerungsfragen (Bedarf / Dargebot)	(F)P g/m 1 TB1	(F)P g/m 1 TB1		(F)P g/m 1 B1							(F)P g/m 1 TB1			(F)P g/m 1 TB1	(F)P g/m 1 TB1			(F)P g/m 2 TB1	(F)P g/m 2 TB+								

**A3 Baumartenwahl:** Wichtig sind alle den Pflanzenstandort beschreibenden Parameter, vor allem die Wasserhaushaltsgrössen; flächendeckend; grossmasstäbig; es sind leicht zugängliche Daten; dies für alle Mittellandwälder.

**B6 Degradierung organischer Böden:** Wichtig sind die den Wasserhaushalt und die organische Substanz beschreibenden Attributdaten, es müssen zusätzliche Nutzerdaten hergeleitet werden; auf beschränkter Fläche; grossmasstäbig; meist in Talzone.

**F3 Verdichtungsgefährdung:** Wichtig sind die den Wasserhaushalt beschreibenden Attribute, die es erlauben, durch eine Pedotransferfunktion (PTF) die Verdichtungsempfindlichkeit zu bestimmen; Flächendaten; grossmasstäbig; im Talgebiet und in den Mittellandwäldern.

**G2 Trinkwasserneubildung / Nitratbelastung:** benötigt nebst den standardmässig erhobenen Attributdaten weitere Informationen aus Pedotransferfunktionen, zusätzlich wird noch ein schwierig zu erhebender Parameter (Makroporosität) benötigt; zu definierende begrenzte Flächen, z.T. nur Punktdaten; grossmasstäbig; meist im Talgebiet (inkl. Hügellzone) und in Mittellandwäldern.

**L2 FFF-Ausscheidung:** definierte Parameter gemäss Vollzugshilfe 2006, Sachplan Fruchtfolgeflächen; dazu PTF zu nutzbarer Feldkapazität; Flächendaten; grossmasstäbig; Talgebiet (inkl. Hügellzone).

**P3 Allg. Bewässerungsfragen (Bedarf / Dargebot):** wichtig sind vor allem die Wasserhaushaltsgrössen, dazu die jeweils spezifischen, den Wasserhaushalt dynamisch beschreibenden pF-Kurven (PTF), die eine Beurteilung des Bewässerungsbedürfnisses resp. des -bedarfs erlauben. Dies auf ausgewählten Flächen; gross- bis mittelmassstäbig; anzuwenden von Talzone bis Bergzone 1.

## 6.5 Ergebnisse der Auswertungsmatrix

### Häufigkeit nachgefragter Attributdaten

Bezüglich der Häufigkeit der nachgefragten, direkt abrufbaren Attributdaten liegen die Wasserhaushaltsgruppe, die Körnung, der Skelettgehalt, die pflanzennutzbare Gründigkeit, zusammen mit dem Bodentyp/Bodenuntertyp deutlich voraus, was nicht überraschend ist. Wasserhaushaltsgrößen sind qualitativ und quantitativ direkt von der erschlossenen Gründigkeit<sup>37</sup> (Bodenmächtigkeit) resp. der davon ableitbaren pflanzennutzbaren Gründigkeit abhängig. Dadurch wird auch der für das maximale Wasserangebot relevante Bodenkörper definiert.

Diese Informationen sind für sehr viele Boden-Nutzungen und verwandte Fragestellungen (z.B. im Bodenschutz oder bei der Grundwasserbewirtschaftung) von grosser Wichtigkeit, zunehmend auch im Zusammenhang mit Bewässerungsfragen.

Die übrigen in der Matrix aufgeführten Attributdaten sind nicht generell, aber fallweise, sehr wichtig und erlauben eine breit abgestützte Beurteilungsbasis für viele Anwendungsgebiete.

### Häufigkeit nachgefragter Nutzerdaten

Bei den Nutzerdaten sticht die Bodeneigenschaft „Bodenart“ deutlich hervor, wobei diese eigentlich einem Attributdatum entspricht, da sie lediglich die Kombination der Attributdaten der Feinerdeanteile im Körnungsdreieck wiedergibt.

Als eigentlich häufigstes Nutzerdatum sticht die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum  $nFK_{Weff}$  hervor: Es ist die wichtigste summarisch-quantitative Bodeneigenschaft bezüglich des Wasserhaushalts. Etwa mit gleicher mittlerer Häufigkeit erscheinen die effektive Lagerungsdichte, die Eckwerte der pF-Kurve (FK, PWP, nFK) sowie die Verdichtungsempfindlichkeit und die Sorptionsfähigkeit für Schadstoffe.

Es werden auch Nutzerdaten genannt, die aktuell noch nicht mit den an sich bekannten Pedrotransferfunktionen operabel gemacht wurden.

## 6.6 Einige nachgefragte, noch nicht nutzbar gemachte Bodeninformationen

Im Laufe der Interviews wurden auch mögliche Dateninhalte thematisiert, die über den im Rahmen der FAL-Kartierung+ (heutiger Stand der Technik bei der flächenhaften Beschaffung von Bodeninformationen) erhobenen Datensatz hinausgehen.

Dazu gehören zum Beispiel:

- **Mächtigkeit** (Gesamt-Gründigkeit): Vor allem im Zusammenhang mit Wasserabflussprozessen oder Grundwasserschutzfragen ist die Bodenmächtigkeit (Gesamt-Gründigkeit), ungeachtet der für die Berechnung der pflanzennutzbaren Gründigkeit relevanten Abzüge, ein wichtiger Parameter, da sie z.B. die Sickerstrecke für das Wasser im Boden definiert.

Die Mächtigkeit könnte auch als zusätzlicher Parameter zur Abschätzung der maximal erschliessbaren Bodentiefe für Wurzeln einen Hinweis geben.

Dieses Attribut ist an sich „inhärent“ schon vorhanden, indem es als Ausgangsparameter für die Bestimmung des Standard-Attributs „pflanzennutzbare Gründigkeit“ dient. Es braucht lediglich eine Ergänzung des Standard-Datenmodells.

---

<sup>37</sup> Das Attribut „(Gesamt-)Gründigkeit“ ist ein Ausgangsparameter für die Bestimmung des Standard-Attributs „pflanzennutzbare Gründigkeit“ und wird bei der Flächenkartierung im Feld direkt zu deren Berechnung verwendet. Deshalb erscheint es in aller Regel nicht in der Standard-Attributtabelle der Flächenkartierung.

- **Makroporosität:** Dieser Summenparameter umschreibt die für einen schnellen Versickerungsvorgang verantwortlichen weiten Grobporen der Matrix und die Makroporen des sekundären Porensystems, also Wurzelkanäle, Wurmröhren, Spalten, Trockenrisse etc., die durch die schnelle Entwässerung u.a die Filterwirkung des Bodens massiv herabsetzen. Die Infiltration bei Starkregen erfolgt zunächst chaotisch und führt in der ersten Phase der Sorption zu einer höchst unterschiedlichen Wassergehaltsverteilung im Boden.  
Es sind Themenkreise wie Grundwasserbewirtschaftung, Abfluss- und Rutschungsprozesse etc., für die dieser Parameter von grosser Wichtigkeit wäre.  
Bereits erfolgte Versuche im Rahmen der Feldebodenkartierung, zumindest die Grobporenhäufigkeit oder Regenwurmaktivitäten zu bestimmen, zeigten, dass solche Parameter ein stark wechselndes und zudem auch saisonal abhängiges Verhalten zeigen, und sich so kaum für eine aussagekräftige Charakterisierung eignen. Dieser Frage sollte gleichwohl weiter nachgegangen werden.
- **Versauerungsgefährdung:** Die Überschreitung der spezifischen Pufferkapazitäten des Bodens führt zu mannigfaltigen Prozessen von der Beeinträchtigung der Mikroorganismen über das Zerlegen der Tonminerale durch Kationentausch und Auswaschung, allenfalls auch zu Aluminium-Toxizität und Auswaschung von Schadstoffen, v.a. von Schwermetallen. Eine funktionale Bodenkarte auf dieser Basis kann vor allem für Waldböden sinnvoll sein.  
Dieses Attribut kann durch eine Pedotransferfunktion auf der Basis vorhandener Attributdaten berechnet werden.
- **Bodenfruchtbarkeitsindex:** Dieser Vorschlag aus der Interview-Runde ist eine interessante Idee für ein „integrales“ Qualitätsmerkmal der sogenannten Bodenfruchtbarkeit. Diese ist eine wichtige Grundlage für den Vollzug des Bodenschutzes im Rahmen der gesetzlichen Anforderungen aus der Umweltschutzgesetzgebung.  
Einen Hinweis in diese Richtung gibt das in Deutschland angewendete SQR (Soil Quality Rating), wobei sich dieses vor allem auf das landwirtschaftliche Ertragspotential bezieht. Der Ansatz mit einer Faktorenkombination von wesentlichen bodenkundlichen Parametern könnte aber einen analogen Weg zur Schaffung eines Bodenfruchtbarkeitsindex aufzeigen.

## 7 Wichtigste generelle Aussagen zur Bedürfnisabklärung

Die Ergebnisse der Bedürfnisabklärung mittels Interviews können in einer ersten Zusammenfassung und basierend auf der Analyse der Matrix wie folgt zusammengefasst werden:

Tab. 7: Wichtigste generelle Aussagen zur Bedürfnisabklärung

Thema:	Generelle Feststellung
<i>Aussage in den Interviews</i>	<b>Bodeninformationen</b> sind für fast alle mit Boden verbundenen Forschungs- und Arbeitsgebiete <b>wichtig und notwendig</b> .
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Es besteht ganz offensichtlich ein grosser Bedarf an <b>detaillierten Bodendaten</b> . Als ebenso wichtig werden, soweit möglich, die auf <b>Bodenattributen abgestützten</b> Beschreibungen der wichtigsten <b>Bodenprozesse</b> erachtet.
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	Der an sich erkannte Nutzen von Bodendaten muss <b>deutlicher artikuliert</b> werden. Die <b>Kommunikation</b> zum Boden als wichtiger <b>Teil des Ökosystems</b> und damit auch zu dessen durch Daten belegten Eigenschaften muss verbessert werden.

Thema:	Räumliche und inhaltliche Auflösung
<i>Aussage in den Interviews</i>	Grundsätzlich sind in fast allen angesprochenen Fachbereichen <b>Detailinformationen</b> mit einer <b>räumlichen und inhaltlichen Auflösung auf Parzellenebene</b> gefragt.
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Kleinmassstäbige Übersichten werden eher selten angefordert, meist geht es um gewünschte Angaben im Massstabsbereich zwischen <b>1:5'000 und 1:10'000</b> , eher selten <b>bis zu 1:25'000</b> . Dem <b>Unterboden</b> (d.h. der Ausdehnung des Bodens in der 3. Dimension) wird oft <b>zu wenig Beachtung geschenkt</b> .
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	Die Bodeninformationsbeschaffung von <b>Bodenflächendaten im grossmassstäbigen Bereich</b> hat hohe Priorität. Auf politischer Ebene muss der Wert von <b>Bodendaten für eine nachhaltige Nutzung sowie für den Schutz</b> des Bodens hervorgehoben werden.

Thema:	Flächendeckende Datenerhebung
<i>Aussage in den Interviews</i>	Daten müssen, wenn schon erhoben, <b>flächendeckend</b> vorliegen. Es gibt nur wenige Ausnahmen zu diesem Anspruch.
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Die Grundlage zur Erhebung von Detail-Bodeninformationen ist durch die <b>FAL-Kartiermethode+</b> (aktueller Stand der Technik) vorhanden. Die Erweiterung des Datensatzes ist jederzeit möglich (z.B. und oft genannt: die Makroporosität).
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	Es braucht (zumindest im Mittelland) detaillierte <b>flächendeckende</b> Bodeninformationen. Bislang nicht kartierte Flächen sind <b>gemäss</b> noch zu definierenden (regionalen oder inhaltlichen) <b>Prioritäten</b> zu kartieren.

Thema:	<b>Attribute und ihre Bedeutung für Anwendungen</b>
<i>Aussage in den Interviews</i>	Wichtigste Bodenattribute sind die <b>pflanzennutzbare Gründigkeit</b> , die <b>Bodenmächtigkeit</b> und die <b>Wasserhaushaltsgruppen</b> . Dazu auch Angaben zur <b>Bodenart</b> im OB/UB
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Angaben zum Wasserhaushalt sind wichtig im Hinblick auf <b>Hochwasservorausagen</b> , saisonale <b>Trockenheit</b> , für die <b>Bewässerungsbedürftigkeit</b> , aber auch betreffend <b>Verdichtungsempfindlichkeit</b> des Bodens.
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	Diese Attribute können aktuell nur durch flächendeckende <b>Detaillkartierungen</b> gewonnen werden. Hinweise auf diese <b>Nutzeransprüche</b> sind verstärkt zu betonen und/oder überhaupt bekannt zu machen.

Thema:	<b>Hydrologie</b>
<i>Aussage in den Interviews</i>	Die Hydrologie verlangt zudem nach Angaben zur <b>Porosität</b> , im speziellen zur <b>Makro-Porosität</b> des Bodens.
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Makro-Porosität war bislang <b>nicht Teil des Grunddatensets</b> der Bodenkartierung FAL+; deren Erhebung wurde früher aber bereits versuchsweise getestet.
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	<b>Schwierig zu erhebender Parameter</b> . In bereits kartierten Gebieten wird es kaum möglich sein, die Makro-Porosität nachträglich flächendeckend zu bestimmen. Erneut <b>Abklärungen treffen bezüglich Erhebung</b> dieses Attributs. Bis heute keine befriedigenden Methoden bekannt.

Thema:	<b>Lebensraum Boden</b>
<i>Aussage in den Interviews</i>	Mehrfach bemängelt wird das weitgehende Fehlen von Angaben zum <b>Boden als Lebensraum</b> und damit auch zu dessen Beitrag zur <b>Biodiversität</b> .
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Die Bodenqualität resp. <b>Bodenfruchtbarkeit</b> rückt stärker in den Fokus. Angaben dazu fehlen fast vollständig.
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	Im Zusammenhang mit den Bemühungen, die Biodiversität zu erfassen und zu erhalten, werden auch <b>Angaben zum Boden immer wichtiger</b> . Angesprochene Problematik artikulieren und <b>bewusster in die Biodiversitätsdiskussion einbringen</b> .

Thema:	<b>Modellansätze</b>
<i>Aussage in den Interviews</i>	<b>Modellansätze</b> für die Gewinnung von Bodenflächendaten sind in der Praxis noch <b>weitgehend unbekannt</b> . Praktiker glauben (zumindest bis heute) noch nicht daran, dass die Gewinnung von verlässlichen Detailbodendaten durch Modellierung geleistet werden kann.
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Angaben aus Modellierungen sind - gemäss heutigem Kenntnis-Stand - für den im Allgemeinen <b>geforderten Auflösungsgrad der Detailbodeninformationen noch nicht verwendbar</b> ; eine Validierung fehlt (noch). Die tatsächliche Aussagekraft beschränkt sich momentan auf die <b>überregiona-</b>

	<b>le/nationale Ebene</b>
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	<p>Es braucht offensichtlich <b>noch weitere Erfahrungen mit Modellierungsansätzen</b>, bis diese soweit gediehen sind, um die feldgestützte Datengewinnung nach heutigem Stand der Technik ergänzen zu können.</p> <p>Es wird zudem darauf verwiesen, dass es grundsätzlich <b>verschiedene Modell-Ansätze</b> gibt, an denen gearbeitet wird..</p> <p>Resultate der Methoden-Entwicklungen abwarten, Validierungen ausstehend.</p> <p><b>Operabilität für Herleitung grossmassstäbiger Bodeninformationen</b> heute noch nicht gegeben.</p>

Thema:	<b>Bodenfunktionen</b>
<i>Aussage in den Interviews</i>	<b>‚Bodenfunktionen‘ sind für die Interviewten begrifflich unklar</b> , sie liegen auf einer Meta-Ebene und werden von den meisten Befragten –ausgenommen-als Informationsquelle in deren spezifischen Arbeitsbereichen als <b>nicht relevant</b> bezeichnet.
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Die Bewertungsansätze <b>verwirren</b> bei den Interviewten eher, als dass sie klärend wirken. Die Daten-Nutzer bewegen sich in der Regel immer nur in einem bestimmten „Bodenfunktionsraum“ und nicht in mehreren.
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	Bodenfunktionen geniessen offensichtlich vor allem auf <b>übergeordneten Planungsebenen</b> eine gewisse Beachtung. Für die praktische Arbeit von Bodennutzern und -schützern sind sie ohne Bedeutung, dort werden <b>funktionale Anwen-derkarten verlangt</b> .

Thema:	<b>Berggebiet</b>
<i>Aussage in den Interviews</i>	Im <b>Berggebiet</b> erschwert die kleinräumige grosse <b>Heterogenität</b> der Böden die Erfassung von Boden-Informationen, die jeweils spezifisch einem Polygon zuordnungsbar wären. Die Daten-Erfassung ist aufwendig und verlangt nach einer „ <b>alpin</b> “ <b>ausgerichteten Methodik</b> .
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Im Berggebiet müssen bezüglich der Datenerhebung <b>alternative Methoden</b> ins Auge gefasst werden; es bestehen zum Teil auch <b>andere Ansprüche und Bedürfnisse als im Mittelland</b> , auch bezüglich der Massstäbe.
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	Die jeweiligen Fragestellungen von Projekten oder Untersuchungen werden dort als Einzelfälle betrachtet und werden dementsprechend <b>ortsspezifisch angegangen</b> . Dies bedingt ein anderes, <b>angepasstes Vorgehenskonzept</b> , auch bezüglich Kartierung und Klassifikation. <b>Erfahrene praktische Alpin-Bodenkundler beiziehen!</b>

Thema:	<b>Waldböden</b>
<i>Aussage in den Interviews</i>	<b>Waldböden sind ebenso wichtig</b> wie Landwirtschaftsböden. Auch sie sind zu kartieren. Gerade im Zusammenhang mit den sich anbahnenden <b>Klimaveränderungen</b> kommt bezüglich <b>forstwirtschaftlicher Entscheidungsprozesse</b> dem Boden eine zentrale Rolle zu.
<i>Beurteilung der</i>	Bislang wurden nur sehr wenige Wälder flächenhaft kartiert (Kantone SO, VD und

<i>Aussage</i>	nun ZH). Für die <b>Trinkwassergewinnung</b> und die standortgerechte <b>Waldbewirtschaftung</b> sind Kenntnisse der Bodeneigenschaften im Wald ausschlaggebend, vor allem bezüglich der <b>dritten (Wurzelraum) und vierten Dimension (langfristige Veränderungen)</b>
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	Waldböden sind mit <b>gleicher Wichtigkeit</b> und <b>Dringlichkeit</b> wie die Landwirtschaftsböden zu behandeln. Wichtig ist der <b>Einbezug der Forstdienste</b> , sowohl auf Bundes- wie auch auf Kantonsebene.  Information der Forstdienste über die Vorzüge einer Bodenkartierung hinsichtlich der <b>dreidimensionalen Aussagekraft</b> solcher Bodendaten und als Basis für Überlegungen zu den <b>Voraussetzungen für den Wald unter Klimaänderungen</b> (Jahrhundert-Perspektive!)

