



BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ
SOCIÉTÉ SUISSE DE P DOLOGIE
SOCIETA SVIZZERA DI PEDOLOGIA

Bodenkartierung Schweiz

ENTWICKLUNG und AUSBLICK

Arbeitsgruppe Bodenkartierung der BGS

September 2014

Autoren: Franz Borer, Marianne Knecht

mit Beiträgen von:

Stephane Burgos (Teile v. Kap. 2.2 und von Faktenblatt 2)

Michael Margreth (Kap. 5.5.1)

Andreas Papritz (Kap. 3.4, 3.5, Faktenblatt 5)

Kirsten Rehbein (Kap. 2.5, Faktenblatt 4)

Kartenausschnitte zur Verfügung gestellt oder erfasst ab öffentlich zugänglichen GIS-Browsern der Bodenschutzfachstellen der Kantone GL, LU, SG, SO, ZG und ZH

Vorwort

Böden spielen im Naturhaushalt eine zentrale Rolle. Sie erfüllen zahlreiche ökologische als auch ökonomische Funktionen. Sie sind Wasser- und Kohlenstoffspeicher, Filter und Nährstoffdepot und Lebensraum für Tiere, Pflanzen und den Menschen. Sie sind aber auch Standort für Siedlungen und Infrastrukturbauten und stehen deshalb in einem enormen Nutzungskonflikt. Umso wichtiger ist es heute und in Zukunft, dass wir unsere vielfältigen Böden der Schweiz kennen. Denn nur was man kennt kann beurteilt und folglich geschützt werden.

Die Klassifikation und Beschreibung der Böden hat eine lange Geschichte in der Schweiz und erlebte ihren vorläufigen Höhepunkt Ende der 1980er-Jahre im Zusammenhang mit der Einführung der Umweltschutzgesetzgebung. Die beiden eng miteinander verknüpften Tätigkeiten bilden die Grundlage für die Erfassung des Wertes sowohl agronomisch als auch forstwirtschaftlich genutzter Böden. Trotz den zahlreichen Arbeiten in der Vergangenheit bleibt noch viel zu tun, dies nicht zuletzt deshalb, weil seit der Aufgabe des Bodenkartierdienstes an der Forschungsanstalt für Pflanzenbau (FAP) 1996 eine institutionalisierte, nationale Anlaufstelle fehlt. In weiser Voraussicht hat daraufhin die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz (BGS/SSP) eine Arbeitsgruppe Bodenkartierung gegründet mit dem Ziel, das Erbe des Kartierungsdienstes zu übernehmen und weiterzuführen. Es ist ein grosses Verdienst der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter dieser Arbeitsgruppe, diese ehrenamtliche Arbeit über so lange Zeit fortzusetzen und diesen nun vorliegenden Überblick in den Händen zu halten. Allen die zum Gelingen beigetragen haben, sei an dieser Stelle herzlich für ihren Einsatz gedankt!

Das vorliegende Dokument zeigt umfassend die Entwicklung der Bodenkartierung in der Schweiz und weist auf die Notwendigkeit der Weiterentwicklung der heutigen Standard-Bodenkartierung inklusive des Einbezuges von neuen Methoden (GIS, Remote Sensing, Modellierung, etc.) und entsprechenden Datenerfassung- und Datensicherung im nationalen Bodeninformationssystem NABODAT hin. Ein besonderes Augenmerk wird auf die Bedeutung der Qualität der Beschreibung der Bodeninformation gelegt, sowohl betreffend den Punkt- als auch den daraus abgeleiteten Flächeninformationen, um damit die Bedürfnisse der verschiedenen Akteuren aus Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Umweltschutz und Raumplanung abzudecken. Gerade im Hinblick auf neue Fragestellungen im Kontext der Klimaveränderung, von Hochwasserschutz, Raumplanung und Ernährungssicherheit bedarf es heute und in Zukunft in zunehmendem Masse fundierter, hoch aufgelöster Bodeninformationen als Entscheidungsgrundlagen.

In diesem Sinne wünschen wir allen Leserinnen und Lesern eine anregende Lektüre!

September 2014

Stéphane Burgos
Präsident der BGS

Reto Meuli
ehemaliger Präsident der BGS

Inhalt

Inhalt.....	1
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	3
Zusammenfassung.....	5
1 Einführung.....	7
1.1 Zweck.....	7
1.2 Einige wichtige Begriffe.....	8
1.3 Adressaten.....	9
2 Überblick über die Entwicklung der Bodenkartierung und die Verfügbarkeit von Bodendaten.....	10
2.1 FAL-Kartierung bis 1996.....	10
2.2 Flächen-Kartierungen in den Kantonen.....	11
2.3 Bedarfsabklärung Bodenkarten und Bodeninformation.....	13
2.4 Projekt BICH Bodeninformation Schweiz.....	13
2.5 NABODAT.....	15
2.6 Stand Datenerfassung, -ablage und -sicherung.....	17
2.7 Zuständigkeiten und Aufgabenverteilung.....	17
3 Bodenkartierungs-Methoden.....	19
3.1 Grundsätzliches zur feldgestützten Bodenkartierung.....	19
3.2 Klassifikationssysteme und Kartieranleitung.....	19
3.3 FAL-Kartieranleitung und deren Weiterentwicklung.....	20
3.4 Digitale Bodenkartierung (Digital Soil Mapping DSM).....	23
3.5 Vorhersagefehler.....	24
3.6 Rolle des GIS.....	25
3.7 Qualitätssicherung.....	26
3.7.1 Allgemeine Qualitätsansprüche an die Bodenkartierung.....	26
3.7.2 Qualitätsüberlegungen bei der Erhebung der Bodenbasisdaten.....	26
3.7.3 Qualitätssicherungsmassnahmen.....	27
3.7.4 Qualitätsansprüche an die digitale Bodenkartierung.....	28
4 Spezielle Aspekte und Hinweise zur Bodenkartierung.....	29
4.1 Die Rolle des Massstabes und der Auflösung bei feldgestützter Bodenkartierung.....	29
4.2 Standard-Massstäbe für unterschiedliche Anforderungen.....	31
4.3 Daten-Inhalte.....	32
4.3.1 Profildaten.....	32
4.3.2 Flächendaten.....	32
4.3.3 Polygonabgrenzung.....	33
4.3.4 Synthese.....	33
4.4 Überlegungen zur Verwendung von Grundlagendaten.....	33
4.4.1 Informationen aus geologische Karten.....	33
4.4.2 Einbezug pflanzensoziologischer Informationen.....	35
4.5 Funktion von feldgestützt erhobenen Bodenkarten.....	37
4.6 Aussagekraft von Bodenkarten.....	37
5 Bodenkarten und ihre Anwendung.....	38
5.1 „Klassische“ Bodenkarten.....	38
5.2 Boden-Attribut-Karten.....	38

5.3	Funktionale Bodenkarten	39
5.3.1	Anwender-(Nutzungs-)Karten.....	40
5.3.2	Gefahren-(Bedrohungs-)Karten.....	42
5.3.3	Bodenspezifische Nutzungskarten (FFF-Karten).....	43
5.4	Einsatz-Überlegungen für funktionale Bodenkarten.....	44
5.5	Bodenkarten als Basisdaten für verwandte Fragestellungen	44
5.5.1	Vorhersage von Abflussprozessen:.....	45
5.5.2	Bewässerungsprojekte und Rutschungsrisiken	47
5.5.3	Baumartenwahl im Zeichen des Klimawandels.....	47
6	Bodenkartierung als Investition.....	49
6.1	Grundsätzliche Überlegungen	49
6.2	Aufwand und Ertrag.....	49
7	Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten	51
7.1	Kontinuität	51
7.2	Fachliche Zuständigkeit.....	51
7.3	Rechte an Daten und Auswertungen.....	52
8	Handlungsbedarf und offene Fragen	53
8.1	Standardisierte Methoden	53
8.2	Ausbildung	53
8.3	Aufwand-Vergleich verschiedener Methoden	54
9	Ausblick.....	55
9.1	Grundsätzliches	55
9.2	Entwicklung.....	55
9.3	Künftige Stossrichtungen	56
10	Allgemeines Literaturverzeichnis	57
11	Faktenblätter	59
11.1	Faktenblatt 1: FAL-Kartierung	61
11.2	Faktenblatt 2: Bodenkartierungs-Projekte in den Kantonen.....	65
11.3	Faktenblatt 3: BICH Bodeninformation Schweiz	73
11.4	Faktenblatt 4: NABODAT	77
11.5	Faktenblatt 5: DSM Digital Soil Mapping	81
11.6	Faktenblatt 6: Grundsätze der Qualitätssicherung.....	85
12	Begriffe.....	89
12.1	Kartierung allgemein	89
12.2	Bodenkartierung und Bodenkarten.....	90
12.3	DSM Digitale Bodenkartierung und Digitale Bodenkarten.....	90
12.4	Verwendete Quellen.....	92

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Bodenkarte des Kantons Zürich im Web	12
Abb. 2: Schema des Vorgehens zur Übersetzung der Quelldaten und deren Integration in NABODAT	16
Abb. 3: Wasserhaushaltskarte M 1:5'000	30
Abb. 4: Wasserhaushaltskarte M 1:25'000 (auf M 1:5'000 vergrössert) [Bodenkarte M 1:25'000, Blatt Lyss]	30
Abb. 5: Sinnvolle Karten-Massstäbe für Anwendungskarten unterschiedlicher Nutzungs- und Schutzzwecke	31
Abb. 6: Kartenausschnitt Geologischer Atlas der Schweiz M 1:25'000, Blatt 113	34
Abb. 7: Kartenausschnitt aus Bodentypenkarte M 1:5'000	35
Abb. 8: Zitat zum Aussagevermögen der Zeigerwerte von Pflanzen.....	36
Abb. 9: Ausschnitt aus einer klassischen Bodenkarte M 1:5'000	38
Abb. 10: Bodenwasserhaushaltsgruppen, kombiniert mit dem Attribut 'pflanzennutzbare Gründigkeit'	39
Abb. 11: Darstellung pH-Wert im Oberboden mit zugeordnetem Kalkbedarf	40
Abb. 12: Sorptionskapazität des Bodens für Cadmium Cd	41
Abb. 13: Nutzbare Feldkapazität nFKWe, klassiert in 50 mm – Klassenbreiten	42
Abb. 14: Verdichtungsempfindlichkeitskarte für Waldböden	42
Abb. 15: Attributkarte 'Pflanzennutzbare Gründigkeit' als Basis für eine FFF-Ausscheidung	43
Abb. 16: Regelwerk zur Herleitung von Abflussprozesskarten.....	45
Abb. 17: Mit einem Bodenprognosemodell automatisiert hergeleitete Abflussprozesskarte (links) im Vergleich mit einer solchen, feldgestützt kartiert (rechts) für ein Testgebiet in der Region Hilferen im oberen Teil des Einzugsgebiets der Ilfis (Kt. Luzern).	46

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Stärken der FAL-Kartierung+ [Stand der Technik 2014]	21
Tab. 2: Standard-Attributdatensatz eines Polygons	33

Zusammenfassung

Der Boden erfüllt mannigfaltige Funktionen: Als wichtiger Teil des Ökosystems ist er sowohl Lebensraum wie auch Lebensgrundlage, dies für den Menschen wie auch für viele andere Nutzniesser. Diese Lebensgrundlage steht unter grossem Druck, im wörtlichen wie auch im übertragenen Sinne. Bodenverbrauch und Bodennutzung setzen diesem wichtigen Teil unseres Naturraumes zu.

Die bereits etablierten Massnahmen zum Schutz einzelner Funktionen des gewachsenen Bodens und die Abwehr sich abzeichnender weiterer Bedrohungen für dieses wichtige Gut bedürfen verlässlicher Datengrundlagen.

Bereits seit vielen Jahrzehnten werden in der Schweiz Böden kartiert und die dabei erhobenen Daten für verschiedene Zwecke nutzbar gemacht. Standen bis vor ca. 20 Jahren als Nutzer dieser Daten in erster Linie die Land- und Forstwirtschaft im Vordergrund, hat die Nachfrage nach mittel- und vor allem grossmassstäbigen Karten und nach deren Attributdaten in den letzten Jahren stark zugenommen.

Die schweizerische Kartiermethode wurde an der FAP (Forschungsanstalt für Pflanzenbau) Reckenholz in den 50-er Jahren des vergangenen Jahrhunderts begründet und hat sich über verschiedene methodische Schritte hin weiterentwickelt. Standard sind heute die Mitte der 1990-er Jahre publizierten Kartieranleitungen für Landwirtschafts- resp. Waldböden.

Die Möglichkeiten, die sich durch digitale Datenbanken und andere Errungenschaften der Informatik eröffneten, führten ab Mitte der 90-er Jahre im Rahmen kantonaler Bodenkartierprojekte zu einer weiterentwickelten Kartiermethode, zur FAL-Bodenkartierung+. Diese zeichnet sich, unter Beibehaltung des für die Schweiz bewährten Klassifikationssystems und der bewährten Feldaufnahme durch die Bodenkundler, vor allem durch die Ablage der erhobenen Bodeneigenschaften in einer standardisierten Attributtabelle aus.

Auf dieser Grundlage erschliessen sich neue Möglichkeiten für die Verwendung der Bodendaten in Form von sehr spezifischen, anwendungsorientierten Karten, die nebst den Urproduktionszweigen auch von Fachgebieten ausserhalb der Urproduktion genutzt werden können. Seien dies die verschiedenen schutzorientierten Disziplinen im Zusammenhang mit Wasserbau, Hochwasserschutz etc. oder die sich abzeichnenden Bedürfnisse zur Beurteilung des Boden- und des davon abhängigen Pflanzenwasserhaushalts vor dem Hintergrund der sich abzeichnenden Klimaänderungen.

Ausgelöst durch eine im Jahre 2000 durch die Arbeitsgruppe Bodenkartierung der BGS durchgeführte Umfrage wurde, in enger Zusammenarbeit mit den Bodenschutzfachstellen der Kantone und mit finanzieller Unterstützung durch das BAFU, das Projekt BICH (Bodeninformation Schweiz) initiiert. Daraus resultierten konzeptionelle Grundlagen und praktische Lösungsansätze zur Aufarbeitung der

Bodendaten aus früheren Jahren inklusive der zur Umsetzung notwendigen Software. Die in der Folge durch das BAFU geschaffene Bodendatenbank NA-BODAT erlaubt es den Kantonen heute, die aufgearbeiteten alten und auch neu erhobenen Bodendaten sicher zu verwalten und zu nutzen.

Im Sinne der Prüfung möglicher künftiger Stossrichtungen der Bodenkartierung stehen neben einer allfälligen Weiterentwicklung der heute etablierten Standard-Bodenkartierung auch Modellierungs-Methoden zur Diskussion, wie sie gegenwärtig in unterschiedlicher Art und Weise entwickelt werden.

Noch immer nicht erfüllt ist das schon seit langer Zeit formulierte Postulat der Einrichtung einer Bodenkartierungsfachstelle auf Bundesebene mit den entsprechenden Fachkompetenzen, die idealerweise in ein neu zu schaffendes Nationales Kompetenzzentrum Boden zu integrieren wäre.

In Ergänzung dazu nimmt die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz mit den aktiv in der Bodenkartierung engagierten Fachleuten und den Bodenschutzfachstellen der Kantone ihre Mitverantwortung als Fachinstanz wahr, um den sachkundigen Umgang mit der Bereitstellung von Daten natürlicher Bodeneigenschaften in Form von flächendeckenden Bodenkarten, unabhängig von der zur Anwendung kommenden Methode, sicherzustellen.

Bodenkartierung Schweiz - Entwicklung und Ausblick

1 Einführung

Die Stossrichtung der Bodenforschung geht seit einigen Jahrzehnten im überwiegenden Teil tief in die Mikrowelten dieses einzigartigen Lebensraumes hinein. Dies ermöglicht, viel über das „Einzelne“ auszusagen. Die Aussagen über das „Ganze“ werden gleichzeitig immer unschärfer.

Das „Einzelne“ und das „Ganze“

Die Bodenkartierung gibt den Überblick über das Ganze des Bodens. Es ist ein schwieriges Unterfangen, unabhängig von der zur Anwendung kommenden Methode, diesen in seiner Vielfalt so faszinierenden Teil unseres Lebensraumes zu erfassen und zu beschreiben. Viel bodenkundliches Wissen und grosse methodische Erfahrungen sind Voraussetzung, um den Boden in seiner mannigfaltigen Ausprägung darstellen zu können.

Der Wert der Bodenkartierung

Teile dieses erworbenen Wissens und die Erfahrungen einer Menschengeneration können innerhalb weniger Jahrzehnte verloren gehen und müssen von folgenden Generationen bei der Weiterentwicklung des Wissens wieder mühsam erarbeitet werden. Ein solcher Prozess ist unökonomisch und könnte durch eine geschickte „Wissenssicherung“ gestoppt oder zumindest gemildert werden.

Wissenssicherung

Heute stehen wir bei der Bodenkartierung in der Schweiz an einem solchen Punkt.

Während erfreulicherweise darüber nachgedacht wird, wie Arbeitsweisen, Methoden, Arbeitsgrundlagen und anderes mehr weiter entwickelt und auch verbessert werden können, wird bereits vorhandenes Wissen oft nicht berücksichtigt, da es nicht mehr präsent ist. Dies ist eine verpasste Chance, um auf effizientere Weise Fortschritte erzielen zu können.

Weiterentwicklung der Bodenkartierung

Fortschritte in der Zukunft gründen auf dem Wissen und den Erfahrungen der Vergangenheit und der Gegenwart.

1.1 Zweck

Dieser Bericht gibt einerseits einen Überblick über die Bodenkartierung in der Schweiz seit ihren Anfängen, wobei die Schwerpunkte auf die Entwicklung in den letzten 10-15 Jahren, auf den heutigen Stand der Technik und auf die laufenden Verbesserungen bei der feldgestützten Bodenkartierungsmethode gelegt werden.

Stand der Technik

Andererseits soll es auch den Ausblick auf künftige Stossrichtungen der Bodenkartierung erlauben, sei dies die Weiterentwicklung der heutigen Standard-Bodenkartierung oder seien dies Modellierungs-Methoden, wie sie gegenwärtig in unterschiedlicher Art und Weise entwickelt werden.

Ausblick

Bericht ist keine Kartieranleitung

Dieser Bericht ist jedoch keine Kartieranleitung; hierzu sind die vorhandenen einschlägigen Unterlagen zu konsultieren.

1.2 Einige wichtige Begriffe

Es werden nachfolgend einige wenige Begriffe zum Themenkreis Bodenkartierung aufgeführt. Weitere und zum Teil auch umfassendere Begriffsdefinitionen sind im [Kapitel 12 Begriffe](#) mit allen Herkunftsnachweisen aufgeführt.

Begriffe zur Bodenkartierung allgemein

Karte, allgemein

Karte: Eine Karte ist ein maßstäblich verkleinertes, vereinfachtes (generalisiertes), inhaltlich ergänztes und erläutertes Grundrissbild der Erde (bzw. von Teilen der Erde) oder anderer Weltkörper und des Weltraumes in einer Ebene (topographische Karte). In der Regel wird darunter eine analoge Abbildung auf Papier o.ä. dauerhaften Trägern verstanden; die technische Entwicklung ermöglicht aber auch kurzfristige Kartendarstellungen auf Bildschirmen usw.

Die Karte stellt die Sachverhalte, im Unterschied zum Kartogramm, situations- und positionstreu dar. Die Karte präsentiert ein maßgebundenes und strukturiertes Modell räumlicher Bezüge und Objekte in horizontaler Bildebene.

Bodenkarte

Bodenkarte: Die 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 (ausgedrückt durch die Massstabszahl).

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.

Bodenkartierung

Bodenkartierung: Die Bodenkartierung ist eine systematische, flächendeckende Bodeninventur.

Begriffe zur Digitalen Bodenkartierung (DSM)

Digitale Bodenkarte

Digitale Bodenkarte¹: Eine digitale Bodenkarte ist die Visualisierung von georeferenzierten Daten von Bodeneigenschaften und/oder Bodentypen. Der Begriff gilt auch für digitalisierte „klassische“ Bodenkarten.

Digitale Bodenkartierung

Digitale Bodenkartierung²: Digitale Bodenkartierung ist die computergestützte Produktion von digitalen Bodentypen- und Bodeneigenschaften-Karten.

¹ 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, Luxembourg.

Digitale Bodenkarten beruhen auf statistischen Modellen, welche qualitative und quantitative Bodendaten mit Kovariablen verknüpfen, welche im weiteren Sinne die Bodenbildungsfaktoren charakterisieren.

1.3 Adressaten

Dieses Papier wendet sich an verschiedene Gruppen von Adressaten:

- Es soll den aktuell tätigen wie auch den sich in Ausbildung befindlichen Bodenkartierfachleuten und allgemein den an der Bodenkartierung Interessierten Bodenkundlern die Entwicklung der Bodenkartierung in der Schweiz dargelegt werden. Ein Schwerpunkt der Betrachtung liegt dabei auf der Entwicklung nach 1996 bis zum heutigen Stand der Technik, der durch Anstrengungen im Rahmen der BGS-Arbeitsgruppe Bodenkartierung und einzelner Kantone etabliert wurde. Dazu gehört auch der Miteinbezug einer den heutigen Technologien adäquaten Datenverwaltung. **Bodenkartierfachleute**
- Zum zweiten bietet dieser Bericht eine ausgezeichnete Informationsgrundlage für die in der Regel als Auftraggeber im Bereich Bodenkartierung auftretenden Bodenschutzfachstellen der Kantone. Damit kann das Argumentarium zugunsten der Bodenkartierung und zur Beschaffung von Bodeninformationen im Allgemeinen, auch auf politischer Ebene, gestützt und erweitert werden. **Kantonale Bodenschutzfachstellen**
Politische Ebene
- Dieser Bericht soll aber auch alle Interessierten, die Bedarf an Bodenkartierungsdaten haben, im Sinne einer Metainformation darüber orientieren, welche Daten in welcher Form und an welchen Standorten zur Verfügung stehen, sei es bei Institutionen des Bundes (z.B. NABODAT) oder bei den Fachstellen der Kantone. **Weitere Nutzer von Bodeninformationen**
- Nicht zuletzt soll auch das Interesse an den laufenden Weiterentwicklungen gefördert werden, so z.B. die anzustrebende Etablierung der heute zur Anwendung kommenden FAL-Kartierungsmethode+ oder auch die Forschungsarbeiten im Bereich Bodenkarten-Modellierung. Als Beispiel hierzu wird die Aufmerksamkeit auf das Projekt „PMSoil“ im Rahmen des NFP-Forschungsprogramms Nr. 68 „Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden“ gelenkt. **Interessenten an methodischen Weiterentwicklungen**

² 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. Ergänzt resp. abgeändert durch A. Papritz, ETHZ.

2 Überblick über die Entwicklung der Bodenkartierung und die Verfügbarkeit von Bodendaten

Informationssystem für natürliche Bodeneigenschaften

Die FAL-Bodenkartierung hat in der Schweiz eine lange Tradition. Trotz einiger kritischer Phasen konnte sich die Bodenkartierung als Quelle wichtiger Basisinformationen unseres Oekosystems behaupten und sich in den vergangenen Jahren zu einem wertvollen Boden-Informationssystem für natürliche Bodeneigenschaften entwickeln. Bedingt durch das auf die spezifischen Bodenbildungsfaktoren der Schweiz gut abgestimmte Klassifikationssystem, die in den letzten Jahren weiter entwickelte Kartiermethode sowie die vorhandenen grossen Datenbestände macht es Sinn, dieses etablierte System weiterhin anzuwenden. Dies schliesst weiterführende Ergänzungen oder Verbesserungen nicht aus.

Vergleichbarkeit der Datenbestände

Diese Stossrichtung stimmt in analoger Weise überein mit der Haltung der deutschen Bodenkundler und insbesondere der Bodenkartierfachleute, die davon absehen möchten, die Daten der „Reichbodenschätzung“ (seit 1934; ab 2008 als „Bodenschätzung“ bezeichnet) in irgendeiner Form abändern zu wollen, dies, damit deren Wert und insbesondere die Vergleichbarkeit der Daten erhalten werden kann.

2.1 FAL-Kartierung bis 1996

Erste Methodenentwicklungen

Die Einführung der Bodenkartierung in der Schweiz liegt mehr als 50 Jahre zurück (s. auch [Faktenblatt 1](#)). Nach ersten Kartierungsversuchen Ende der 40-er Jahre erfolgten unter Erwin Frei ab 1955 erste Methodenentwicklungen und nach einem im Jahre 1957 erfolgten Antrag, an die Vorstände der Eidgenössischen Versuchsanstalten gerichtet, wurde im Jahre 1959 ein sogenanntes Bodenkartierungsinstitut an der FAP Reckenholz (Forschungsanstalt für Pflanzenbau, heute Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART) angesiedelt. Die Bodenkartierung von Landwirtschafts- und später auch von Waldböden wurde bis 1996 von diesem Zentrum aus geführt.

Klassifikation der Böden der Schweiz (KLABS)

Als Basis für eine korrekte Bodenansprache wurde bereits 1948 eine erste Klassifikation der Böden der Schweiz veröffentlicht, entwickelt an der ETH Zürich von Prof. Pallmann und Mitarbeitern. In der Folge wurden mehrere Überarbeitungen vorgenommen, zuerst an der Forschungsanstalt FAP Reckenholz, später zusammen mit der Arbeitsgruppe „Klassifikation und Nomenklatur“ der BGS. Auch die heute gültige Klassifikation in dritter, korrigierter Auflage aus dem Jahre 2010³, wurde durch diese Arbeitsgruppe bearbeitet. Diese KLABS 2010 wurde zudem erstmals ins Französische und Italienische übersetzt.

³ BGS Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (2010): Klassifikation der Böden der Schweiz. Bearbeitet von der Arbeitsgruppe Klassifikation und Nomenklatur. Dritte, korrigierte Auflage. Luzern.

Im Vorwort zu dieser letzten Auflage wird auch die Wichtigkeit der Klassifikation als Standard für die reproduzierbare Anwendung und für den Austausch der Bodeninformationen betont⁴.