Thema:	<b>Schutzwald / Rutschungen, gerinne-relevante Prozesse</b>
<i>Aussage in den Interviews</i>	Im <b>Schutzwald</b> steht heute <b>der Schutz vor Rutschungen</b> im Vordergrund, in geringerer Masse auch vor <b>Lawinen</b> und <b>Steinschlag</b> . Es geht also um Materialeintrag, resp. um sogenannte <b>gerinne-relevante Prozesse</b> .  In den Mittelland-Kantonen erfolgt die Kartierung der Waldböden, wenn überhaupt, gemäss der <b>FAL-Kartiermethode+</b> .
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Den Bodendaten wird im Schutzwald eine eher <b>sekundäre Bedeutung</b> zugemessen.  Bei der im Schutzwald in der Regel zum Einsatz kommenden NaiS-Methode besteht der Nachteil, dass die für viele Prozesse wichtigen Parameter im <b>Unterbodenbereich</b> nur unvollständig erfasst werden.
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	Das <b>NaiS-Konzept</b> kommt zukünftig auch in den Schutzwäldern im Mittelland und im Jura zur Anwendung. Damit können jedoch nicht alle Fragestellungen bei der Waldbewirtschaftung ausreichend tief beantwortet werden.  Um den kommenden Herausforderungen des Klimawandels vorbereitet begegnen zu können, sind die Waldböden, vornehmlich im Mittelland, flächenhaft pedologisch zu erfassen. <b>Bodenkartierung im Wald ist zu fördern.</b>

Thema:	<b>Kosten</b>
<i>Aussage in den Interviews</i>	Es herrscht oft die Auffassung vor, die <b>Erhebung von Bodendaten sei kostenintensiv und „zu teuer“</b> .
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Der Aufwand für eine Bodenkartierung ist im Vergleich zum <b>Ertrag und zum Bodenwert eines Landwirtschaftsbodens</b> marginal.  Im <b>Wald</b> ist eine Bodenkartierung allein durch die <b>ökologische Leistung des Waldbodens</b> (Filter, CO <sub>2</sub> -Speicher, Erosionsschutz) – dies nebst einem allfälligen Holzerlös - längst abgegolten.
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	Es soll aufgezeigt werden, dass <b>Bodendaten Grundlageninformationen</b> sind, gleichgestellt den geologischen Daten, Luft- und Wasserdaten etc. Diese Aufwände werden im Interesse der Sache als gerechtfertigt erachtet. <b>Gleiches muss für den Boden gelten.</b>

	Die <b>Korrektur</b> der an sich bekannten, verzerrten Wahrnehmung des Bodens, die sich auf „Dreck“, Bauland etc. beschränkt, muss <b>aktiver angegangen werden</b> .
--	---

Thema:	<b>Ökonomische Betrachtung</b>
<i>Aussage in den Interviews</i>	Den <b>Kosten für die Gewinnung</b> von Boden-Daten sind die <b>Leistungen</b> gegenüber zu stellen.
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Böden erbringen grosse Leistungen, bereits durch ihr Dasein als wichtiger Teil des Ökosystems: Stoffkreislauf, Regeneration, Speicher. Diese Leistungen wurden <b>bislang kaum quantifiziert</b> .
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	Die nachhaltigen Leistungen des Bodens sind <b>ökonomisch zu bewerten</b> und es ist auf eine entsprechende <b>Abgeltung</b> hinzuwirken. Konkrete Projekte formulieren zwecks <b>Umsetzung der volkswirtschaftlichen Bewertung der Boden-Leistungen</b> . Hinweis auf den „ <b>Willingness-to-pay</b> “-Ansatz!

Thema:	<b>Datenverfügbarkeit</b>
<i>Aussage in den Interviews</i>	Die <b>Datenverfügbarkeit</b> und der <b>Datenzugang</b> zu den Bodendaten sind ungenügend und hinderlich für weitergehende Anwendungen oder Nutzungen.
<i>Beurteilung der Aussage</i>	Es wird darauf hingewiesen, dass im Rahmen von bodenrelevanten Arbeiten der <b>Zugriff auf bereits bestehende Datenquellen</b> wünschenswert wäre, ein solcher Zugriff aber, trotz Aarhus-Konvention von der Datenherrschaft nicht immer gewährt werden kann.
<i>Folgerungen und Empfehlungen</i>	Das Problem des von einigen Interviewten bemängelten schlechten Datenzugangs zu den <b>von öffentlichen Institutionen erhobenen Bodendaten</b> ist komplex und betrifft Fragen des Öffentlichkeitsprinzips, des Datenschutzes und der Sicherung von Datenreihen. Ein <b>nationaler Datensatz</b> ist in Vorbereitung.

## 8 Ökonomische Überlegungen und Aspekte

### 8.1 Kosten und Nutzen von Bodeninformationen

#### **Bodendaten sind (zu) teuer!**

Die Aussage „Bodendaten sind zu teuer!“ provoziert die Frage: Zu teuer? Bezogen auf was und für wen?

Die Beschaffung von Bodeninformationen verursacht Kosten. Lässt sich den monetär fassbaren Kosten kein monetär unmittelbar fassbarer Nutzen gegenüberstellen, droht dieser bei der politischen Entscheidung nicht adäquat berücksichtigt zu werden. Dies erschwert im politischen Prozess die nötige Mehrheitsfindung für den vermehrten Schutz der Böden resp. für die Kostendeckung zur Erarbeitung der dazu notwendigen Bodeninformationen.

#### **Schonung von Umweltressourcen dank detaillierter Bodendaten**

Detaillierte Bodeninformationen werden von verschiedenen Fachbereichen angefordert:

- zur Prävention/Verminderung von Umweltschäden durch Hochwasser, Rutschungen, Sturmschäden etc. und der damit verbundenen Ertragsausfälle und Folgekosten.
- für eine auf die lokal vorhandenen Bodeneigenschaften abgestimmte Bewässerung, die zur Verminderung von Wasserverbrauch und damit zu einer Kostenoptimierung führt.
- Für eine ressourcenschonende Realisierung von Planungsaufgaben wie Bewässerungen, Baumartenwahl, Hochwasserschutz auf der Basis von qualitativ guten Bodeninformationen (z.B. Körnung in Ober- und vor allem auch Unterboden).
- Von Seiten der Raumplanung kann dank detaillierter Bodendaten eine klügere Allokation der Bodennutzung erfolgen.

#### **Geschädigte Böden sind nicht mehr funktionstüchtig**

Ein beeinträchtigter oder gar geschädigter Boden ist eine nicht mehr voll funktionstüchtige Lebensgrundlage und beeinflusst viele Funktionen des Bodens.

Dies kann bedeuten:

- Reduzierte Ertragskraft oder Ertragsausfälle (reduzierte landwirtschaftliche und forstliche Produktion).
- Reduzierte oder nicht mehr vorhandene Schutzfunktion (Hochwasser, Rutschungen, Murgänge etc.).
- Beeinträchtigte Regulierungs- und/oder Schutzfunktion in Wasserkreisläufen (Wasserangebot Pflanzen, Filterung des Niederschlagswassers, Retention, GW-Neubildung etc.).

Anders als beispielsweise beim Trinkwasser sind die Auswirkungen einer Bodenverdichtung oder Bodenverschmutzung auf die verschiedenen Ökosysteme weitgehend unklar. Es ist jedoch unbestritten, dass viele Bodenschäden durch die Ergreifung von Massnahmen, die auf der Basis von detaillierten Bodendaten stünden, vermieden werden könnten.

### 8.2 Mit Bodendaten Böden erhalten und Kosten senken

Durch Bodendaten werden die Eigenschaften des Bodens als wichtigstes Produktionsmittel im Primärsektor (Urproduktion) erschlossen und können so nutzbar gemacht werden.

Durch die Kenntnis solcher spezifischer Bodendaten wird eine umweltgerechte und ressourcen-effiziente Produktion ermöglicht, z.T. mit Minder-, z.T. aber auch mit Mehraufwand (s. nachfolgende Kapitel 8.2.1 und 8.2.2).

### 8.2.1 Landwirtschaft

Tab. 8: *Ökonomische Auswirkungen einer bodendaten-gestützten Landwirtschaft*



## 8.2.2 Forstwirtschaft

Tab. 9: *Ökonomische Auswirkungen einer bodendaten-gestützten Forstwirtschaft*

Bodenschonender Maschineneinsatz (Vermeidung von Bodenschäden) → keine Beeinträchtigung der Natur-Verjüngung und späteres uneingeschränktes Baumwachstum → kein Minderertrag



Optimale Baumartenwahl mit Prospektivcharakter angesichts der zu erwartenden Klimaveränderung → Erhaltung der Wirtschafts-, Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes (bis heute ohne entsprechende oder nur minimale Abgeltung der diesbezüglich erbrachten Leistungen).



Bessere Kenntnis lokaler Bodeneigenschaften verhindert Umweltschäden durch bessere Prävention von Hangrutschungen, Murgängen, Hochwasser, Sturmschäden und deren Externalisierung der Kosten.



## 8.2.3 Kommentar

Die meisten der durch eine schonungsvolle Bewirtschaftung des Bodens erbrachten Leistungen von Land- und Forstwirtschaft für die Allgemeinheit werden bis heute nicht abgegolten. So werden zum Beispiel der Schutz vor Naturgefahren oder die angebotene Erholungsfunktion, Leistungen die der gesamten Bevölkerung zukommen, in der Volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung nicht berücksichtigt. Ebenso wenig wird die Leistung des Waldbodens als Filter für das zukünftige Trinkwasser, das aus dem Grundwasserstrom oder einer Quelle geschöpft wird, vergütet<sup>38</sup>.

<sup>38</sup> Rigling A., Schaffer H.P., (Eds.): Waldbericht 2015. Bundesamt für Umwelt, Bern, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 144 S.

### 8.3 Bodendaten: Nachfrage und Angebot? - Ergebnisse aus den Interviews

Die Ergebnisse aus den Interviews zu den Bedürfnissen der Bodennutzer weisen auf einen grossen Bedarf und auf eine entsprechend grosse Nachfrage (vor allem) nach grossmassstäbigen Bodendaten und -karten hin.

Die bei den Interviewten immer wieder aufgetauchte Frage war: Wann liegen die im Rahmen der Bedürfnisabklärung genannten Bodeninformationen vor? Und: Wann beginnt ihr endlich zu kartieren?

Diese geforderte Datenerhebung ist an die Bereitstellung der notwendigen Mittel gebunden, also an eine gesicherte Finanzierung und an genügend vorhandenes Fachpersonal.

Grossmassstäbige Bodenkartierungen (mit grosser räumlicher Auflösung) sind relativ kostenintensiv. Es ist vor allem die dritte Dimension des Bodenkörpers, die nur sehr aufwendig zu erheben ist. Gerade diese dritte Dimension (vertikale Erschliessung des Bodenkörpers) ist aber direkt mit den wichtigsten Bodenattributen verbunden, die immer wieder angefordert werden, so z.B. Boden-Mächtigkeit und –Gründigkeit, sowie alle spezifischen Wasserhaushaltsgrössen.

### 8.4 Aufwand vs. Ertrag

Die Frage des Aufwandes bei der Durchführung von Bodenkartierungen wurde bereits im Bericht BGS ‚Bodenkartierung Schweiz‘ (2014)<sup>39</sup> thematisiert:

*Bei der Planung von Bodenkartierungsprojekten rückt meist recht schnell die Frage der Finanzierung resp. des finanziellen Aufwandes in den Vordergrund. Dies ist nachvollziehbar und gehört zu einer seriösen Projekt-Evaluation. Ebenso zwingend ist jedoch auch die Frage nach dem Ertrag, den dieser Aufwand zu erzeugen vermag.*

*Beim heutigen Stand alternativer Methodenentwicklungen ist es vorderhand sinnvoll, eine Realität, wie sie der Boden darstellt, auch real zu erkunden und die erhobenen Basisdaten anschliessend in der durch den Aufnahmemassstab gegebenen hohen Auflösung zu sichern und darzustellen.*

#### 8.4.1 Aufwand und Ertrag bei Bodenkartierung „state of the art“

Eine Bodenkartierung „state of the art“ (FAL-Kartiermethode+) kostet, auf die Forst- und Landwirtschaft bezogen, pro ha einmalig rund Fr. 400.-/ha, also 0.04 Fr./m<sup>2</sup> und damit rund 10% eines Brutto-Jahreserlöses/m<sup>2</sup> in der Landwirtschaft.

Dies wird oft als „teuer“ empfunden, da die unmittelbar anfallenden Kosten bei solchen Kartierungen (die meist nicht als Investitionen abgebucht werden) pro Betrieb (im Mittel 20 - 25ha) rund Fr. 8'000.- bis Fr. 10'000.- ausmachen, die direkt der Jahresrechnung belastet werden.

Die davon ableitbaren Verbesserungen der Bewirtschaftung oder der Schadensverhütung werden aber in aller Regel nicht monetarisiert und der Bodenkartierung nicht gutgeschrieben.

Ein interessanter Vergleich hierzu ist die Amtliche Vermessung, die sich mit dem gleichen „Boden“ befasst, allerdings nur in seiner 2D-Ausdehnung: Bei der Revision der Amtlichen Vermessung AV93 (zu 100% durch die öffentliche Hand – Bund, Kantone, Gemeinden – finanziert) wurde das mehr als 2-fache an Finanzen investiert (8-9 Rappen/m<sup>2</sup>)<sup>40</sup>, was für eine detaillierte

---

<sup>39</sup> BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Arbeitsgruppe Bodenkartierung (2014): Bodenkartierung Schweiz. Entwicklung und Ausblick. Autoren: Borer F. und Knecht M., Dokument BGS. 92 S.

<sup>40</sup> Kosten/m<sup>2</sup>: Ganze Schweiz: 8.7 Rp.; BL: 9.1 Rp.; SO: 8.6 Rp. Quellen: Parlamentsvorlagen SO und BL.

Bodenkartierung notwendig wäre. Es ist unbestreitbar wichtig und wertvoll, die Flächenmasse für die Grundbücher genau zu kennen, aber mindestens so wichtig wäre es, die Eigenschaften des natürlichen Lebens- und Produktionsraumes Boden zu kennen, und dies zu einem deutlich geringeren Kostenaufwand als für die Vermessung.

#### **8.4.2 Aufwand vs. Ertrag für Bodenmodellierungen**

Aus Bericht BGS ‚Bodenkartierung Schweiz‘ (2014<sup>41</sup>):

*Aufwand-Überlegungen werden im Zusammenhang mit der Diskussion und Abwägung zwischen klassischer und modellierter Kartierung sehr schnell zu einem Thema. Diesbezüglich herrscht eine gewisse Unsicherheit zwischen dem recht gut bezifferbaren kostenmässigen Aufwand bei der klassisch ausgeführten Bodenkartierung und dem, aufgrund des heutigen Entwicklungsstandes, noch nicht klar auszuweisenden Aufwand bei der modellierten Bodenkartierung. Zu den Kosten einer Modellierung von Bodendaten mit vergleichbarer Auflösung, gleichem Attributumfang und gleicher inhaltlicher Aussagekraft sind noch keine Informationen vorhanden. In Fachartikeln jüngerer Zeit wird die modellierte Bodenkartierung oft als die kostengünstigere Variante bezeichnet. Dabei wird allerdings das Ergebnis der jeweiligen Kartierung, d.h. die inhaltliche Dichte (Anzahl Attribute) und die räumliche Auflösung der erarbeiteten Bodendaten in der Regel nicht mitberücksichtigt.*

*Eine objektive Gegenüberstellung der Ergebnisse der beiden grundsätzlich unterschiedlichen Kartiermethoden bezüglich des Aufwandes und der Ertrags ist zurzeit (noch) nicht möglich. Entsprechende Kosten-Nutzen-Überlegungen unter Berücksichtigung der abzudeckenden Qualitätsansprüche sind für die weitere Diskussion über methodische Richtungsentscheidungen unabdingbar.*

#### **8.5 Zur Wahrnehmung des Bodens durch den Menschen**

Aus Bericht BGS ‚Bodenkartierung Schweiz‘ (2014<sup>42</sup>):

*Es gibt noch eine weitere Betrachtungsweise bezüglich des Aufwandes und des Ertrags, indem die „Wertschätzung“ des Bodens wörtlich interpretiert wird und zur Frage führt: Wie viel ist dem Menschen der Lebensraum Boden wert?*

*Für die Sicherstellung des Grundbesitzes, dies auf m<sup>2</sup> genau, wird im Rahmen der Amtlichen Vermessung ein Kostenaufwand betrieben, der ungefähr drei Mal so hoch ist wie eine flächendeckende grossmassstäbige Bodenkartierung, die die Informationen über den „Inhalt“ dieses Grundes, nämlich des Lebensraums Boden als einer unserer unabdingbaren Lebensgrundlagen, erschliesst.*

Woran liegt dieses Ungleichgewicht an Investitionsdruck? Es geht um das Bewusstsein zur Rolle der Naturgüter und dieses ist der unmittelbaren Wahrnehmung unterworfen.

Wasser wird bei kleinsten Verunreinigungen für den Menschen ungeniessbar und beeinträchtigt das unmittelbare tägliche Leben genauso wie belastete Luft, deren Verunreinigungen meist auch sofort wahrgenommen werden können. Beide Bedrohungen greifen unmittelbar in unsere gewohnten, täglich erfahrbaren Umwelt- und Lebensbedingungen ein.