Im Jahre 1963 entstand am Bodenkartierungsinstitut (heute Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART) eine erste Kartieranleitung für Landwirtschaftsböden⁵. Die heute gültige Kartieranleitung stammt, nun in 2. Auflage, aus dem Jahre 1997⁶.

**Kartieranleitung
Landwirtschafts-
böden**

Das Handbuch für die Waldbodenkartierung aus dem Jahre 1996⁷ basiert auf jener Kartieranleitung, wobei Erweiterungen bezüglich der Ansprache der Humusformen und ein grosses Kapitel zur Anwendung und Interpretation für die Forstwirtschaft geschaffen wurden. Dieses Handbuch erschien gleichzeitig auch in französischer Sprache⁸.

**Kartieranleitung
Waldböden**

Nach Publikation einer Landwirtschaftlichen Bodeneignungskarte 1:300'000 im Jahre 1975 und der flächendeckenden Übersichtskarte (Bodeneignungskarte BEK 1:200'000, 1980, (Bundesamt für Raumplanung, EJPD) wurde ab 1977 das längerfristig angelegte Projekt „Bodenkarte der Schweiz 1:25'000“ durch den Bodenkartierungsdienst Reckenholz in Angriff genommen. Daraus resultierten 13 im Massstab 1:25'000 publizierte Kartenblätter, Landwirtschafts- und Waldböden umfassend.

**BEK 200
Bodenkarte der
Schweiz 1:25'000**

Als Standardprodukte von Bodenkartierungen im Rahmen von Güterregulierungen resp. Meliorationen resultierten jeweils drei in analoger Form aufgearbeitete Themenkarten, meist im Massstab 1:5'000; nämlich eine Wasserhaushaltskarte, eine Nutzungseignungskarte und eine Risikokarte. Die Zahl solcher Projekte mit den entsprechenden Kartenwerken und Erläuterungsberichten beläuft sich auf rund 330. Agroscope plant, hierzu eine Metadatenbank zu erstellen.

**Bodenkarten
1:5'000**

2.2 Flächen-Kartierungen in den Kantonen

Nebst den oben erwähnten, meist im Rahmen von Güterregulierungen durchgeführten Bodenkartierungen wurden durch einige Kantone, so Zürich, Basel-Landschaft und Zug, bereits ab 1988 flächendeckende Kartierungen der Landwirtschaftsflächen im Massstab 1:5'000 in Angriff genommen.

**Flächendeckende
Kartierungen von
Landwirtschafts-
böden**

⁴ Zitat aus dem Vorwort zur dritten Auflage: „...Für die gesamtschweizerische Nutzung und Anwendung von Bodendaten ist es wichtig, dass die Begriffe zur Charakterisierung von Bodeneigenschaften überall einheitlich interpretiert und gehandhabt werden. Deshalb sind Standardisierungen für die reproduzierbare Anwendung und für den Austausch der Bodeninformationen unentbehrlich. Bereits heute wird die ‚Klassifikation der Böden der Schweiz‘ für Projekte und Wegleitungen von nationaler Bedeutung als Standard vorausgesetzt...“.

⁵ pro memoria: Die 1. Deutsche Bodenkundliche Kartieranleitung (KA) erschien im Jahre 1965.

⁶ 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.

⁷ BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1996): HANDBUCH Waldbodenkartierung. Autoren: Ruef A., Peyer K., Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau FAP, Reckenholz, Zürich. Herausgeber: BUWAL, Bern.

⁸ OFEFP Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (1996): MANUEL Cartographie des sols forestiers. Rédaction: Ruef A., Peyer K.; Traduction: Bonnard L.-F., Station fédérale de recherches agronomiques FAP, Reckenholz, Zurich. Editeur : OFEFP, Berne.

Bedarf an Boden- karten für Boden- schutz

Durch die Etablierung des Bodenschutzes im Rahmen der Umweltschutzgesetzgebung Ende der 80-er/anfangs der 90-er Jahre des 20. Jahrhunderts entstand ein gestiegenes Bedürfnis der Vollzugsorgane der Kantone nach detaillierten Bodeninformationen. In der Folge wurden durch die Kantone zunehmend grossflächige Bodenkartierungsprojekte, meist im Massstab 1:5'000, in Angriff genommen, so in den Kantonen SO, LU, GL, VD und VS. In einigen Kantonen werden nebst den Landwirtschaftsböden auch die Waldböden kartiert, seit längerer Zeit im Kanton Solothurn, seit 2013 auch im Kanton Zürich.

„Neue“ Bodenkar- tierung in den Kan- tonen

Bei allen neueren Kartierungen werden auch vermehrt die durch die Informatik gebotenen neuen Möglichkeiten zur Datenerfassung, Datenverwaltung und Datenauswertung genutzt. Eine solche Bodenkartierung führt primär zu einem umfangreichen Bestand an dreidimensional verorteten Attributdaten, die in der Synthese zu Attributkarten, Themenkarten (Anwendungskarten) oder zu klassischen Bodenkarten aufgearbeitet werden können.

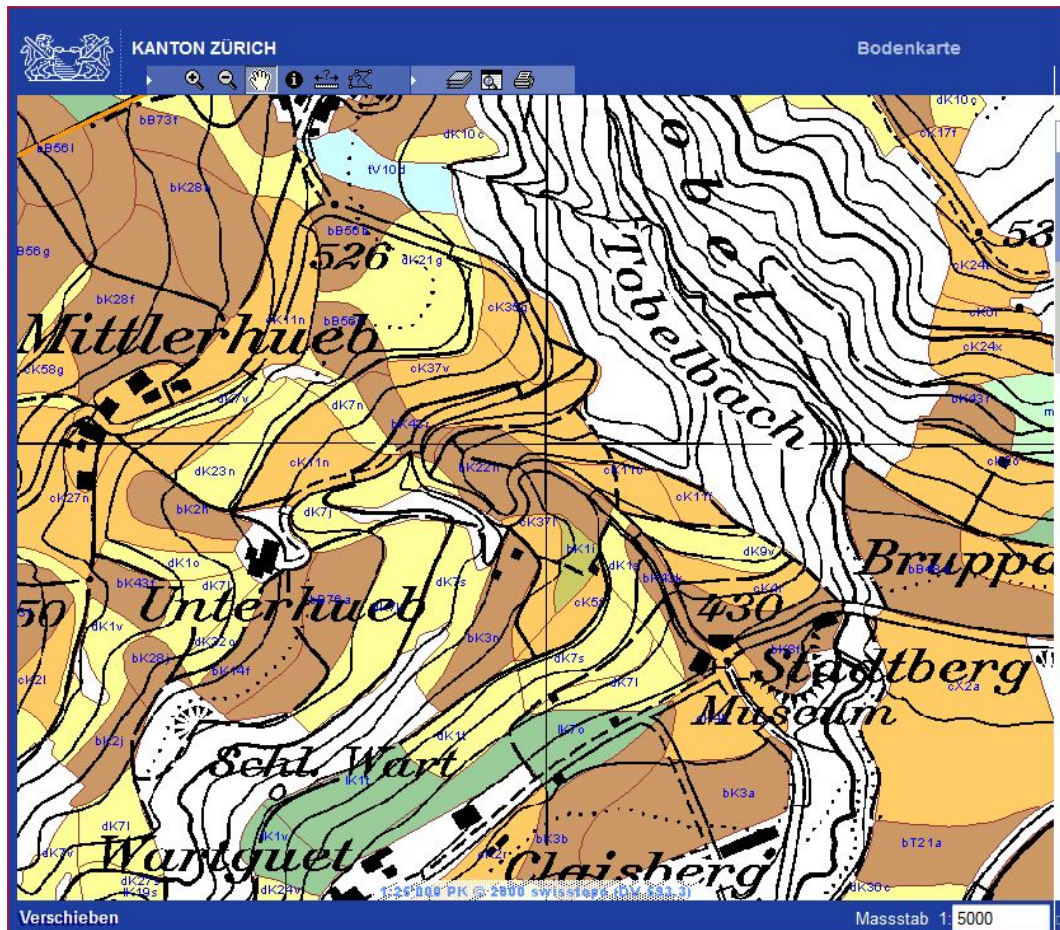


Abb. 1: Bodenkarte des Kantons Zürich im Web

[s. auch: <http://www.gis.zh.ch/gb4/bluevari/gb.asp?app=boka>]

Bodenkarten im Web

Viele dieser aufgearbeiteten Bodendaten sind heute im Web online abrufbar, als Beispiel in Abb. 1 die Website für die Bodenkarte im Kanton Zürich mit der Bodentypen-Darstellung und dem vierteiligen Bodenkartens-Code.

Bei den Kartierungsprojekten in den Rebbergen der Westschweiz und im Tessin wurden die Böden nach der französischen Klassifikation des „Référentiel Pédologique (RP)“ erfasst. Die jeweiligen Datenbanken (Access) befinden sich bei den Ämtern für Weinbau der verschiedenen Kantone. Im Rahmen eines Projektes der École d'Ingénieurs de Changins (EIC), unterstützt durch das BAFU, wurden die vorhandenen Daten harmonisiert und gesichert. Hierzu wurde ein Übersetzungsschlüssel erstellt, um die Bodendaten vom Klassifikationssystem RP auf die Klassifikation der Böden der Schweiz (KLABS) zu übersetzen. Anschliessend erfolgt die Migration dieser Daten in die Datenbank NABODAT. Bis heute wurden insgesamt etwa 1000 Bodenprofile von Rebbergböden aus den erwähnten Kantonen bearbeitet.

Kartierung der Rebbergböden in der Romandie und im Tessin

Nähere Details zur Bodenkartierung in den Kantonen sind dem [Faktenblatt 2: Bodenkartierungsprojekte in den Kantonen](#) zu entnehmen.

2.3 Bedarfsabklärung Bodenkarten und Bodeninformation

Nach der Einstellung der Bodenkartierungs-Tätigkeit an der Forschungsanstalt Reckenholz auf Ende 1996 wurde auf Anregung der praktisch tätigen Bodenkartierfachleute an der Jahresversammlung der BGS 1997 die neue Arbeitsgruppe Bodenkartierung einstimmig ins Leben gerufen. Erster Vorsitzender wurde Adalbert Pazeller, seit 1999 bis heute wird die Arbeitsgruppe durch Marianne Knecht geleitet.

AG Bodenkartierung der BGS

In der Folge wurde im Sinne einer Stuserhebung und zugleich einer Bedarfsabklärung eine breit abgestützte schriftliche Befragung mit einem Rücklauf von 200 Antwortbogen durchgeführt, deren Resultate im BGS-Dokument 10⁹ (Umfrage Bodenkartierung) festgehalten sind und als Hauptaussage einen grossen und breit abgestützten Bedarf an grossmassstäbigen Bodenkarten postuliert. Ebenso stand schon damals die Schaffung einer Bodeninformationsstelle weit oben in der Prioritätenliste.

Umfrage zu Bodenkartierung → BGS-Dokument 10

2.4 Projekt BICH Bodeninformation Schweiz

Als Folge des durch die oben erwähnte Umfrage ausgewiesenen Bedarfs wurde von der BGS-Arbeitsgruppe Bodenkartierung im Jahre 2001 das Projekt BICH Bodeninformation Schweiz ([Faktenblatt 3: BICH Bodeninformation Schweiz](#)) initiiert. Im Projektausschuss wurden neben der AG-Präsidentin als Projektleiterin auch Vertreter aus dem BAFU, der Informatik, der Qualitätssicherung und der Bodenschutzfachstellen der Kantone eingebunden.

BICH Bodeninformation Schweiz

Primäres Ziel von BICH war die Sicherung der in analoger Form vorhandenen Bodenprofilaten und deren Überführung in eine digitale Form. Es wurden Konzepte, Grundlagen und Werkzeuge erarbeitet zur Ablage, Verwaltung und Nut-

Ziel

⁹ 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.

zung bereits vorhandener, aber auch neuer Bodendaten. Bis zum Abschluss von BICH im Jahre 2009 (siehe ‚Schlussbericht 2003‘¹⁰ und ‚Schlussbericht der BGS an das BAFU‘¹¹) wurden viele der gesteckten Ziele erreicht.

Rolle der Kantone und der Bundesämter

Durch das Projekt BICH (Finanzierung durch das BAFU, Sektionen Umweltbeobachtung und Bodenschutz sowie durch die Bodenschutzfachstellen der Kantone; Profilschans durch Agroscope ART) konnten auf der Grundlage der erarbeiteten Hilfsmittel und der Migrationssoftware MIGRAPROFIL Tausende Profilblätter durch Bodenfachleute, meist im Auftrag der Bodenschutzfachstellen der Kantone und unter finanzieller Beteiligung der Bundesämter ARE (Amt für Raumentwicklung), BLW (Bundesamt für Landwirtschaft) und BAFU (Bundesamt für Umwelt), gesichert und in die digitale Form übergeführt werden, so dass sie nun für die weitere Verwendung zur Verfügung gestellt werden können.

Digitalisierung „alter“ Profilinformatoren

Vorbereitung Sicherung und Digitalisierung Flächendaten

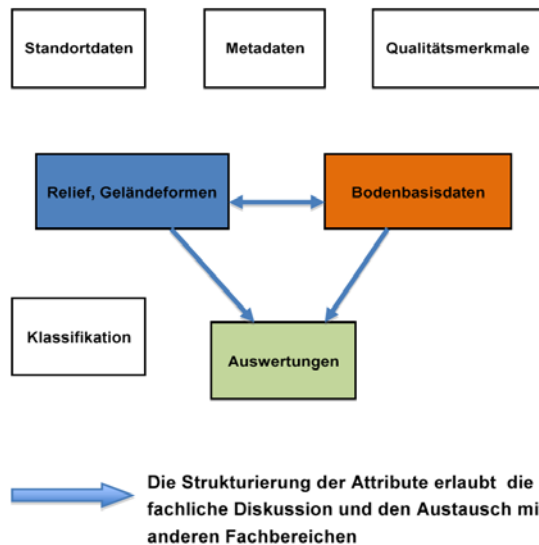
Zur Sicherung der Flächendaten wurden, in analoger Weise wie bei den Profildaten, die notwendigen Arbeitsgrundlagen durch die Entwicklung eines Flächen-Datenmodells und einer Technischen Anleitung geschaffen. Diese Aufgabe wird heute durch NABODAT wahrgenommen (s. Kap. 2.5 resp. Faktenblatt 4)

Strukturierte Daten vereinfachen Austausch mit anderen Umweltbereichen

Die im Rahmen des Projektes BICH erarbeiteten konzeptionellen Datenmodelle für die Bodenprofile wie auch für die Flächendaten erlauben die strukturierte Datenablage und Datenhaltung. Derart strukturierte Daten erleichtern den Austausch mit anderen Umweltbereichen. Das nachfolgende Schema zeigt den Zusammenhang und die Abhängigkeiten der verschiedenen Grundlagendaten, den Attributdaten aus der Bodenkartierung und der darauf basierenden abgeleiteten Daten:

Konzeptionelles, technologie- und systemneutrales Datenmodell (in INTERLIS)

schematisch, stark vereinfacht



¹⁰ Knecht M. (2004): Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht 2003. BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, verfasst im Auftrag des BUWAL.

¹¹ Knecht M. (2009): Projekt Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht der BGS (Projektausschuss BICH) an das BAFU Bundesamt für Umwelt.

Teile des Konzeptionellen Datenmodells BICH wurden 2013 im Rahmen der Geo-Basisdaten ‚NABO und Ergebnisse Kantonale Überwachung Bodenbelastung‘ in ein gemeinsames Minimales Geo-Datenmodell (MGDM) überführt. Damit wurde ein wichtiger Schritt zur strukturierten, gesicherten Datenablage getan.

**MGDM Minimales
Geo-Datenmodell**

Die Digitalisierung von „alten“ Bodendaten war ein riesiger Schritt hin zu einer massiv verbesserten Datenzugänglichkeit und –sicherheit. Zugleich wurde für „alte“ Bodenkartenwerke und deren Daten eine grosse Wertsteigerung erreicht.

Die Weiterführung dieser Aufgaben wurde der Organisation NABODAT-Verbund (<http://www.nabodat.ch/index.php/de/>) übertragen; direkte Anlaufstelle ist die Servicestelle NABODAT, die der Nationalen Bodenbeobachtung NABO an der ART angegliedert ist.

**Weiterführung
durch NABODAT-
Verbund**

2.5 NABODAT

Parallel zum Projekt Bodeninformation Schweiz (BICH) wurde 2003 von der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) an der FAL (Agroscope Reckenholz) eine Machbarkeitsstudie zum Aufbau einer nationalen Bodenschadstoffdatenbank durchgeführt. Mit Genehmigung des 2005 eingereichten Projektantrages beschloss das BAFU ein nationales Bodeninformationssystem (NABODAT) aufzubauen, welches sowohl Bodenprofilaten als auch Bodenschadstoffdaten beinhaltet (s. [Faktenblatt 4: NABODAT](#)).

**Nationales Bo-
deninformations-
system NABODAT**

NABODAT baut auf der bewährten kantonalen Lösung BODAT auf und ist die Fachapplikation Boden für die beiden Geobasisdatensätze Nationale Bodenbeobachtung NABO und Kantonale Überwachung Bodenbelastungen FABO (Identifikatoren 124 und 125 in Anhang 1 der GeoIV). Zu diesem Zweck wurde das ursprünglich auf Schadstoffdaten entwickelte Datenmodell NABODAT05 mit den Datenmodellen der kantonalen BODAT 4.2 und dem Datenmodell BICH erweitert und konzeptionell neu strukturiert, so dass die Profildaten einerseits und Bodenmessungen aus der Bodenüberwachung und Bodenbeobachtung andererseits gleichwertig nebeneinander verwaltet werden können. Dank der sehr wertvollen Unterstützung von Vertretern mehrerer kantonalen Bodenschutzfachstellen im Rahmen der Detailkonzeption und der Testgruppe NABODAT konnten Bedürfnisse der heutigen Nutzer des Bodeninformationssystems bereits in die Entwicklung einfließen.

Für die Verwaltung von national harmonisierten Bodendaten ist die Entwicklung der technischen Komponenten eines Bodeninformationssystem zwar anspruchsvoll, aber mit den heutigen Möglichkeiten an Softwarelösungen gut lösbar, auch im Hinblick auf Erweiterungen. Hingegen wurde schon früh bei der Entwicklung des Datenmodells deutlich, dass mit der Aufhebung des Nationalen Bodenkartierungsdienstes an der damaligen FAL/FAP im Jahre 1996 es in der Schweiz keine nationale Institution mehr gibt, die eine für NABODAT dringend nötige landesweite Harmonisierung und Standardisierung der Bodenkartierung und Bodeninformationen pflegt und koordiniert.

**National harmoni-
sierte Bodendaten**

Servicestelle NABODAT

Die Servicestelle NABODAT bietet den Datenherren (Mandanten) die aufwendige fachliche und technische Übersetzung dieser Daten für einen Import in NABODAT an, wie aus dem nachfolgenden Schema ersichtlich ist:

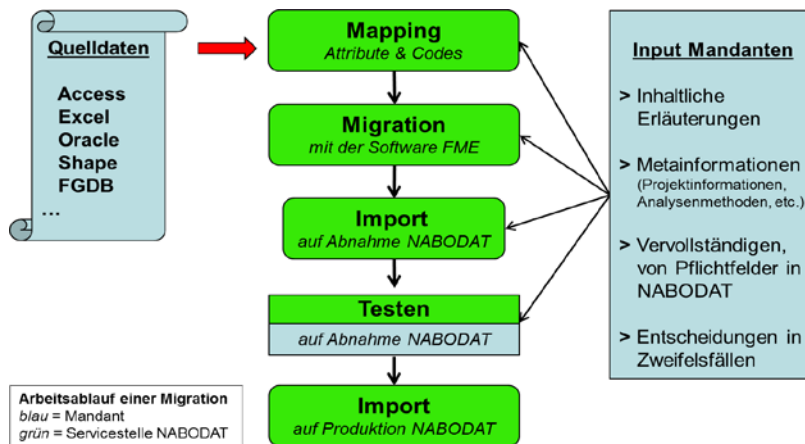


Abb. 2: Schema des Vorgehens zur Übersetzung der Quelldaten und deren Integration in NABODAT¹²

Bedarf für ein Nationales Bodenkompentenzentrum

Die NABODAT Servicestelle kann mit den technischen Komponenten bestehende Referenzen für den Betrieb umsetzen, kann aber nicht fehlende Referenzen mit einheitlichen Codelisten für die Schweiz als Standard definieren. Hierfür fehlt in der Schweiz eindeutig eine nationale Bodenfachstelle des Bundes. Mit der Ende 2012 eingereichten Motion von Nationalrat Müller-Altermatt wurde die von diversen Stellen geforderte Notwendigkeit nach einem nationalen Bodenkompentenzentrums aufgegriffen¹³.

NABODAT-Verbund

Der NABODAT-Verbund setzt sich aus Bundesämtern und kantonalen Behörden zusammen. Die Projektleitung des Bodeninformationssystems liegt beim Bundesamt für Umwelt (BAFU), die technische Leitung und die Servicestelle NABODAT bei der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) an der Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz (INH).

Im Hinblick auf ein nicht auszuschliessendes allfälliges Scheitern der Motion Müller-Altermatt, ist es angezeigt, einen Plan B in Betracht zu ziehen, dies unter Einbindung aller massgeblichen Kräfte im Bund, bei den Kantonen und in der BGS, dies auch unter Beachtung der föderalistischen Strukturen in der Schweiz. (Vgl. hierzu auch „Umfrage Bodenkartierung“, Dokument 10 der BGS, 2000).

¹² <http://www.nabodat.ch/index.php/bodeninformationssystem-nabodat2345/migration-digitaler-bodendaten.html>

¹³ 12/4230 – Motion; Müller-Altermatt Stefan: Nationales Kompetenzzentrum Boden als Gewinn für Landwirtschaft, Raumplanung und Hochwasserschutz.

In der Zwischenzeit hat der Bundesrat die Motion abgelehnt, im Nationalrat wurde die Motion gutgeheissen; die Behandlung im Ständerat ist (Stand Sept. 2014) noch ausstehend. Im Motionstext wurde der Waldboden nicht mit einbezogen. Damit bleibt der Boden von rund der Hälfte der schweizerischen Urproduktionsfläche (s. Flächenstatistik unten), inklusive all ihrer zusätzlichen ökologischen Leistungen, unberücksichtigt. Es ist zu hoffen, dass dieses Manko in der parlamentarischen Diskussion noch behoben werden kann.

Flächenstatistik [2012]: Wald 1'258'000 ha; Landwirtschaft 1'051'000 ha (+ Sömmerungsweiden: ca. 500'000 ha)

2.6 Stand Datenerfassung, -ablage und -sicherung

Die Datenablage und –sicherung von Bodendaten hat durch die Möglichkeiten, die elektronische Datenbanken bieten, in den letzten 20 Jahren eine massive Verbesserung erfahren. Damit sind auch die Zugänglichkeit und die Einsatzmöglichkeiten dieser Daten für verschiedenste Nutzer sichergestellt.

BICH Bodeninformation Schweiz

Im Rahmen des BICH-Projektes der BGS (2001-2009) wurden die Voraussetzungen (Daten-Modelle, Leitfaden, Standards) geschaffen, um analog vorliegende Profildaten und später auch Flächendaten zu harmonisieren und in eine digitale Form überführen zu können.

BICH und Daten-Digitalisierung

Die im Rahmen von BICH entwickelte Aufarbeitungssoftware MIGRAPROFIL erlaubt die praktische Überführung von älteren Profildaten unterschiedlicher Datenschlüssel-Generationen in ein einheitliches, modernes Datenmodell.

MIGRAPROFIL

NABODAT Bund und Kantone

Mit der Fachapplikation NABODAT können Bund und Kantone die in der Schweiz vorhandenen Bodendaten verwalten. Berechtigte Personen der Kantone, des Bundes und der Forschungsanstalten loggen sich via Web ein und rufen mandantenbezogene Dienstleistungen ab.

Web-Fachapplikation NABODAT

Kantonale Bodendatenbanken

Kantone, die schon seit Jahren ihre Bodenkartierungsdaten elektronisch verwalten, verwenden hierzu meist eigene Datenbanken (z.B. Boden2000 im Kt. ZH; IS-Boden im Kt. SO; Bodeninformationssystem BISG im Kt. SG). Die übrigen Kantone, insbesondere jene, die ihre analogen Profildaten mit MIGRAPROFIL aufarbeiteten, verwenden meist NABODAT.

Datenablage in den Kantonen

Datensicherung

Eine grosse Aufgabe für die nächsten Jahre resp. Jahrzehnte wird darin bestehen, nebst der Erfassung neuer Daten die heute bereits bestehenden oder zukünftig neu zu schaffenden, verschiedenen Datenbanken zu sichern, zu pflegen und deren Nutzungsmöglichkeiten zu koordinieren.

Datensicherung

2.7 Zuständigkeiten und Aufgabenverteilung

Es gibt in der Schweiz für die Durchführung der Bodenkartierung offiziell keine verbindlichen Vorgaben.

Keine verbindlichen Vorgaben

Auch ist das Ausmass der flächenhaften Kartierung insgesamt immer noch relativ gering, verglichen mit unsern Nachbarländern, wie Österreich und Deutschland, aber auch im Vergleich zu anderen europäischen Staaten, vor allem in Mittel- und Osteuropa, die der Kenntnis der Bodeneigenschaften in der Vergangenheit grössere Aufmerksamkeit zukommen liessen.

**Rückstand der
Bodenkartierung in
der Schweiz**

Der Rückstand der Schweiz in der Umsetzung der Bodenkartierung wird im Ausland mit einem gewissen Erstaunen zur Kenntnis genommen, nicht zuletzt aufgrund des, auf die Gesamtfläche bezogen, eher kleinen Anteils an guten, fruchtbaren Böden¹⁴. Die Bodeninformations-Lage hat sich in den letzten anderthalb Jahrzehnten allerdings, dies dank der Anstrengungen der Kantonalen Bodenschutzfachstellen im Verbund mit der Arbeitsgruppe Bodenkartierung der BGS, verbessert. Sie genügt aber noch nicht, im Speziellen angesichts des nebst land- und forstwirtschaftlich auch raumplanerisch begründeten Anspruchs auf eine bessere Daten- und damit Entscheidungsgrundlage zum Schutze des Bodens.