---

<sup>41</sup> BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Arbeitsgruppe Bodenkartierung (2014): Bodenkartierung Schweiz. Entwicklung und Ausblick. Autoren: Borer F. und Knecht M., Dokument BGS. 92 S.

<sup>42</sup> do.

Die Wahrnehmung der Bodenbeeinträchtigungen ist hingegen der Sinnes-Trägheit der nicht mehr unmittelbar vom Boden abhängigen Bevölkerung ausgesetzt. Wenn nur noch 3% der Bevölkerung während der täglichen Arbeit in der Urproduktion (primärer Sektor der Volkswirtschaft) mit dem Boden in Kontakt kommen, ist dementsprechend die Sensibilität für die Bedrohungen dieses Umwelt-Kompartiments an einem sehr kleinen Ort zu suchen.

## 8.6 Willingness to pay (WTP)

Der Willingness-to-pay-Ansatz ermittelt das Preis-Nutzen-Verhältnis bzw. die Bedeutung einer oder mehrerer Faktoren durch die Messung der Zahlungsbereitschaft. Die Methode analysiert das Preis-Nutzen-Verhältnis, indem sie den Nutzen, verstanden als gewichtete Bewertung einzelner Leistungsmerkmale, in Beziehung setzt zur Zahlungsbereitschaft der Nutzer.

In einer abstrakteren Fassung bestehen Zahlungsbereitschaften nicht nur für den Kauf eines Marktgutes, wie in den Definitionen oben voraus gesetzt. Zahlungsbereitschaften sind ein allgemeiner Ausdruck der Präferenzen eines Wirtschaftssubjekts im Hinblick auf die Erlangung eines Vorteils oder die Abwendung eines Nachteils.

Insbesondere in der Umweltökonomik, aber auch beispielsweise in der Gesundheitsökonomik werden Zahlungsbereitschaftsanalysen genutzt, um:

Präferenzen für öffentliche Güter zu ermitteln;

Verteilungswirkungen öffentlicher Leistungen abzuschätzen;

Kosten-Nutzen-Analysen bei öffentlichen Ausgaben durchzuführen;

Opportunitätskosten herauszufinden, etwa bei Umweltnutzungen.

Man vermutet jedoch, dass die Zahlungsbereitschaftsanalyse durch das Trittbrettfahrerproblem systematisch unterschätzte Beträge liefert. Es wird deshalb als Zahlungsbereitschaft auch ermittelt, was ein Individuum (ein Haushalt) bei Wegfall der öffentlichen Leistung als Ausgleich für den entgangenen Nutzen zahlen würde.

Unter verschiedenen Untersuchungen zum Thema Zahlungsbereitschaft<sup>43,44</sup> ist die 2013 erschienene Publikation aus dem European Commission, Joint Research Center zur WTP (**W**illingness-**t**o-**P**ay) für Bodeninformationen zu erwähnen<sup>45</sup>. Darin werden für drei Bodenkarten unterschiedlicher Auflösung, Qualität und Interpretation preislich interessante Abstufungen gemacht:

Tab. 10: Zahlungsbereitschaft (WTP) für drei unterschiedliche Kartentypen

<b>Map type</b>	<b>WTP [€ / ha]</b>
Low-resolution, low-accuracy without interpretation	123
Medium-resolution, medium-accuracy with interpretation	324
<b>High-resolution, high-accuracy with interpretation</b>	<b>447</b>

<sup>43</sup> Bade S., Ott W., von Grünigen S. (2011): Zahlungsbereitschaft für Massnahmen zur Förderung der Biodiversität im Wald. Schweiz. Z. Forstwesen. Bd. 162 (11): 382-388.

<sup>44</sup> Roschewitz A. (1998): Der monetäre Wert der Kulturlandschaft. Diss. ETH Zürich.

<sup>45</sup> Diafas I., Panagos, P., Montanarella, L. (2013): Willingness to Pay for Soil Information Derived by Digital Maps: A Choice Experiment Approach, Vadose Zone Journal. doi:10.2136/vzj2012.0198

Aus der obigen Tabelle geht hervor, dass die tiefste Zahlungsbereitschaft mit 123 € für Karten mit niedriger Auflösung (Massstab), geringer Genauigkeit und ohne Interpretation besteht.

Die mittlere Zahlungsbereitschaft liegt mit 324 € bereits deutlich höher für Karten mittlerer Auflösung und Genauigkeit, jedoch inklusive Interpretation.

Mit 447 € ist die Zahlungsbereitschaft nochmals deutlich höher für hochaufgelöste Karten mit grosser Genauigkeit und mit Interpretation.

**Die Zahlungsbereitschaft** der 166 potentiellen Endnutzer<sup>46</sup> für die drei unterschiedlichen Bodenkarten-Typen weist gemäss den Autoren auf eine besonders starke Vorliebe für den Miteinbezug der Interpretation von Karten hin.

Die Tatsache, dass die höchste Zahlungsbereitschaft für Karten mit Interpretation und verbunden mit hoher Qualität besteht, zeigt, wie wichtig den Nutzern qualitativ gute Anwendungskarten (Interpretationen) sind.

Interessanterweise steht die höchste Zahlungsbereitschaft in einem ähnlichen Preisverhältnis wie die Kosten für die Detail-Bodenkartierung FAL+ und dies mit vergleichbarer Leistung. Aus der FAL+-Bodenkarte werden seit 20 Jahren nutzerbezogene Anwendungskarten direkt oder mithilfe von Pedotransferfunktionen (PTF) erstellt.

Am Schluss dieser Publikation wird die grosse Bedeutung für eine mögliche Vermarktung solcher Kartentools ‚hervorgestrichen‘, die kundenorientierte Lösungen, abgestimmt auf die spezifischen Bedürfnisse der potenziellen Endnutzer, bieten können.

## 8.7 Finanzierungsmöglichkeiten

### 8.7.1 Finanzielle und personelle Aspekte der Beschaffung von Bodendaten

Im Rahmen dieses Projektes wurden auch eingehende Überlegungen zu den Kosten der Beschaffung von flächendeckenden Bodendaten gemacht und aus verschiedenen Blickwinkeln die finanzielle Seite beleuchtet.

Die nachfolgenden Kostenüberlegungen (s. Kapitel 9) basieren auf differenzierten Annahmen bezüglich Flächen, Zonen, bereits kartierten und noch zu kartierenden Flächen.

### 8.7.2 Vorinvestitionen

In der Schweiz sind grosse Vorinvestitionen in Form von Bodeninformationen erarbeitet worden. In der Tabelle ‚Vorinvestitionen‘ (Tab. 12) werden die verschiedenen Produkte miteinander verglichen bezüglich Kosten, Adressaten, Priorisierungen, Nutzen und Methoden.

Ältere Bodeninformationen, sogenannte historische Bodendaten, sind wertvolle Vorinvestitio-

---

<sup>46</sup> Aus einer Liste des European Soil Data Center wurden über 1000 potentielle Endnutzer von Bodendaten per Mail kontaktiert. Davon haben schliesslich nach einer detaillierten Evaluation 166 speziell an Bodenkarten interessierte Endnutzer an der Untersuchung teilgenommen.

Originalzitat aus Diafas I., Panagos, P., Montanarella, L. (2013): *“The choice experiment took the form of a web-based survey, communicated to just over a thousand (1085 at the moment of the study) potential end-users via email. The task of finding potential end-users was greatly facilitated by an extensive contact list, maintained by the European Soil Data Center of the Joint Research Centre of the European Commission and containing numerous stakeholders coming from various fields, such as academic and research institutes, governmental agencies, and the private sector (Panagos et al., 2012). To encourage truthful and accurate disclosure of WTP, it was emphasized to the respondents that they should fill out the survey only if they, on behalf of the institute or company they work for, were seriously interested in this kind of maps and they would consequently wish to pay for it. This requirement may explain the somewhat low response rate received. The final sample numbered 166 respondents. Ten more responses were received but not included in the analysis as they arrived after the data collection cut-off date”.*

nen. Bodeneigenschaften wie z.B. Körnung und Gründigkeit veralten in aller Regel nicht.

Diese historischen Bodendaten können, wie das Beispiel aus Hessen und Rheinland-Pfalz zeigt, digitalisiert und mit Hilfe von modernen Reliefgrundlagen aufgearbeitet werden (siehe auch Kap. 8.7.3 Finanzierung und Möglichkeiten der Zusammenarbeit).

In verschiedenen Kantonen wurden in den vergangenen 10 bis 20 Jahren detaillierte Bodeninformationen erhoben und zu modernen anwendungsorientierten Bodenkarten verarbeitet. Diese Investitionen belaufen sich auf zusätzliche 10 bis 20 Mio CHF.

### **8.7.3 Finanzierung und Möglichkeiten der Zusammenarbeit**

Ausgehend von den interviewten Nutzerkreisen und ihren jeweiligen gewünschten Produkten (nachfolgende Tab. 11) zeigen sich mögliche gemeinsame Interessen und auch Ziele verschiedener Akteure, Ebenen und Institutionen. Dank gemeinsamer Interessen mehrerer Nutzerkreise an detaillierten Bodendaten lassen sich mögliche ‚Koalitionen‘ herauschälen die im Verbund potenzielle Finanzierungsquellen erschliessen liessen.

*Der Bedarf an qualitativ guten und hoch auflösenden Bodendaten im Sinne einer Investition geht heute weit über die ursprünglichen Verwendungszwecke in der Urproduktion hinaus. Es sind, nebst dem Bodenschutz, vor allem die verschiedenen Umweltschutzbereiche, die solcher Daten bedürfen.*

*Vor diesem Hintergrund liegt es auf der Hand, dass in erster Linie die öffentliche Hand in die Beschaffung dieser Grundlagendaten investieren und auch die entsprechenden Kosten übernehmen sollte.*

*In der Vergangenheit wurde diesem Prinzip bei den meisten Projekten gefolgt, selbst Kartierungen für Güterregulierungen wurden weitgehend von Bund und Kantonen und nur zu einem kleinen Teil durch die direkt davon profitierenden Genossenschaftsmitglieder finanziert. (aus Bericht BGS ‚Bodenkartierung Schweiz‘, 2014<sup>47</sup>)*

---

<sup>47</sup> BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Arbeitsgruppe Bodenkartierung (2014): Bodenkartierung Schweiz. Entwicklung und Ausblick. Autoren: Borer F. und Knecht M., Dokument BGS. 92 S.



Tab. 11: Mögliche Zusammenarbeit der Nutzerkreise sowie Finanzierung auf Bundesebene (eigene Zusammenstellung)

Nutzerkreise	Gewünschtes Produkt	Betrifft	Mögliche Finanzierung	Priorität (Thema, Gebiet, Massstab)
Landwirtschaft	Flächendeckende Bodendaten (grossmassstäbig) auf detaillierten Bodeninformationen (Boden-Attribute) basierend	Optimale landw. Nutzung, Bewässerung LW	BLW, ARE BLW, BAFU	FFF, Nitratgebiete, Wasserknappheit, Postulat Walter (FAL-Bodenkartierung+),
Forstwirtschaft	Flächendeckende Bodendaten auf detaillierten Bodeninformationen (Boden-Attribute) basierend	Baumartenwahl (speziell unter Einfluss Klimawandel); schonende Holznutzung	BAFU - Wald	Massstäbe angepasst an natürliche Gegebenheiten (grossmassstäbig im Mittelland; Jura und Alpen: mittelmassstäbig; FAL-Kartiermethode+),
Raumplanung	Bodenfunktionenkarte	Raumplanung	ARE	u.a. FFF, Schutzgebiete
Bodenschutz	Detaillierte Bodeninformationen (Boden-Attribute) auf Teilflächen oder als Punktdaten	Basis-Information für Vollzug Bodenschutz	BAFU - Boden	Werkzeuge: Attributkarten und functional soil maps
Hydrologie	Detaillierte Bodeninformationen (Boden-Attribute) auf Teilflächen oder als Punktdaten	Abflussprozesse Trinkwassergewinnung	BAFU – Hydrologie, Gewässer	„zu wenig/zu viel Wasser“ / unterschiedliche Massstäbe zwischen 1:5'000 bis 1:50'000
Gewässerschutz	Detaillierte Bodeninformationen (Boden-Attribute) auf Teilflächen oder als Punktdaten	Gewässerplanung, Ausscheidung GWS-Zonen, Gewässerrand, Nitratproblematik	BAFU, Kantone	Konfliktreiche Ausscheidung von Gewässerrand, FFF und landw. Nutzung im Perimeter
Naturgefahren Naturgefahren / Wald	Detaillierte Bodeninformationen (Boden-Attribute) auf Teilflächen oder als Punktdaten	Hochwasserschutz, Gefahrenpläne, Rutschungen	BAFU – Naturgefahren / Wald	unterschiedliche Massstäbe zwischen 1:5'000 bis 1:50'000

Nutzerkreise	Gewünschtes Produkt	Betrifft	Mögliche Finanzierung	Priorität (Thema, Gebiet, Massstab)
Meteorologie und Klimatologie	Bodeninformationen (Boden-Attribute)	Bodenfeuchte-Messnetze	MeteoSchweiz BA für Meteorologie	Auflösung der Bodendaten abgestützt auf die Erfordernisse von Meteorologie und Klimatologie
Übrige Planer (Infrastruktur, Bauvorhaben)	Bodeninformationen (Boden-Attribute)	Bodenschutz; Bodenverwertung etc.	BAFU Boden	Massstab angepasst an spezifische Erfordernisse
Archäologie/Urgeschichte	Detail. Bodeninformationen in sensiblen Gebieten	Raumplanung, Wald, Archäologie (Kantone, Bund)	(Bund), Kantone (?)	Fachstellen sind auf Detailinformationen angewiesen, für korrekte Datierung und Rekonstruktion der Geschichte der Standorte

Aus der Tabelle 'Mögliche Zusammenarbeit' wird ersichtlich, dass mehrere Nutzerkreise detaillierte Bodeninformationen (Boden-Attribute) auf Teilflächen oder als Punktdaten wünschen.

Das ARE (Bundesamt für Raumentwicklung) wünscht als einziger Nutzerkreis abgeleitete Karten zur Bewertung von Bodenfunktionen, sogenannte Bodenfunktionskarten. Auch für Bodenfunktionskarten werden jedoch detaillierte Bodendaten benötigt.

In Deutschland werden in den Bundesländern Hessen und Rheinland-Pfalz historische Bodenschätzungsdaten aus den 30-iger Jahren digitalisiert und zu thematischen Bodenkarten (u.a. Bodenfunktionskarten) aufbereitet.<sup>48</sup>

➔ **Nur eine Koalition aus verschiedenen Nutzerkreisen könnte ,im Verbund' die notwendige Finanzierung für die gewünschten Bodendaten erbringen.**

<sup>48</sup> Bundesamt für Umwelt BAFU (Hrsg.): Umwelt. (2013),Nr. 4, S. 39 -41

Tab. 12: Vorinvestitionen und Vergleich von Produkten in Bezug auf Kosten, Adressaten, Priorisierungen, Nutzen und Methoden (eigene Zusammenstellung)

Produkte, Auftraggeber	Vorinvestitionen Kosten [SFr]	Zeithorizont (zur Realisierung der Produkte)	Adressat(en)	Priorisierung	(Daten-)Potenzial / Nutzen	Methode
Landw. Eignungskarte 1:200'000	Nicht bekannt	abgeschlossen	Landwirtschaft			Vorläufer der BEK200 von 1975
BEK 200 Bodeneignungskarte M 1:200'000 in 4 Blättern	3 – 4 Mio <sup>*2</sup>	liegt seit 1980 vor	Übergeordnete Raumplanung	Landesebene, Überblick	Bietet / bot nur groben flächendeckenden Bodendaten- Überblick	Ist stark auf Geologie, Klima, Höhenlage, Exposition ausgerichtet (nutzungsorientiert) und ist keine eigentliche Bodenkarte
FAL-Karten 1:25'000	20 Mio <sup>*2</sup>	13 Blätter liegen vor	Kant. Raumplanung Landw. Beratung	Nach Einstellung des Bodenkartierdienstes FAL nicht weitergeführt	historische Bodendaten/Flächendaten vermehrt nutzen. wichtige Vorinvestitionen in zweistelliger Mio-Höhe.	Anwendungs- und nutzerorientiert (für Übersichtskarten)
FAL-Karten <sup>*1</sup> 1:1'000 bis 1:10'000	30 Mio <sup>*2</sup>	liegen vor (ca. 340 Kartenwerke)	Landwirtschaft und Melioration: Wasserhaushalt, Beratung, Eignung, Risikokarten	--	alte' Bodendaten/Flächendaten vermehrt nutzen wichtige Vorinvestitionen in zweistelliger Mio-Höhe	Anwendungs- und nutzerorientiert Erarbeitet seit Beginn der Boden-Kartierung in der Schweiz
Detail-Bodenkartierung Kartierungsme-	ca. Fr. 400.- /ha	Abhängig von dem zur Verfügung	Landwirtschaft, Forstwirtschaft: Betriebliche Planung, standortge-	ausgewiesen (siehe Interviews)/	„moderne“ Anwendungskarten seit 20 Jahren	Moderne Methode seit 20 Jahren erprobt und weiterentwickelt zu FAL+,

Produkte, Auftraggeber	Vorinvestitionen Kosten [SFr]	Zeithorizont (zur Realisierung der Produkte)	Adressat(en)	Priorisierung	(Daten-)Potenzial / Nutzen	Methode
thode FAL+ M 1:5'000		stehenden Kreditrahmen	rechte Bewirtschaftung	meist hoch bis sehr hoch		inkl. diverser Anwen- dungskarten (functional soil maps) aus Attributen und PTF abgeleitet
Modellierte Bo- denkarten von Bodeneigen- schaften (NFP 68, PMSoil)	(noch) keine Angaben	(noch) keine Angaben	Übergeordnete Behör- den, nationale Gremi- en	nicht bekannt	ist (noch) nicht klar ersichtlich; wohl am ehesten auf überregiona- ler /nationaler Ebene aussagekräf- tig	muss noch transparent gemacht werden, v.a. bezüglich der Methodik und der Kostenfolgen.
Bodenfunktions- karten	keine Anga- ben	keine Anga- ben	In erster Linie Raum- planung, sonst unklar	Siedlungs- randgebiete ?	Mit grosser Wahrscheinlichkeit für weitere Zwecke nicht operationali- sierbar.  Haben Metadaten-Charakter. Für die meisten Nutzerkategorien wenig interessant, da zu kleine räumliche und inhaltliche Auflösung	Unbekannt, welcher der 16 verschiedenen Metho- den aus Deutschland im NFP 68 gefolgt wurde. Evtl. Eigenentwicklung.?
Bodenfeuchte- Messnetze, im Verbund mit Bo- dendaten	ausgewiesen in Form von effektiven Zahlen	s. Bericht Meteotest <sup>49</sup>	Bodenschutz, Land- wirtschaft, Forstwirt- schaft. Hydrologie	s. Bericht Me- teotest	Vorinvestitionen getätigt für zukünf- tige Lösungsansätze im Zusam- menhang mit der Trockenzeit- Problematik	Verschiedene Evaluatio- nen sind erfolgt (Bericht Meteotest), noch keine Entscheidungen gefällt).

<sup>\*1</sup>: inkl. BL, ZH, und VD (dort über 100'000 ha Landwirtschaft + Wald kartiert nach FAL-Methode im M 1: 10'000)

<sup>\*2</sup>: Kostenschätzung, aufgerechnet auf heutige Gestehungskosten

<sup>49</sup> Stehrenberger E., Huguenin-Landi, B. (2016): Evaluation Bodenfeuchtemessnetze. Meteotest, 3012 Bern. Im Auftrag Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Boden und Biotechnologie.

## 9 Konkretisierung der Beschaffung von Bodeninformationen

Zwecks genauerer Beurteilung der Möglichkeiten zur Abdeckung des Bedarfs an Bodeninformationen ist es sinnvoll, den Fokus auf die konkreten Flächen- und Bewirtschaftungsverhältnisse in der Schweiz und die bis heute bereits erfassten Bodeninformationen zu richten.

Ein spezielles Augenmerk gilt dabei auch den Fruchtfolgeflächen FFF.

### 9.1 Gesamt-Flächenübersicht Kantone, Kartierungsstand und FFF

Tab. 13: Flächenübersicht, Kartierungsstand und FFF (eigene Berechnungen)

Kanton	Gesamt-Areal (BFS, 2015)	Bis heute (2015) in LW kartiert (Schätzung) 1:2'500 - 1:10'000	Bis heute (2015) in WA kartiert (Schätzung) 1:2'500 - 1:10'000	Bemerkungen	FFF Soll [Sachplan FFF, Vollzugshilfe, 2006]	FFF kartiert [kursiv: FFF-Kontingent bereits erfüllt]	FFF [noch zu kartieren]
	ha	ha	ha		ha	ha	ha
Zürich	172'895	76'000	6'000	Bericht 2000	44'400	44'400	0
Bern / Berne	595'956	19'500	0		84'000	19'500	64'500
Luzern	149'351	9'300	0	BoKa-Konzept 2016	27'500	9'300	18'200
Uri	107'657	1'300	0	nach Kartierung (1987) durch Reuss überschwemmt	260	260	0
Schwyz	90'788	60	0		2'500	60	2'440
Obwalden	49'058	1'200	0		420	420	0
Nidwalden	27'585	0	0		370	0	370
Glarus	68'532	1'100	0		200	200	0
Zug	23'873	10'900	0	Bericht 1998	3'000	3'000	0
Freiburg	167'136	1'100	0		35'900	1'100	34'800
Solothurn	79'045	14'000	6'000	Stand Dez. 2014: 19'959 ha; Verteilung 70/30%	16'200	14'000	2'200
Basel-Stadt	3'695	0	0	in BL inkorporiert	240	0	240
Basel-Landschaft	51'767	23'000	21'000	Wald-Bodenkarte modelliert	8'000	8'000	0
Schaffhausen	29'842	3'600	0		8'900	3'600	5'300
Appenzell Ausserrhoden	24'284	1'600	0	M 1:10'000	790	790	0

Kanton	Gesamt-Areal (BFS, 2015)	Bis heute (2015) in LW kartiert (Schätzung) 1:2'500 - 1:10'000	Bis heute (2015) in WA kartiert (Schätzung) 1:2'500 - 1:10'000	Bemerkungen	FFF Soll [Sachplan FFF, Vollzugshilfe, 2006]	FFF kartiert [ <i>kursiv: FFF-Kontingent bereits erfüllt</i> ]	FFF [noch zu kartieren]
	ha	ha	ha		ha	ha	ha
Appenzell Innerrhoden	17'248	0	0		330	0	330
St. Gallen	203'075	59'000	0	M 1:5'000/10'000 [BoKa BGS, 2014]	12'500	12'500	0
Graubünden	710'539	5'500	0	M 1:2'000/10'000	6'300	5'500	800
Aargau	140'377	5'000	0	Schätzung: rasche Kartierung FFF	40'000	5'000	35'000
Thurgau	99'177	270	0		30'000	270	29'730
Ticino	281'215	3'300	0	sowie 800 ha Rebböden 1:10'000	3'500	3'300	200
Vaud	321'200	70'000	33'500	total 103'500 ha 1:10'000 / Verteilung geschätzt	75'800	70'000	5'800
Wallis	522'450	12'000	0	5'000 ha FAL(alt) + 7000 ha von 3. Rhonekorrektur (M 1:10'000)	7'350	7'350	0
Neuchâtel	80'224	0	0	600 ha Rebbergböden 1:10'000	6'700	0	6'700
Genève	28'249	1'900	0	1500 ha (1:12'000)/ 400 ha (1:5'000) / dazu 1400 ha Rebbergböden	8'400	1'900	6'500
Jura	83'851	8'800	0	im Rahmen Bau A16 wurden vermutlich noch mehr Bodenkartierungen gemacht.	15'000	8'800	6'200
<b>Schweiz</b>	<b>4'129'069</b>	<b>328'430</b>	<b>66'500</b>		<b>438'560</b>	<b>219'250</b>	<b>219'310</b>

Diese Übersicht ist bezüglich des Anteils der kartierten Flächen an der Gesamtfläche der Schweiz nicht sehr aussagekräftig, da rund 33% der Oberfläche der Schweiz aus unproduktiven Flächen, also weder der Landwirtschaft noch dem Wald zuordnungsbaaren Flächen sowie

aus Siedlungsflächen besteht<sup>50</sup>.

Bezüglich der Fruchtfolgeflächen FFF können etwas genauere Aussagen gemacht werden: Von dem Soll von rund 440'000 ha FFF-Flächen gemäss Vorgaben des Sachplans FFF sind rund 50% kartiert oder anderswie bereits festgelegt, die andern 50% wären noch zu kartieren.

## 9.2 Basiswerte

Im Hinblick auf die aktuell einzig mögliche Gewinnung von vergleichbaren Daten der Bodeneigenschaften, nämlich mittels der FAL-Kartiermethode<sup>51</sup>, werden im Folgenden einige Basiswerte errechnet, die auf realen Erfahrungswerten beruhen.

Tab. 14: Berechnung der Basiswerte für die FAL-Kartierung+ (eigene Berechnungen)

### Kosten Standardprofil FAL-Kartierung+ (ohne Flächenkartierung)

<i>Position</i>	<i>Kosten [Fr./Profil]</i>	<i>Basis</i>	<i>Bemerkungen</i>
Laborkosten	350.00	Offerte sol-conseils	ohne Ld; jedoch 3x KAK/Profil
Bauunternehmer (Profil öffnen/schliessen)	225.00	Erfahrungswert	Offerte Kartierer
Leitprofile (Arbeiten Kartierer)	750.00	Erfahrungswert	Offerte Kartierer
Total externe Kosten	<b>1'325.00</b>		
Total interne Kosten	198.75	ca. 15% von externen Kosten (Berechnung Kt. SO)	
Kostenansatz Profil	1'523.75		
<b>Kostenansatz Profil</b>	<b>1525.00</b>		<b>gerundet</b>

### Kostenschätzung pro ha: Kartierung FAL-Kartierung+ (inkl. 7 Profile/100 ha)

<i>Position</i>	<i>Kosten [Fr./ha]</i>	<i>Basis</i>	<i>Bemerkungen</i>
Boden Landwirtschaft	260.00	aktuelle Offerten	ohne Laborkosten
Boden Forstwirtschaft	370.00	aktuelle Offerten	ohne Laborkosten
Mittelwert 2/3 LW / 1/3 FW	<b>296.67</b>		gerundet
Anteil Laborkosten durch Auftraggeber	24.50	Offerte sol-conseils	7 P /100 ha

<sup>50</sup> Arealstatistik Schweiz 2004/2009: Unproduktive Flächen 1'045'870 ha (25.3%); Siedlungsflächen 307'897 ha (7.5%).

<sup>51</sup> Die im NFP 68 erarbeitete Modellierungs-Methode PMsoil hat bis heute noch keinen ausreichend operablen Entwicklungsstand erreicht, der einen Vergleich, sowohl bezüglich der Dateninhalte im grossmassstäbigen Bereich wie auch bezüglich der Kosten erlauben würde.

Zwischentotal	321.17		
Teuerung --> 5 Jahre: 5%	16.06		Schätzung
Kosten extern /ha	<b>337.23</b>		
Interne Kosten	50.58	ca. 15% von externen Kosten (Berechnung Kt. SO)	
Gesamtkosten-Ansatz	387.81		
<b>Gesamtkosten-Ansatz</b>	<b>390.00</b>		<b>gerundet</b>

#### Kostenschätzung pro ha: Kartierung FAL-Kartierung+ (vereinfacht)

<i>Position</i>	<i>Kosten [Fr./ha]</i>	<i>Basis</i>	<i>Bemerkungen</i>
Boden Landwirtschaft *)	202.59	Schätzung ab FAL-Kartierung+	2 Profile /100 ha; Aufnahme M 1:10'000
Boden Forstwirtschaft *)	202.59	Schätzung ab FAL-Kartierung+	2 Profile /100 ha; Aufnahme M 1:10'000
<b>Gesamtkosten-Ansatz</b>	<b>205.00</b>		<b>gerundet</b>

\*) Berechnung des Kostensatzes: 1/2 der Kosten FAL+ (M 1:5'000) zu 66% (Vorbereitung und Nachbearbeitung Erhebung Bodeninformationen) und 1/2 der Kosten FAL+ (M 1:5'000) zu 50% (Feldarbeiten)

### 9.3 Differenzierungen zur Aufwandschätzung

Zur allfälligen Schätzung des Gesamtaufwands ist es von Vorteil, einige Differenzierungen vorzunehmen, je nach Nutzungsart resp. nach Zonierung, nach potentiell resp. effektiv zu kartierender Fläche und nach zugrunde gelegtem Kostensatz.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass in der Landwirtschaft das Talgebiet (Tal- und Hügelzone) zu 100% kartiert wird, die noch verbleibenden Flächen in der Bergzone I zu 50% und in der Bergzone II-IV zu 25%, ebenso die Sömmerungsweiden, die beiden letzten Kategorien zu einem reduzierten Kostensatz, d.h. im M 1:10:000 mit reduzierter Profilanzahl.

Im produktiven Mittellandwald erfolgte die Kartierung flächendeckend zum Standardkostensatz von Fr. 390.- Die Bergwälder werden mit unterschiedlichen Deckungsgraden mit einem reduzierten Kostensatz von Fr. 205.- im M 1:10:000 mit reduzierter Profilanzahl kartiert (s. Tab. 14).

Bei der Bestimmung des Deckungsgrades werden folgende Annahmen gemacht:

- Tal- und Hügelzone in der LW sind potenziell FFF-tauglich, somit 100% Fläche zu kartieren.
- In der Bergzone I wird nur noch reduziert Ackerbau betrieben → Fläche auf 50% reduziert.
- Ab Bergzone II bis IV und bis die Sömmerungsweiden (ebenso im alpinen Wald) macht eine Erhebung von detaillierten Bodeninformationen nach Interview-Aussagen der im Gebirge arbeitenden Bodenfachleute nur in ausgewählten Gebieten Sinn, daher nur 25% Fläche.

Tab. 15: Umsetzung der Datenerhebung, aufgeteilt auf Flächenzonierung und Deckungsgrad (eigene Berechnungen)

Flächenbezeichnung Gebiet 1)	Zonierung	Fläche total	Bereits kartiert 2)	potentiell zu kartie- rende Fläche	Deckungsgrad der Kartierung (Annahme)	effektiv zu kartie- rende Fläche
		ha	ha	ha	%	ha
Talgebiet	Tal- und Hügelzo- ne	628'507	303'430	325'077	100	325'077
Berggebiet	Bergzone I	118'281	25'000	93'281	50	46'641
Berggebiet	Bergzone II-IV	285'343	0	285'343	25	71'336
Sömmerungsweiden		505'385	0	505'385	25	126'346
Mittelland-Wald prod.		221'294	66'500	154'794	100	154'794
Bergwald prod.	Jura	196'302	0	196'302	25	49'076
	Voralpen	210'738	0	210'738	25	52'685
	Alpen	322'157	0	322'157	15	48'324
	Alpensüdseite	155'181	0	155'181	15	23'277
Siedlungsgebiet	Stadtböden	307'900	0	307'900	5	15'395
<b>Total</b>		<b>2'951'088</b>		<b>2'556'158</b>		<b>912'949</b>

1) Agroscope, 2012, Hotspot (LW); Schweiz. Forststatistik, 2015 (WA); Taschenstatistik CH, 2004-2009, (Siedlungsgebiet)

2) s. Tab. 13 "Flächenübersicht+FFF"

## 9.4 Mögliche (etappenweise) Realisierungsvarianten

Angesichts des beträchtlichen Aufwands für dieses grosse Langzeitprojekt ist es sinnvoll, sich Überlegungen zur Etappierung resp. zur Priorisierung zu machen, die sich an den in den Interviews geäusserten Dringlichkeiten orientiert. Daraus entsteht folgende Tabelle möglicher Vorgehensweisen.

Tab. 16: Mögliche (etappenweise) Realisierungsvarianten (eigene Berechnungen)

Priorität	Bezeichnung	Erläuterung	Fläche [ha]
1a	LW1 (FFF-Ergänzung)	<b>FFF gemäss Sachplan:</b> Kartieren der noch nicht erhobenen Bodendaten	219'310
1b	WA1	<b>Böden Mittelland-Wald produktiv</b> (verbleibende Fläche der noch nicht erhobenen Bodeninformationen)	154'794
2a	LW2a	<b>Verbleibende Landwirtschaftsböden (exkl. FFF)</b> der Tal- sowie der Hügelzone (Talgebiet)	105'767
2b	LW2b	<b>Landwirtschaft Bergzone 1</b> (Deckungsgrad 50% der verbleibenden zu kartierenden Fläche)	46'641
3	LW3	<b>Bergzone II-IV und Sömmerungsweiden</b> (Deckungsgrad 25% der verbleibenden Fläche)	197'682
4	WA2	<b>Böden Bergwald Jura und Voralpen</b> (Deckungsgrad 25% der verbleibenden Fläche) sowie <b>Alpen und Alpensüdseite</b> (Deckungsgrad 15% der verbleibenden Fläche)	173'361
5	SI1	<b>Siedlungsgebiete</b> (Deckungsgrad 5%)	15'395
	<b>TOTAL</b>		<b>912'949</b>

## 10 Ausblick

### 10.1 Grundsatz

Aufgrund seiner natürlichen Eigenschaften als Filter, Puffer, Speicher, Regenerator, Lebensraum und Pflanzenstandort nimmt der Boden im Naturraum eine zentrale Stellung ein. Dementsprechend nimmt auch das Bedürfnis nach verlässlichen Bodeninformationen zu, was während im Rahmen der geführten Interviews klar zum Ausdruck kam.

Eine qualitativ gesicherte Bodenansprache auf der Basis umfassender pedologischer Kenntnisse und Erfahrungen ist die Basis für verlässliche, ausreichend genaue und praxisbezogene Bodendaten. Diese werden als flächendeckende Bodeninformationen, z.B. in Form von Anwender-Karten unterschiedlichster inhaltlicher Ausrichtung oder als themen- oder problemspezifische Punktdaten verwendet.

Im Sinne einer „Marketingstrategie“ sollten solche bereits seit längerer Zeit abrufbare Karten intensiver bekannt gemacht werden, z.B. durch Hinweise auf die diesbezüglichen Web-Links von ausgewählten Kantonen<sup>52</sup>.

Auch bei der Modellierung von Bodenkarten sind grundsätzlich qualitativ gute Bodenbasisdaten (u.a. als Kovariablen-Datensätze) gefragt, um eine für die Anwender ausreichende Genauigkeit des angestrebten Produktes, als Attribut oder als Flächeninformation, zu erreichen.

### 10.2 Zusammenfassende Beurteilung nach Anwendungsbereichen

#### 10.2.1 Landwirtschaft

Nutzer in der landwirtschaftlichen Urproduktion (primärer Sektor) sind auf Bodeninformationen in parzellenscharfer Auflösung angewiesen, in optimaler Weise in einem Massstab von 1:2'500 bis maximal 1:10'000. Nebst den bei der Bodendatenerhebung (FAL-Kartiermethode+) standardmässig erhobenen Attributdaten sind auch verschiedenste Anwenderkarten (basierend auf Pedotransferfunktionen) gefragt.

Eine grosse Herausforderung für die Landwirtschaft wird in Zukunft der Umgang mit der zunehmenden Trockenheit im Sommer und damit mit der entsprechenden Bewässerungsbedürftigkeit sein. Im Zentrum solcher Überlegungen stehen die jeweiligen hydraulischen Bodeneigenschaften und die davon abgeleiteten Wasserhaushaltskennwerte. Die Kenntnis dieser Parameter ermöglicht die Festlegung eines kausal abgeleiteten und optimierten Bewässerungsbedarfs.

Hier sollte ein Schritt weiter über die heute auf summarischen Bilanzierungen (Niederschlag, Evapotranspiration, Versickerung) basierenden Klimabeurteilungen gemacht werden hin zu einer Beurteilung der Trockenheitssituation für kleine Zeitschritte (vgl. Kap. 10.2.4), d.h. weg von einer eher statischen Betrachtungsweise hin zu einer Beurteilung, die der Dynamik des jahreszeitlich stark variierenden Wasserhaushalts entspricht.