**Fachliche Verbind-
lichkeit**

Es ist wichtig, dass auch bei künftigen Bodenkartierungsprojekten eine, wohl nicht rechtliche, aber zumindest fachliche Verbindlichkeit für Methoden der Bodenkartierung sichergestellt werden kann. Dieser Anspruch nimmt an Gewicht noch zu vor dem Hintergrund der sicherzustellenden Verfüg- und Vergleichbarkeit von Geodaten.

**Rolle der BGS als
Fachinstanz**

Mit dem in den Statuten verankerten Vereinszweck der BGS¹⁵, der dieser unter anderem die Rolle als „mitverantwortliche Fachinstanz für eine sachgerechte Aufnahme der natürlichen Bodeneigenschaften in Form von flächendeckenden Bodenkarten“ zuweist, ist diese gehalten, hier ihren bisher schon wahrgenommenen Aufgaben weiterhin nachzukommen.

¹⁴ LEGROS in «Cartographie des sols » (1996): "...Curieusement, en dépit de la rareté de ses bonnes terres et en dépit d'une grande attention accordée à la sauvegarde du milieu naturel, la Suisse n'a pas fait beaucoup d'efforts pour la cartographie de ses sols... .

¹⁵ Statuten BGS, Art. 2 Zweck.

3 Bodenkartierungs-Methoden

3.1 Grundsätzliches zur feldgestützten Bodenkartierung

Allgemein gesprochen ist die Basis für eine gute und „richtige“ Bodenbeschreibung ein möglichst breites Set an qualitativ guten und sicheren Daten über das zu beschreibende Objekt, den Boden.

Entscheidend sind gute Daten

Bei der feldgestützten Bodenkartierung kommt beim eigentlichen Kartierprozess des Bodenkartierers Erfahrung zum Tragen. Er trägt das Wissen aus früheren Datenerhebungen („Kartierungen“) in sich und kodiert neu vorliegende Informationen unter genauer Lage-Zuweisung. Als Experte („expertus“: erfahren, erprobt, bewährt) zeichnet er sich dadurch aus, dass er ein umfangreiches objektives Wissen mit einer fachlich raffinierten Subjektivität¹⁶ paart.

Bodenkartierer mit Expertenwissen

3.2 Klassifikationssysteme und Kartieranleitung

Klassifikationssysteme sind die Basis für eine adäquate Bodenbeschreibung während des durch die Kartieranleitung definierten Kartierungsprozesses. Es gibt sehr viele nationale Klassifikationssysteme, so auch die Klassifikation der Böden der Schweiz KLABS (s. Kap. 2.1).

Nationale Klassifikationssysteme

Daneben besteht aber auch Bedarf an einem internationalen Kommunikationsmittel für den Austausch über Bodeninformationen, was heute, dies als Nachfolger der FAO-Bodenklassifikation, durch die WRB (World Reference Base for Soil Resources) sichergestellt wird. Der WRB ist eine Referenzbasis und hat nicht das Ziel, nationale Klassifikationen zu ersetzen.

Internationale Systeme WRB

Diese weisen als grosse Stärke ihre Detailtreue und damit auch eine grosse Genauigkeit für die landesüblichen Böden auf, die mit dem WRB, der für den weltweiten Einsatz und für ein viel breiteres Spektrum an Böden gedacht ist, gar nicht erreicht werden könnte.

Für den fachlichen Austausch mit unsern Nachbarländern ist es zweckmässig, dass auch die jeweiligen nationalen Klassifikationssysteme und Kartieranleitungen zumindest bekannt sind. Es sind dies:

- **Bodenkundliche Kartieranleitung (D)**
Die 5. Auflage (KA 5) dieser im Jahre 1965 erstmals aufgelegten deutschen Kartieranleitung beinhaltet eine detaillierte Klassifikation. Der eigentliche Kartierprozess wird nur relativ knapp beschrieben. Die KA5 erschien im Jahre 2005.¹⁷ Eine nächste Revision ist in Diskussion.
Die Tabellenwerke dieser Kartieranleitung sind die Basis vieler Pedotransfer-

Bodenkundliche Kartieranleitung D

¹⁶ Aussage in Analogie zu einer neuro-physiologischen Betrachtung von: Kaeser E. (2013): Wein, Wissen und Geschmack. ‚Nordwestschweiz‘, 30. März 2013, S. 7.

¹⁷ 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.

funktionen¹⁸ resp. von darauf aufgebauten funktionalen Bodenkarten. Für den praktischen Vollzug des Bodenschutzes wurde im Jahre 2009 eine Kurzversion der KA5 mit reduziertem Parameter-Umfang publiziert.¹⁹

Référentiel pédologique F

- Référentiel pédologique (F)
Der Référentiel pédologique²⁰ ist das für Frankreich relevante Bezugssystem (Typologie) zur Charakterisierung der Böden und stellt, zusammen mit den Anleitungen von Legros „Cartographies des sols“²¹ sowie von Baize und Jabiol „Guide pour la description des sols“²² die Grundlage für die Bodenkartierung in Frankreich dar.

Einführung Bodenkartierung A

- Anleitung „Einführung Bodenkartierung“ (A)
In Österreich ist die Bodenkartierung im Massstab 1:25'000 mit weit über 200 digitalisierten Kartenblättern heute beinahe abgeschlossen. Die Feldaufnahmen erfolgten im Massstab 1:10'000 auf der Basis der „Einführung Bodenkartierung“²³ und der Österreichische Bodensystematik (ÖBS).²⁴

3.3 FAL-Kartieranleitung und deren Weiterentwicklung

Die FAL-Kartieranleitung, die seit mehr als fünfzig Jahren in der Schweiz zur Anwendung kommt, ist die in der Schweiz am meisten verbreitete Kartieranleitung. Die FAL-Kartieranleitung liegt sowohl für Böden im Landwirtschaftsgebiet wie auch im Wald vor. Sie stützt sich für beide Nutzungsformen auf die gleichen Grundlagen ab (vgl. Kap. 2.1). In diesen Anleitungen sind auch die methodischen Vorgaben und die detaillierte Vorgehensweise detailliert beschrieben.

Für die Kartierung der Rebböden wurden die gemäss Référentiel pédologique erhobenen Felddaten in die Systematik der KLABS übersetzt und so, zwecks Ablage in der Bodendatenbank des Bundes NABODAT, harmonisiert (s. auch Kap. 2.2).

Weiterentwicklung nach 1996 zur FAL-Kartiermethode+

Die FAL-Kartiermethode (s. auch [Faktenblatt 1](#)) wurde nach der Einstellung der Bodenkartierungstätigkeit an der FAL (dies per Ende 1996) durch den Kanton Solothurn für das Projekt der flächendeckenden Kartierung²⁵ weiterentwickelt zur FAL-Kartiermethode+; später wurde diese in weiteren Kantonen übernommen.

¹⁸ Müller U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). 7. erweiterte und ergänzte Auflage. Arbeitshefte Boden.

¹⁹ Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (2009): Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz. 1. Auflage. Hannover.

²⁰ AFES Association française pour l'étude du sol (2009): Référentiel pédologique 2008. Coordination éditoriale: Baize D.; Editions Quae.

²¹ 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.

²² Baize D. et Jabiol B.(1995) : Guide pour la description des sols. INRA Editions. 172 p.

²³ Bodenkartierung Österreich: Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft BFW, Wien. Online auf <http://www.bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=7049>

²⁴ Österreichische Bodensystematik (ÖBS) 2000 in der revidierten Fassung von 2011. Nestroy O. et al.. Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft. 1190. Wien. 2011..

²⁵ Bodenkartierung Kanton Solothurn. Konzept. Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Solothurn. Amt für Umweltschutz. Berichte Nr. 23. Dezember 1995.

Markante Änderungen sind der je Polygon zu erhebende Standard-Datensatz unter Verzicht auf eine Legende und die GIS-basierte Aufnahmemethode; des Weiteren kommt ein Projekthandbuch mit detailliert definierten Projektabläufen und QS-Vorgaben zum Einsatz (s. [Faktenblatt 6](#)).

Die entscheidenden Veränderungen bei der Datenerhebung- und -verwaltung basieren auf den Möglichkeiten der elektronischen Datenverarbeitung. So können heute mit der FAL-Kartiermethode+ moderne Bodeninformationsprodukte erstellt werden.

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

Thema	Methodisches	Stärke / Anwendung
Einheitliche Kartiermethode	Wald- und Landwirtschaftsböden werden grundsätzlich mit gleicher Methode kartiert	Integrale Auswertungen für verschiedene Nutzungsarten sind möglich (z.B. für Hochwasserschutz)
Reliefgliederung	Erfassung einfacher und komplexer Geländeformen	Enger Zusammenhang von Relief und Bodenbildung
Bodendaten für Punkt und Fläche	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 Pedotransferfunktionen)
	Ein Datensatz pro Polygon	Polygonscharfe Bodeninformation; keine (aggregierten) Legenden mehr
Oberboden OB und Unterboden UB	Bodenbasisdaten werden im OB und UB erhoben	Die Zusatzinformation aus UB ist für zahlreiche Auswertungen erforderlich (z.B. Verdichtungsempfindlichkeit)
Pflanzennutzbare Gründigkeit pnG	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

Stand der Technik 2014

Tab. 1: Stärken der FAL-Kartierung+ [Stand der Technik 2014]

Die FAL-Kartiermethode+ ist stark nutzungsorientiert und für viele neue Fragestellungen (v.a. im Umweltschutzbereich) von grossem Wert. Sie zeichnet sich durch die folgenden Stärken aus:

**Einheitlich für
Wald- und Land-
wirtschaftsböden**

- Sie ist einheitlich für Wald- und Landwirtschaftsböden und erlaubt so eine integrale Darstellung der Bodeneigenschaften und davon abgeleiteter Größen über die aktuellen Nutzungstypengrenzen hinweg.

**Reliefgliederung
und Bodenbildung**

- Mit der FAL-Kartiermethode wird grosser Wert auf den Zusammenhang zwischen Reliefgliederung und Bodenbildung gelegt. Dass die komplexen Relief- oder Geländeformen eine enge Korrelation zur Bodenbildung aufweisen und dementsprechend auch zu kartieren sind, wurde in der Schweiz bereits 1963 erkannt²⁶. Die Geländeformen gemäss FAL-Klassifikation erfassen morphographische Reliefeinheiten wie Hangbereiche, Plateaus, Ebenen aber auch komplexere Geländeformen wie Mulden, Kuppen, etc. Dieser Ansatz wird auch durch die deutsche Kartieranleitung (KA 5, S. 63) gestützt: „Bei den natürlichen Reliefformtypen handelt es sich um rein morphographische Definitionen, frei von morphogenetischer Interpretation ... Unterschieden wird zwischen einfachen und komplexen Reliefformtypen ... Steht bei der Punktaufnahme der einfache Reliefformtyp im Vordergrund, so gewinnt der komplexe Reliefformtyp bei der Flächeninhaltsbeschreibung zunehmend an Bedeutung“. Hierzu präsentierte Behrens T. 2013²⁷ in seinem Referat ‚Hyperskaliges DSM-Relief als Proxy‘ die Errechnung komplexer Reliefformtypen im Vergleich zu herkömmlichen Reliefanalysen mit nur ‚catenaren‘ Informationen.

**Standardisierter
Polygon-Datensatz**

- Der früher angewandte Erhebungsschritt der Zuweisung von Polygonen zu einer zuvor definierten Legende wird nicht mehr angewandt. Neu wird pro Polygon ein individueller, standardisierter Datensatz erhoben. Es erfolgt zudem keine Aggregation der Bodenformen zu Bodeneinheiten. Die meisten zu erhebenden Daten sind unklassierte Schätzwerte der Bodeneigenschaften (Basisdaten), die Auswertungen ‚nach Mass‘ erlauben: die Polygondaten sind direkt mit Algorithmen resp. Pedotransferfunktionen (PTF) verknüpfbar.

**Ansprache der
Ober- und Unter-
boden-
Eigenschaften**

- Bei der Flächenkartierung werden die Bodenbasisdaten immer für den Ober- und den Unterboden inkl. Mächtigkeit aufgenommen. Diese Unterteilung ist wichtig für viele weitergehende Attribute, wie zum Beispiel für die pflanzennutzbare Gründigkeit (pnG), die ihrerseits wiederum Basis einiger wichtiger funktionaler Karten ist.

Die FAL-Kartiermethode+ ist eine stark nutzungsorientierte Kartiermethode, die Interpretationen und Auswertungen für forstliche, landwirtschaftliche und raumplanerische Fragestellungen ermöglicht. Es besteht zudem ein grosses Anwendungspotential für verschiedene Umweltbereiche in Form von monothematischen Karten (soil attribute maps) und funktionalen Bodenkarten (functional soil maps).

²⁶ Frei E., Juhasz P. (1963): Beitrag zur Methodik der Bodenkartierung und der Auswertung von Bodenkarten unter schweizerischen Verhältnissen. Schweiz. Landw. Forschung.

²⁷ Workshop der DBG-Arbeitsgruppe Digital Soil Mapping, 11.-12. April 2013 in Tübingen.

Die Anwendungsmöglichkeiten von nutzungsorientierten Bodenkarten erstrecken sich konkret auf:

- Land- und Forstwirtschaft: Standortgemässe Nutzung, Wasserhaushaltsfragen vor dem Hintergrund eines Klimawandels, Gefährdungspotentiale (Erosion, Verdichtung etc.).
- Raumplanung: Im Vordergrund stehen heute die Ausscheidung von FF-Flächen und der Schutz fruchtbarer Böden im Rahmen von Planungsprozessen.
- Umweltschutz und Bodenschutz im Speziellen: Grundlagen zur Beurteilung der Gefährdungspotentiale für den Boden durch chemische, physikalische und biologische Störfaktoren und deren Auswirkungen auf weitere Umweltgüter wie z.B. Wasser (Grundwasserschutz, Schutzzonenausscheidungen) etc.
- Beschreibung von Naturräumen: Für praktische Anwendungen und Forschungsprojekte in allg. Bodenkunde, Geo-Disziplinen, Hydrologie etc.

Anwendungsmöglichkeiten nutzungsorientierter Bodenkarten

Einen breiten und zugleich detaillierten Überblick über Anwendungsgebiete von nutzungsorientierten Bodendaten gibt das Teilprojekt 3²⁸ im Schlussbericht des Projektes Bodeninformation Schweiz BICH von 2003²⁹, in dem 20 Nachfrageprofile detailliert beschrieben werden.

3.4 Digitale Bodenkartierung (Digital Soil Mapping DSM)

Unter digitaler Bodenkartierung (s. auch [Faktenblatt 5](#)) wird, wie in Kap. 1.2 bereits erläutert, die computergestützte Produktion von digitalen Bodentypen- und Bodeneigenschaften-Karten verstanden.

Modellierungsansätze

Gemäss Report EUR 22123 EN³⁰ können im Allgemeinen **drei unterschiedliche Modellierungsansätze** unterschieden werden:

- “Data-Mining”:
Basierend auf “Trainingsdaten” und Prädiktorenregeln (Entscheidbäume 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.

Modellierungsansätze gemäss EUR 22123

²⁸ Lüscher C. (2004): Leitfaden Bodenkartierung: Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden. Bodeninformation Schweiz BICH, Teilprojekt 3.

²⁹ Knecht M. (2004): Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht 2003. BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, verfasst im Auftrag des BUWAL.

³⁰ 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, Luxembourg.

- **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 oder auch mit geostatistischen Modellen unter Miteinbezug der Daten von bereits vorhandenen digitalisierten Bodenkarten angewendet.

Modellierungsansatz in PMSOIL (NFP68)

Der Ansatz der im NFP68³¹-Projekt „PMSOIL: Kartierung von Bodeneigenschaften zur Beurteilung von Bodenfunktionen auf regionaler Skala“³² zur Anwendung kommenden Modellierung ist der folgende:

Metrische, ordinale oder nominale Informationen über Bodeneigenschaften werden mit diversen statistischen Methoden in Beziehung gesetzt zu flächendeckend verfügbaren Kovariablen über Bodenbildungsfaktoren. Neben multipler linearer Regression wurden in jüngerer Zeit vermehrt auch nichtlineare Regressionsverfahren wie Klassifikations- und Regressionsbäume (CART), neuronale Netze und andere Verfahren des sogenannten „machine learning“ (boosted CART, random forest) eingesetzt.

Verfahren ohne kausal interpretierbare Korrelationen

Allen diesen Verfahren ist gemeinsam, dass sie nicht notwendigerweise kausal interpretierbare Korrelationen zwischen den erhobenen Bodendaten und Kovariablen für die räumliche Interpolation nutzbar zu machen versuchen. Da diese Modelle die räumlichen Muster in den Bodendaten meist nur teilweise zu modellieren vermögen, zeigen die Residuen, d.h. die Differenzen zwischen den gemessenen und modellierten Werten, oft noch eine räumliche Struktur, d.h. sie variieren räumlich nicht vollständig zufällig. Die geostatistischen Methoden parametrisieren diese Autokorrelation und nutzen sie, um räumliche Vorhersagen, die sich aus den gefitteten Regressionsmodellen ergeben, noch zu verbessern: Im Vergleich zu diesen, korrigiert die geostatistische Kriging-Methode in Teilen eines Kartierungsgebiets, in welchem die Regressionsmodelle systematisch zu hohe Werte vorhersagen, die Vorhersagen gegen unten und in anderen Teilen mit systematisch zu kleinen Vorhersagen gegen oben.

3.5 Vorhersagefehler

Jede Vorhersage mit Vorhersagefehler behaftet

Jede Vorhersage, ob von einer polygon-basierten Bodenkarte und einer damit verknüpften Tabelle von Bodeneigenschaften oder von einem statistischen Modell abgeleitet, ist mit einem Vorhersagefehler behaftet.

Vorhersagefehler bei polygon-basierter Bodenkarte

Die polygon-basierte Vorhersage von Bodeneigenschaften verwendet implizit ein statistisches Modell, bei dem man annimmt, dass die wahren Werte einer Bodeneigenschaft innerhalb eines Polygons (oder einer Gruppe von gleichen Polygonen) vollständig zufällig um einen konstanten Wert schwanken. Für dieses

³¹ Nationales Forschungsprogramm NFP68: Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden. 2013-2017.

³² Original-Titel: PMSOIL: Predictive mapping of soil properties for the evaluation of soil functions at regional scale. Projektverantwortlicher: Andreas Papritz, ETH Zürich

Modell ist die beste Vorhersage der Bodeneigenschaft (d.h. die Vorhersage, welche die Varianz der Vorhersagefehler minimiert) gleich dem Mittelwert der Messungen an allen Messpunkten innerhalb dieses Polygons (oder in der Gruppe von gleichartigen Polygonen). Das gilt aber nur, wenn die Messwerte der Bodeneigenschaft innerhalb des Polygons ohne erkennbare Struktur variieren, was oft nicht der Fall sein dürfte. Die Vorhersage einer feldgestützt erhobenen Bodenkarte mit verknüpfter Attributtabelle entspricht somit einem einfachen statistischen Modell.

Die Güte der Vorhersage durch polygon-basierte Mittelwerte hängt davon ab, wie gut die räumliche Variation der Bodenvariablen durch die räumlichen Straten der Polygone abgebildet wird.

Es ist anzustreben, dass die Charakterisierung der Genauigkeit von polygon-basierten räumlichen Vorhersagen bei einem zukünftigen feldgestützten Bodenkartierungsprojekt untersucht wird.

Die Vorhersage bei modellierten Bodenkarten kann verbessert werden, wenn ein Modell verwendet wird, welches neben einer nominalen Gruppierungsvariable, welche die Zugehörigkeit eines Vorhersagepunkts zu den diversen Polygonen definiert, weitere Kovariablen verwendet, um die räumliche Variation innerhalb der Polygone abzubilden.

Dieser Frage soll auch im Projekt PMSoil (s. Kap. 3.4) nachgegangen werden: Vorhandene Messwerte der Bodenkartierung aus den Kantonen Zürich und Bern werden in einen Validierungs- und Kalibrierungsdatensatz unterteilt, wobei mit letzterem die Mittelwerte für die Polygone berechnet und die statistischen Modelle kalibriert werden.

Im Unterschied zu Vorhersagen, welche von einer feldgestützt erhobenen Bodenkarte abgeleitet werden, gibt eine gute statistische Vorhersage zudem ein statistisches Mass für die Grösse des Vorhersagefehlers an.

Vorhersagefehler bei modellierter Bodenkarte

3.6 Rolle des GIS

Sowohl bei der feldgestützten Bodenkartierung (hier vor allem in der Phase zur Erarbeitung der Konzeptkarte für einen zu kartierenden Perimeter) als auch bei der digitalen Bodenkartierung stützen sich die Verfasser oft auf vielfältige Grundlagendaten ab, die meist auch als GIS-Layer vorhanden sind. Zu erwähnen sind z.B. das DTM (Digitales Terrainmodell), geologische Karten, pflanzensoziologische Karten, Drainagepläne, Güterregulierungsunterlagen, Waldpläne, aber auch Stereo-Luftbilder, Orthofotos etc.

Abstützung auf GIS-Grundlagendaten

Diese GIS-Werkzeuge sind immer als reine Hilfsmittel zu betrachten, gleich auf welche Art die Kartierung abläuft, dies gilt insbesondere auch für die Modellierung von Bodenkarten. Hierzu ist eine Anmerkung von McBratney (2003)³³ zu beachten, der deutlich auf dieses oft vorhandene Missverständnis aufmerksam

GIS als Hilfsmittel

³³ McBratney A.B., Mendonça Santos M.M., Minasny B. (2003): On digital soil mapping. Geoderma 117, 3-52.

macht: „GIS, a tool for collating all kinds of spatial information, in itself is incapable of soil mapping; it requires an intellectual framework...“

3.7 Qualitätssicherung

Qualitätsmerkmale

3.7.1 Allgemeine Qualitätsansprüche an die Bodenkartierung

Die Ansprüche an Bodenkarten sind hoch, da sie zunehmend nicht nur zur Darstellung der Bodenverhältnisse in einem definierten Gebiet gebraucht werden, sondern je länger je mehr als Eingangsdaten für viele andere Zwecke (abgeleitete Karten) verwendet werden. Fehler in den Bodenkarten führen aber zu Fehlern in den davon abgeleiteten Daten, die sich dann auch in darauf basierenden Umsetzungsentscheidungen fatal auswirken können.

QS notwendig, unabhängig von Methode

Generell ist festzuhalten, dass die Erstellung von Bodenkarten, gleich mit welcher Methode, ohne klar definierte Qualitätssicherungsmaßnahmen heute nicht mehr dem Stand der Technik entspricht. Produkte ohne QS-Nachweis müssen als nicht-konform mit den heutigen Anforderungen bezeichnet werden.

3.7.2 Qualitätsüberlegungen bei der Erhebung der Bodenbasisdaten

Qualitätsansprüche bei der Erhebung von Bodenbasisdaten

Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei der Qualität der Erhebung der Bodenbasisdaten, wozu es des Einsatzes von qualifizierten und zugleich erfahrenen Bodenkartierfachleuten bedarf.

Dies wird klar, wenn man sich der Auswirkungen der erreichten Genauigkeit bei der Erhebung wichtiger Bodenbasisdaten auf alle nachfolgenden Auswertungsschritte und Anwendungsprodukte bewusst ist:

Bodenbasisdaten: Attribut	Schwierigkeitsgrad der Messung / Bestimmung	Auswirkung auf Steuerungsfunktion und -reaktion
pH	gering	klein
Kalk	gering	klein
C_{org}, (Humus)	mittel (bei C _{org} > 6)	klein
Körnung	Erfahrung notwendig	gross
Skelett	Erfahrung notwendig	mittel - gross
pflanzennutzbare Grün- digkeit	Erfahrung notwendig	gross

Damit wird klar, dass in der Ausbildung für Bodenkartier-Fachleute die Erfassung von Bodenbasisdaten (z. B. Körnung, Skelettgehalt oder pflanzennutzbare Grün- digkeit) speziell trainiert werden muss. C_{org} (Humus) kann hingegen relativ ein- fach auch modelliert werden, da gute Korrelationen zu Nutzungsart und Bewirt- schaftung bestehen.

Die möglichen Auswirkungen einer unsachgemässen Ansprache werden augenfällig, wenn in Betracht gezogen wird, dass z. B. bei der Ermittlung der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes $nFKWe$ (sie ist die wichtigste Grösse bei Fragestellungen zur Wasserversorgung der Pflanzen) die Parameter Körnung, Skelettgehalt und pflanzennutzbare Gründigkeit eine zentrale Rolle spielen.

Gerade die pflanzennutzbare Gründigkeit ist ohne korrekte Feldbestimmung durch erfahrene Bodenfachleute eine kaum schätzbare Grösse; sie wirkt sich aber direkt auf den Wert der nutzbaren Feldkapazität aus.

Gleiches gilt für die Sorptionskapazität im Zusammenhang mit Schadstoffbelastungen des Bodens, wo für die Berechnung des Leit-Parameters „Kationenaustauschkapazität KAK“ den erhobenen Bodenkartierungsattributen pH, Körnung und Humusgehalt eine grosse Bedeutung zukommt.

Quintessenz dieser Überlegungen ist, dass bei der Ermittlung von Bodendaten immer, gleich mit welcher Methode gearbeitet wird, ein grosser bodenkundlicher Sachverstand, gepaart mit ebenso grosser Erfahrung, vorhanden sein muss.

**Auswirkungen
unsachgemässer
Ansprache**

3.7.3 Qualitätssicherungsmassnahmen

Die Sicherstellung der Qualitätsanforderungen wird durch adäquate Qualitätssicherungsmassnahmen (s. [Faktenblatt 6: Grundsätze der Qualitätssicherung](#)) erreicht. Dabei wird der Schwerpunkt auf ein gut überprüftes Vorgehen von der Arbeitsvergabe bis zur Abgabe der Bodendaten und darauf basierender Produkte geworfen. Im Feld werden fortwährend Plausibilitäts- und Vollständigkeitsprüfungen durch unabhängige Experten vorgenommen.