---

<sup>52</sup> <http://geoweb.so.ch/map/isboden>  
<http://maps.zh.ch/?topic=NEKZH&offlayers=&scale=310000&x=692000&y=252000>  
<http://www.geo.lu.ch/map/boden/>  
<https://www.geoportal.ch/ch/map/264?y=2658090.00&x=1185885.00&scale=750000&rotation=0>

Für die Landwirtschaft und den Bodenschutz in Berggebieten zeichnet sich ab, dass den spezifischen Verhältnissen angepasste Lösungen gesucht werden müssen, die sich von denjenigen im Mittelland und in der Hügelzone unterscheiden, sowohl bezüglich der Auflösung (Massstab) des Dateninhalts als auch bezüglich der im allgemeinen grösseren natürlichen Heterogenität der Böden.

### 10.2.2 Fruchtfolgeflächen FFF / Raumplanung

Die Raumplanung hat gemäss Gesetzesauftrag die für die Landwirtschaft geeigneten Gebiete zu bezeichnen.<sup>53</sup> Dieser Auftrag ist bisher von kaum einem Kanton aufgrund einer Positivplanung erfolgt, sondern immer aus der Perspektive der den Boden zerstörenden Siedlungsfläche, was sich mit dem eher abwertenden Begriff des „übrigen Gebiets(üG)“ in der Legende von Zonenplänen äussert.

Es ist kaum möglich, die wirkliche landwirtschaftliche Eignung einer Fläche zu bestimmen, ohne diese vorgängig kartiert zu haben. Für die korrekte Bestimmung der ackerbaulichen Eignung eines Bodens braucht es u.a. die Angaben zur pflanzennutzbaren Gründigkeit, wobei 50 cm als minimaler Wert für die Eignung als Fruchtfolgefläche gelten. Ohne flächendeckende Bodenerkundungen auf Parzellen-Massstab kann diese Eigenschaft nicht erfasst werden, weshalb die Ausscheidung von Fruchtfolgeflächen grundsätzlich einer vorgängigen detaillierten Bodenkartierung bedarf. Viele Kantone verfügen jedoch noch immer nicht über flächendeckende Bodenkarten, weshalb dort die Ausscheidung der FFF gutachterlich erfolgte.<sup>54</sup>

Solange nicht alle Kantone ihre FFF nach der gleichen Methodik erfassen, ist ein interkantonaler Vergleich oder gar die Idee eines Abtausches oder Ähnliches auf korrekte Art und Weise nicht möglich, weil ‚Äpfel‘ mit ‚Birnen‘ verglichen würden. Kantone, die kurzfristig keine flächendeckenden Bodenkarten erstellen können oder wollen, müssten zumindest im Perimeter des Umlandes von aktuellen Bauzonen die FFF-Eignung der Böden erfassen. Nur so kann vermieden werden, dass weiterhin potenzielle FFF zu Bauland umgezont werden.

### 10.2.3 Forstwirtschaft

Für viele Entscheidungen in der forstlichen Planung und praktischen Waldwirtschaft sind die Eigenschaften des gesamte Bodenraums, der zugleich auch Wurzelraum der Bäume ist von grosser Bedeutung: Die flächendeckende dreidimensionale und grossmassstäbige Bodendaten-Erhebung ist damit die Grundlage für eine nachhaltige und standortgerechte Waldbewirtschaftung sowie für viele weitere Funktionen, die der Waldboden erfüllt.

Die Beachtung der mannigfaltigen, je nach Baumart sehr unterschiedlichen und grundsätzlich genetisch fixierten Wurzelarchitekturen (s. Abb. 7) in Beziehung zu den jeweiligen lokalen Bodeneigenschaften entscheiden, vor allem bezüglich der Baumartenwahl, darüber, welchen Erfolg eine forstliche Bestandesbegründung im Laufe einer rund ein Jahrhundert dauernden Bestandesentwicklung wird ausweisen können.

Eine grosse Rolle für die Waldwirtschaft spielt zudem die durch die jeweiligen Bodeneigenschaften definierte Wasserhaushalts-Charakteristik eines jeden Bodens, die in zweierlei Hinsicht wichtig ist:

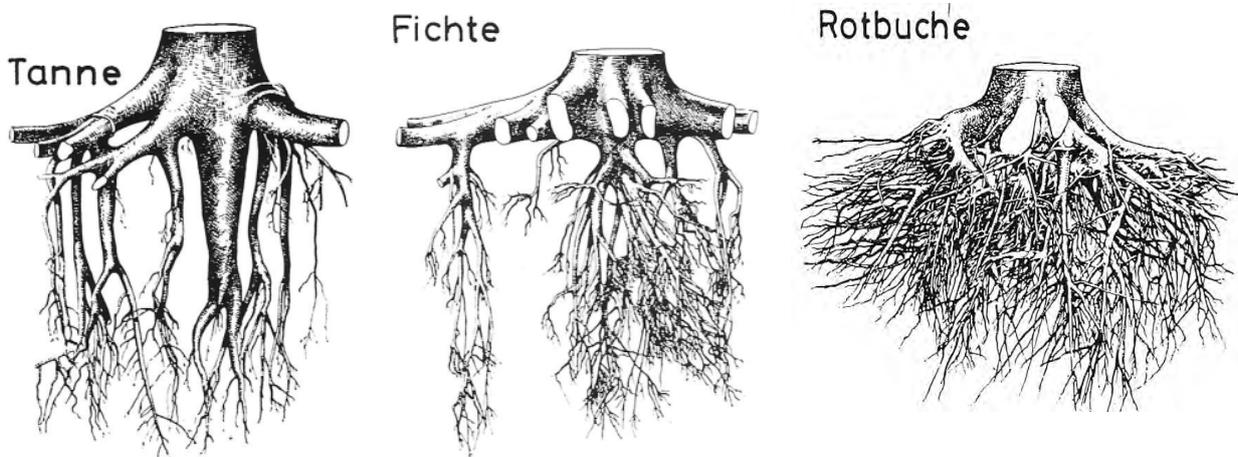
---

<sup>53</sup> Bundesgesetz über die Raumplanung (RPG) vom 22. Juni 1979 (Stand 1. Januar 2016). Art. 3 Planungsgrundsätze: Abs. 1 ... Insbesondere sollen der Landwirtschaft genügende Flächen geeigneten Kulturlandes, insbesondere Fruchtfolgeflächen, erhalten bleiben.

<sup>54</sup> Oft durch die örtlichen Ackerbaustellenleiter.

- Mittelfristig bis langfristig für die prospektive Beurteilung der Entwicklung des Waldes im Rahmen eines Ziel-Bestandalters von ca. 80-100 Jahren: festgelegt im Waldentwicklungsplan WEP.

Abb. 7: Typische Wurzelarchitektur von Waldbäumen<sup>55</sup>



- Kurzfristig für die tage-, wochen- oder jahresweise vorzunehmenden Beurteilungen im Rahmen der jeweiligen Betriebsplanungen BP<sup>56</sup>.
- Die Kenntnisse der Bodeneigenschaften sowie des Stoff- und vor allem des Wasserhaushalts sind auch wichtige Entscheidungsgrundlagen vor dem Hintergrund der sich anbahnenden relativ schnellen Änderungen der Wuchsbedingungen durch den Klimawandel.
- Konkret bedeutet z.B. nicht zirkulierendes Wasser im Boden Sauerstoffmangel; damit auch keine Wurzelatmung und kein Wurzelwachstum. Besonders betroffen sind Baumarten mit Senkerwurzeln, die sich nicht mehr entwickeln können, z.B. Fichte. Nur wenige Baumarten sind fähig, Schichten mit stehendem Wasser zu erschliessen oder gar zu durchbrechen.
- Es gilt auch zu beachten, dass eine schnelle Infiltration (preferential flow) nach Niederschlägen zu einem teilweisen „by-pass“ unter Umgehung der Matrix führt → Matrix bleibt „trocken“. Nach Niederschlag (Sorptionsphase) sind Wassergehaltsmessungen daher nicht aussagekräftig. In der darauffolgenden Entwässerungsphase (Desorption) stabilisiert sich das System; für die Beurteilung der Wasseraufnahme durch die Pflanzen sind dann die physiologisch aussagekräftigen Saugspannungswerte relevant. Wassergehalte mit Saugspannungen > ca. 60 cbar führen zu deutlichen Wachstumseinbussen, weit vor Erreichen des Permanenten Welkepunktes PWP (15 bar). (s. auch Kap. 10.2.4)
- Die Erschliessung des Unterbodens durch das Wurzelwerk entscheidet über das Überdauern von Trockenstress.

Solchen Bodendaten wird von einigen Exponenten der Waldwirtschaft allerdings noch eine eher untergeordnete Bedeutung zugemessen. Mit der weit verbreiteten vegetationskundlichen Ansprache werden jedoch die Eigenschaften des Unterbodens kaum erfasst. Bereits im Rahmen der Untersuchungen zur forstlichen Standortkartierung im Jahre 1967 wurde erkannt, dass die flächendeckende, detaillierte Ausscheidung sogenannter Bodenformen (Lokalformen) in grosser Auflösung unentbehrlich sind, um den Waldstandort ausreichend genau für die Er-

<sup>55</sup> Bilder aus: Köstler J.N., Brückner E., Bibelriether H.(1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. 284 S., Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.

<sup>56</sup> Borer F. (2010): Bodenschutz im Wald – Annäherung an ein Wahrnehmungsproblem. Schweiz Z Forstwes 161 (2010) 12: 482-488.

fordernisse des Waldbaus beschreiben zu können<sup>57</sup>.

Es besteht ein unbestreitbar deutlicher Unterschied bezüglich der Ansprüche an die Datendichte zwischen Gebirgswäldern und intensiv genutzten Mittellandwäldern.

Dies kommt in den Überlegungen zur Konkretisierung der Beschaffung von Bodeninformationen (Kap. 6) auch klar zum Ausdruck.

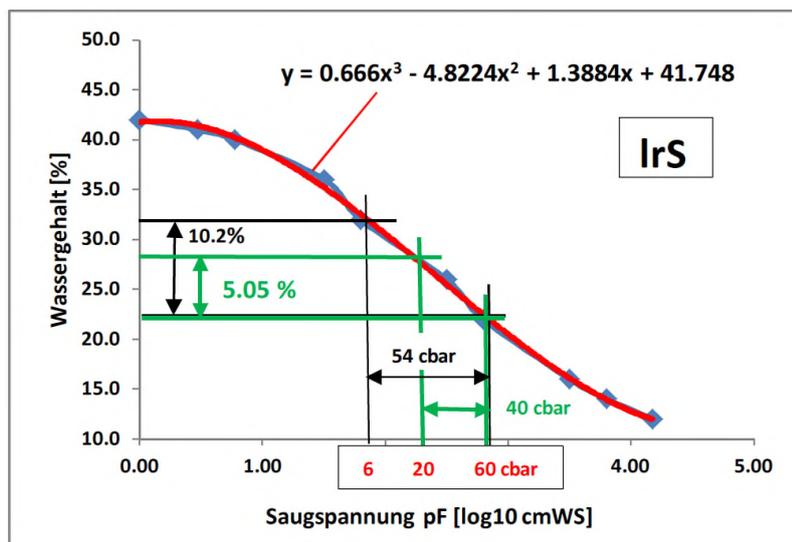
### 10.2.4 Hydrologische Fragestellungen

Alle „Wasser-Bereiche“ (Allgemeine Hydrologie, Hochwasser, Abflussprozesse, planerischer Grundwasserschutz etc.) benötigen dringend bessere Bodendaten. Im Prinzip sind dies all jene Parameter, die den Wasserhaushalt und insbesondere die Wasserbewegung auf und im Boden und in der Übergangszone zum Untergrund beschreiben, inklusive der Filterfunktion. Hierzu können durch die Bodenkartierung noch nicht alle von den Interviewten gewünschten Parameter beigebracht werden. Schwierigkeiten bereiten insbesondere diejenigen Eigenschaften des Bodens, die zur Makroporosität (und damit zum Makroporenfluss) beitragen. Diese stehen in Abhängigkeit zu dynamischen Prozessen des Wasserhaushaltes, was eine Parametrisierung erschwert. Diesbezüglich muss auch wieder auf den für die Vegetation physiologisch so wichtigen Parameter der Saugspannung (Unterdruck in der Bodenmatrix) hingewiesen werden, der sich je nach Stadium des Sorptions- oder Desorptionsvorgangs durch Wassergehaltsmessungen nicht herleiten lässt, was oft nicht beachtet wird oder gar nicht bekannt ist.

Einen wichtigen Spezialfall bezüglich der Wasserhaushaltfragen bildet die Bewässerungsproblematik, die vor allem in Teilen der intensiven Landwirtschaft und zum Teil auch bei trockenheitsgefährdeten Weiden ein aktuelles Thema ist.

Genauere bodenphysikalische Bodendaten könnten dabei zu einer genaueren Abstimmung des Wasserbedarfs auf das effektive Wasserbedürfnis und damit zu einer optimierten, sparsameren Bewässerung beitragen.

Abb. 8: Math. Funktion der pF-Kurve für die Bodenart IrS (lehmreicher Sand)<sup>58</sup>



- Nutzbare Wasserkapazität zwischen Feldkapazität (6cbar) und Grenze „leicht verfügbares Wasser lW“ (60cbar): 10.2% =102 mm Wasserhöhe für 100cm pflanzennutzbare Gründigkeit (pnG)
- Nutzbare Wasserkapazität zwischen Saugspannung 20cbar und Grenze „leicht verfügbares Wasser lW“ (60cbar): 5.05% =50.5 mm Wasserhöhe für 100cm pflanzennutzbare Gründigkeit (pnG)

<sup>57</sup> Ellenberg H., Hrsg. (1967): Vegetations- und bodenkundliche Methoden der forstlichen Standortskartierung. Ergebnisse eines internationalen Methodenvergleichs im Schweizer Mittelland. 296 S., Veröff. des Geobot. Inst. der ETH, Stiftung Rübel, Heft 39, Zürich.

<sup>58</sup> Borer F. (2014): Bestimmung von Wasserhaushaltsgrößen aus der Bodenkartierung mithilfe der pF-Kurven. Arbeitspapier, unveröffentlicht.

Als angewandtes Beispiel hierzu können Desorptionskurven (pF-Kurven) dienen, mittels derer sowie mit Saugspannungsmessungen an Tensiometern der jeweils aktuelle Wassergehalt und damit z.B. auch der Anteil an noch leicht verfügbarem Wasser für die Pflanze bestimmt werden kann (s. Abb. 8).

Davon abgeleitet liesse sich bei Überschreitung eines vorgegebenen Grenzwassergehalts des Bodens der Wasserbedarf bestimmen, der benötigt wird, um eine pflanzliche Kultur mittels Bewässerung wieder in einen optimalen Bodenwasserzustandsbereich zu führen.

Als Basisdaten aus der Bodenkartierung werden die Körnungsdaten und die davon abgeleitete Bodenart benötigt. Die Funktion (hier als Beispiel ein Polynom 3.Grades) kann auf der Basis von in Tabellenwerken vorhandenen Daten (z.B. KA5) berechnet werden.

### **10.2.5 Andere Anwendungen**

Weitere Verwendungszwecke für Bodendaten wurden in der Archäologie geortet, von der aber auch im umgekehrten Sinne meist sehr genaue, spezifische Bodendaten in den allgemeinen, noch zu schaffenden Datenpool zurückfliessen könnten. Hier besteht ganz offensichtlich zunächst ein grosser Bedarf an Informations- und wenn immer möglich auch Datenaustausch.

Für die Bedürfnisse der Umweltbeobachtung, die sich immer noch weitgehend auf Schadstoffdaten und -indikatoren sowie den Bodenverbrauch abstützt, wäre ein Bodenfruchtbarkeitsindex von grossem Interesse, der als integraler Indikator zur Beurteilung des qualitativen Zustand des Bodens herangezogen werden könnte.

Neue Verwendungszwecke von Bodendaten wurden auch für die Biodiversitätsüberwachung eruiert, dies vor dem Hintergrund, dass der Boden ja ein riesiges Biodiversitäts-Reservoir darstellt, dies jedoch sehr selten artikuliert und dementsprechend auch nicht ausgewertet wird. Ein solches Instrument könnte auch zur Sensibilisierung bezüglich des sorgsamem Umgangs mit dem Boden beitragen.

## **10.3 Methoden**

### **10.3.1 FAL-Bodenkartierung+**

Die FAL-Bodenkartierung+ ist seit 20 Jahren eine bewährte Methode, die die Ansprüche an eine digital abgestützte Datennutzung erfüllt, wie die Beispiele in Kap. 3.2 belegen.

Die Datenerhebung von Bodendaten für grossmassstäbige Karten, wie sie mit dieser Methode vorgenommen wird, erfüllt die Vorgaben, insbesondere bezüglich Datendichte und Repräsentativität, wie sie auch in deutschen oder französischen Kartier-Anleitungen definiert sind. Es muss darauf geachtet werden, dass diese wichtigen Qualitätsmerkmale auch unter Kostendruck erhalten bleiben.

Aufgrund des definierten Datenmodells wird es auch in Zukunft problemlos möglich sein, einen erweiterten Datensatz bewirtschaften zu können, wie es sich aus den Befragungen abzeichnet, z.B. eine Erweiterung mit der Makroporosität.

### **10.3.2 Modellierete Bodendaten**

Eine Verwendung von modellierten flächenhaften Bodendaten in der Praxis des primären Sektors ist noch nicht bekannt. Es ist jedoch nicht auszuschliessen, dass solche Bodendaten, zumindest für einzelne ausgewählte Attribute, nach erfolgreicher Validierung der verschiedenen in Entwicklung stehenden Modellansätze (s. Kap. 3.3) in Zukunft verwendet werden könnten.

Voraussetzung zur Etablierung einer solchen Datenerhebung ist jedoch, dass die Qualität der Daten, insbesondere auch bezüglich der räumlichen Auflösung, diejenige der heute mit der FAL-Kartiermethode+ erarbeiteten Daten erreicht und zugleich finanzierbar ist.

#### **10.4 Oekonomische Aspekte**

Böden erbringen grosse und nachhaltige Leistungen (z.B. Wasser-Speicher, Stoffkreislauf, Regeneration), die ökonomisch zu bewerten sind. Es ist unbestritten, dass zudem viele Bodenschäden durch Massnahmen, die auf der Basis von detaillierten Bodendaten ergriffen würden, vermieden werden könnten.

Es ist auf eine entsprechende Abgeltung dieser Leistungen hinzuwirken.

Eine europaweite bodenspezifische Untersuchung zur Zahlungsbereitschaft (Willingness-to-pay-Ansatz) für qualitativ gute Bodendaten führte zu interessanten Ergebnissen.