**Qualitätssiche-
rungsmassnahmen**

Eine Bodenkarte hat grundsätzlich den nachfolgend aufgeführten Qualitätsmerkmalen zu entsprechen, die je nach Anspruch an die Aussagekraft der Bodeninformationen (Verwendungszweck, Massstab etc.) jeweils näher zu definieren sind³⁴:

Genauigkeit

Die Genauigkeitsansprüche lassen sich grundsätzlich, unabhängig von der Methode, die zur Entstehung von Bodenkarten führt, auf einige wenige Forderungen reduzieren:

**Genauigkeitsan-
sprüche**

Positions-Genauigkeit:

Die Positionsgenauigkeit bezieht sich auf Objektdarstellungen der realen Welt, also auf Profilstandorte und Polygone resp. deren Grenzen, wobei durch die Grenzziehung eine scharfe Grenze postuliert wird, obwohl diese Grenze oft durch einen Übergang gekennzeichnet ist. Die Überprüfung erfolgt bezüglich der geographischen Lagezuweisung im Feld.

³⁴ 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, Luxembourg.

Numerische Attribut-Genauigkeit:

Diese Genauigkeitsprüfung erfolgt durch einen einfachen Vergleich der wahren Werte im Feld mit den postulierten Werten in der erarbeiteten Bodenkarte resp. mit den modellierten Werten, wenn die Karte auf diese Weise entstanden ist.

Vollständigkeit

Vollständigkeit des Datensets

Die Vollständigkeit der Datensets ist vor allem für die Nutzer der Bodendaten sehr wichtig. Bodendatenbanken sind bezüglich Vollständigkeit der Attributdaten obligatorisch zu überprüfen. Dies gilt insbesondere auch für ältere Projekte, die bei der Erhebung noch keinen QM-Prüfungen unterzogen wurden.

Vermeidung logischer Inkonsistenz

Vermeidung logischer Inkonsistenz

Logische Inkonsistenzen resultieren aus Interpretationsfehlern oder aus ungenauer Arbeit beim Kartierprozess. Logische Inkonsistenzen entstehen häufig auch bei der Kombination mehrerer Kartierprojekte. Logische Inkonsistenzen deuten auf eine Datenbasis hin, die schlechte Positionsgenauigkeit und/oder Attribut-Fehler aufweist. Logische Inkonsistenzen können vor allem auch negative Auswirkungen auf nachgelagerte Anwendungen der Bodendaten haben.

Sie können relativ einfach überprüft werden durch Plausibilitätsprüfungen, d.h. durch entsprechende stichprobenweise Vergleiche mit der Realität.

Metadaten

Qualität von Metadaten

Die Metadaten einer Bodenkarte sollen vollständige Informationen zu den Autoren der Karte, den Entstehungsdaten, der Art der Kartierungstechnik resp. – modellierung und zum QS-Management ausweisen.

3.7.4 Qualitätsansprüche an die digitale Bodenkartierung

Die Digitale Bodenkartierung unterscheidet sich je nach der zur Anwendung kommenden Methode in grundsätzlicher oder zumindest deutlich unterschiedlicher Art von der feldgestützten Bodenkartierung.

Anspruch an digitale Bodenkartierung gemäss EU-Rapport

Im EUR-Papier von Dobos et al.³⁵ wird postuliert, dass unabhängig von der Methode, immer der Anspruch an die Digitale Bodenkartierung bestehe, dass sie Bodenkarten generiere, die gleich gut oder besser seien als konventionell erhobene Bodenkarten, dies bei gleichem oder geringerem Kosten-Aufwand. Damit liegt auch auf der Hand, dass solche modellierte Karten nicht mehr mit klassischen analogen Bodenkarten verglichen werden sollten, sondern mit gemäss FAL-Kartiermethode+ erstellten Bodenkarten, die auf im Feld detailliert erhobenen Attributdaten und deren Ableitungen basieren.

Sichtweise von McBratney et al. resp. Scull et al.

In den grundlegenden Reviews von McBratney et al (2003)³⁶ und Scull et al. (2003)³⁷ zu Predictive Soil Mapping wird dieser Anspruch jedoch nicht geltend gemacht.

³⁵ 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, Luxembourg.

³⁶ McBratney, A. B.; Mendonça Santos, M. L. & Minasny, B. 2003. On Digital Soil Mapping. *Geoderma*, 117, 3–52.

4 Spezielle Aspekte und Hinweise zur Bodenkartierung

4.1 Die Rolle des Massstabes und der Auflösung bei feldgestützter Bodenkartierung

Der Massstab, sowohl der Aufnahme-Massstab bei der Feldkartierung als auch der Abbildungsmassstab, ist die entscheidende Grösse, die über die erreichbare inhaltliche Auflösung und damit die Genauigkeit (Lage- und Attributgenauigkeit) einer Bodeninformation (in Form einer Bodenkarte) entscheidet: „Der Massstab entscheidet vollumfänglich über den Informationsgehalt und den praktischen Nutzen von Bodenkarten“³⁸.

Massstab als Kriterium für die Informationsqualität

Als Illustration hierzu wird auf die beiden Karten auf der folgenden Seite verwiesen: Beim Vergleich der beiden Wasserhaushaltskarten unterschiedlicher Originalmassstäbe (beide mit FAL-Methode erhoben) fällt primär die viel feinere Flächenauflösung bei der 1:5'000-Karte (Aufnahme-Massstabe 1:2'500) auf, die zu deutlich mehr Polygonen unterschiedlicher Ausprägung führt.

Beispiel von Karten unterschiedlicher Original-Massstäbe

So werden zum Beispiel für das einzelne Polygon Nr. 400 i in der 1:25'000-Karte für die gleiche reale Fläche in der 1:5'000-Karte total 25 Polygone mit 6 unterschiedlichen Wasserhaushaltsgruppen ausgeschieden.

Diese sowohl bezüglich der Flächen als auch des Inhalts bedeutend grössere Auflösung erlaubt z.B. eine konkrete waldbauliche Planung hinsichtlich der Baumartenwahl, was mit der 1:25'000-Karte nicht möglich wäre. Der 1:5'000 Massstab ist für viele Anwendungsgebiete in der Urproduktion (Forst- und Landwirtschaft) der gängige Planungs-Massstab, so dass Inhalte der 1:5'000 Bodenkarte „nahtlos“ mit anderen Planungsgrundlagen, oft im selben Massstab, problemlos kombiniert werden können.

Diese Erwägungen gelten für die durch Ausscheidung von Polygonen entstandenen Bodenkarten.

Eine weitere wichtige Rolle spielt die Druckauflösung resp. Bildschirmauflösung; dies sowohl für die Übernahme von Daten als auch für das Arbeiten mit solchen Daten:

Massstab und Druckauflösung

Bei einer Druckauflösung (oder Bildschirmauflösung) von 100 dpi ergeben sich umgerechnet 4 dots pro mm. Bei einem Massstab von 1:5'000 stellt 1 dot 1.25 m in der Natur dar, bei einem Massstab von 1:25'000 sind es pro dot 6.25 m.

Unter der Annahme, dass für das Erkennen von Farbunterschieden 6x6 dots notwendig sind, ist für eine räumliche Auflösung von 10x10 m der Massstab 1:5'000 ausreichend, der Massstab von 1:25'000 jedoch deutlich zu grob.

³⁷ Scull, P.; Franklin, J.; Chadwick, O. A. & McArthur, D. 2003. Predictive Soil Mapping: A review. *Progress in Physical Geography*, 27, 171–197

³⁸ Nussbaum M., Ettl L., Çöltekin A., Suter B., Egli M. (2011): The Relevance of Scale in Soil Maps, Bulletin BGS 32, 63-70.

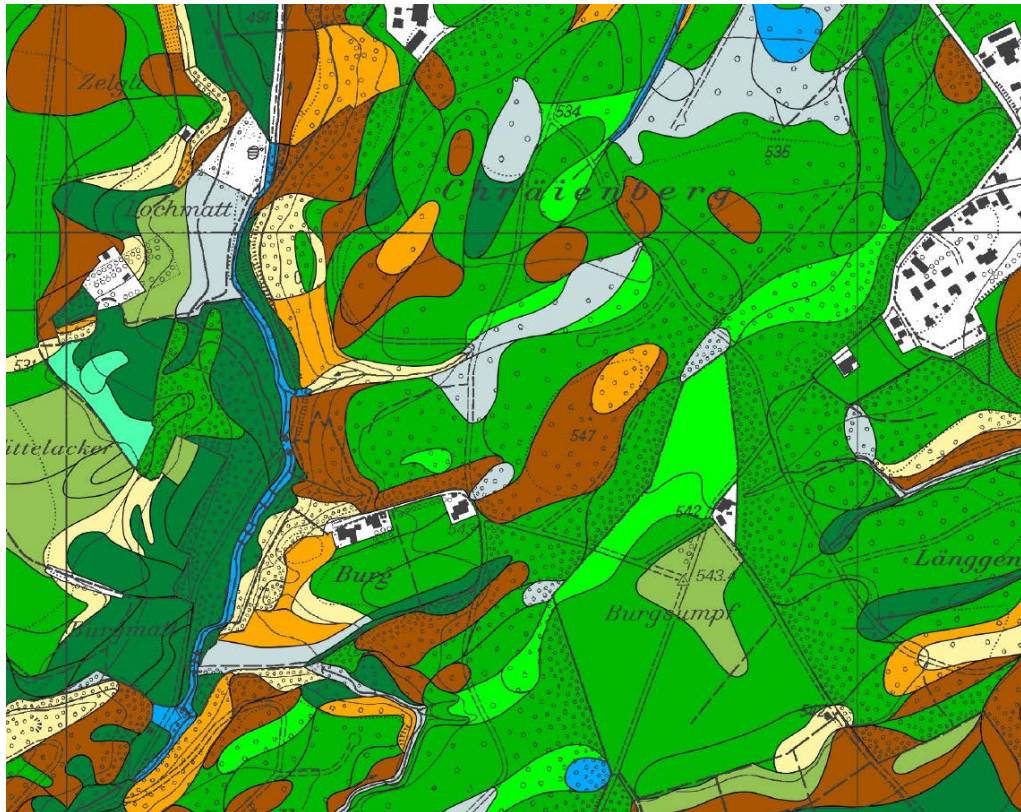


Abb. 3: Wasserhaushaltskarte M 1:5'000
[AfU Kt. SO]

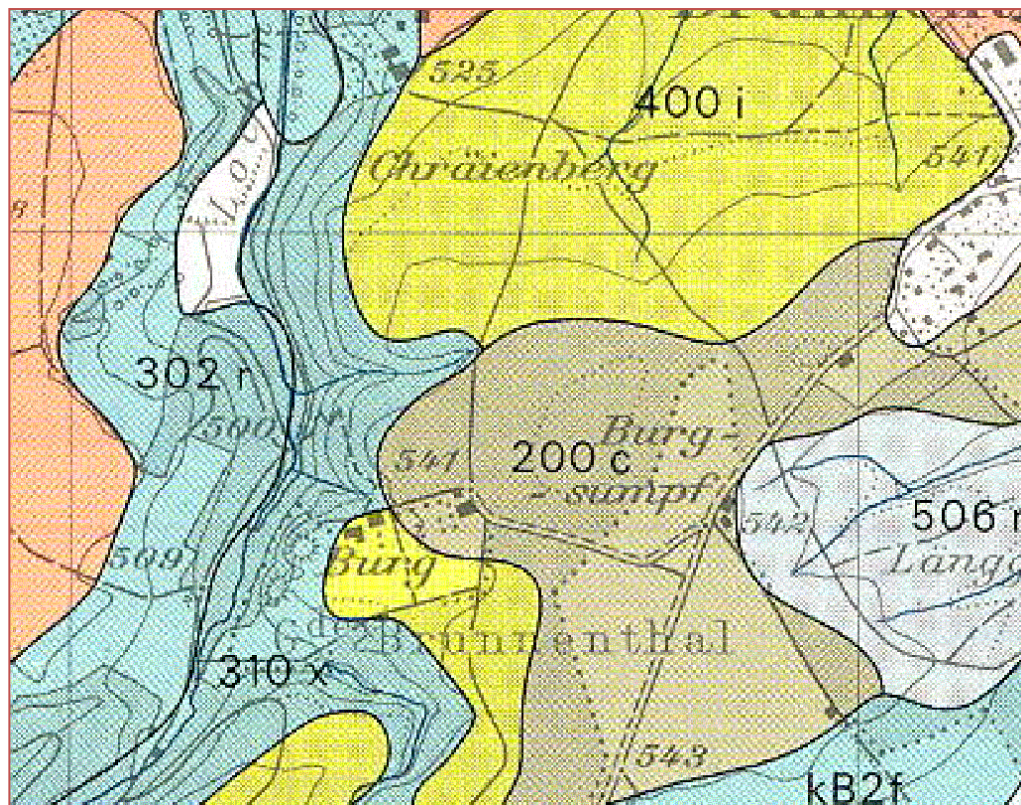


Abb. 4: Wasserhaushaltskarte M 1:25'000 (auf M 1:5'000 vergrössert) [Bodenkarte M 1:25'000, Blatt Lyss]

Im Gegensatz dazu ist bei der Benutzung von statistischen Verfahren, welche die Bodenmesswerte zur räumlichen Information über Bodenbildungsfaktoren in Beziehung setzen, der Detaillierungsgrad der kartierten Bodenvariablen in erster Linie von der räumlichen Auflösung der Kovariablen abhängig.

Detaillierungsgrad bei statistischen Verfahren

4.2 Standard-Massstäbe für unterschiedliche Anforderungen

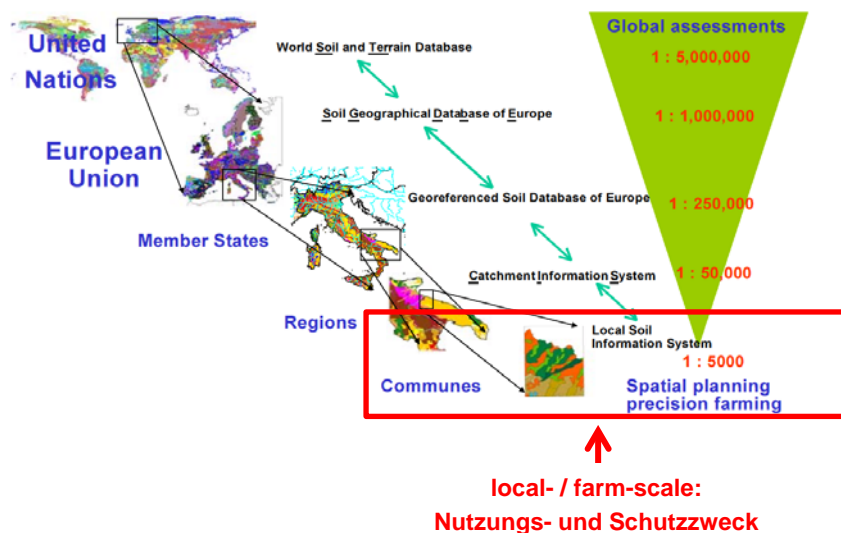
Der Massstab hat sich grundsätzlich an den Anforderungen, welche an die benötigte Bodeninformation gestellt werden, zu orientieren.

Der Report³⁹ der EEA (European Environment Agency) gibt hierzu einen guten Überblick:

- Für Übersichtskarten auf **Landesebene** liegt der Massstab bei 1:500'000 bis 1:250'000: Die kleinste, gut lesbare Polygongrösse liegt bei 1-5 km².
- Für Planungen auf **Regionalebene** ist ein Massstab von 1:50'000 bis 1:25'000 nützlich: Die mittlere, gut lesbare Polygongrösse liegt bei 5-10 ha.
- Anwendungskarten für **Nutzer- und Schutzzwecke** erfordern einen Massstabereich von 1:10'000 bis maximal 1:2'500: Die mittlere, gut lesbare Polygongrösse liegt bei ca. 0.25-1 ha.

Standard-Massstäbe gemäss EEA und lesbare Polygongrössen

Diese Grössenordnungen für einzelne Polygonflächen entsprechen auch den Empfehlungen der FAL-Kartieranleitung und werden durch die Praxis heutiger Feldaufnahmen bestätigt.



Massstab und Einsatzmöglichkeiten

Abb. 5: Sinnvolle Karten-Massstäbe für Anwendungskarten unterschiedlicher Nutzungs- und Schutzzwecke

[Darstellung aus: 'Reports of the Technical Working Groups established under the Thematic Strategy for Soil Protection', EUR 21319 EN/5, 2004]

³⁹ 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.

4.3 Daten-Inhalte

4.3.1 Profildaten

Profildaten ab FAL-
Profilblatt V6, resp.
6.1

Die Profildaten liegen heute (sowohl für die durch MIGRAPROFIL aufgearbeiteten „alten“, als auch für die neuen Profilblätter) grösstenteils in digitaler Form vor und sind z.B. durch den Zugang zu NABODAT oder zu kantonalen Bodendatenbanken nutzbar.

Basis hierzu sind die Datenaufnahmen mit dem FAL-Profilblatt 6, resp. mit der erweiterten, zu V6 kompatiblen Version V6.1, die bei der Anwendung der FAL-Kartierung+ verwendet wird.

4.3.2 Flächendaten

Bodendaten-Set
der Flächendaten

Die Flächendaten der feldgestützten Bodenkartierung liegen heute in der Regel als Bodendaten-Set für jedes Polygon vor. Bei neueren Bodenkartierungen (seit ca. 15 Jahren) werden die Attribute für jedes Polygon direkt im Feld erfasst. Bei älteren FAL-Daten wird dieses Ziel mit der Datenaufbereitung (s. Kap. 2.6) erreicht. Das Bodendaten-Set wird so bereitgestellt, dass Klassenangaben weitgehend vermieden werden zugunsten eindeutiger Zahlenwerte. Die analogen Daten der alten FAL-Kartierung werden durch die Kantone mit Unterstützung der NABODAT Servicestelle und basierend auf dem implementierten Flächendatenmodell fortlaufend aufgearbeitet. Damit wird eine Weiterverwendung dieser wertvollen „alten“ Daten erleichtert, sei es zur Darstellung einzelner Attributeigenschaften oder zur Berechnung von funktionalen Karten.

Attributdatensatz
pro Polygon

Attribut	Format
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
Pflanzennutzbare Gründigkeit	numerisch
Bodenpunktezah, Profilwert	numerisch
Bemerkungen	Text

[OB: Oberboden; UB: Unterboden]

Tab. 2: Standard-Attributdatensatz eines Polygons

[aus: Projekthandbuch zur Bodenkartierung des Kantons Solothurn, AfU Kt. SO]

Aus dieser Tabelle wird ersichtlich, dass pro Polygon mehr als 30 Attribute in der Flächen-Bodendatenbank Eingang finden.

4.3.3 Polygonabgrenzung

Die im Feld aufgrund verdichteter Einstiche festgelegten Polygongrenzen (Abgrenzung erfolgt bei Veränderung mindestens eines Attributwertes) liegen nach erfolgter Digitalisierung als Vektordaten vor.

Polygongrenzen als Vektordaten

4.3.4 Synthese

Die digital vorliegenden Profil- und Flächendaten (Polygonattribute und vektorisierte Polygongrenzen) können als digitale Bodenkarten dargestellt werden, und zwar in verschiedenen Varianten bezüglich der gewünschten inhaltlichen Aussagen (s. dazu Kap. 5).

Digitale Bodenkarte

4.4 Überlegungen zur Verwendung von Grundlagendaten

Vor allem in der ersten Phase eines Kartierungsprojektes bis zum Vorliegen einer Konzeptkarte, die dann Basis für die eigentliche Feldkartierung ist, besteht grosser Bedarf an möglichst vielen und qualitativ verlässlichen Grundlagendaten. Es besteht allerdings die Gefahr, dass solche Unterlagen den Qualitätsansprüchen (sei es bezüglich Massstab, Auflösung, Informationsgehalt und Lage-Genauigkeit), die an die darauf basierenden Bodenkarten gestellt werden, nicht zu erfüllen vermögen und dadurch nicht oder nur mit der gebotenen Vorsicht genutzt werden sollten.

Qualitätsansprüche an Grundlagendaten

Im Folgenden zwei Beispiele oft verwendeter Grundlagendaten, die immer wieder zu Diskussionen führen:

4.4.1 Informationen aus geologische Karten

Es liegt auf der Hand, dass geologische Karten als Grundlage für die Bodenkartierung herangezogen werden, sollen sie doch Auskunft geben über das zu erwartende Ausgangsgestein, als einem der entscheidenden Bodenbildungsfaktoren.

Das Problem der „Deckschicht“ bei geologischen Karten

In der Schweiz liegen die Geologischen Kartenblätter, soweit überhaupt vorhanden, meist nur im Massstab 1:25'000 vor. Zudem weisen sie als Karteninhalt primär nicht die sogenannte „Deckschicht“ aus, die für die Bodenbildung das entscheidende Substrat ist, für geologische Fragestellungen aber als eher nebensächlich betrachtet wird.

Massstab und Auflösung der geologischen Informationen

Vor dem Hintergrund der geforderten Boden-Informationen für Anwenderkarten im Massstab 1:5'000 (mit einer echten Auflösung der Zusatzinformationen im selben Massstab) kommt somit bei einer 1:25'000 Grundlagen-Karte nebst dem Mangel des zu kleinen Massstabes dazu, dass die Information zum bodenbildenden Substrat nur eine indirekte ist und im schlechteren Fall nicht kausal mit der Bodenbildung verknüpft ist.

Gefahr der Überinterpretation geologischer Grundlagendaten

Die Daten-Interpretation von geologischen Karten erstreckt sich zum Teil auch auf die Zuordnung von Bodenarten (Textur) auf der Basis von stratigraphischen Gesteinstypenklassen und davon abgeleiteten petrographischen Gesteinsklassen. In aller Regel genügt die so erreichte Informationsqualität (ausser z.B. bei Lössböden) den Ansprüchen an eine grossmassstäbige Detailkarte nicht ⁴⁰.

Gegenüberstellung Geolog. Atlas Schweiz zu Bodenkarte 1:5'000

Ein Beispiel für das Auseinanderklaffen der Informationsdichte geben die nachfolgenden zwei Karten-Abbildungen desselben Gebietes, einmal als Ausschnitt aus dem Geologischen Atlas der Schweiz 1:25'000 und einmal als feldgestützt erhobene Bodenkarte im Original-Abbildungs-massstab 1:5'000: Die Dünnernebene wird in der geologischen Karte (Abb. 6) als homogen erscheinende, nicht differenzierte Fläche (q_{4s} = Schotter der letzten Vergletscherung) dargestellt.

Geologischer Atlas 1:25'000

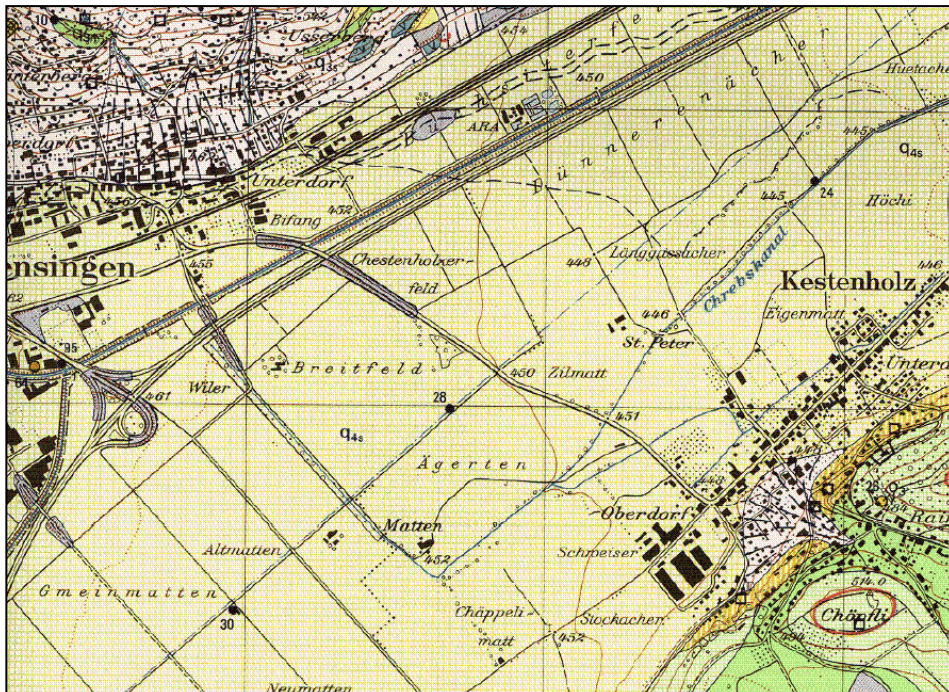
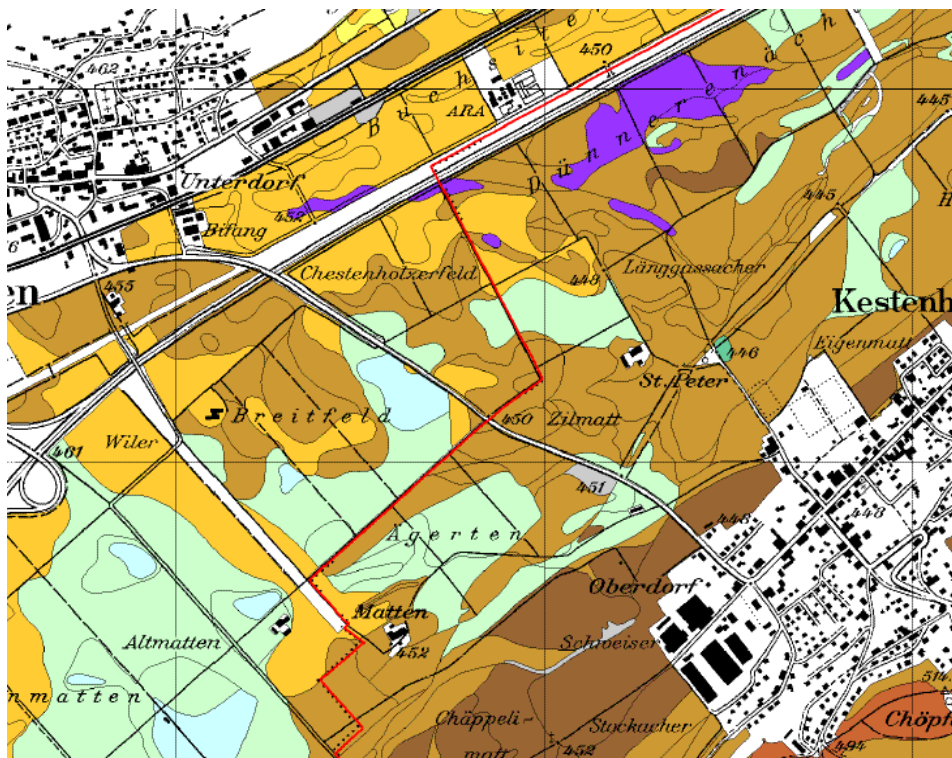


Abb. 6: Kartenausschnitt Geologischer Atlas der Schweiz M 1:25'000, Blatt 113

⁴⁰ Herbst P., Mosimann T. (2008): Prognose der Wasserspeicherkapazität von Waldböden in der Nordwestschweiz. Geosynthesis online 04. Institut für Physische Geographie und Landschaftsökologie, Leibniz Universität Hannover, D-30167 Hannover.