Eigene Überlegungen zu Aufwand und Ertrag bei Bodenkartierungen „state of the art“ und Resultate aus der Bedarfsanalyse zeigen mögliche Wege zu Finanzierungscoalitionen unter verschiedenen Nutzerkreisen auf.

#### **10.5 Die Umsetzung der Bodeninformationsbeschaffung als Langzeitprojekt**

Es erstaunt nicht, dass sich die Beschaffung von Bodeninformationen als Langzeitprojekt entpuppt, sowohl angesichts des Kostenrahmens als auch bezüglich der personellen Ressourcen, die zur Umsetzung nötig sind.

Einige Kantone sind schon längere Zeit daran, „ihr“ Generationenprojekt umzusetzen. Die entsprechenden Kennzahlen zu finanziellem und personellem Ressourcenbedarf stimmen im Vergleich zum jeweiligen Umfang der Projekte weitgehend mit den in diesem Bericht erarbeiteten Zahlen überein.

Es bietet sich somit heute die grosse Chance, den grossen Bedarf an qualitativ guten, meist grossmassstäbigen Bodeninformationen in Form eines Langzeitprojektes zu lancieren, was wohl nur in einem grossen Verbund auf Bundesebene möglich ist.

Informationen zum Umfang und zu den Inhalten dieses grossen Projektes wurden in diesem Bericht aufgezeigt.

Schliesslich wird der Wille, den Boden verstehen zu wollen und mit Bodeninformationen ausreichend beschreiben zu können, darüber entscheiden, ob dieses Langzeitprojekt gestartet und umgesetzt werden kann. Dies zum Wohle und Schutz einer unentbehrlichen Lebensgrundlage.

### **11 Dank**

Die Autorenschaft dankt dem Auftraggeber für den interessanten Auftrag.

Allen interviewten Personen sind wir zu grossem Dank verpflichtet. Ohne deren Bereitschaft zu aufschlussreichen Gesprächen hätte der vorliegende Bericht kaum entstehen können. Dank dem offenen Dialog haben wir viele wertvolle Erkenntnisse gewonnen, die, so hoffen wir, dem Boden zugutekommen werden.

## 12 Anhänge

### 12.1 Orientierungsschreiben an die Interviewten

*Befragung unterschiedlicher Nutzer zu ihren Bedürfnissen nach Bodeninformationen (BAFU-Projekt)*

---

#### INFORMATION FÜR INTERVIEWPARTNER

##### 1 Um was geht es?

Der Bundesrat hat im Oktober in seiner Antwort zu einem Postulat von NR HJ. Walter, die nachhaltige Wasserstrategie des Bundes betreffend, im Oktober 2012 einen Bericht verabschiedet, in dem festgehalten wird, dass die Schweiz grundsätzlich über genügend Wasser verfügt, wobei es aber in Zukunft durchaus zu zeitlich beschränkten, lokal oder regional begrenzten Knappheitssituationen kommen kann.

Dieser Bericht stellt allerdings auch fest, dass die Schweiz **über keine flächendeckenden Bodeninformationen verfügt. Diese sind nicht nur für hydrologische und hydrogeologische Fragestellungen, sondern auch für die an den jeweiligen Standort angepassten Nutzungen der Land- und Forstwirtschaft, für Bewässerungsfragen und in vielen weiteren Fachbereichen, die den Boden nutzen, zentral.**

Das Bedürfnis nach verlässlichen, flächenhaft vorhandenen Bodeninformationen ist weitherum anerkannt und unbestritten – eine konkrete Erfassung dieser Bedürfnisse für Bodendaten bei den zuständigen und betroffenen Personen und Branchenvertretern wurde jedoch bis heute nicht vorgenommen.

Hauptziel dieses BAFU-Auftrags ist daher, den Bedarf an Bodendaten auf der Basis von existierenden Studien, von praktischen Erfahrungen und vor allem von persönlichen Interviews zu erheben und zu dokumentieren. Diese Erkenntnisse sollen in Ergänzung zum Postulat Walter mittel- bis langfristig in die Etablierung eines Konzeptes Bodeninformation Schweiz einfließen.

##### 2 Wie gehen wir vor?

Nebst der Sichtung vorhandener Unterlagen und Zusammenstellungen vielfältiger Art zu den bereits vorhandenen Bodendaten ist es ein Anliegen, **Direkt-Betroffene und Interessierte an Bodeninformationen zu kontaktieren und in Form eines Interviews die spezifische Bedürfnislage zu eruieren und davon den konkreten Bedarf an Bodendaten resp. davon abgeleiteter Produkte festzuhalten.**

Zu diesem Zweck machen wir mit den ausgewählten Interviewpartnern nach vorheriger Anfrage ein 1-2-stündiges Interview, um die „Rohbedürfnisse“ nach Bodendaten im Gespräch konkretisieren zu können.

Die Ergebnisse des Interviews bilden die Basis für den oben beschriebenen spezifischen Bedarfsumfang, der als ein Baustein für die Erstellung der Gesamt-Bedürfnisanalyse von Bodeninformationen dient.

##### 3 Grobes Frageraster

Das Interview gliedert sich grob in folgende Teile

- Charakterisierung des durch den/die Interviewte(n) betreuten Fachgebietes
- aktuelle Nutzung von Bodeninformationen
- gewünschte Nutzung von Bodeninformationen
- Priorisierung (räumlich/zeitlich)
- erwünschter Zugang zu Basisdaten

- modellierte Bodeninformationen ?
- Anregungen

Diese Interviews bedürfen seitens der Interviewten keiner speziellen Vorbereitung. Die notwendigen Unterlagen hierzu werden durch die Befrager bereitgestellt.

#### **4 Resultate**

Das Ergebnis des Interviews wird in zusammengefasster schriftlicher Form den jeweiligen Interviewten zur Stellungnahme zugestellt.

Die Gesamt-Ergebnisse der Bedürfnis-Abklärung werden in einem Schlussbericht zusammengefasst und nach Genehmigung durch den Auftraggeber allen Interviewpartnern zugestellt.

Die Fragebogen der individuellen Befragungen werden jedoch im Schlussbericht nicht zugänglich gemacht.

#### **5 Administratives**

Unkosten, die den Interviewpartnern in Privatbüros oder Selbständigerwerbenden durch die Teilnahme an den Interviews erwachsen, werden entschädigt.

##### **Auftragnehmer**

Arbeitsgemeinschaft AAB:

- Marianne Knecht  
c/o Ambio GmbH, angewandte Umweltwissenschaften, Wildbachstr. 46, 8008 Zürich
- Claude Lüscher  
c/o Arcoplan, Limmatauweg 9, 5408 Ennetbaden
- Franz Borer  
c/o Borer Bodenexpertisen, Holunderweg 1, 4552 Derendingen

##### **Kontakt:**

Marianne Knecht  
Ambio GmbH, Wildbachstrasse 46, 8008 Zürich  
Tel. 044 383 70 71  
ambio@bluewin.ch

## 12.2 Interview-Raster

### Fragebogen

(stark gestraffte, platzsparende Form)

<b>Fragebogen Bedürfnisabklärung</b>			
Datum			
Fachgebiet			
Aufgabenbereich			
Nähere Spezifikation			
Funktion	Name*	Vorname*	Titel*
Adresse Tel.		Internet	
<b>1 Aktuelle Nutzung von Bodendaten BD</b>			
Arbeiten Sie bereits mit BD?		Ja	Nein
1a Mit welchen BD:			
1b Sind diese BD in der angefügten Matrix (s. Produkte) enthalten? Welche?			
Nr. Produkt	Anmerkungen		
1c Art der Daten			
<b>2 Gewünschte Nutzung von Bodendaten BD /Lücken</b>			
Nr. Produkt	Anmerkungen		

2a Art der Daten			
2b Priorisierung P			
Regional (kantonal?)	Talböden (Kriterium1)		Begründung
	<i>P1 Grenze Bauzone</i>	<i>P2 entlang A1</i>	<i>Siedlungsdruck</i>
	Hangböden (Kriterium 2)		
	<i>P1 Flachhänge Grenze Bauzone</i>	<i>P2 ....</i>	
<b>3 Zugang erwünscht...</b>			
zu Basisdaten ?	ja	nein	
zu ausgewerteten Produkten?	ja	nein	
3a Welche? (Vorschläge)			
<b>4 Modellierung MD</b>			
4a Haben Sie Erfahrung mit modellierten Daten?			
4b Was genau wurde modelliert?			
<b>5 Anregungen</b>			
<b>6 Welche weiteren Bereiche sollten aus Ihrer Sicht in die Befragung miteinbezogen werden?</b>			
Bereich	Interviewpartner		

## 12.3 Auswertungs-Matrix

Tab. 17: Parameterliste zum Ausfüllen der Auswertungs-Matrix (eigene Klassifikation)

Beurteilungs-Parameter	Parameter-Code und Aussage zu Beurteilungs-Parameter													
<b>Bodendaten-Charakter:</b> Charakter der für die jeweilige Nutzung notwendigen Bodendaten	<b>F<sup>59</sup></b>	Flächendaten sowie Daten von 5-7 Bodenprofilen/100 ha (entspricht aktuellem Stand der Technik BoKa FAL+)			<b>P</b>	nur Punktdaten (standardmässig gemäss KLABS resp. KA Feld- und Waldböden)			<b>FP</b>	Flächendaten und zusätzliche Punktdaten über die standardmässige Anzahl bei der Flächenkartierung (s. „F“) hinaus.				
<b>Auflösung (Ziel-Massstab):<sup>60</sup></b> für die jeweilige Nutzung erforderliche Auflösung (Massstab)	<b>g</b>	grossmassstäbig: 1:2'500 – 1:10'000			<b>m</b>	mittelmassstäbig: 1:25'000 bis 1:50'000			<b>k</b>	Kleinmassstäbig: 1:100'000 und kleiner				
<b>Datenverfügbarkeit</b> Beurteilung des Datenzugangs auf der Basis der Bodenkartierungsmethode FAL+ betreffend der spezifizierten Nutzung	<b>1</b>	Daten sind normalerweise uneingeschränkt zugänglich			<b>2</b>	Daten sind mit kleinem Aufwand aus vorhandenen Attributdaten ableitbar			<b>3</b>	Datenbereitstellung bedingt grösseren Aufwand und evtl. Erhebung zusätzlicher Attribut- oder Hilfsdaten				
<b>Räumliche Zuordnung</b> Zuweisung der für die jeweils spezifizierte Nutzung relevanten Zonen	<b>T</b>	Talgebiet, umfassend Tal- und Hügelzone	<b>TB1</b>	Talgebiet, umfassend Tal- und Hügelzone; sowie Bergzone I	<b>B</b>	Berggebiet, umfassend Bergzone I - IV	<b>Sö</b>	Sömmerungsweiden; alpwirtschaftliche Nutzflächen in den Alpen und im Jura	<b>WM</b>	Mittelland-Wälder	<b>WA</b>	Wälder im Jura, in den Voralpen und in den Alpen	<b>Si</b>	Siedlungsgebiete

<sup>59</sup> (F) bedeutet: Flächendaten-Erhebung mit einer reduzierten, der spezifizierten Nutzung angepassten Flächen-Ausdehnung

<sup>60</sup> Wenn keine Flächenkartierung erforderlich ist (nur Profildaten P) wird das Feld für die „Auflösung (Ziel-Massstab)“ mit „-“, ausgefüllt.

Tab. 18: Auswertungs-Matrix: Bedarf an Attribut-(AD) und davon abgeleiteten kombinierten Nutzerdaten (ND) (eigene Klassifikation)

		AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
Nutzung / Anwendung	Code Spezifikation	Spezifikation														notwendige Parameter zur Generierung der kombinierten Nutzerdaten														
		Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt-)	Skelettklassifikationsklasse OB/UB	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Helligkeit	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodenuntertyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>eff</sub> )	Nitratrückhaltevermögen	Abflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsgefährdung (ordinaler Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Selteneität, Naturnähe, Archivfunktion etc.		
																Tongehalte/Schluffgehalte OB/UB in %														
																Lagerungsdichte, Tongehalt	WVG, Skelettgehalt, Bodenart, Bodentyp	pH, Tongehalt, Humusgehalt	div. PTF (BMVEL, 2004) oder Tabellenwerke KA5.	Skelettgehalt, Humusgehalt, pnG, Bodenart, Lagerungsdichte	nFKW <sub>eff</sub> + Sickerwasserrate	WVG + weitere Parameter	pnG, eff. Lagerungsdichte, Schadstoffgehalte	Schadstoffgehalte	pH, Karbonatgehalt, Humusgehalt, Ton-/Schluffgehalt, Skelett, pnG	Basis: Attribute aus Wegleitung Bodenfruchtbarkeit	div. Parameter			
<b>A Forstwirtschaft</b>	<b>A1</b>	• Wasserpotential (Bodenwasserhaushalt)	F g 1 WM	F g 1 WM		F g 1 WM						F g 1 WM			F g 1 WM				F g 2 WM	F g 2 WM										
	<b>A2</b>	• Verdichtungsgefährdung	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM						F g 1 WM	F g 1 WM			F g 1 WM		F g 2 WM													

Schlussbericht - Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen

Nutzung / Anwendung	Code	Spezifikation	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
			Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt-)	Skeletthaltsklasse OB/UB	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Hellige	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodenuntertyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>er</sub> )	Nitratrückhaltevermögen	Ablflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsgefährdung (ordinärer Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Seltenheit, Naturnähe, Archivfunktion etc.	
	A3	• Baumartenwahl	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM	F g 1 WM												F g 2 WM	
	A4	• Filterfunktion (Quell- und Grundwasserschutz)	(F)P g 1 WM /WA	(F)P g 1 WM /WA	(F)P g 1 WM /WA	(F)P g 1 WM /WA		(F)P g 1 WM /WA	(F)P g 1 WM /WA	(F)P g 1 WM /WA	(F)P g 1 WM /WA		(F)P g 1 WM /WA	(F)P g 3 1 WM /WA	(F)P g 1 WM /WA	(F)P g 1 WM /WA			(F)P g 2 WM /WA		(F)P g 2 WM /WA		(F)P g 2 WM /WA				(F)P g 2 WM /WA			
B Landwirtschaft	B1	• Wasserpotential (Bodenwasserhaushalt)	F g 1 T	F g 1 T		F g 1 T							F g 1 T			F g 1 T				F g 2 T	F g 2 T									
	B2	• Verdichtungsgefährdung	F g 1 T	F g 1 T		F g 1 T							F g 1 T				F g 1 T		F g 2 T											
	B3	• Kalkbedarf		F g 1 T			F g 1 T	F g 1 T	F g 1 T				F g 1 T				F g 1 T											F g 2 T		
	B4	• Erosionsgefährdung	F g 1 TB1	F g 1 TB1		F g 1 TB1								F g 1 TB1			F g 1 TB1													
	B5	• Anthropogene Böden	P - 1 T	P - 1 T	P - 1 T	P - 1 T		P - 1 T	P - 1 T		P - 1 T		P - 1 T	P - 1 T			P - 1 T				P - 2 T						P - 1 T			P - 3 T

Schlussbericht - Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen

Nutzung / Anwendung	Code	Spezifikation	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
			Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt-)	Skeletthaltklasse OB/UB	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Hellige	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodenuntertyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>er</sub> )	Nitratrückhaltevermögen	Ablflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsgefährdung (ordinärer Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Seltenheit, Naturnähe, Archivfunktion etc.	
	<b>B6</b>	• Degradierung organischer Böden	(F) g 1 T	(F) g 1 T	(F) g 1 T	(F) g 1 T		(F) g 1 T	(F) g 1 T	(F) g 1 T			(F) g 1 T	(F) g 1 T		(F) g 1 T		(F) g 2 T		(F) g 2 T	(F) g 2 T							(F) g 3 T	(F) g 3 T	
	<b>B7</b>	• Bewässerungsbedürftigkeit / Bewässerungsbedarf	(F) g 1 TB1			(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1		(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1			(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1		(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1			(F) g 2 TB1	(F) g 2 TB1									
	<b>B8</b>	• Rückstandsproblematik von Hilfsstoffen	F g 1 T	F g 1 T		F g 1 T	F g 1 T	F g 1 T	F g 1 T	F g 1 T		F g 1 T			F g 3 T	F g 1 T			F g 2 T			F g 2 T					F g 2 T		F g 3 T	F g 3 T
	<b>B9</b>	• Bestimmung der Eignungsklassen	F g 1 T	F g 1 T		F g 1 T	F g 1 T		F g 1 T	F g 1 T		F g 1 T			F g 1 T	F g 1 T					F m/g 2 T							F m/g 3 T	F m/g 3 T	
<b>C</b>	<b>Natur-</b>																													
	<b>C1</b>	• Schaffung von Ruderalflächen	F m/g 1 T/B				F m/g 1 T/B	F m/g 1 T/B					F m/g 1 T/B	F m/g 1 T/B															F m/g 3 T/B	F m/g 3 T/B
	<b>C2</b>	• funktionale Biodiversität des Bodens	P - 1 alle			P - 1 alle	P - 1 alle		P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle		P - 1 alle	P - 1 alle		P - 1 alle			P - 1 alle		P - 1 alle							P - 1 alle	P - 1 alle	
	<b>C3</b>	• Bodendiversität / schützenswerte Böden	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle			P - 1 alle	P - 1 alle				P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle		P - 1 alle											P - 3 alle	P - 3 alle	