Bodentypenkarte
1:5'000

Abb. 7: Kartenausschnitt aus Bodentypenkarte M 1:5'000
[AfU Kt. SO]

Die Bodentypenkarte (Abb. 7) hingegen weist stark differenzierte Bodeneigenschaften auf, mit sieben unterschiedlichen Bodentypen von Braunerde-Gley über Pseudogley bis hin zur Kalkbraunerde.

4.4.2 Einbezug pflanzensoziologischer Informationen

Bei Waldbodenkartierungen wird, wenn vorhanden, oft auf pflanzensoziologische Kartierungen und sogenannte Waldgesellschaften, z.B. basierend auf Ellenberg & Klötzli⁴¹, sowie darauf aufgebaute Grundlagen⁴² zurückgegriffen. Aufgrund der mehrheitlich nur den Oberbodenbereich besiedelnden Zeigerarten ist die Aussagekraft der Indikatorwerte allerdings begrenzt. Die Informationen zum Unterboden sind meist nicht befriedigend.

Es wird auch immer wieder versucht, bei Modellierungen Feuchte- und Reaktionsstufen als Prädiktoren zu verwenden. Das Aussagevermögen dieser Zeigerwerte wurde durch den Autor der Veröffentlichung „Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora“⁴³, Elias Landolt, wie folgt eingeschätzt: „...Ein Nachteil ist, dass

Grenzen der Aussagekraft pflanzensoziologischer Informationen

⁴¹ Ellenberg H., Klötzli F. (1972) Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Schweizerische Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Bd. 48, Heft 4. Birmensdorf.

⁴² Als Beispiel: Die Waldstandorte des Kantons Aargau. BURGER + STOCKER. Finanzdepartement des Kantons Aargau, Abteilung Wald (Hrsg.). Aarau. 2002.

⁴³ Landolt E. (1977): Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eid. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel, 64. Heft. Zürich.

eine Genauigkeit vorgetäuscht wird, die nicht immer gegeben ist. Auch lassen sich viele ökologische Besonderheiten durch die Zahlengabe nicht erfassen“.

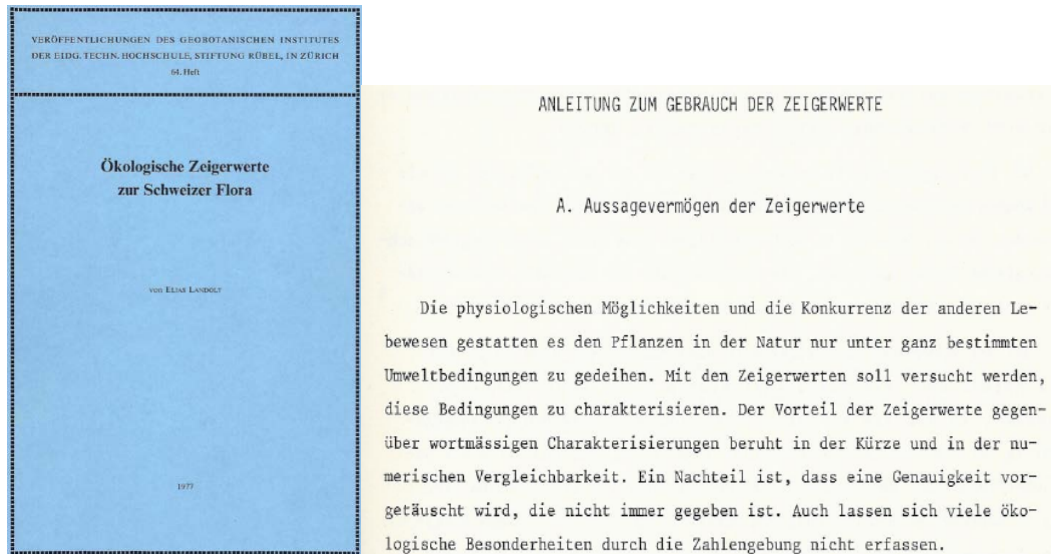


Abb. 8: Zitat zum Aussagevermögen der Zeigerwerte von Pflanzen [aus: Landolt E. (1977): *Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora*].

Pflanzensoziologische Zeigerwerte als Prädiktoren

Mosimann und Herbst, die in ihrer Arbeit „Flächenhafte Modellierung von Waldbodeneigenschaften in der Nordwestschweiz“ (2013)⁴⁴ als Prädiktoren u.a. auf solche pflanzensoziologische Zeigerwerte zurückgegriffen haben, bestätigen diese begrenzte Aussagekraft: „...Bei den pflanzensoziologischen Waldgesellschaften sind erwartungsgemäss die Zeigereigenschaften in den Randbereichen der Ökogramme besser (,sehr trocken/trocken‘ und ,nass‘ bei der Feuchtestufe, ,basisch‘ und ,leicht sauer/sauer‘ bei der Reaktionsstufe). In den Stufen ,leicht basisch‘ und ,frisch‘ wurden dagegen zum Teil nahezu keine Zusammenhänge mit dem pH-Wert beziehungsweise dem Grad der Vernässung oder der Wasserspeicherkapazität des Bodens gefunden.“

Pflanzensoziologische Informationen in Form von Waldgesellschaften können vor allem in der Phase der Erarbeitung der Konzeptkarte für die Bodenkartierung eine Hilfe sein. Sie geben durchaus auch Hinweise zu kleinflächig variierenden Humusformen und Oberbodeneigenschaften. Aussagen über die dritte Dimension sind jedoch nicht sehr präzise und unsicher.

Damit sind diese Informationen als Basisdaten zur Erstellung funktionaler Bodenkarten (s. Kap. 5.3) wenig geeignet.

Pflanzensoziologische Werte als mögliche Kovariablen

Es ist gleichwohl sinnvoll, zu prüfen, wie weit die pflanzensoziologischen Angaben als Kovariablen für die räumliche Vorhersage von Bodeneigenschaften taugen. Dies wird erst eine statistische Datenanalyse aufzeigen können.

⁴⁴ Mosimann T., Herbst P. (2013): Flächenhafte Modellierung von Waldbodeneigenschaften in der Nordwestschweiz. Schweiz Z. für Forstwesen. Bd. 164 (1), 10-22).

4.5 Funktion von feldgestützt erhobenen Bodenkarten

Die Leistung von heutigen modernen Bodenkartierungen mit umfangreichen Daten-Sets von Bodeneigenschaften liegt primär in der Bereitstellung von Informationen unterschiedlicher Komplexität für die genaue Beschreibung des Bodens als Teilbereich des terrestrischen Ökosystems. Die eigentliche Karte (sei es auf Papier oder auf dem Bildschirm) ist eine abgeleitete Grösse von zuvor am Objekt selbst, im Labor oder mit anderen beigezogenen Hilfsmitteln erhobenen Eigenschaften, Kennzeichen und Charakteristiken. Diese sind in Datenbanken abgelegt und verfügbar.

Bereitstellung von Informationen unterschiedlicher Komplexität

Auf dieser Basis ist auch die Bereitstellung von abgeleiteten sekundären Informationsträgern (Anwender- oder Nutzerkarten) möglich.

Es können die klassischen Bodenfunktionen (Lebensraum-, Regelungs-, Puffer-, Filter-, Nutzungs- und Archivfunktion) optimal beschrieben und Vorgaben zu deren Schutz erarbeitet werden.

Der Wert einer Bodenkartierung liegt daher nicht primär im erzeugten, als Karte dargestellten Endprodukt, sondern in den, den Boden beschreibenden Informationen, die auf dem integralen Wissen der Bodenkartierfachleute und den Daten aus Laboruntersuchungen gründen.

4.6 Aussagekraft von Bodenkarten

Die Aussagekraft, d.h. der inhaltliche Wert von Bodenkarten bezüglich der darin ausgewiesenen Informationen ist massgeblich abhängig von der Qualität der Merkmals-Erhebungen und deren Auflösung (Attribute und dreidimensionale Lage-Zuweisung).

Qualität der Erhebung und Aussagekraft...

Für die polygon-basierte, feldgestützte Bodenkartierung kann grundsätzlich nicht mehr an Aussagekraft herausgeholt werden, als an Information hineingesteckt wurde. Dies bezieht sich vor allem auch auf die jeweiligen Massstäbe der verwendeten zusätzlichen Informationsquellen.

... für feldgestützte Bodenkartierung

Wenn mit statistischen Methoden gearbeitet wird, können durch neu verfügbare Kovariablen (z.B. hochaufgelöste DTM oder hyperspektrale Bilder von nicht durch Vegetation bedecktem Boden) die im Feld erhobenen Bodenprofilaten räumlich genauer interpoliert werden, weil detailliertere Information über die bestimmenden Bodenbildungsfaktoren gewonnen wird. Die im Feld erhobenen alten Bodenmesswerte können deshalb durch die neu gewonnenen Kovariablen über die statistische Modellierung eine Aufwertung erfahren.

... für modellierte Bodenkartierung

5 Bodenkarten und ihre Anwendung

5.1 „Klassische“ Bodenkarten

Die klassische Darstellung einer Bodenkarte im Massstab 1:5'000 gemäss FAL Reckenholz gibt mit dem vierteiligen Kartencode Auskunft über Bodentyp, Wasserhaushalt in Kombination mit der pflanzennutzbaren Gründigkeit sowie über Geländeform und Hangneigung (Abb. 9).

Klassische Boden-
karte

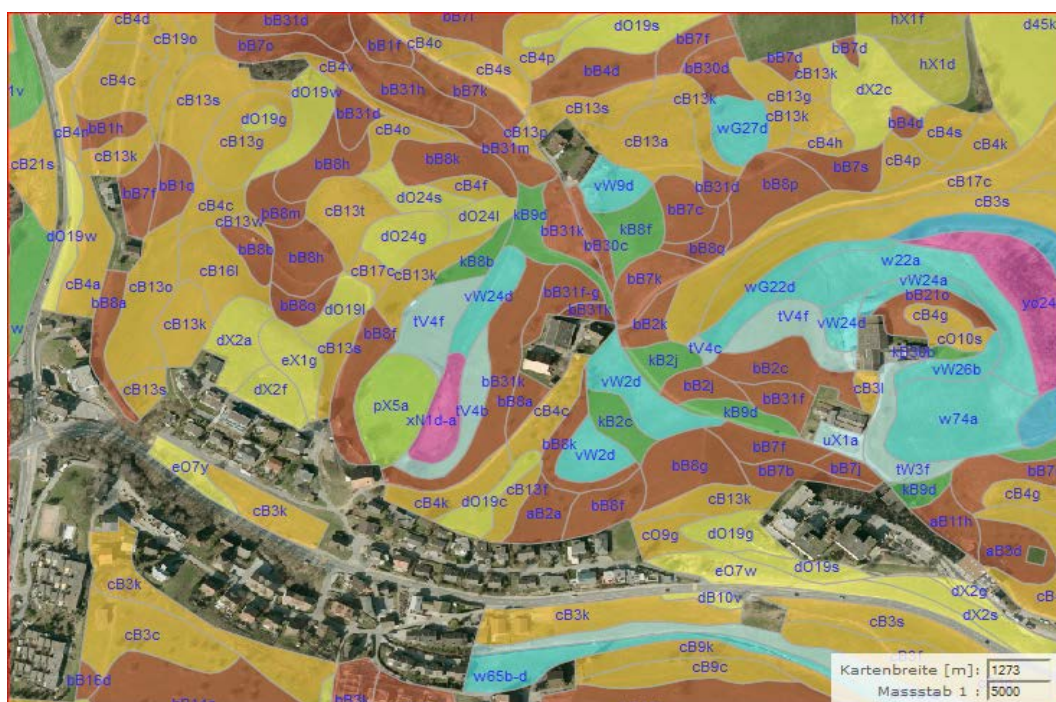


Abb. 9: Ausschnitt aus einer klassischen Bodenkarte M 1:5'000

[aus: Bodenkarte Kanton Zug, <http://www.zugmap.ch/zugmap/BM3.asp>]

Drei Standard-
Karten

Auf der Basis des Daten-Katalogs der feldgestützten FAL-Kartierung wurden schon seit Beginn der Bodenkartierungstätigkeit analoge Standardkarten erarbeitet, nämlich eine Wasserhaushalts-, eine Nutzungseignungs- und eine Risikokarte bezüglich Sicker- und Abschwemmverluste von Nährstoffen. Wie im obigen Beispiel ersichtlich, wurden viele dieser Kartenwerke in den letzten Jahren in eine digitale Form überführt.

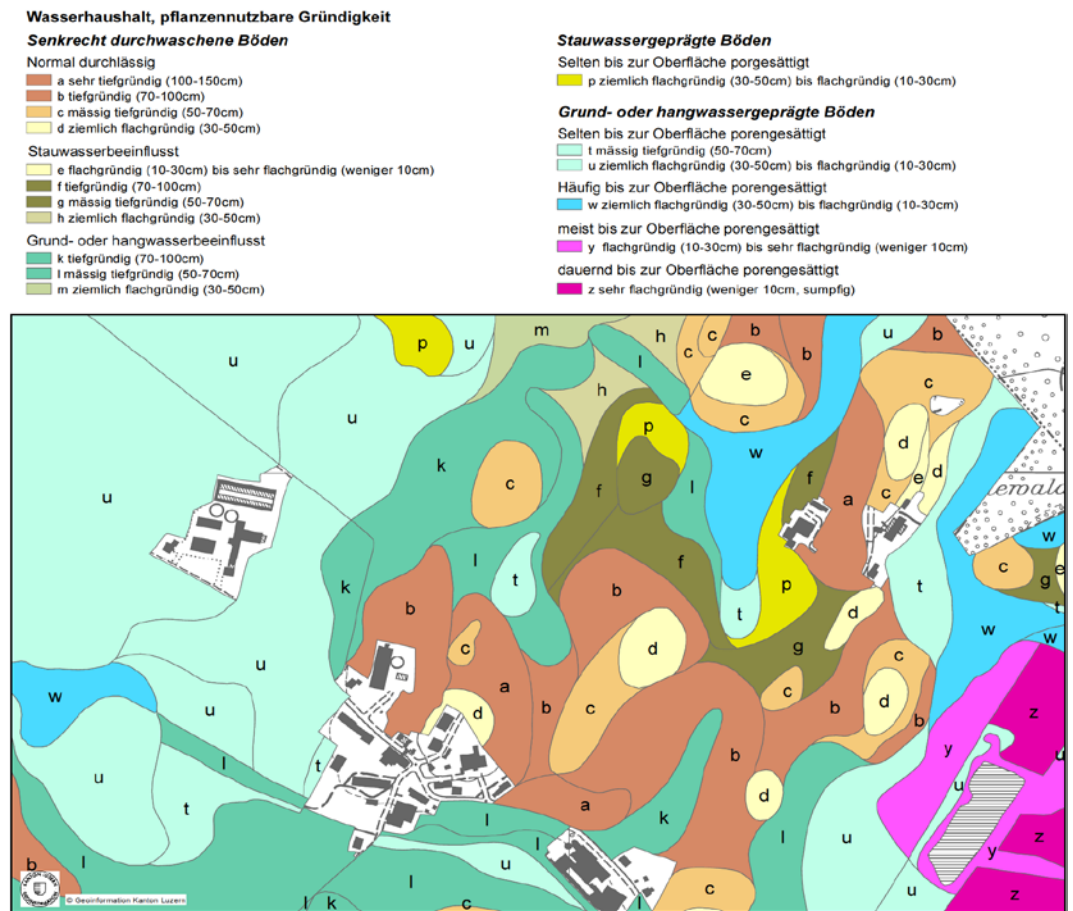
5.2 Boden-Attribut-Karten

Attributkarten

Bei Anwendung der FAL-Kartiermethode+ entsteht durch die pro Polygon erfolgte Aufnahme der repräsentativen Attributdaten ein vollständiger Datensatz. Daraus lassen sich für ein konkretes Einzugsgebiet Informationswerke („Karten“) beliebiger Einzelattribute erstellen, so z.B. für ‚pH Oberboden‘, ‚Bodenart Unterboden‘, ‚Wasserhaushaltsgruppen‘, ‚pflanzennutzbare Gründigkeit‘ etc. Die Herstellung

solcher deskriptiver Kartenwerke ist einfach und erfolgt durch direkten Zugriff auf die Datenbank mit den Polygon-Attributwerten.

Als Beispiel hierzu eine Darstellung der Wasserhaushaltsgruppen in Kombination mit dem Attribut „pflanzennutzbare Gründigkeit“ im Massstab 1:5'000:



Wasserhaushaltsgruppen in Kombination mit pflanzennutzbarer Gründigkeit

Abb. 10: Bodenwasserhaushaltsgruppen, kombiniert mit dem Attribut 'pflanzennutzbare Gründigkeit'

[uwe Kt. LU, Abt. Boden und Abfall]

5.3 Funktionale Bodenkarten

Funktionale⁴⁵ 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

Herleitung funktionaler Bodenkarten

⁴⁵ 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.

- mit umfangreichen Verknüpfungsregeln (Pedotransfer-Funktionen) errechnete Boden-Informationswerke („Karten“) einteilen.

Bodenkarten und Aussagetyt

Es besteht weiter die Möglichkeit, diese Bodenkarten hinsichtlich ihres Aussagetyt zu gruppieren, und zwar in

- Anwender-(Nutzungs-)Karten
- Gefahren-(Bedrohungs-)Karten, sowie in
- bodenspezifische Nutzungskarten

Für die Interessenlage der meisten Kartenanwender in der Praxis als Bodennutzer und Bodenschützer ist diese Gruppierung die gängigere.

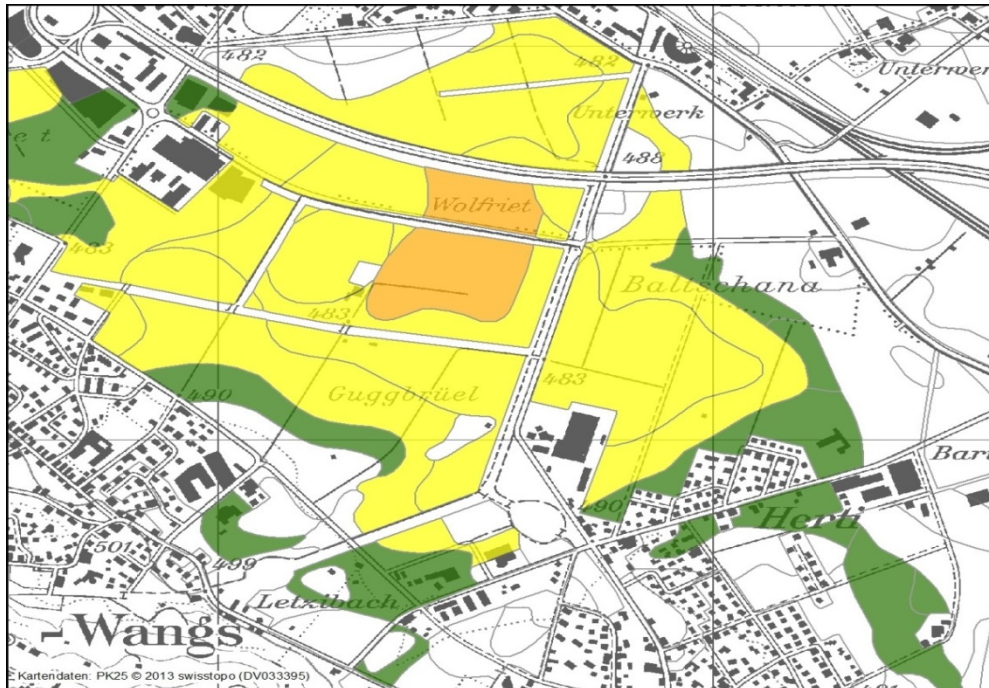
5.3.1 Anwender-(Nutzungs-)Karten

Angepasste Attributkarten für Nutzungszwecke

Diese funktionalen 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 (Abb. 12) verwiesen, die, basierend auf dem aktuellen Säuregrad des Bodens, den zur Stabilisierung einer optimalen Nährstoffversorgung notwendigen Kalkbedarf im Oberboden ausweist.

pH-Wert und Kalkbedarf



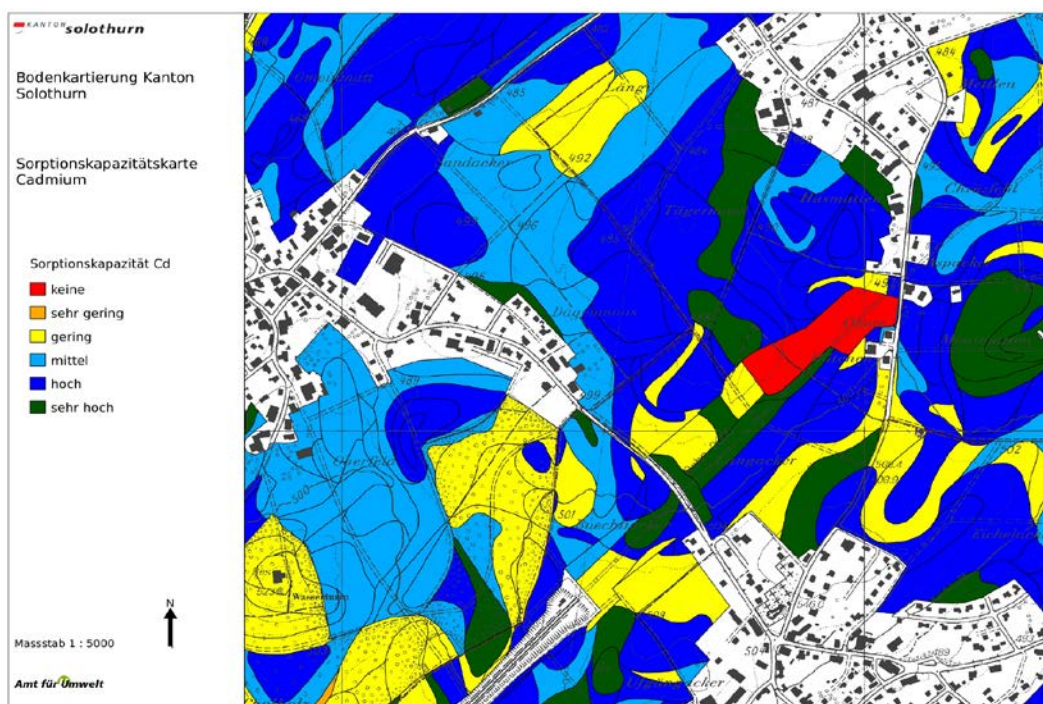
pH-Klassen im Oberboden und zugeordneter Kalkbedarf

- stark sauer: starke Nährstoffauswaschung; Kalkung erforderlich
- sauer: Nährstoffauswaschung; Kalkung erforderlich
- schwach sauer: optimale Nährstoffverhältnisse; Erhaltungskalkung empfohlen
- neutral: optimale Nährstoffverhältnisse; Erhaltungskalkung empfohlen
- alkalisch: keine Kalkung

Abb. 11: Darstellung pH-Wert im Oberboden mit zugeordnetem Kalkbedarf [Amt für Umwelt und Energie Kt. SG]

Mittels einfacher oder auch etwas komplizierterer Algorithmen können funktionale Bodenkarten (functional soil maps) als Anwenderkarten für spezifische Anwendungsgebiete, die über das Darstellen von primären Bodeneigenschaften hinausgehen, erstellt werden. So, als Beispiel, für Sorptionskapazitätskarten bezüglich kritischer Schadstoffe, indem auf Tabellenwerke (hier DVWK-Merkblatt⁴⁶) zurückgegriffen wird, die in Abhängigkeit vom Säuregrad, vom Humusgehalt und von der Bodenart die relative Bindungsstärke polygonweise errechnen lassen.

Die nachfolgende Abbildung ist eine Sorptionskapazitätskarte für das Schwermetall Cadmium. Diese Karte kann als Grundlage verwendet werden, um z.B. eine mögliche Grundwassergefährdung abzuschätzen oder das Gefahrenpotential von auf schadstoffbelasteten Böden angebauten Nahrungsmitteln zu bewerten.



Sorptionskapazität des Bodens für Cd

Abb. 12: Sorptionskapazität des Bodens für Cadmium Cd

[AfU Kt. SO]

In ähnlicher Weise können Karten zur nutzbaren Feldkapazität resp. zum Bodenwasserhaushalt erarbeitet werden.

Mit der nutzbaren Feldkapazität im effektiven Wurzelraum nFKWe [mm] steht eine sehr gut verständliche und praktikable Grösse zur Beschreibung des Wasserhaushalts und des Wasserspeicherungspotentials 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. Ist doch der potentielle (und auch der jeweilige aktuelle) Wasservorrat im Boden eine der mass-

Nutzbare Feldkapazität als wichtige Beurteilungsgrösse für den Wasserhaushalt

⁴⁶ DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1988): Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. DVWK Merkblätter 212.

gebenden Grössen zur Erhaltung des Pflanzenwachstums, sei es in der Land- oder vor allem auch in der Forstwirtschaft (s. auch Kap. 5.4).

Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum

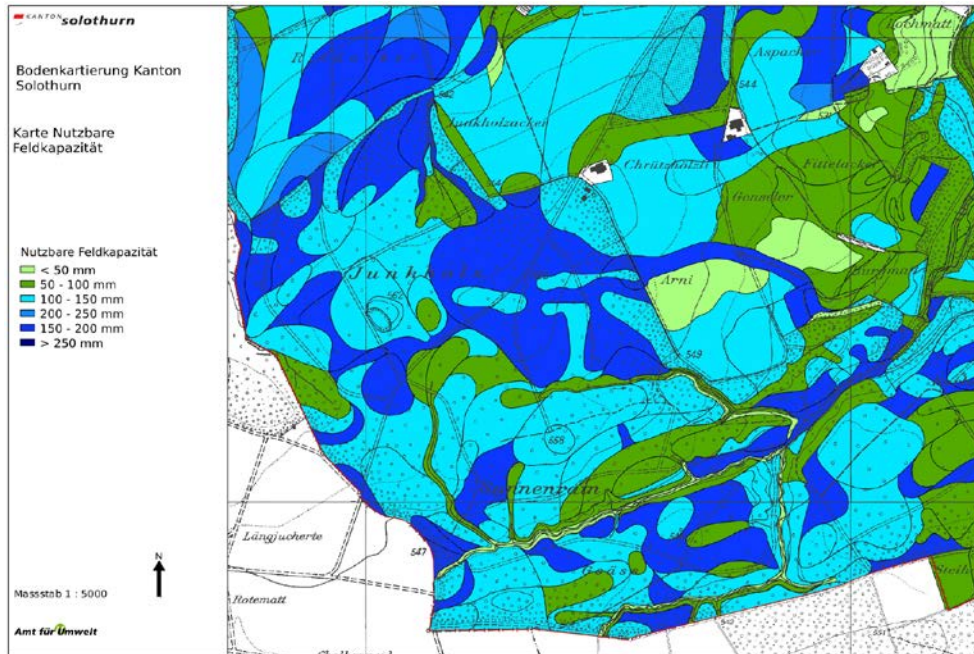


Abb. 13: Nutzbare Feldkapazität nFKWe, klassiert in 50 mm – Klassenbreiten [AfU Kt. SO]

5.3.2 Gefahren-(Bedrohungs-)Karten

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

Verdichtungsempfindlichkeitskarte

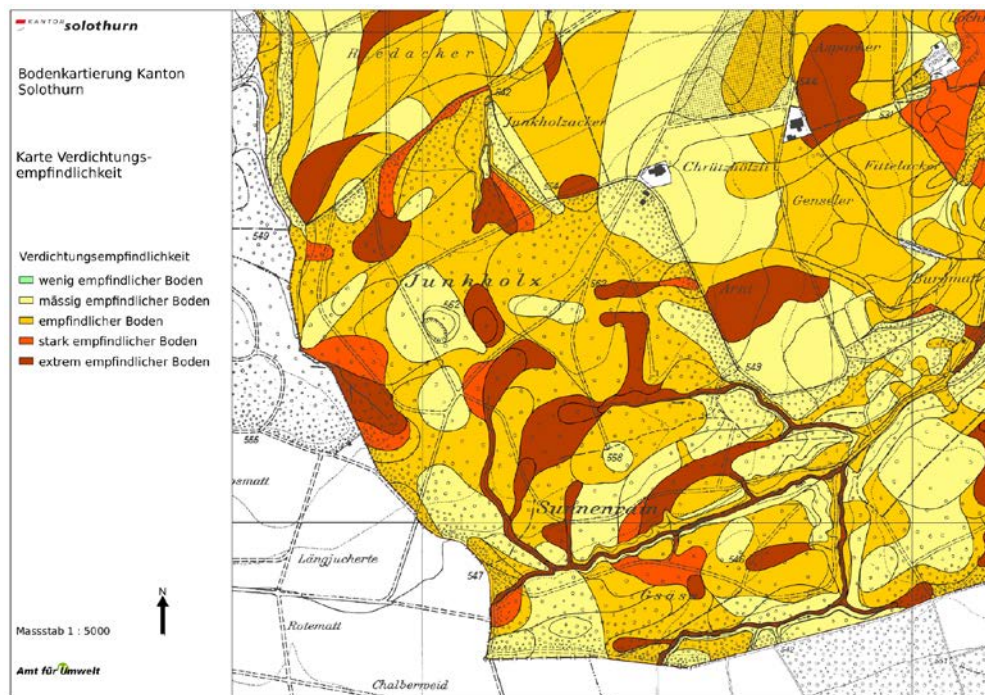


Abb. 14: Verdichtungsempfindlichkeitskarte für Waldböden [AfU Kt. SO]

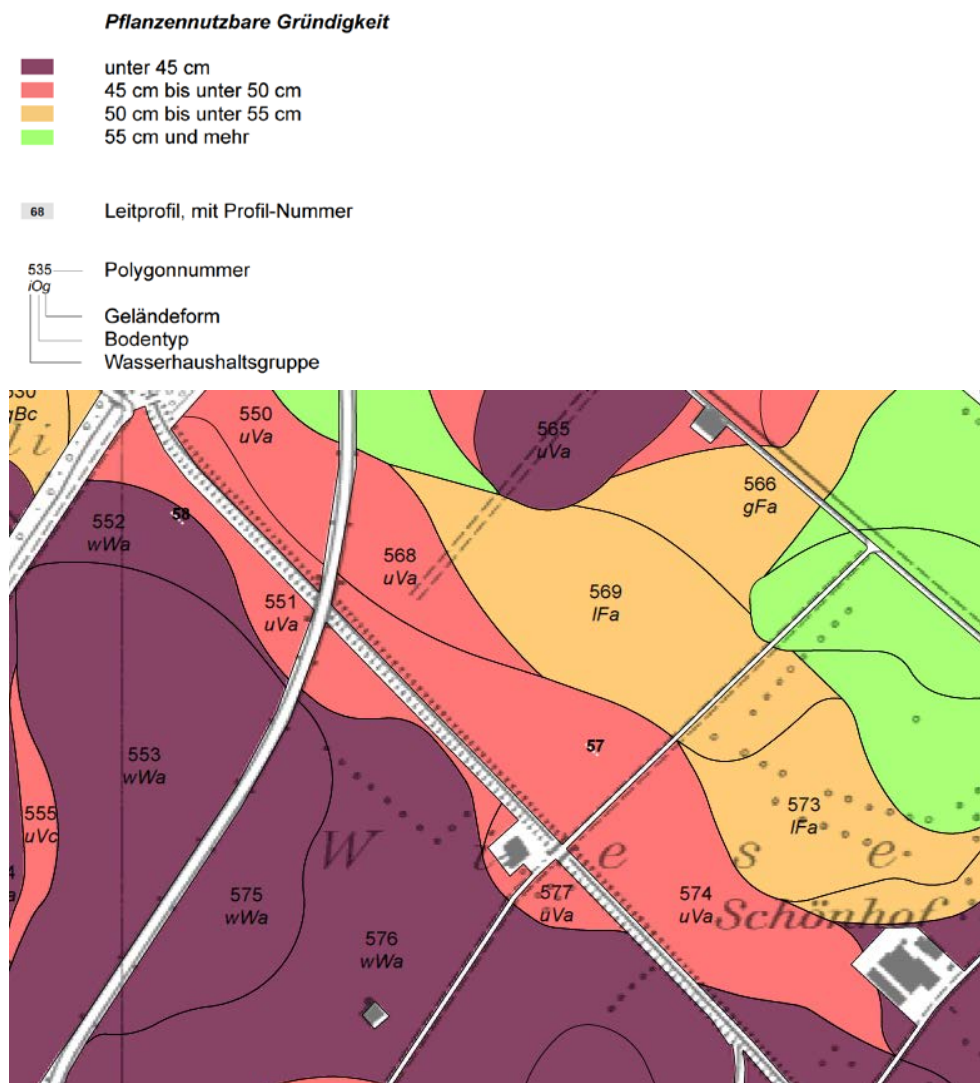
Dazu gehören z.B. die Verdichtungsgefährdungskarten oder (mit kombinierter Verknüpfungsregel) Erosionsgefährdungskarten.

In Abb. 14 als Beispiel eine Verdichtungsempfindlichkeitskarte für Waldböden; dies ist eine wichtige Planungsgrundlage für den vorsorglichen Schutz des Waldbodens für irreversibler Verdichtung bei der Befahrung im Rahmen der Holzernte.

5.3.3 Bodenspezifische Nutzungskarten (FFF-Karten)

Eine ausgesprochen bodenspezifische und zugleich raumplanungsrelevante Nutzungskarte ist die Ausscheidung der Fruchtfolgeflächen (FFF) im Landwirtschaftsgebiet.

FFF-Karten für Raumplanung



Pflanzennutzbare Gründigkeit für FFF-Ausscheidung

Abb. 15: Attributkarte 'Pflanzennutzbare Gründigkeit' als Basis für eine FFF-Ausscheidung

[Abt. Landwirtschaft, Kt. GL]

Neue Beurteilungskriterien für FFF

Durch die Vollzugshilfe „Sachplan Fruchtfolgeflächen“ aus dem Jahre 2006⁴⁷ wurden neue, resp. erweiterte Beurteilungskriterien als Richtlinie für die Behandlung von Sonderfällen und von allfälligen Neuausscheidungen oder Überprüfungen der Fruchtfolgeflächen-Qualität definiert. So spielt u.a. das Attribut „Pflanzennutzbare Gründigkeit“ (Definition gemäss Kap. 9 der FAL-Kartieranleitung) mit einem geforderten Wert >50cm für die Akzeptanz eines Bodens als FF-Fläche eine gewichtige Rolle.

Diese Fragestellung ergab sich im Kanton Glarus im Zusammenhang mit der Erfüllung des Sachplans des Bundes, der für den Kanton Glarus 200 ha Fruchtfolgeflächen vorsieht.

Im Rahmen eines 5 Jahre dauernden Bodenkartierungsprojektes⁴⁸ wurde diesem Attribut besondere Aufmerksamkeit gewidmet, indem im Bereich der Zielgrösse von 50 cm pflanzennutzbarer Gründigkeit sehr kleine Klassenbreiten von jeweils 5 cm gebildet wurden, um eine genaue Auswertung zu ermöglichen. Damit konnte die Erfüllung der diesbezüglichen Anforderungen sehr genau ausgewiesen werden, wie der Abb. 15 entnommen werden kann.

5.4 Einsatz-Überlegungen für funktionale Bodenkarten

Funktionale Bodenkarten erfüllen die Ansprüche an nutzungsorientierte Informationsquellen in optimaler Weise im ‚farm-/local scale‘, also in einem Aufnahme- und Abbildungs-Massstab von 1:2'500 bis 1:5'000.

Basis für Entscheidfindungen

Dies führt zu einer Auflösung, die dem direkten Nutzer (Land-, Forstwirtschaft, Schutzzwecke, Raumplanung) eine ausreichend genaue Entscheidungsfindung ermöglicht.

Bei mittel- bis kleinmasstäbigen Karten (ab Massstab 1:10'000 bis 1:25'000 und weiter aufwärts) verlässt die Information den Parzellen-Bezug. Damit verlieren solche Informationen für Bewirtschafter, aber auch für andere Nutz- und Schutzzwecke die inhaltliche Schlüssigkeit. Für übergeordnete Fragestellungen können solche Informationsquellen aber durchaus wertvoll sein.

5.5 Bodenkarten als Basisdaten für verwandte Fragestellungen

Bodenkarten für verwandte Fragestellungen

Zunehmend werden flächenhaft vorhandene Bodendaten als unentbehrlich für Anwendungen betrachtet, die sich vordergründig nur mittelbar mit dem Boden befassen, so z.B. bei Fragestellungen des Wasserabflusses und des Gebietswasserhaushalts, oder, unter dem Eindruck der sich verändernden Klimacharakteristiken, der Bewässerungsbedürftigkeit in der Landwirtschaft resp. der Baumartenwahl in der Forstwirtschaft.

Nachfolgend einige Beispiele zu solchen Fragestellungen:

⁴⁷ ARE Bundesamt für Raumentwicklung (2006): Sachplan Fruchtfolgeflächen FFF. Vollzugshilfe.

⁴⁸ Bodenkartierung Kanton Glarus 2006 – 2010 (2010). Erfassung der potenziellen Fruchtfolgeflächen FFF. Schlussbericht. Kanton Glarus, Departement Volkswirtschaft und Inneres, Abt. Landwirtschaft. Glarus.

5.5.1 Vorhersage von Abflussprozessen:

Bei den zunehmend in den Fokus geratenen Fragen zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen bei unterschiedlichen Niederschlagsmengen und -intensitäten kommt der Infiltrations- und Speicherkapazität der Böden eine grosse Bedeutung zu. Diese beeinflussen die Hochwasserabflussbildung kleinräumig oft in markanter Weise. Zeitgemässe Verfahren zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen berücksichtigen deshalb die räumliche Verteilung des Infiltrations-, Speicher- und Entwässerungsverhaltens der Böden und des Untergrundes. Anhand von Boden- und Landnutzungskarten, geologischen und topographischen Karten werden Karten dominanter Abflussprozesse erstellt (Scherrer, 2006⁴⁹; Schmocker-Fackel et al., 2007⁵⁰). Sie zeigen in hoher räumlicher Auflösung an, wo bei Starkniederschlägen rascher, verzögerter oder stark verzögerter Abfluss entsteht und lassen somit eine Abschätzung der Abflussreaktion eines gesamten Einzugsgebietes zu.

Abflussprozesskarten zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen

Regelwerk zur Herleitung von APK für Niederschläge tiefer bis mittlerer Intensität

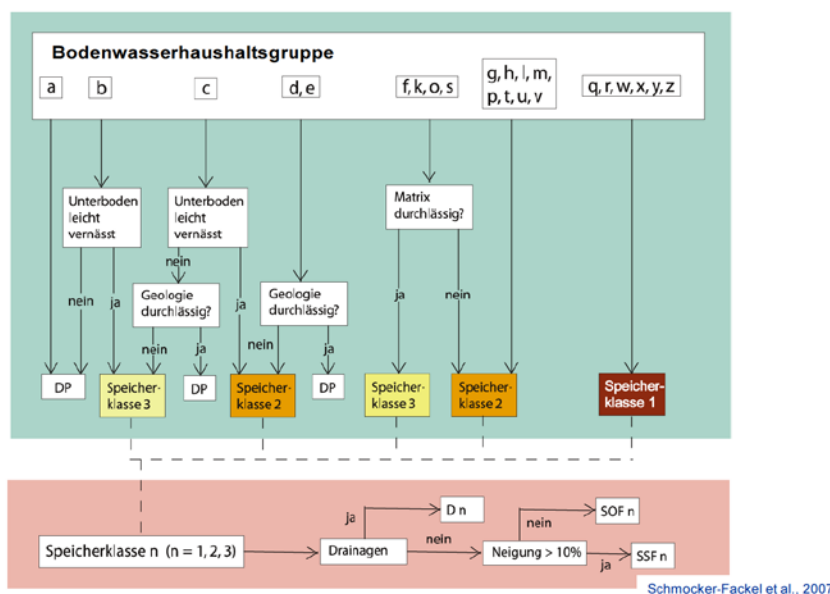


Abb. 16: Regelwerk zur Herleitung von Abflussprozesskarten

[Schmocker-Fackel et al., 2007]

Einen wichtigen Parameter, der auf der Bodenkartierung basiert, bilden die Bodenwasserhaushaltsgruppen (BWHG) (Abb. 16), die nebst den zu erwartenden hydraulischen Verhältnissen (normal durchlässig, stauwasserbeeinflusst, grund- oder hangwasserbeeinflusst, stauwassergeprägt, grund- oder hangwassergeprägt) auch eine Auskunft über die Lage von allfällig stauenden Schichten geben.

⁴⁹ Scherrer, S. (2006). Bestimmungsschlüssel zur Identifikation von hochwasserrelevanten Flächen. Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz.

⁵⁰ 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>.

Fehlen in einem Gebiet detaillierte Bodenkarten, werden die BWHG mit Hilfe eines speziell dafür entwickelten Bodenprognosemodells automatisiert hergeleitet (Margreth et al., 2010⁵¹), s. Abb.17.

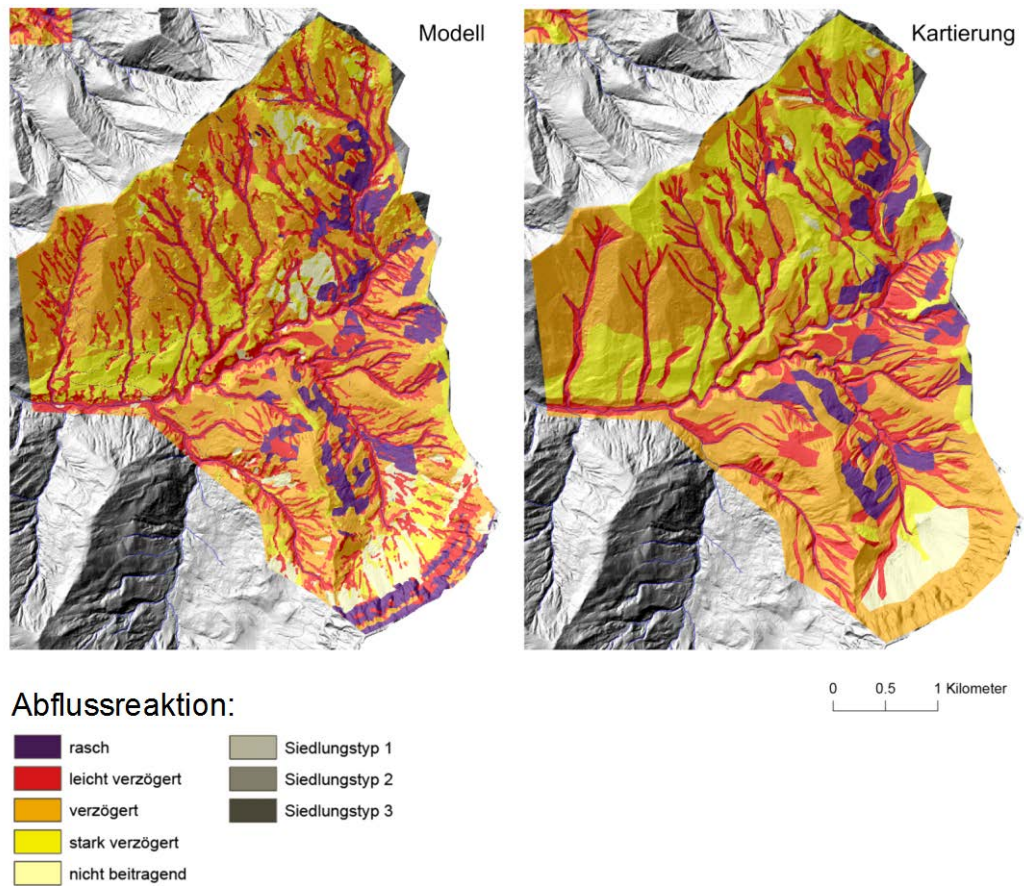


Abb. 17: Mit einem Bodenprognosemodell automatisiert hergeleitete Abflussprozesskarte (links) im Vergleich mit einer solchen, feldgestützt kartiert (rechts) für ein Testgebiet in der Region Hilferen im oberen Teil des Einzugsgebiets der Ilfis (Kt. Luzern).

Verwendung von Bodenprognosemodellen in Gebieten ohne Bodenkarten

Das Verfahren ist auf digital verfügbare Geodaten angewiesen (z.B. DTM-AV, geologische Karten, Vector25-Daten, Übersichtsplan, Gewässernetz etc.) und nutzt den Zusammenhang zwischen Bodenbildung, Ausgangsgestein, Vegetationsbedeckung, topographischen Parametern wie Geländeneigung, Geländeformen, Exposition und hydrologischen Eigenschaften, wie der Dichte des Entwässerungsnetzes. Das verwendete Regelwerk wurde in einem aufwendigen Eichungsprozess anhand mehrerer Testgebiete von insgesamt 40 km² Fläche mit detaillierten Bodenkarten (Massstab 1:5'000) entwickelt.

Eignung von Bodenprognosemodellen

⁵¹ Margreth, M., Naef, F., Scherrer, S. (2010): Weiterentwicklung der Abflussprozesskarte Zürich in den Waldgebieten. Amt für Abfall, Energie, Wasser und Luft des Kantons Zürich (AWEL).

Die Qualität von automatisiert hergeleiteten BWHG hängt stark von der Auflösung und Qualität der verwendeten Inputdaten, aber auch vom geologischen Aufbau und dem Landschaftstyp eines Gebietes ab. Für eine Verwendung zur Abschätzung von Hochwasserabflüssen müssen solche Karten deshalb in jedem Fall sorgfältig überprüft werden.

Produkte von Bodenprognosemodellen könnten als Bodenhinweiskarten dienen. Sie erreichen die Qualität von detaillierten Bodenkarten jedoch nicht. Für Anwendungen, die eine parzellenscharfe Information der Bodenbeschaffenheit erfordern (Bodenkundliche Baubegleitung, FFF- Abgrenzung, Bonitierung etc.) sind die mit Bodenprognosemodellen abgeleiteten Bodeninformationen nicht geeignet.

5.5.2 Bewässerungsprojekte und Rutschungsrisiken

Als Beispiele für ganz auf die Praxis ausgerichtete Fragestellungen sei auf Graubünden verwiesen: Bodenkarten werden dort aktuell als Grundlage für die Planung von Bewässerungsprojekten eingesetzt (Sent, Ftan, Domleschg). Sie dienen auch als Grundlage für die Planung von Bauprojekten, als konkretes Beispiel sei das Kraftwerkprojekt Lago Bianco im Puschlav erwähnt. In die Abklärungen über flachgründige Rutschungen in der Surselva im Rahmen des Pilotprojektes Catch Risk flossen ebenfalls Informationen aus Bodenkarten ein.

Bodenkarten bei Bewässerungsprojekten und Rutschungsrisiken

5.5.3 Baumartenwahl im Zeichen des Klimawandels

Eine weitere konkrete Anwendungskarte, die sich in nächster Zeit sicher aufdrängen wird, ist eine Hinweiskarte zur Baumartenwahl in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften. Auch in neuesten Forschungsarbeiten zum Klimawandel und dem sich dadurch abzeichnenden dynamischeren Wechsel der Baumartenzusammensetzung⁵² wird der Rolle des Bodens noch immer ein (zu) kleines Gewicht beigemessen. Dieser Mangel ist nur erklärbar durch die im Allgemeinen zu schmale Datenlage bezüglich der entscheidenden Bodeneigenschaften, im speziellen zum Wasserhaushalt.

Hinweiskarten zur Baumartenwahl

Vor allem bei Modellierungsversuchen sind ohne genauere Informationen zu den relevanten Wasserhaushaltsgrössen (pflanzennutzbare Gründigkeit und nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum), dies im Verbund mit aktualisierten Wassergehaltsgrössen, kaum aussagekräftige Resultate zu erwarten. Im Besonderen ist das Augenmerk auf den Unterboden, resp. dessen Wasserhaushaltsfaktoren zu richten, die in einer Trockenphase, in Kombination mit dem Faktor der artspezifischen Wurzelarchitektur der Bäume, massgeblich über den zu erwartenden Trockenstress entscheiden.

Nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum

Diesbezüglich haben sich auch die Versuche, den Bodenwasserhaushalt im effektiven Wurzelraum durch eine Ableitung von pflanzensoziologischen Einheiten zu charakterisieren, als zu ungenau erwiesen, da diese schwerpunktmässig ein Charakteristikum der Oberbodeneigenschaften sind und den Unterboden nur unvollständig zu beschreiben vermögen. Gerade auf tiefgründigen Böden be-

Pflanzensoziologie und Bodenwasserhaushalt

⁵² ClimTree 2013. International Conference on Climate Change and Tree Responses in Central European Forests. 1. – 5. Sept. 2013. ETH Zurich. Program and Abstracts.

schränkt sich die Wurzeltiefenverteilung der krautigen Zeigerarten zu 85-95% auf die ersten 20-30 cm Bodentiefe, d.h. fast vollumfänglich auf den Oberboden⁵³. Aussagen zur vertikalen Ausdehnung und zu den Wasserhaushaltsverhältnissen im Unterboden resp. Untergrund sind mit grossen Unsicherheiten behaftet (s. auch Kapitel 4.4.2)

Zur Lösung dieses Dilemmas sind die Anstrengungen zur Erarbeitung genauer Detailbodenkarten auch aus dieser Interessenslage heraus deutlich zu verstärken, sei dies durch Fortführung der feldgestützten Bodenkartierung gemäss heutigem Stand der Technik oder durch digital modellierte Bodenkarten gleicher Informationsdichte und Auflösung.

⁵³ Polomski, J.; Kuhn, N. 1998: Wurzelsysteme. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Stuttgart, Wien; Haupt.

6 Bodenkartierung als Investition

6.1 Grundsätzliche Überlegungen

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. 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. Eine breite Auswahl mit 20 Nachfrageprofilen ist aus dem BICH-Projekt „Leitfaden Bodenkartierung: Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden“⁵⁴ ersichtlich.

Vor diesem Hintergrund liegt es auf der Hand, dass in erster Linie die öffentliche Hand in die Beschaffung dieser Grundlegendaten 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.

Finanzierung von Bodenkartierungsprojekten

Steigender Bedarf an Bodendaten für andere Verwendungszwecke

Rolle der öffentlichen Hand

6.2 Aufwand und Ertrag

Konkrete Überlegungen zum Aufwand am Beispiel von grossmassstäbigen Bodenkarten 1:5000 (d.h. im Aufnahme-Massstab 1:2'500):

Die ha-Kosten einer Bodenkartierung gemäss heutigem Stand der Technik belaufen sich unter Miteinbezug aller Aufwendungen (d.h. inkl. QS, Vektorisierung und Datenverarbeitung in einer Bodendatenbank auf einen Betrag in der Grössenordnung von ca. Fr. 500.-/ha, wovon die reinen Bodenkartierarbeiten, die durch Bodenfachleute geleistet werden müssen, rund Fr. 300.- bis Fr. 350.- ausmachen. Damit muss insgesamt mit einem Aufwand von ca. Fr. 0.05 / m² gerechnet werden.

Auf der Ertragsseite liegt, nach Abschluss der Arbeiten, eine Datenbank vor mit ca. 30 Attributen pro Polygon, die jeweils Auskunft geben über wichtige Kenndaten des Bodens, aufgeteilt in Ober- und Unterboden. Diese Daten haben eine

Aufwand-Berechnungen

Ertrag immateriell

⁵⁴ Lüscher C. (2004): Leitfaden Bodenkartierung: Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden. Bodeninformation Schweiz BICH, Teilprojekt 3.

unterschiedlich lange Gültigkeitsdauer (auch abhängig von der Bewirtschaftung oder Beeinträchtigungen unterschiedlicher Art). Stark bewirtschaftungsabhängige Werte, vor allem Säuregrad, Humusgehalt und Struktur im Oberboden, können innert relativ weniger Jahre signifikant ändern, aber auch ohne grossen Aufwand neu aufgenommen werden; andere Attribute (vor allem im Unterboden) werden eine Gültigkeitsdauer von einigen bis vielen Jahrzehnten aufweisen. Diese Daten sind der Schlüssel für die vielgestaltigen Auswertungen, die meist in Form von nutzungsorientierten oder schutzbezogenen Kartenwerken aufgearbeitet werden (s. dazu Kap. 5.2).

Ertrag als monetäre Grösse

Wenn der Ertrag rein monetär ausgedrückt wird, z.B. für die Landwirtschaft, und der Kartierungsaufwand von Fr. 0.05 / m² einem durchschnittlichen Jahres-Ertrag von Fr. 0.40 / m² gegenübergestellt wird, heisst das mit anderen Worten, dass einem Landwirt bei einem finanziellen Aufwand von 1/8 eines Jahresertrags eine ausgezeichnete Planungs- und Bewirtschaftungsgrundlage für Generation(en) zur Verfügung gestellt wird, die er zudem in der Regel gar nicht oder nur zum Teil bezahlen muss. Damit steht dem Bewirtschafter, vor allem bezüglich Wasserhaushalts- und Nährstoffversorgungsfragen, ein Werkzeug zur Verfügung, das eine auf die Bodenbeschaffenheit optimal abgestimmte Bewirtschaftung ermöglicht.

Verhinderung irreversibler Schäden auf Waldböden

Mindestens eine ebenso grosse, wenn nicht gar grössere Bedeutung haben Anwendungskarten in der Forstwirtschaft. Der Waldboden kann, im Gegensatz zu Landwirtschaftsböden, nach Vorliegen von Schadverdichtungen nicht flächendeckend durch mechanische Bearbeitung regeneriert werden. Das heisst auch, dass - dies im vorsorglichen Sinne - irreversible physikalische Schäden des Bodens gar nicht erst eintreten dürfen. Dies wird in erster Linie durch eine flächendeckende Kenntnis der Struktur und Textur des Bodens sowie dessen Wasserhaushaltseigenschaften und einer darauf abgestimmten Bewirtschaftung (v.a. bezüglich des Maschineneinsatzes) erreicht.

Klimaänderung und Baumartenwahl

Zudem kommt der richtigen Baumartenwahl, ausgerichtet auf einen Planungshorizont von 80-120 Jahren, angesichts der sich offensichtlich anbahnenden Klimaänderungen eine eminent wichtige Bedeutung zu. Die entscheidenden Fragen zum Wasserhaushalt können aber nur auf der Basis von guten, hochauflösenden Bodenkarten beantwortet werden (vgl. dazu auch Überlegungen in Kap. 5.4).

Wertschätzung des Bodens

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 m² genau, wird im Rahmen der Amtlichen Vermessung ein Kostenaufwand betrieben, der ungefähr fünf 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.

Es ist zu hoffen, dass bei dieser heute etwas einseitig auf das Monetäre ausgerichteten Wertschätzung in Zukunft dem inneren Wert des Bodens auch wieder etwas mehr Gewicht zugemessen wird.

7 Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten

7.1 Kontinuität

Die Sicherstellung der Basis jeglicher bodenkundlicher Tätigkeit, nämlich des Wissens über die Methoden und die adäquate Darstellung von Profilbeschreibungen und flächenhaft erhobener Boden-Eigenschaften, meist in Form von „Bodenkarten“, und zwar im Sinne einer modernen Definition dieses Begriffs, bedürfen der Kontinuität.

Sicherung der Kontinuität

Dies ist im Interesse aller Nutzer solcher Boden-Informationen, sei dies für Bodenbewirtschafter, für Bodenschützer oder für Boden-Wissenschaftler.

Für die Evaluation neuer Methoden der Daten-Erhebung und –Generierung, die den Ansprüchen der aktuellen schweizerischen Bodenkartierungsmethode genügen, ist ein gesichertes, sach-kompetentes Umfeld zwingend. Vor diesem Hintergrund ist die Kontinuität der angewandten Bodenkunde sicherzustellen.

Evaluation zusätzlicher Methoden

7.2 Fachliche Zuständigkeit

Schon vor Bestehen der BGS war, gerade durch das starke Engagement der damaligen Forschungsanstalt für Pflanzenbau FAP in Zürich Reckenholz (später FAL Reckenholz) und der Professur Bodenphysik an der ETH, eine kohärente Kartieraktivität gewährleistet, die sich methodisch nicht nur auf die Landwirtschaft, u.a. durch das Kartierungsprojekt „Bodenkarte der Schweiz 1:25'000“, sondern auch auf den Wald erstreckte und so in allen Landesteilen zum Standard wurde. Durch die erzwungene Einstellung des Kartierdienstes an der FAL Reckenholz (früher FAP) per Ende 1996 war die kontinuierliche Sicherung und Weiterentwicklung der Methode zunächst gefährdet.

Auflösung der FAL Reckenholz als Kompetenzzentrum

Ausgelöst durch konkrete neue Bodenkartierprojekte in den Kantonen und mit dem Anspruch, vor allem das Datenmanagement und die Qualitätsanforderungen den zeitgemässen Möglichkeiten anzupassen, wurde die ursprüngliche FAL-Kartiermethode auf Initiative kantonaler Bodenschutzfachstellen zur FAL-Kartiermethode+ weiterentwickelt (s. Kap. 3.3).

Rolle der Kant. Bodenschutzfachstellen

Ungefähr zur gleichen Zeit wurde durch die Gründung der Arbeitsgruppe Bodenkartierung der BGS die Möglichkeit für den Gedankenaustausch unter Bodenkartierfachleuten geschaffen und Weiterentwicklungen (wie z.B. BICH) an die Hand genommen und mit entsprechenden Publikationen dokumentiert (s. Kap. 2.4). Dadurch waren die Bodenschutzfachstellen der Kantone zunehmend enger in die Fragestellungen der Bodenkartierung und Datenaufbereitung eingebunden. Seit bald 20 Jahren hilft diese Arbeitsgruppe mit, gestützt durch das Engagement vieler Mitglieder, den Fortbestand dieses Arbeitsgebietes zu sichern.

Wirkungskreis der AG Bodenkartierung der BGS

Die Wichtigkeit der Bodenkartierung und der damit verbundenen Koordinations- und Informationsaufgaben, sowohl für die Datenerhebung als auch die Datenverwaltung, führten zu mehreren Versuchen, ein Boden-Kompetenzzentrum auf

Vorteil einer festen, fachlich orientierten Institution

Bundesebene zu initiieren^{55 56}. Mit Brief vom 28. Januar 2013 an Frau Bundesrätin D. Leuthard unterstützt die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz erneut den Versuch, ein institutionalisiertes, nationales Kompetenzzentrum Boden, wie es die im Jahre 2012 im Nationalrat eingereichte Motion Müller-Altermatt⁵⁷ verlangt, einzurichten.

Die BGS bietet mit ihren Arbeitsgruppen für Bodenkartierung sowie Klassifikation und Nomenklatur Gewähr, dass das heute vorhandene Know-how bei Bedarf ohne Wissensverlust in einer neuen, mit ausreichenden Ressourcen ausgestatteten Struktur eingebracht werden kann.

Durch die offene Mitgliedschaft in der Arbeitsgruppe Bodenkartierung der BGS ist der Wissensaustausch aller an der Bodenkartierung Interessierter aus der Kartier-Praxis, aus den Kantonen oder aus anderen Institutionen anhand konkreter, praxisnaher Fragestellungen weiterhin gewährleistet.

7.3 Rechte an Daten und Auswertungen

Datenherrschaft

Das Recht an den Daten, die Datenherrschaft also, liegt sowohl für Basisdaten als auch für darauf beruhende Auswertungen grundsätzlich bei den jeweiligen Auftraggebern, die meist auch die Finanzierung sicherstellen.

Die Rolle der öffentlichen Hand

In den allermeisten Fällen stammen die Auftraggeber für Bodenkartierungen aus dem öffentlichen Sektor (vor allem kantonale Amtsstellen und zu einem kleinen Teil auch Bundesstellen). Viele frühere Kartierungsprojekte wurden zudem im Rahmen von Güterregulierungen durchgeführt. Aber auch dort wurden die verantwortlichen, Auftrag gebenden Flurgenossenschaften durch die Öffentlichkeit (Bund und Kantone, allenfalls auch Gemeinden) zu 80% und mehr subventioniert.

Zugänglichkeit der Bodenkarten

Damit kann davon ausgegangen werden, dass die Kartenwerke der Öffentlichkeit in geeigneter Weise zugänglich gemacht werden sollen. Dies ist auch zunehmend der Fall, wie die verschiedenen Kanton-Websites belegen (Links aufgeführt im [Faktenblatt 2: Bodenkartierungsprojekte in den Kantonen](#)).

⁵⁵ 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.

⁵⁶ Knecht M. (2009): Projekt Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht der BGS (Projektausschuss BICH) an das BAFU Bundesamt für Umwelt.

⁵⁷ 12/4230 – Motion; Müller-Altermatt Stefan: Nationales Kompetenzzentrum Boden als Gewinn für Landwirtschaft, Raumplanung und Hochwasserschutz.

8 Handlungsbedarf und offene Fragen

8.1 Standardisierte Methoden

Die FAL-Kartierungsanleitungen haben sich bewährt und wurden durch den laufenden Einbau zusätzlich verfügbarer Unterlagen (vor allem im Zusammenhang mit der Erarbeitung der Konzeptkarte) in eine nun beinahe seit 20 Jahren erprobte FAL-Kartierungsmethode+ überführt.

**Sicherstellung
Methodenentwick-
lung**

Eine zusätzliche Aufwertung erfolgte durch ein prozessorientiertes QS-System, eine ebensolche Datenerhebung und –ablage sowie die intensiv genutzten Möglichkeiten von GIS-Werkzeugen. Damit steht heute ein erprobtes ‚hybrides‘ (feldgestütztes und digital abgestütztes) Bodenkartierungssystem zur Verfügung. Dieser Qualitätsstatus soll sichergestellt und bei Vorliegen neuer Erkenntnisse weiterentwickelt werden. Der heutige Stand der Kartiermethode inkl. Qualitätssicherung ist offiziell festzuhalten und zu publizieren.

Kartiermethodische und damit verbundene klassifikatorische Fragestellungen aus der Kartierpraxis sind weiterhin in den beiden Arbeitsgruppen Bodenkartierung resp. Klassifikation und Nomenklatur zu behandeln und allenfalls einer Weiterentwicklung der Methode und der Klassifikation zuzuführen.

Nach der Erarbeitung der BICH-Profil- und Flächendatenmodelle wurde es einfacher möglich, die Digitalisierung früherer, vor dem digitalen Zeitalter gemäss FAL-Anleitungen erhobener Bodendaten vorzunehmen. Dazu diente für die Profildaten die spezifische Erfassungs-Software MIGRAPROFIL und für beide Daten-Typen die diesbezüglichen Technischen Anleitungen für alte Profil- und Flächendaten.

**Abschluss Digitali-
sierung „alter“
Daten**

In diesem Bereich hat NABODAT zusammen mit den Kantonen und mit finanzieller Unterstützung durch das BAFU die Arbeiten zur Digitalisierung der Profil- und Flächendaten zügig vorangetrieben. Diese Arbeiten stehen, zumindest für die Profildaten, vor dem Abschluss. Die Aufarbeitung der Flächendaten wird folgen. (s. Kap. 2.5)

Die Entwicklung von Methoden zur Herstellung modellierter Bodenkarten ist im Gange, u.a. auch im NFP68 (s. Kap. 3.4). Die Anforderungen bezüglich Verwendbarkeit und Qualitätsanforderungen sind sinnvollerweise an den Vorgaben der diesbezüglichen EU-Fachgruppe⁵⁸ zu messen.

**Definition der An-
forderungen an
modellierte Boden-
karten**

8.2 Ausbildung

Nach Einstellung des Bodenkartierdienstes an der (FAP)/FAL Reckenholz per Ende 1996 stand für die zunächst nur wenigen Kartieraufträge noch eine ausrei-

**Ausbildung von
Bodenkartierfach-
leuten**

⁵⁸ 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, Luxembourg.

chende Zahl an erfahrenen Kartierfachleuten in Privatbüros zur Verfügung. Mit der in den letzten Jahren wieder zunehmenden Zahl an Aufträgen wurden neue Kartierfachleute bei laufenden Bodenkartierungsprojekten „on the job“ (berufsbeleitend und praxisbezogen) ausgebildet. Diese Art der Aus- resp. Weiterbildung ist nicht ideal.

CAS Lehrgang

Die Notwendigkeit einer Ausbildungsmöglichkeit wurde jedoch erkannt und im Jahre 2013 wurde unter der Ägide von vier Fachhochschulen (Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften Wädenswil, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften Zollikofen-Bern, Haute école du paysage d'ingénierie et d'architecture de Genève und Ecole d'ingénieur de Changins) eine CAS-Ausbildung (Certificate of Advanced Studies) in Bodenkartierung <http://www.zhaw.ch/nc/de/science/weiterbildung/cas/cas-details.html?i=N694601&gu=0> ausgeschrieben und auch durchgeführt. In diesem Zertifikatslehrgang CAS in Bodenkartierung erlernten die Teilnehmenden das Know-how der Bodenkartierung in Theorie und Praxis, dies auch durch die Abwicklung eines kleinen Bodenkartierprojektes. Noch nicht geregelt ist der Weg der CAS-Bodenkartierung-Absolventen zu erfahrenen Bodenkartierfachpersonen. Hier besteht Bedarf an „Trainingsmöglichkeiten“ inkl. Abklärung von Praxis-Angeboten.

8.3 Aufwand-Vergleich verschiedener Methoden

Schwierigkeit der Bezifferung des Aufwandes bei Modellierungen

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. 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 (s. dazu auch Kap. 6.2) ist zurzeit (noch) nicht möglich. Entsprechende Kosten-Nutzen-Überlegungen unter Berücksichtigung der abzudeckenden Qualitätsansprüche sind für die weitere Diskussion über methodische Richtungsentscheidungen unabdingbar.

9 Ausblick

9.1 Grundsätzliches

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.

Grosses Interesse an Bodendaten

Wichtigkeit des pedologischen Fachwissens und ausreichender Bodenbasisdaten

9.2 Entwicklung

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 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.

Stand der Technik der Bodenkartierung weiter entwickeln

Die seit etwa 10 Jahren laufenden Bestrebungen, auf der Basis von z.T. sehr unterschiedlichen Modellierungsansätzen digitale Bodenkarten zu erzeugen, werden mit grossem Interesse verfolgt. Zur Zeit läuft im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms „Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden“ (NFP68) das Projekt „PMSoil: Predictive mapping of soil properties for the evaluation of soil functions at regional scale“, an welchem sich Forschende der ETH und Universität Zürich, von Agroscope Reckenholz, NABO und der WSL Birmensdorf beteiligen. Mit dem Projekt wird untersucht, nach welcher Methodik und mit welcher Genauigkeit räumliche Vorhersagen von Bodeneigenschaften und von Bo-

Neue Ansätze der Modellierungen weiter verfolgen

denfunktionspotentialen mittels statistischer Modelle aus Bodendaten berechnet werden können. Die Berechnungen erfolgen auf der Basis einerseits von Bodendaten, die aus alten Bodenkartierungsprojekten verfügbar sind und andererseits mit den heute vorliegenden, räumlich teilweise hoch aufgelösten Kovariablen über Bodenbildungsfaktoren.

Erhöhung der Informationsdichte

Unabhängig von den angewandten Methoden muss es das Ziel sein, dass die Informationsdichte über die schweizerischen Böden im dreidimensionalen Raum innert eines gut absehbaren Zeitraumes deutlich verbessert werden kann.

Aufgabe und Verpflichtung für die BGS

Für die Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz BGS soll es ein Ansporn und Verpflichtung zugleich sein, diesem Anspruch zu folgen und dessen Zielerreichung zu fördern.

9.3 Künftige Stossrichtungen

Die anzustrebenden künftigen Stossrichtungen der Bodenkartierung in der Schweiz können in fünf Sätzen zusammengefasst werden.

5 Stossrichtungen

1. Die moderne, feldgestützte Bodenkartierung, FAL-Kartiermethode+, heutiger Stand der Technik bei laufenden Bodenkartierprojekten, ist zu „officialisieren“ durch Aufdatierung und Neufassung der heute noch geltenden Kartieranleitungen für Wald- und Landwirtschaftsböden.
2. Zu diesem Zweck ist die Einrichtung einer Bodenkartierfachstelle mit entsprechenden Fachkompetenzen auf Bundesebene anzustreben, die idealerweise in das neu zu schaffenden Nationale Kompetenzzentrum Boden zu integrieren ist.
3. Die aktuell vorhandenen Ansätze zur Modellierung von Bodeneigenschaften sollen weiterentwickelt, überprüft und möglichst bald adäquaten Verwendungszwecken zugeführt werden.
4. Die Ergebnisse der Bodenkartierung und das damit verbundene Potential an Verwendungsmöglichkeiten sind in der Bodenstrategie des Bundes und in die sachverwandten Fachdisziplinen einfliessen zu lassen und in Zusammenarbeit mit den Vollzugsstellen der Kantone umzusetzen.
5. Die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz nimmt, im Verbund mit anderen Partnern, ihre Mitverantwortung als Fachinstanz wahr, um den fachkundigen Umgang mit der Erhebung natürlicher Bodeneigenschaften in Form von flächendeckenden Bodenkartens, unabhängig von der zur Anwendung kommenden Methode, zu fördern.

10 Allgemeines Literaturverzeichnis

- 1 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.
- 2 AFES Association française pour l'étude du sol (2009): Référentiel pédologique 2008. Coordination éditoriale: Baize D.; Editions Quae.
- 3 Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn (1995): Bodenkartierung Kanton Solothurn. Konzept. Berichte, Nr. 23.
- 4 ARE Bundesamt für Raumentwicklung (2006): Sachplan Fruchtfolgeflächen FFF. Vollzugshilfe.
- 5 Baize D. et Jabiol B.(1995) : Guide pour la description des sols. INRA Editions. 172 p.
- 6 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.
- 7 BGS Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (2010): Klassifikation der Böden der Schweiz. Bearbeitet von der Arbeitsgruppe Klassifikation und Nomenklatur. Dritte, korrigierte Auflage 2008. Luzern.
- 8 Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft BFW, Wien: Bodenkartierung Österreich, online auf <http://www.bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=7049>
- 9 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.
- 10 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.
- 11 DVWK Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (1988): Beurteilung der Fähigkeit von Böden, zugeführte Schwermetalle zu immobilisieren. DVWK Merkblätter 212.
- 12 FAL Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (1997): Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Autoren: Brunner J., Jäggli F., Nievergelt J., Peyer K., Schriftenreihe Nr. 24. Reckenholz, Zürich.
- 13 Frei E., Juhasz P. (1963): Beitrag zur Methodik der Bodenkartierung und der Auswertung von Bodenkarten unter schweizerischen Verhältnissen. Schweiz. Landw. Forschung.
- 14 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.

- 15 Hintermaier-Erhard G., Zech W. (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. Enke. Stuttgart.
- 16 Kaeser E. (2013): Wein, Wissen und Geschmack. ‚Nordwestschweiz‘, 30. März 2013, S. 7.
- 17 Knecht M. (2004): Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht 2003. BGS Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, verfasst im Auftrag des BUWAL.
- 18 Knecht M. (2009): Projekt Bodeninformation Schweiz BICH. Schlussbericht der BGS (Projektausschuss BICH) an das BAFU Bundesamt für Umwelt.
- 19 Landolt E. (1977): Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröffentlichungen des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel, 64. Heft. Zürich.
- 20 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.
- 21 Lüscher C. (2004): Leitfaden Bodenkartierung: Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden. Bodeninformation Schweiz BICH, Teilprojekt 3.
- 22 McBratney A.B., Mendonça Santos M.M., Minasny B. (2003): On digital soil mapping. *Geoderma* 117, 3-52.
- 23 Mosimann T., Herbst P. (2013): Flächenhafte Modellierung von Waldbodeneigenschaften in der Nordwestschweiz. *Schweiz Z. für Forstwesen*. Bd. 164 (1), 10-22).
- 24 Müller U. (2004): Auswertungsmethoden im Bodenschutz. Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). 7. erweiterte und ergänzte Auflage. Arbeitshefte Boden.
- 25 Nussbaum M., Ettlin L., Çöltekin A., Suter B., Egli M. (2011): The Relevance of Scale in Soil Maps, *Bulletin BGS* 32, 63-70.
- 26 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.
- 27 Universität Rostock: Lexikon Geoinformatik-Service der Professur für Geodäsie und Geoinformatik (GG)
online auf <http://www.geoinformatik.uni-rostock.de>
- 28 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.

11 Faktenblätter

Faktenblatt 1:	FAL-Kartierung
Faktenblatt 2:	Bodenkartierungs-Projekte in den Kantonen
Faktenblatt 3:	BICH Bodeninformation Schweiz
Faktenblatt 4:	NABODAT
Faktenblatt 5:	DSM Digital Soil Mapping
Faktenblatt 6:	Grundlagen der Qualitätssicherung

11.1 Faktenblatt 1: FAL-Kartierung

Entwicklung

Ein erstes Bodenkartierungsprojekt in der Schweiz betraf 1947 das Gebiet Reckenholz (Zürich-Affoltern), nachdem anfangs der 1940-er Jahre durch Prof. Pallmann an der ETH Zürich erste Arbeiten für eine schweizerische Klassifikationsanleitung durchgeführt wurden. Erwin Frey (FAP/FAL) verfolgte diese Idee und verhalf ihr anfangs der 50-er Jahre zum Durchbruch

Die eigentliche Methodenentwicklung für eine schweizerische Bodenkartierung erfolgte ab 1955 an der FAP (Forschungsanstalt für Pflanzenbau, Reckenholz). Ab 1959 folgte die Einrichtung eines sogenannten Bodenkartierungsinstituts am selben Ort (heute Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz), das auch bis 1996 das Zentrum für die Bodenkartierung von Landwirtschafts- und Waldböden blieb.

Eine erste Kartieranleitung entstand 1963. Die heute noch gültige Kartieranleitung stammt in 2. Auflage aus dem Jahre 1997. Das Handbuch für die Waldbodenkartierung, datiert 1996, basiert auf denselben Grundlagen und ist weitgehend identisch, allerdings mit Erweiterungen bezüglich der Humusformen und der forstspezifischen Interpretationen.

In den Jahren 1951 bis 1994 wurden ca. 340 Standardprodukte, umfassend die Bodenkarten von rund 500 Gemeinden, im Rahmen von Güterregulierungen und Meliorationen erarbeitet. Ein solches Standardprodukt umfasste jeweils drei in analoger Form aufgearbeitete Themenkarten (Wasserhaushaltskarte, Nutzungseignungskarte und Risikokarte) in einem Massstab zwischen 1:1'000 bis 1:10'000, meist im Massstab 1:5'000.

Ab 1977 wurde das längerfristig angelegte Projekt „Bodenkarte der Schweiz 1:25'000“ durch den Bodenkartierungsdienst Reckenholz initiiert und, unter Miteinbezug der Waldflächen, durchgeführt. Daraus resultierten 13 im Massstab 1:25'000 publizierte [Kartenblätter](#), sowie einige MAB (Man and Biosphere)-Gebiete.

Als Basis für die Bodenkartierung entstand 1992 eine Klassifikation der Böden der Schweiz (KLABS), die heute in dritter, korrigierter Auflage, datiert 2010, vorliegt.

1996 wurde durch das AfU SO die FAL-Kartieranleitung zu einer attribut-orientierten, polygonweise unklassierten Datenerhebungsmethode (ohne Legenden) mit digitaler Datenablage weiterentwickelt → FAL-Kartiermethode+. Dazu erfolgte die Ergänzung des Profilblattes 6 → 6.1.