Schlussbericht - Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen

Nutzung / Anwendung	Code	Spezifikation	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
			Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt-)	Skeletthaltsklasse OB/UB	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Hellige	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodenuntertyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>er</sub> )	Nitratrückhaltevermögen	Ablflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsgefährdung (ordinärer Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Seltenheit, Naturnähe, Archivfunktion etc.
	<b>C4</b>	• Bodenfruchtbarkeit	P - 1 alle	P - 1 alle		P - 1 alle		P - 1 alle	P - 1 alle			P - 1 alle	P - 1 alle				P - 1 alle									P - 2 alle		P - 3 alle	
<b>D Siedlung</b>	<b>D1</b>	• schadstoffbelastete Böden / Altlastenflächen	FP g 1 T	FP g 1 T	FP g 1 T		FP g 1 T	FP g 1 T	FP g 1 T			FP g 1 T	FP g 1 T				FP g 1 T									FP g 2 T	FP g 2 T		
	<b>D2</b>	• FFF am Siedlungsrand → L2	(F) g 1 T	(F) g 1 T		(F) g 1 T	(F) g 1 T		(F) g 1 T				(F) g 1 T				(F) g 1 T	(F) g 2 T							(F) g 1 T	(F) g 1 T			
<b>E Ödland</b>	<b>E1</b>	• Erosionsgefährdung	F g 1 T/B	F g 1 T/B		F g 1 T/B								F g 1 T/B			F g 1 T/B												
	<b>E2</b>	• Infrastrukturbauten	(F)P g 1 T/B	(F)P g 1 T/B	(F)P g 1 T/B	(F)P g 1 T/B		(F)P g 1 T/B	(F)P g 1 T/B				(F)P g 1 T/B	(F)P g 1 T/B			(F)P g 1 T/B	(F)P g 1 T/B	(F)P g 2 T/B	(F)P g 2 T/B						(F)P g 2 T/B			
<b>F Bodenschutz</b>	<b>F1</b>	• Bodenfruchtbarkeits-Index als integraler und nachhaltiger Indikator	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle			P - 2 alle	P - 2 alle			P - 2 alle	P - 2 alle				P - 1 alle	P - 2 alle	P - 3 alle	
	<b>F2</b>	• Schadstoffbelastete Böden		(F)P g 1 T	(F)P g 1 T		(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T				(F)P g 1 T	(F)P g 1 T			(F)P g 1 T									(F)P g 1 T	(F)P g 2 T		

Schlussbericht - Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen

Nutzung / Anwendung	Code	Spezifikation	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND				
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
			Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt-)	Skeletthaltsklasse OB/UB	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Hellige	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodenuntertyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>er</sub> )	Nitratrückhaltevermögen	Ablflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsgefährdung (drainaler Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Seltenheit, Naturnähe, Archivfunktion etc.		
	F3	• Verdichtungsgefährdung	F g 1 1 T/W M	F g 1 1 T/W M	F g 1 1 T/W M				F g 1 1 T/W M	F g 1 1 T/W M		F g 1 1 T/W M				F g 1 1 T/W M		F g 2 1 T/W M													
	F4	• Erosionsgefährdung	F g 1 1 T/B	F g 1 1 T/B	F g 1 1 T/B									F g 1 1 T/B			F g 1 1 T/B														
	F5	• Rekultivierung	(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B			(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 1 1 T/B								(F)P g 1 1 T/B	(F)P g 3 1 T/B			
	F6	• Bodendiversität	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle			P - 1 alle	P - 1 alle				P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle		P - 1 alle											P - 3 alle	P - 3 alle		
G Grundwasser	G1	• Schutzzonen (Fassungsbereiche; Zuströmbereiche)	(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 1 1 T/ WM		(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 1 1 T/ WM			(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 3 1 T/ WM	(F)P g 1 1 T/ WM		(F)P g 2 1 T/ WM									(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 2 1 T/ WM				
	G2	• Trinkwasserneubildung / Nitratbelastung	(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 1 1 T/ WM		(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 1 1 T/ WM			(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 3 1 T/ WM	(F)P g 1 1 T/ WM		(F)P g 2 1 T/ WM									(F)P g 1 1 T/ WM	(F)P g 2 1 T/ WM				
	G3	• Vulnerabilität Karst	(F)P g	(F)P g	(F)P g			(F)P g	(F)P g			(F)P g	(F)P g	(F)P g	(F)P g	(F)P g		(F)P g										(F)P g			

Schlussbericht - Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen

Nutzung / Anwendung	Code	Spezifikation	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
			Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt-)	Skeletthaltsklasse OB/UB	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Hellige	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodenuntertyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>er</sub> )	Nitratrückhaltevermögen	Ablflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsgefährdung (ordinärer Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Selteneit, Naturnähe, Archivfunktion etc.	
			1 B	1 B	1 B				1 B	1 B		1 B		1 B	1 B	3 B	1 B			2 B				2 B				2 B		
	G4	• Versickerung	(F)P g 1 T/B	(F)P g 1 T/B	(F)P g 1 T/B				(F)P g 1 T/B	(F)P g 1 T/B		(F)P g 1 T/B	(F)P g 1 T/B		(F)P g 3 T/B	(F)P g 1 T/B			(F)P g 2 T/B							(F)P g 1 T/B	(F)P g 1 T/B			
H Hochwasser / -Abfluss	H1	• Wasser-Resorptionsvermögen (maximal und als Variable)	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B			(F) g/m 1 T/B			(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 3 T/B	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 2 T/B			(F) g/m 2 T/B	(F) g/m 2 T/B				(F) g/m 2 T/B					
	H2	• Abflussprozess-Charakter (Wasserhaushalt an Grenzschichten)	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B				(F) g/m 1 T/B			(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 3 T/B	(F) g/m 1 T/B				(F) g/m 2 T/B					(F) g/m 2 T/B				
	H3	• Beeinträchtigungen des Gewässer-raums	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B		(F) g/m 1 T/B			(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B			(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 1 T/B		(F) g/m 3 T/B	(F) g/m 1 T/B	(F) g/m 2 T/B			(F) g/m 2 T/B				(F) g/m 2 T/B					
I Landschafts-schutz / LEK	I1	• Seltene Böden																												P - 3 alle
	I2	• Extreme Standorte	P - 1 alle		P - 1 alle										P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle	P - 1 alle											P - 3 alle	P - 3 alle

Schlussbericht - Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen

Nutzung / Anwendung	Code	Spezifikation	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
			Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt-)	Skeletthaltsklasse OB/UB	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Hellige	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodenuntertyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>eff</sub> )	Nitratrückhaltevermögen	Ablflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsgefährdung (drainaler Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Seltenheit, Naturnähe, Archivfunktion etc.
<b>K Geologie / Naturgefahren / Bodenmechanik</b>	<b>K1</b>	• Art und Lage C-Horizont (geolog. Formation, Lithologie)			(F)P g/m 1 T/B	(F)P g/m 1 T/B							(F)P g/m 1 T/B	(F)P g/m 1 T/B	(F)P g/m 1 T/B		(F)P g/m 1 T/B												
	<b>K2</b>	• Wasserhaushalt an Grenzschichten (Stauhorizonte / Gleithorizonte)	(F)P g/m 1 T/B		(F)P g/m 1 T/B	(F)P g/m 1 T/B							(F)P g/m 1 T/B	(F)P g/m 1 T/B	(F)P g/m 1 T/B														
	<b>K3</b>	• Rutschungen: Bodenmech. Parameter (Körnung / Gefüge)	(F)P g/m 1 T/B	(F)P g/m 1 T/B	(F)P g/m 1 T/B	(F)P g/m 1 T/B								(F)P g/m 1 T/B	(F)P g/m 1 T/B		(F)P g/m 1 T/B	(F)P g/m 2 T/B					(F)P g/m 2 T/B		(F)P g/m 2 T/B				
<b>L Raumplanung</b>	<b>L1</b>	• Ausscheidung Eignungsklassen in Nichtbaugebiet	F g 1 T	F g 1 T		F g 1 T	F g 1 T			F g 1 T	F g 1 T		F g 1 T			F g 1 T						F m/g 2 T						F m/g 3 T	
	<b>L2</b>	• FFF-Ausscheidung	F g 1 T	F g 1 T		F g 1 T	F g 1 T			F g 1 T			F g 1 T			F g 1 T	F g 2 T					F g 2 T				F g 1 T			
	<b>L3</b>	• Boden-„Aufwertung“	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T		(F)P g 1 T	(F)P g 1 T		(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T			(F)P g 1 T	(F)P g 1 T		(F)P g 1 T		(F)P g 2 T				(F)P g 2 T			(F)P g 1 T		(F)P g 3 T	

Schlussbericht - Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen

Nutzung / Anwendung	Code	Spezifikation	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
			Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt)	Skeletthaltsklasse OB/UB	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Hellige	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodenuntertyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>eff</sub> )	Nitratrückhaltevermögen	Ablflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsgefährdung (ordinärer Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Seltenheit, Naturnähe, Archivfunktion etc.
	L4	• Stadtböden und rezent anthropogene Böden	(F)P g 1 T/Si	(F)P g 2 T/Si	(F)P g 2 T/Si	(F)P g 2 T/Si	(F)P g 2 T/Si							(F)P g 1 T/Si	(F)P g 3 T/Si	(F)P g 3 T/Si													
M	M1	• Verdichtungsgefährdung	(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1					(F) g 1 TB1				(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1	(F) g 2 TB1													
	M2	• Boden-Wiederherstellung (Textur, pnG; Wasserhaushalt)	(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1		(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1			(F) g 1 TB1	(F) g 1 TB1	(F) g 2 TB1									(F) g 1 TB1	(F) g 2 TB1		
	M3	• Bodenschutz und Bauen im Berggebiet (alpine Böden) inkl. Rekultivierung	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 3 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 2 B/ Sö	(F)P g/m 2 B/ Sö		(F)P g/m 2 B/ Sö	(F)P g/m 2 B/ Sö						(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 2 B/ Sö	(F)P g/m 3 B/ Sö	(F)P g/m 3 B/ Sö
N	N1	• Bodenwasserhaushalt (Wasserpotential)	F g 1 TB1	F g 1 TB1		F g 1 TB1								F g 1 TB1	F g 1 TB1				F g 2 TB1	F g 2 TB1									
	N2	• Erhaltung / Wiederherstellung Bodenqualität	FP g 1 TB1	FP g 1 TB1	FP g 1 TB1	FP g 1 TB1	FP g 1 TB1	FP g 1 TB1		FP g 1 TB1	FP g 1 TB1	FP g 1 TB1			FP g 1 TB1	FP g 1 TB1	FP g 2 TB1									FP g 1 TB1		FP g 3 TB1	
O	O1	• Archäologie / Aufschlüsse und Gra-	P - 1	P - 1	P - 1	P - 1	P - 1	P - 1						P - 1	P - 1											P - 1			P - 3

Schlussbericht - Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen

Nutzung / Anwendung	Code	Spezifikation	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
			Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt-)	Skeletthaltsklasse OB/UB	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Hellige	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodenuntertyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>er</sub> )	Nitratrückhaltevermögen	Ablflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsgefährdung (ordinärer Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Seltenheit, Naturnähe, Archivfunktion etc.	
		bungen	T	T	T	T	T	T	T	T			T	T			T									T		T		
	O2	• Inventar anthropogen gestörter Böden (Artefakte)	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T			(F)P g 1 T	(F)P g 1 T			(F)P g 1 T									(F)P g 1 T		(F)P g 3 T		
	O3	• fossile / reliktsche Böden → Geotope	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T	(F)P g 1 T			(F)P g 1 T	(F)P g 1 T			(F)P g 1 T									(F)P g 1 T		(F)P g 3 T		
P Klimawandel	P1	• Wasserhaushalt (Angebot)	(F)P g/m 1 TB1	(F)P g/m 1 TB1		(F)P g/m 1 B1							(F)P g/m 1 TB1			(F)P g/m 1 TB1	(F)P g/m 1 TB1			(F)P g/m 2 TB1	(F)P g/m 2 TB+									
	P2	• Wasserhaushalt (Steuergrößen)	(F)P g/m 1 TB1	(F)P g/m 1 TB1		(F)P g/m 1 B1							(F)P g/m 1 TB1			(F)P g/m 1 TB1	(F)P g/m 1 TB1			(F)P g/m 2 TB1	(F)P g/m 2 TB+									
	P3	• Allg. Bewässerungsfragen (Bedarf / Dargebot)	(F)P g/m 1 TB1	(F)P g/m 1 TB1		(F)P g/m 1 B1							(F)P g/m 1 TB1			(F)P g/m 1 TB1	(F)P g/m 1 TB1			(F)P g/m 2 TB1	(F)P g/m 2 TB+									
	P4	• Modellierung	(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö		(F)P g/m 1 B/ Sö							(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö			(F)P g/m 1 B/ Sö	(F)P g/m 1 B/ Sö			(F)P g/m 2 B/ Sö	(F)P g/m 2 B/ Sö								
	P5	• Bewässerung im	(F)P g/m	(F)P g/m		(F)P g/m							(F)P g/m			(F)P g/m	(F)P g/m			(F)P g/m	(F)P g/m									(F)P g/m

Schlussbericht - Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen

		AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Nutzung / Anwendung	Code Spezifikation	Spezifikation																											
		Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt-)	Skeletthaltsklasse OB/UB	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Hellige	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodenuntertyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>er</sub> )	Nitratrückhaltevermögen	Abflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsgefährdung (ordinärer Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Seltenheit, Naturnähe, Archivfunktion etc.	
	Berggebiet	1 B/ Sö	1 B/ Sö			1 B/ Sö						1 B/ Sö				1 B/ Sö	1 B/ Sö			2 B/ Sö	2 B/ Sö								2 B/ Sö
Q Umweltdaten / BIS neu	Q1	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle
	Q2	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 1 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle	FP g/m 2 alle
	Q3																			(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle
	Q4	(F)P m/k 1 alle				(F)P m/k 1 alle			(F)P m/k 1 alle			(F)P m/k 1 alle								(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle	(F)P m/k 2 alle
R Digital Soil Mapping	R1	P 1 alle	P 1 alle	P 1 alle	P 1 alle	P 1 alle	P 1 alle	P 1 alle	P 1 alle	P 1 alle	P 1 alle	P 1 alle	P 1 alle	P 1 alle	P 1 alle														
	R2	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 1 alle	FP g 2 alle	FP g 2 alle	FP g 2 alle	FP g 2 alle	FP g 2 alle	FP g 2 alle	FP g 2 alle	FP g 2 alle	FP g 2 alle	FP g 2 alle	FP g 2 alle	FP g 2 alle	FP g 2 alle

Schlussbericht - Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen

Nutzung / Anwendung ↓	Code	Spezifikation ↓	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND			
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
			Wasserhaushaltsgruppe	Körnungen % OB/UB	Gründigkeit (Gesamt-)	Skeletthaltklasse OB/UB	Pflanzennutzbare Gründigkeit	Karbonatgehalt / -grenze	pH Hellige	Org. Substanz	Gefüge	Humusform Wald	(Bodentyp) / Bodenuntertyp	Geolog. Ausgangsmaterial	Landschaftselement	Makroporosität	Bodenart OB/UB	Effektive Lagerungsdichte	Verdichtungsempfindlichkeit	Sorptionskapazität für Schadstoffe (Bindungsstärke)	Feldkapazität, Permanenter Welkepunkt PWP, nFK	Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum (nFKW <sub>eff</sub> )	Nitratrückhaltevermögen	Abflussprozesskarte (Teilbereich BWHG)	FFF-Ausscheidung (pnG / eff. LD)	Schadstoffbelastung	Versauerungsgefährdung (drainaler Wert für Basensättigung und Karbonat)	Bodenfruchtbarkeitsindex	Ökologische Leistungen (Bodenpotentiale) z.B. Seltenheit, Naturnähe, Archivfunktion etc.
<b>SUMME</b>			57	48	32	38	34	17	32	40	19	20	53	34	20	14	55	19	15	17	16	30	10	7	6	24	14	19	19
<b>Reihung</b>			1	3	8b	5	6a	13	8a	4	12	10a	2	6b	10b	14	1	4a	8a	7	8b	2	11	12	13	3	10	4b	4c

## 13 Begriffe

Für die weiteren Ausführungen in diesem Bericht ist es sinnvoll, einige immer wieder verwendete Begriffe zu erläutern:

### Bodenkartierung

- Bodenkartierung ist eine systematische, flächendeckende Bodeninventur.<sup>61</sup>
- Bodenkartierung ist die kartenmässige Erfassung, Kartierung und Beschreibung des Bodeninventars.<sup>62</sup>

### Bodenkarte

- Aufgrund seiner natürlichen Eigenschaften als Filter, Puffer, Regenerator und Pflanzenstandort nimmt der Boden im Naturraum eine zentrale Stellung ein. Diesbezüglich stellt die Bodenkarte eine Grundlagenkarte von hohem Informationswert dar. Bodenkarten geben Auskunft über die Bodenverhältnisse einer bestimmten Region oder Landschaft. Neben wichtigen Bodeneigenschaften enthalten sie auch Angaben über das Ausgangsmaterial (Muttermaterial, Substrat), die Bodenentwicklungsprozesse oder die Bodenklassifikation.<sup>63</sup>
- Eine Bodenkarte ist ein zwei-dimensionales Dokument auf Papier oder auf einer anderen Informationsunterlage, das ein vereinfachtes Bild der räumlichen Organisation der Böden im natürlichen Umfeld abbildet, dies unter Anwendung eines hohen Reduktionskoeffizienten.<sup>64</sup>
- Bodenkarten stellen den Bodenaufbau im Allgemeinen bis max. 1-2 m unter Geländeoberfläche in seiner räumlichen Verbreitung nach bodenkundlichen Gesichtspunkten dar. Die bodensystematische Kennzeichnung, vertikale Abfolge der Substratgenese und -zusammensetzung, Ausgangsmaterial der Bodenbildung sowie eine Vielzahl von physikalischen und chemischen Eigenschaften (Substratmerkmale) werden beschrieben.<sup>65</sup>

### FAL-Kartiermethode<sup>66</sup>

Auf der Basis der FAL-Kartiermethode<sup>67</sup> weiter entwickelte, attribut-orientierte, polygonweise unklassierte Datenerhebungs-Methode (ohne Legenden) mit digitaler Datenablage.

Basis für vielfältige Attributkarten und funktionale Anwenderkarten. In diesem Zusammenhang ist die bewusste Unterscheidung zwischen Punkt- und Flächendaten wichtig:

---

<sup>61</sup> Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Hannover.

<sup>62</sup> Hintermaier-Erhard G., Zech W. (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. Enke. Stuttgart.

<sup>63</sup> Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Brunner J., Jäggli F., Nievergelt J., Peyer K., Schriftenreihe der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL Zürich Reckenholz, 24. 1997

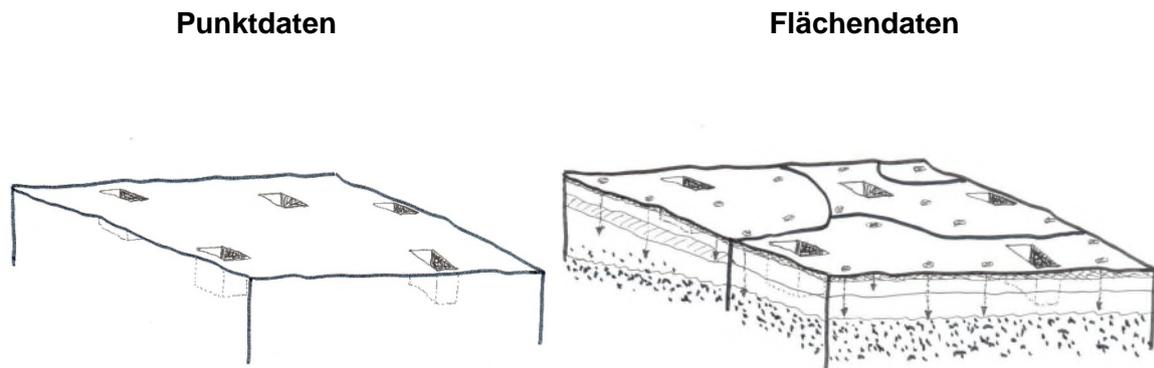
<sup>64</sup> Übersetzt aus: Legros J.-P. (1996): Cartographies des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires, Collection Gérer l'environnement 10, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.

<sup>65</sup> Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Hannover.

<sup>66</sup> BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Arbeitsgruppe Bodenkartierung (2014): Bodenkartierung Schweiz. Entwicklung und Ausblick. Autoren: Borer F. und Knecht M., Dokument BGS. 92 S.

<sup>67</sup> Brunner J., Jäggli F., Nievergelt J., Peyer K. (1997): Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Schriftenreihe der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL Zürich Reckenholz, 24.

Abb. 9: Unterschied zwischen Punkt- und Flächendaten



- |  |   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Punktuelle 2-D-Erfassung von Bodeneigenschaften (Profile)</li> <li>• <i>Raumbezug: Profil-Koordinaten</i></li> <li>• Keine Bildung von Bodeneinheiten (Polygone)</li> <li>• Reduktionistisches Abbild der Realität</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flächendaten bestehend aus punktueller 2-D-Erfassung von Bodeneigenschaften (Profile) und Bildung/Abgrenzung von Bodeneinheiten (Polygone) mithilfe von zusätzlichen Informationen aus Stichel-/Bohrungen- → 3-D-Informationen</li> <li>• <i>Raumbezug: Koordinaten (Profile/Bohrungen) und Flächen-Vektordaten</i></li> <li>• Bildung von Bodeneinheiten (Polygone)</li> <li>• Umfassendes Bild der Realität</li> </ul> |
|--|---|

### Pedotransferfunktionen

Pedotransferfunktionen sind Expertenregelsysteme oder statistische Regressionsmodelle, welche einfach zu messende Bodeneigenschaften (als Kovariablen) verwenden, um nur aufwändig zu messende oder nicht direkt messbare Bodeneigenschaften (Zielgrößen) abzuleiten. Pedotransferfunktionen sind prädiktive Funktionen zur Schätzung von bestimmten Bodeneigenschaften unter Verwendung von Daten aus Bodenuntersuchungen.<sup>68</sup>

### Funktionale Bodenkarten

Funktionale<sup>69</sup> Karten (Anwenderkarten) oder in Englisch ‚functional soil maps‘ sind immer zweckorientiert und lassen sich bezüglich ihrer Herleitung in

- direkt ableitbare
- mittels einfacher Algorithmen erstellte und
- mit umfangreichen Verknüpfungsregeln (Pedotransferfunktionen) errechnete Boden-Informationswerke („Karten“) einteilen.

<sup>68</sup> Bouma, J. and Van Lannen, H. A. J. (1987): Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities. -In: Quantified Land Evaluation. Proceedings of an ISSS/SSSA Workshop, Washington. ITC Publication, Enschede, the Netherlands.

<sup>69</sup> Synonyme zu funktional: zweckdienlich, funktionsgerecht, der Sache dienend, im Hinblick auf die Funktion. Funktionale Bodenkarten dienen immer einem nutzerorientierten, definierten Zweck.

## **Digitale Bodenkarte**

Eine digitale Bodenkarte ist die Visualisierung von digital vorliegenden, flächenhaften räumlichen Informationen über direkt gemessenen oder abgeleiteten Bodeneigenschaften und/oder Einheiten eines Bodenklassifikationssystems. Der Begriff wird auch für digitalisierte „klassische“ Bodenkarten verwendet.<sup>70</sup>

## **Digitale Bodenkartierung, allgemein<sup>71</sup>**

Digitale Bodenkartierung (digital soil mapping, DSM) ist die computergestützte Produktion von digitalen und Bodeneigenschaften- und Bodentypen-Karten. Deren Produktion beinhaltet die Anwendung von statistischen Regressionsmodellen, die Bodendaten mit Information über die Bodenbildungsfaktoren verknüpfen.

## **Digitale Bodenkartierung, klassischer Ansatz<sup>72</sup>**

Es können folgende Modelle unterschieden werden:

- “Data-Mining”:  
Basierend auf “Trainingsdaten” und Prädiktorenregeln (Entscheidungsbäume und –wälder) werden mittels multipler Regressionen die Schätzwerte für die Bodeneigenschaften bestimmt. Häufig verknüpft mit GIS-Anwendungen.
- Geostatistischer Ansatz:  
Nebst dem Prädiktorenansatz (s. oben) werden auch die räumlichen Korrelationen der Bodendaten mittels weiter entwickeltem Kriging mitberücksichtigt.
- Der Bodenkartierer-Ansatz:  
Die Modellierungsfunktionen werden mit dem Wissen von mit der Region vertrauten Bodenkartierern kombiniert und verbessert. Solche „hybriden“ Ansätze werden z.B. in Kombination mit Data-Mining-Modellen oder auch mit geostatistischen Modellen unter Miteinbezug der Daten von bereits vorhandenen digitalisierten Bodenkarten angewendet.

## **Regressionsmodell**

Ein Regressionsmodell beschreibt einen statistischen Zusammenhang zwischen einer Zielgröße (auch als abhängige Variable bezeichnet) und einer oder mehreren Kovariablen (auch als unabhängige Variable bezeichnet).

Ein Regressionsmodell wird verwendet, um den Zusammenhang zwischen der Zielgröße und den Kovariablen quantitativ zu beschreiben und um aus Werten der Kovariablen Vorhersagen für die Zielvariable zu berechnen. Im Allgemeinen kann der modellierte Zusammenhang zwischen Zielvariable und Kovariablen nicht kausal interpretiert werden, weil das Regressionsmodell in den meisten Fällen mit Erhebungsdaten entwickelt und an die Daten angepasst wird. In diesem Fall kann nie ausgeschlossen werden, dass die beobachtete Abhängigkeit zwischen

---

<sup>70</sup> Übersetzt aus: Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I., Toth G. (2006) : Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg

<sup>71</sup> Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I., Toth G. (2006) : Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, abgeändert nach A. Papritz.

<sup>72</sup> Übersetzt aus: Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I., Toth G. (2006) : Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg

der Ziel- und Kovariablen auf Abhängigkeiten der Zielgrösse und der Kovariablen und nicht erhobenen Drittvariablen beruht.

## **NABO**

Die Nationale Bodenbeobachtung NABO<sup>73</sup> ist ein Referenznetz sowie ein Instrument der Früherkennung und Erfolgskontrolle zum Schutz des Bodens.

Sie wird seit 1984 gemeinsam vom BAFU und vom Bundesamt für Landwirtschaft betrieben. Mit der Durchführung ist die Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon beauftragt.

Die NABO betreibt ein Referenzmessnetz, in dem langfristig die „normale“ Belastung der Böden der Schweiz erfasst werden. Der Auftrag zielt darauf, die Bodenbelastung und ihre Entwicklung sowie den Erfolg von Umweltschutzmassnahmen zu beurteilen. Im Sinne der Nachhaltigkeit und Vorsorge beinhaltet dies die Früherkennung von Bodenbelastungen (Monitoring), die Prozessmodellierung und Prognose (Modeling) sowie die Harmonisierung und räumliche Auswertung von Bodeninformationen, die Beurteilung und Bewertung von Böden (Bodenfunktionen) und deren Visualisierung (Mapping). Die Bodenbeobachtung leistet einen wichtigen Beitrag zur Kontrolle der ökologischen Nachhaltigkeit und gibt Antworten zu den Bodengefahren (Soil Threats) und dem Leistungsvermögen der Böden (Soil Functions) in der Schweiz.

## **NABODAT**

NABODAT<sup>74</sup> ist das Synonym für das Nationale Bodeninformationssystem. Mit dieser Fachapplikation können die Kantone und der Bund ihre aktuellen als auch die über Jahrzehnte erhobenen Bodeninformationen zusammenführen und effizient nutzen.

Mit NABODAT wollen Bund und Kantone die in der Schweiz verfügbaren digitalen Bodendaten in einer Datenbank zusammenführen und mit einem geographischen Informationssystem (GIS) verknüpfen. Ziel ist es, einerseits die Zusammenarbeit zwischen Kantonen untereinander und zwischen Bund und Kantonen in Bodenschutzfragen zu verstärken und andererseits digitale Bodeninformationen für die verschiedensten Fachdisziplinen und Fragestellungen zukünftig zur Verfügung stellen zu können.

---

<sup>73</sup><https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/de/home/themen/umwelt-ressourcen/boden-gewaesser-naehrstoffe/nabo.html>

<sup>74</sup> <http://www.nabodat.ch/index.php/de/>

## 14 Literaturverzeichnis

- Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung (KA 5). 5. verbesserte und erweiterte Auflage. Hannover.
- AFES Association française pour l'étude du sol (2009): Référentiel pédologique 2008. Coordination éditoriale: Baize D.; Editions Quae.
- Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn (1995): Bodenkartierung Kanton Solothurn. Konzept. Berichte, Nr. 23.
- ARE Bundesamt für Raumentwicklung (2006): Sachplan Fruchtfolgeflächen FFF. Vollzugshilfe.
- Bade S., Ott W., von Grünigen S. (2011): Zahlungsbereitschaft für Massnahmen zur Förderung der Biodiversität im Wald. Schweiz. Z. Forstwesen. Bd. 162 (11): 382-388.
- BAFU Bundesamt für Umwelt (Hrsg.): Umwelt. (2013), Nr. 4, S. 39 -41
- Baize D. et Jabiol B. (1995) : Guide pour la description des sols. INRA Editions. 172 p.
- BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Arbeitsgruppe Bodenkartierung (2000): Umfrage Bodenkartierung. Bedarfsabklärung Bodenkarten und Bodeninformation, Aufgaben im Zusammenhang mit der Bodenkartierung, Ideen zu einer Bodeninformationsstelle. BGS Dokument 10.
- BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Arbeitsgruppe Bodenkartierung (2014): Bodenkartierung Schweiz. Entwicklung und Ausblick. Autoren: Borer F. und Knecht M., Dokument BGS. 92 S.
- BGS Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (2010): Klassifikation der Böden der Schweiz. Bearbeitet von der Arbeitsgruppe Klassifikation und Nomenklatur. Dritte, korrigierte Auflage 2008. Luzern.
- Borer F. (2010): Bodenschutz im Wald – Annäherung an ein Wahrnehmungsproblem. Schweiz Z Forstwes 161 (2010) 12: 482-488.
- Borer F. (2014): Bestimmung von Wasserhaushaltsgrössen aus der Bodenkartierung mithilfe der pF-Kurven. Arbeitspapier, unveröffentlicht.
- Bouma, J. and Van Lannen, H. A. J. (1987): Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities. -In: Quantified Land Evaluation. Proceedings of an ISSS/SSSA Workshop, Washington. ITC Publication, Enschede, the Netherlands.
- Brunner J., Jäggli F., Nievergelt J., Peyer K. (1997): Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Schriftenreihe der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL Zürich Reckenholz, 24.
- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1996): HANDBUCH Waldbodenkartierung. Autoren: Ruef A. und Peyer K., Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau FAP, Reckenholz, Zürich. Herausgeber: BUWAL, Bern.
- Diafas I., Panagos, P., Montanarella, L. (2013): Willingness to Pay for Soil Information Derived by Digital Maps: A Choice Experiment Approach, Vadose Zone Journal. doi:10.2136/vzj2012.0198
- Dobos E., Carré F., Hengl T., Reuter H.I., Toth G. (2006) : Digital Soil Mapping as a support to production of functional maps. EUR 22123 EN, 68 pp. Office for Official Publications

- of the European Communities, Luxemburg.
- DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1988): Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. DVWK Merkblätter 212.
- Egli M., Margreth M., Vökt U. und Keller F. (2005): Bodenmodellierung mit GIS im hochalpinen Raum. *Geomatik Schweiz* 8/2005: 458-462.
- Ellenberg H., Hrsg. (1967): Vegetations- und bodenkundliche Methoden der forstlichen Standortskartierung. Ergebnisse eines internationalen Methodenvergleichs im Schweizer Mittelland. 296 S., Veröff. des Geobot. Inst. der ETH, Stiftung Rübel, Heft 39, Zürich.
- FAL Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (1997): Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Autoren: Brunner J., Jäggi F., Nievergelt J., Peyer K., Schriftenreihe Nr. 24. Reckenholz, Zürich.
- Frei E., Juhasz P. (1963): Beitrag zur Methodik der Bodenkartierung und der Auswertung von Bodenkarten unter schweizerischen Verhältnissen. *Schweiz. Landw. Forschung*.
- Herbst P., Mosimann T. (2008): Prognose der Wasserspeicherfähigkeit von Waldböden in der Nordwestschweiz. *Geosynthesis online* 04. Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie, Leibniz Universität Hannover, D-30167 Hannover.
- Herbst, P. & Mosimann, T. (2010): Prognose ökologisch wichtiger Waldbodeneigenschaften mit Random Forest in der Nordwestschweiz. *Geomatik Schweiz*, 108, 140–144
- Hintermaier-Erhard G., Zech W. (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. Enke. Stuttgart.
- Jenny, H. (1941): *Factors of soil formation*. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Knecht M. (2004): Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht 2003. BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, verfasst im Auftrag des BUWAL.
- Knecht M. (2009): Projekt Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht der BGS (Projektausschuss BICH) an das BAFU Bundesamt für Umwelt.
- Köstler J.N., Brückner E., Bibelriether H.(1968): Die Wurzeln der Waldbäume. Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. 284 S., Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin.
- Legros J.-P. (1996): *Cartographies des sols. De l'analyse spatiale à la gestion des territoires*, Collection Gérer l'environnement 10, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- Lüscher C. (2004): Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden: Leitfaden Bodenkartierung. Im Auftrag des BUWAL, Projekt Bodeninformation Schweiz BI-CH/Teilprojekt 3. Arcoplan, Ennetbaden.
- McBratney A.B., Mendonça Santos M.M., Minasny B. (2003): On digital soil mapping. *Geoderma* 117, 3-52.
- Mosimann T., Herbst P. (2013): Flächenhafte Modellierung von Waldbodeneigenschaften in der Nordwestschweiz. *Schweiz Z. für Forstwesen*. Bd. 164 (1), 10-22).
- Müller U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodendbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). 7. erweiterte und ergänzte Auflage. Arbeitshefte Boden.
- Nussbaum M., Ettlin L., Çöltekin A., Suter B., Egli M. (2011): The Relevance of Scale in Soil Maps, *Bulletin BGS* 32, 63-70.
- Nussbaum M., Papritz A., Zimmermann S., Walthert L. (2016): Pedotransfer function to predict density of forest soils in Switzerland'. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*,

2016 179, 321-326..

- Nussbaum, M.; Papritz, A.; Baltensweiler, A. & Walthert, L. (2012): Organic Carbon Stocks of Swiss Forest Soils. Institute of Terrestrial Ecosystems, ETH Zürich and Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research (WSL), <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:6027/eth-6027-01.pdf>
- OFEFP Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (1996): MANUEL Cartographie des sols forestiers. Rédaction: Ruef A. et Peyer K.; Traduction: Bonnard L.-F., Station fédérale de recherches agronomiques FAP, Reckenholz, Zurich. Editeur : OFEFP, Berne.
- Rehbein, K. & Keller, A. (2007a): Räumliche Interpolation von Zinkgehalten in den Böden des Kantons Thurgau. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Rehbein, K. & Keller, A. (2007b): Grossräumige Schwermetallgehalte in den Böden des Kantons Thurgau. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART.
- Rigling A., Schaffer H.P., (Eds.): Waldbericht 2015. Bundesamt für Umwelt, Bern, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 144 S.
- Roschewitz A. (1998): Der monetäre Wert der Kulturlandschaft. Dissertation ETH Zürich.
- Schmocker-Fackel, P., Naef, F., Scherrer, S. (2007): Identifying runoff processes on the plot and catchment scale. Hydrology and Earth System Sciences. <http://hydrol-earth-syst-sci.net/11/891/2007/hess-11-891-2007.pdf>.
- Stehrenberger E., Huguenin-Landi, B. (2016): Evaluation Bodenfeuchtemessnetze. Meteo-test, 3012 Bern. Im Auftrag Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Boden und Biotechnologie.
- Steiner, C.; Behrens, T.; Telse, D. & Stamm, C. (2006): Bodenkarten als Grundlagen für die Festlegung des Zuströmbereichs  $Z_0$ . Eine Machbarkeitsstudie. EAWAG.
- Universität Rostock: Lexikon Geoinformatik-Service der Professur für Geodäsie und Geoinformatik (GG)  
online auf <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de>
- Van-Camp L., Bujarrabal B., Gentile A.-R., Jones R.J.A., Montanarella L., Olazabal C. and Selvaradjou S-K. (2004): Reports of the Technical Working Groups established under the Thematic Strategy for Soil Protection. Volume V, MONITORING, EUR 21319 EN/5, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Vereecken H., Schnepf A., Hopmans J.W., Javaux M., Or D., Roose T., Vanderborght J., Young M. et al. (2016): Modeling Soil Processes: Review, Key challenges and New Perspectives. Vadose Zone J. Accepted Paper, posted 04/13/2016.  
doi:10.2136/vzj2015.09.0131.
- Vogel H.-J., Clothier B., Li X.-Y. und Lin H.S. (2013): Hydropedology-A Perspective on Current Research, Vadose Zone J., doi:10.2136/vzj2013.09.0161
- Vogel H.J., Vanderborght J. (2016): Dealing with heterogeneity and uncertainty: from aggregate to landscape. <https://www.soil-modeling.org/austin-workshop/program>
- von Eckhardt, K. (2014): Hydrologische Modellierung – Ein Einstieg mithilfe von Excel. Springer Spektrum. Springer Verlag Berlin Heidelberg.