Der Ablauf einer (Detail-) Bodenkartierung (Grundlagenstudium, Konzeptkarte, Profilsprache, Feldkartierung) ist in vielen Län-

	<p>dern sehr ähnlich. Entscheidende Unterschiede resp. Stärken der FAL-Kartierung im Vergleich zu anderen Kartiermethoden sind in Kap. 3.3. dieses Berichts aufgeführt.</p> <p>Daneben erfolgte Im Jahre 1975 die Publikation einer Landwirtschaftlichen Bodeneignungskarte 1:300'000 und im Jahre 1980 diejenige einer flächendeckenden Übersichtskarte (Bodeneignungskarte BEK 1:200'000, Bundesamt für Raumplanung, EJPD). Beide Kartenwerke wurden nicht gemäss der klassischen FAL-Kartierung erarbeitet, sondern stützten sich stark auf eine luftbildbasierte Geländeformen-Analyse ab.</p>
<p>Zeitliche Datierung</p>	<p>1947 Projektbeginn mit 1. Bodenkarte (Zürich Affoltern Reckenholz)</p> <p>–</p> <p>1951-1994 Bodenkartierungen im Rahmen von Güterregulierungen/Meliorationen, meist 1:5'000</p> <p>ab 1955 Erste Methoden-Entwicklungen unter Dr. Erwin Frei an der FAP Reckenholz</p> <p>1959 Einrichtung Bodenkartierungsinstitut an der FAP Reckenholz</p> <p>1963 Erste Kartieranleitung: FAL-Kartiermethode</p> <p>1975 Bodeneignungskarte der Schweiz 1:300'000</p> <p>ab 1977 Projekt 'Bodenkarte der Schweiz' 1:25'000</p> <p>1980 Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000</p> <p>1992 Klassifikation der Böden der Schweiz, 1. Auflage</p> <p>1996 Handbuch Waldbodenkartierung</p> <p>1996 per Ende Jahr Einstellung der Bodenkartierungstätigkeit an der FAL</p> <p>1996 Weiterentwicklung der FAL-Kartieranleitung durch das AfU SO zu einer attribut-orientierten, polygonweise unklassierten Datenerhebungs-Methode (ohne Legenden) mit digitaler Datenablage: FAL-Kartiermethode+. Weiter erfolgte die Ergänzung des Profilblattes 6 → 6.1.</p> <p>1997 Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden (Handbuch)</p> <p>1997 Gründung der AG Bodenkartierung der BGS</p> <p>2002-2009 Projekt Bodeninformation Schweiz (BICH) der BGS zur Entwicklung von Werkzeugen für die Sicherung und Aufarbeitung von alten und neuen Profil- und Flächendaten aus Bodenkarten und Entwicklung von Anwendungskarten aus der digitalen Detailkartierung. (Faktenblatt 3).</p>

	2010	Klassifikation der Böden der Schweiz, 3. Auflage
Akteure	FAP / FAL, BGS, Kantone	
Anleitungen / Wegleitungen	<ul style="list-style-type: none"> · Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Autoren: Brunner J., Jäggli F., Nievergelt J., Peyer K., Schriftenreihe der Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau FAL Zürich Reckenholz, 24. 1997. · Waldbodenkartierung. HANDBUCH, bearbeitet durch Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau FAP, Autoren: Ruef A. und Peyer K., Zürich-Reckenholz. Hrsg. BUWAL. 1996 · Klassifikation der Böden der Schweiz. Dritte, korrigierte Auflage. Bearbeitet von der Arbeitsgruppe 'Klassifikation und Nomenklatur' der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (BGS), Luzern. 2010. · Bodenkartierung Kanton Solothurn. Konzept. Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Solothurn. Amt für Umweltschutz. Berichte Nr. 23. Dezember 1995. 	
Bewertung	Erarbeitung und Sicherstellung einer landesweit einheitlichen und modernen Kartiermethode als CH-Standard für Wald- und Landwirtschaftsböden	
Spezifische Literatur	Frei, E. und Juhasz, P., Beitrag zur Methodik der Bodenkartierung und der Auswertung von Bodenkarten unter schweizerischen Verhältnissen. Schweiz. Landw. Forschung, 1963.	
Bezug zu Kap.: 2.1; 3.2; 3.3		

11.2 Faktenblatt 2: Bodenkartierungs-Projekte in den Kantonen

Beschreibung

Nebst den im Rahmen von Güterregulierungen resp. Meliorationen seit den 60-er Jahren des letzten Jahrhunderts erarbeiteten gross- und mittelmasstäbigen Bodenkartenwerken sowie den kleinmasstäbigen Übersichtskarten in den 70-er- und 80-er-Jahren wurden zunehmend auch die Kantone selbst aktiv hinsichtlich flächendeckender grossmasstäbiger Karten (meist im Darstellungsmassstab 1:5'000). Durch die intensivierte Nutzung in Land- und Forstwirtschaft und neuer auch durch Bodenschutz-Aufgaben im Rahmen der Umweltschutzgesetzgebung entstand eine zunehmende Nachfrage nach hochauflösenden Bodendaten, für die meist die Bodenschutzfachstellen der jeweiligen Kantone als Auftraggeber zeichneten.

Wenn nicht speziell erwähnt, beziehen sich die Zahlen (Fläche in ha; Anzahl Profile) auf die FAL-Liste der Detailbodenkartierungen im Massstab 1:1000 bis 1:5000 (teilweise 1:10'000) aus dem Jahre 2008, sowie auf Auskünfte aus den Kantonen.

Übersicht über die Kantone:

Im Kanton **Zürich** wurde bereits im Jahre 1988 eine flächendeckende Kartierung der Landwirtschaftsflächen im Massstab 1:5'000 gemäss FAL-Kartiermethode in Angriff genommen, deren Feldarbeiten bis 1996 anhielten (Schlussbericht 1998).

Im Web: <http://www.gis.zh.ch/gb4/bluevari/gb.asp?app=boka>

Ab Herbst 2013 (bis 2017) sollen auch rund 6000 Hektar Waldböden (Massstab 1:5'000) mit GIS-basierter feldgestützter Kartierung (FAL-Kartiermethode+ und erweiterten Attributansprachen) kartiert werden.

Im Kanton **Bern** wurden bis im Jahre 1996 18'786 ha Landwirtschaftsböden kartiert, zusätzlich ca. 1'000 ha in den Jahren 1997 und 2000. Es wurden zwecks Übernahme in das NABODAT total 2'409 Profile aufgearbeitet.

Im Kanton **Luzern** existiert keine grossmasstäbige, flächendeckende Bodenkarte. Vor rund 10 Jahren wurden anhand einer GIS-Modellierung die wichtigsten Bodeneigenschaften (Bodentyp, Wasserhaushalt, Gründigkeit, Geländeform) hergeleitet. Das Produkt dieser Modellierung stellte sich für den Vollzug als zu ungenau heraus. In der Kantonsverwaltung werden am häufigsten präzise, parzellenscharfe Bodeninformationen (z.B. für Baugesuchs-Behandlung oder Grundwasserschutzzonenauscheidung) gebraucht. Die Modellierung der Bodeneigenschaften genügte diesen Anforderungen nicht. Durch diese Erkenntnis wurde wieder der Pfad einer feldgestützten klassischen Bodenkartierung eingeschlagen. Seit 2009 werden im Kanton Luzern Landwirtschaftsböden nach FAL-Kartiermethode+ im Aufnahmemassstab von 1:2'500 und dem Abbildungsmassstab von 1:5'000 kartiert.

Im Web: <http://www.geo.lu.ch/map/boden/> oder
<http://www.uwe.lu.ch/index/themen/bodenschutz/bodeninformation.htm>

Im Kanton **Uri** wurden in der Reuseebene total 1'300 ha Landwirtschaftsböden mit insgesamt 31 Profilen kartiert. Ein Jahr nach dem Abschluss der Kartierung (1987) wurden grosse Flächen der Reuseebene überschwemmt.

Im Kanton **Schwyz** wurden 61 ha kartiert, damit verbunden war die Aufnahme von 23 Bodenprofilen.

Im Kanton **Obwalden** wurden im Gebiet der Sarner Wildbäche 1'239 ha kartiert und 83 Profile angesprochen.

Im Kanton **Nidwalden** sind 4 Bodenprofile vorhanden, Fläche der Kartierung nicht bekannt.

Im Kanton **Glarus** wurden in den Jahren 2006 bis 2010, ausgelöst durch die Fruchtfolgeflächenthematik, knapp 1'100 ha oder 11 Quadratkilometer Talboden im Massstab 1:2'500 kartiert, dazu 102 Bodenprofile gegraben und beschrieben und 1111 Polygone ausgeschieden. Nebst einer Bodentypenkarte und der Wasserhaushaltsgruppenkarte wurden auch weitere Spezialkarten generiert, wie z.B. eine Gründigkeitskarte (pflanzennutzbare Gründigkeit):

http://www.gl.ch/xml_1/internet/de/application/d1256/d37/d260/d503/f1248.cfm

Im Kanton **Zug** liegen für alle Landwirtschaftsböden flächendeckende grossmassstäbige Bodenkarten vor.

Im Web: <http://www.zugmap.ch/zugmap/BM3.asp>.

Ebenso eine Anleitung zur Benutzung der Bodenkarte:

http://www.zugmap.ch/zugmap/ZUGIS_ZUGMAP_Dokumente/Bodenkarte/Anleitung.pdf.

Im Kanton **Freiburg** beträgt die kartierte Fläche 1'151 ha mit 604 Profilen.

Bis Ende März 2014 sollen alle Profildaten der FAL-Bodenkartierungsprojekte erfasst und übersetzt sein. Im Anschluss daran sollen auch die Bodenkarten aufgearbeitet werden, der Zeitpunkt hierzu ist noch nicht bestimmt.

Im Kanton **Solothurn** wurde die flächendeckende, grossmassstäbige Bodenkartierung in Feld und Wald ab 1996 in Angriff genommen. Auf der Basis der klassischen FAL-Kartiermethode wurde eine den neuen Datenmanagementmöglichkeiten angepasste Kartiermethode eingeführt. Dabei werden die erhobenen Polygoneigenschaften nicht einem Legendinhalt zugeordnet, sondern es wird je Polygon ein eindeutig definierter Datensatz erhoben (mit Laborwerten hinterlegte Schätzwerte anstelle von Klassenwerten) und in einer Datenbank abgelegt. Dies vereinfacht die digitale Verarbeitung der Bodendaten stark. Mit relativ wenig Auf-

wand können Attributkarten und funktionale Karten abgeleitet werden. Diese Methode wird heute zur Unterscheidung von der klassischen Methode als FAL-Kartiermethode+ bezeichnet.

Per 2014 belief sich die Fläche der bis zu diesem Zeitpunkt auf diese Weise erfassten grossmasstäbigen Bodenkartierung auf 20'000 ha. Im Web:

http://www.sogis1.so.ch/sogis/internet/pmapper/map.phtml?config=boden_lw

Im Kanton **Basel-Landschaft** wurden die Landwirtschaftsböden unter Anwendung der FAL-Kartierungs-Methode erhoben. Die Bodenkartierung umfasste rund 23'000 Hektaren. Die Kartierung begann Ende 1988 und wurde 1998 abgeschlossen.

Die Waldbodenkarten basieren auf einer Modellierung (2011).

Die umfangreichen Bodeninformationen und die darauf abgestützten Detail-Auswertungen zu Nutzung, Gefährdung, Schutz etc. sind im Web unter <http://geoview.bl.ch> // „Thema Boden“ abrufbar.

Im Kanton **Basel-Stadt** wurden die Landwirtschaftsböden gleichzeitig mit den denjenigen des Kantons Basel-Landschaft (s. oben) kartiert.

Im Kanton **Schaffhausen** wurden total 3'656 ha kartiert, dies bei 230 Bodenprofilen, die Aufarbeitung der Profile ist abgeschlossen.

Im Kanton **Appenzell Ausserrhoden** wurden 1'593 ha im Massstab 1:10'000 kartiert, mit 29 Bodenprofilen.

Zum Kanton **Appenzell Innerrhoden** sind keine Angaben vorhanden.

Im Kanton **St. Gallen** wurden in den 80er-Jahren 59'198 ha Landwirtschaftsböden durch die FAL Reckenholz kartiert und 1'545 Bodenprofile angesprochen. Die Ergebnisse wurden im Massstab 1:5'000 oder 1:10'000 dargestellt. Zusätzliche 3'108 ha Fläche sind in Form von Nutzungseignungskarten vorhanden.

Um die wertvollen Informationen des Kartenmaterials für die Zukunft zu erhalten und weiter bearbeiten zu können, wurden die analogen Daten zu einem Bodeninformationssystem (BISG) verarbeitet. Dieses Projekt setzte das AFU in den Jahren 2002 bis 2008 zusammen mit dem Amt für Raumentwicklung und Geoinformation um. Seit April 2010 ist die digitale Bodenkarte des Kantons St. Gallen im Internet veröffentlicht.

Ab 2013 (bis 2017) werden die Nutzungseignungskarten des Kantons zu Bodenkarten überarbeitet und in das Bodeninformationssystem integriert. Im Web:

<http://www.geoportal.ch/map.aspx?intern=0&APPLI=3&TOPIC=2&Attr1=725000&Attr2=255000&Attr3=&Map=395&Width=10000&Sign=0&Group=73D3D7AB400F690DC41A6BF5899E690949E75013A97DAA445D3C7012433D7045&UID>

Im Kanton **Graubünden** sind FAL-Bodenkarten aus den Jahren 1967 bis 1997 in unterschiedlichen Massstäben (1:5'000, 1:10'000 und

1:25'000) vorhanden. Nach Übersetzung der älteren Flächendaten stehen die Polygondatensätze dieser Karten nun im GIS mit aktualisierten Legendeneinheiten zur Verfügung. Für einzelne Gebiete sind die Polygondatensätze derzeit nur mit der Originallegendenversion verfügbar. Die Bodenkarten im Massstab 1:2'000 bis 1:10'000 decken ein Gebiet von 5'435 ha ab. Dies entspricht 1.3 % der produktiven Fläche (Landwirtschaft und Wald).

Sämtliche 619 FAL-Bodenprofile wurden ebenfalls übersetzt und liegen im GIS als Punktdatensatz vor. Die Profildaten sind auch in der Datenbank NABODAT abgelegt.

Eine luftbildgestützte Bodenkartierung deckt mehrheitlich die Haupttäler des Ober- und Unterengadins, des Bergells, sowie von Mittelbünden und das Davoser Tal ab. Sie umfasst die wenig geneigten Talböden. Die luftbildgestützte Bodenkartierung ist in eine modellierte Bodenhinweiskarte integriert.

Diese baut auf einer GIS-basierten Modellierung von Bodentypen und ausgewählten Bodenparametern auf und liegt für den ganzen Kanton vor. Sie gibt einen groben Überblick über die Bodenverhältnisse im Kanton Graubünden.

Grosse Lücken an Bodeninformationen bestehen weiterhin in den intensiv genutzten Gebieten Nordbündens. Ein Konzept zur Erhebung von detaillierten Bodeninformationen in Vorranggebieten liegt im Entwurf vor.

Im Kanton **Aargau** wurden in den 1980er Jahren für die Ausscheidung der Fruchtfolgeflächen landwirtschaftliche Eignungskarten im Massstab 1:5'000 erstellt. Acht durch die FAL Reckenholz erstellte Bodenkarten 1:25'000 decken knapp die Hälfte der Kantonsfläche ab. Zusammen mit Kartierungen aus Meliorationen etc. liegen somit für ca. 2/3 der Kantonsfläche Bodenkarten vor. Die meisten Karten sind im Geoportal <https://www.ag.ch/de/dfr/geoportal/geoportal.jsp> verfügbar. In den Jahren 2011 bis 2014 wurden die Bodenprofile aus den Kartierungen der FAL im Aargau aufbereitet und ins NABODAT überführt.

Der Kanton **Thurgau** verfügt über 270 ha detaillierte Bodenkarten mit 73 angesprochenen und aufgearbeiteten Bodenprofilen.

Seit 2005 liegt zudem eine Bodenübersichtskarte (BÜK) im Massstab 1:50'000 vor. Die BÜK wird vom Amt für Raumplanung als Planungsgrundlage für raumplanerische Entscheide verwendet. Im Amt für Umwelt ist sie das zentrale Instrument für alle Fragen im Zusammenhang mit dem Vollzug des physikalischen Bodenschutzes, soweit dies die räumliche Auflösung gestattet. Im Web:

http://geo.tg.ch/mapbender/frames/login.php?gui_id=Bodenubersichtskarte

Im Kanton **Tessin** wurden 3'293 ha Landwirtschaftsböden kartiert und 193 Bodenprofile angesprochen. Im Jahre 2004 wurden ca. 800 ha Rebbergböden durch das Büro Sigales (F) im Massstab 1:10'000 kartiert. Die Bodenkarten wurden, dies nach Besprechungen mit den Win-

zern, ergänzt und präzisiert.

Im Kanton **Waadt** wurden insgesamt 103'500 ha Wald- und Landwirtschaftsböden im Massstab 1:10'000 auf der Basis der FAL-Kartierungsmethode (mit Erweiterungen und z.T. auch Vereinfachungen) kartiert. Dazu wurden rund 800 Profile und 16'000 Bohrungen angesprochen. Die Aufarbeitung der Karteninhalte ist im Gang.

Die Böden der Rebberge (3800 ha) wurden zwischen 2000 und 2003 durch das Büro Sigales (F) im Massstab 1:10'000 kartiert. Die Bodenkarten, basierend auf klassischen Felduntersuchungen (300 Profile und 1400 Bohrungen) wurden, basierend auf Besprechungen mit den Winzern, ergänzt und präzisiert.

Im Kanton **Wallis** erfolgten frühere FAL-Kartierungen zum grössten Teil im Oberwallis (Goms, Turtmann), eine kleinere Fläche im Massstab 1:10'000 bei Sierre (Liddes). Total der alten FAL-Bodenkarten: 5'155 ha, 254 Profile.

Für die Planung der 3. Rhonekorrektur wurden von 2006 bis 2009 rund 7'000 ha Landwirtschaftsböden im Massstab 1:10'000 kartiert und 1'300 Bohrungen und 55 Profile angesprochen. (Der Schlussbericht zur Bodenkartierung für die 3. Rhonekorrektur sollte demnächst vorliegen).

Die Rebberge (5200 ha) wurden zwischen 2004 und 2007 durch das Büro Sigales (F) im Massstab 1:10'000 kartiert. Nach den klassischen Felduntersuchungen wurden Besprechungen mit den Winzern organisiert, um die Karte zu ergänzen und zu präzisieren.

Im Kanton **Neuenburg** wurden im Jahre 2004 die Rebbergböden (600ha) durch das Büro Sigales (F) kartiert (Massstab 1:10'000). Die Bodenkarten wurden, nach Besprechungen mit den Winzern, ergänzt und präzisiert.

Im Kanton **Genf** deckt die Bodeneignungskarte im Massstab 1:50'000 aus dem Jahr 1976 eine Fläche von rund 10'000 ha Landwirtschafts- und Waldböden (von total 14'000 ha, Stand 1994) ab. Diese Karte kann gemäss Bericht zur BEK 1:200'000 die Bodeneignung für regional- und raumplanerische Arbeiten genügend detailliert wiedergeben.

Weiter sind Bodenkarten im Massstab 1:12'000 auf 13 Referenzflächen erstellt worden, total 1'500 ha. Für Güterzusammenlegungen wurden für ca. 400 ha Bodenkarten im Massstab 1:5'000 erstellt (Bardonnex, Chaney, Plan-les Ouates, Presinge).

Die Kartierung der Rebbergböden (1400 ha) wurde durch die École d'Ingénieurs de Changins ECI im Massstab 1:7'500 (91 Profile und 850 Bohrungen) zwischen 2004 und 2006 durchgeführt.

Im Kanton Genf werden Reben seit mehr als 1000 Jahren kultiviert, was sich bei den Böden in einer starken Prägung durch den Menschen widerspiegelt (Drainagen, Tiefpflügen, Düngungen, Aufschüttungen, Erosion etc.).

Die Analyse zur Erhellung der historischen Aspekte und der spezifischen Reaktionen der Rebpflanzen erfolgte unter Beizug der betroffenen Win-

	<p>zer. So konnte die Bodenkarte deutlich präzisiert werden. Die angewandte Methode ist eine Annäherung an Legros, die Beschreibungen erfolgen gemäss Baize und Jabiol, die Klassifikation entspricht dem Référentiel pédologique RP.</p> <p>Im Kanton Jura wurden gemäss FAL-Liste 8'782 ha Landwirtschaftsböden im Massstab 1:5'000 kartiert, 623 Profile erhoben und später aufgearbeitet. Weiter sind 270 Bodenprofile im Rahmen von 8 Güterzusammenlegungen in 10 jurassischen Gemeinden angesprochen und später aufgearbeitet worden. Weitere drei Bodenkarten wurden 2008 für Güterzusammenlegungen erstellt.</p>
<p>Akteure</p>	<p>In der Regel sind es die kantonalen Bodenschutzfachstellen, die sich darum bemühen, eine flächendeckende Bodenkartierung zu fördern und auch federführend durchzuführen. Die optimalste Lösung kann durch eine enge Zusammenarbeit mit den Instanzen von Forst- und Landwirtschaft sowie der Raumplanung erreicht werden.</p>
<p>Anleitungen / Wegleitungen</p>	<p>Die Kartierungen erfolgten grundsätzlich gemäss den FAL-Kartieranleitungen für Landwirtschafts- resp. Waldböden. Bei der heute meist zur Anwendung kommenden FAL-Kartierung+ (s. Kap. 3.3) wird das vom Kanton Solothurn erarbeitete Projekthandbuch mit detaillierten Projektabläufen und QS-Vorgaben verwendet, so auch, zum Teil mit kantonsspezifischen Anpassungen, in den Kantonen Luzern, Glarus und Zürich.</p>
<p>Spezifische Literatur</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Bodeneignungskarte der Schweiz. Grundlagen für die Raumplanung. EJPD - Bundesamt für Raumplanung, EVD - Bundesamt für Landwirtschaft, EDI- Bundesamt für Forstwesen. Eidg. Drucksachen- und Materialzentrale. Bern. 1980. · Grundlagenbericht zur Bodenkartierung des Kantons Zürich. FAL Reckenholz / Volkswirtschaftsdirektion Zürich. 1998 · Bodenkarte des Kantons Zug 1:5'000. Leitfaden für die Benützer der Bodenkarte. AGBA AG Ebikon. Baudirektion des Kantons Zug, Amt für Umweltschutz. November 1998. · Bodenkartierung Kanton Solothurn. Konzept. Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Solothurn. Amt für Umweltschutz. Berichte Nr. 23. Dezember 1995. · Flächenhafte Modellierung von Waldbodeneigenschaften in der Nordwestschweiz. T. Mosimann, P. Herbst. Schweiz Z Forstwes 164 (2013) 1: 10-22. · Bodeninformationssystem des Kantons St.Gallen (BISG), Umwandlung der Eignungskarten in Bodenkarten, Pilotprojekt Gemeinde Ernetschwil. Erläuterungsbericht 26. 7. 2011. Amt für Umwelt und Energie Kanton St. Gallen. · Bodeninformationssystem des Kantons St.Gallen (BISG), Umwand-

	<p>lung der Eignungskarten in Bodenkarten, Handbuch, Version 1, Juli 2012. Amt für Umwelt und Energie Kanton St. Gallen.</p> <ul style="list-style-type: none"> · Konzept Bodenkartierung Kanton Luzern. Kartieretappe 4 – 2012. Umwelt und Energie (UWE) Luzern, Januar 2012. · Bodenübersichtskarte Kanton Thurgau 1:50000 (BÜK-TG), Schlussbericht. Amt für Umwelt und Amt für Raumplanung des Kantons Thurgau. September 2005. · Les sols du canton de Genève, M. Gratier, Ph. de Pury. Archs. Sci. Genève Vol. 47 (2): pp. 165 -194, 1994. · 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. · Baize D. et Jabiol B.(1995) : Guide pour la description des sols. INRA Editions. 172 p.
<p>Bezug zu Kap.: 2.2</p>	

11.3 Faktenblatt 3: BICH Bodeninformation Schweiz

Inhalt und Resultate

Die Initiative für das Projekt BICH ergriff die Arbeitsgruppe Bodenkartierung der BGS nach Vorliegen der Resultate der von ihr durchgeführten „Umfrage Bodenkartierung“ [BGS Dokument 10, 2000]

Im **Projektausschuss** wurden neben der AG-Präsidentin als Projektleiterin auch Vertreter aus dem BAFU, der Informatik, der Qualitätssicherung und der Bodenschutzfachstellen der Kantone eingebunden.

Das Gesamtziel des Projektes Bodeninformation Schweiz BICH wurde folgendermassen definiert:

Die bei verschiedenen Bundesinstitutionen und Kantonen vorhandenen Daten im Bereich Bodendaten sollen gesichert, gesichtet und nutzbar gemacht werden.

Es wurden Konzepte, Grundlagen und Werkzeuge erarbeitet zur Ablage, Verwaltung und Nutzung vorhandener (und neuer) Bodendaten.

Die **Sicherung** der auf Papier archivierten Bodendaten (Profilblätter, Karten) konnte mit relativ geringem finanziellem Aufwand erreicht werden. Die Kosten dieser Sicherung (Erstellen der Profil- und Kartenscans) konnten dank eines Refinanzierungsmodells der Kantone mit dem Kauf der Profilblätter weitgehend rückvergütet werden.

Zur **standardisierten Aufarbeitung der Bodendaten** wurden systemneutrale Werkzeuge und Anleitungen durch das BICH in Zusammenarbeit mit erfahrenen Experten aus Bodenkartierung und Informatik und mit dem Einsatz und Know-how der Kantone entwickelt.

Mit einem abgestuften Finanzierungsmodell beteiligten sich die Bodenschutzfachstellen der Kantone finanziell an den Kosten des Erfassungstools MIGRAPROFIL.

Als Ergebnis eingehender fachlicher Diskussionen zwischen Informatik- und Bodenkartierexperten wurden das **Punkt-Datenmodell BICH03** (Profil) und das **Flächendatenmodell BICH08** erarbeitet.

In der Erfassungssoftware **MIGRAPROFIL** (mit Handbuch) sind verschiedene Erfassungsmasken enthalten, die die Eingabe für die teilweise sehr unterschiedlichen Profilblattgenerationen erlauben. Nebst zahlreichen Auswahl-Codelisten wurden automatische Übersetzungswerkzeuge, Schnelleingabemöglichkeiten, und andere Optimierungen erstellt. Des Weiteren wurde eine Exportschnittstelle programmiert.

Weitere Arbeitshilfen wurden im Laufe der produktiven Nutzung von MIGRAPROFIL durch die Bodenkartier-Experten erstellt, wie **Datenkontrolle** via Access-Datenbank (Kurzanleitung) und **Handbuch** MIGRAPROFIL (bodenkundlicher Teil).

Für die Initiierung und Abwicklung der **durch die Kantone finanzierten Projekte** wurden diverse Arbeitshilfen bereitgestellt:

	<ul style="list-style-type: none"> · Überlegungen zur Ausschreibung von Arbeiten zur Datenerfassung und –aufarbeitung. · Qualitätsmanagement zur Verbesserung resp. Optimierung von Arbeitsabläufen und Sicherstellung der Datenqualität. · Pflichtenheft Kantone für die Erfassung und Aufarbeitung alter Bodenprofilblätter. <p>Durch die Arbeitsgruppe Bodenkartierung wurde im Jahre 2000 ein erstes Konzept für eine BIKS (Informations- und Koordinationsstelle für den Boden) erarbeitet. Diese Idee wurde wieder aufgenommen und im Jahre 2008 wurde im Rahmen von BICH ein Projektantrag an das BAFU für eine BIKS und ein operatives Topic Center ‚Datennutzung Boden‘ (TC-DNB), eingereicht, der aber abgelehnt wurde.</p> <p>Zum Projekt BICH gibt es umfangreiche Unterlagen und Dokumentationen. Ein zusammenfassender Überblick kann anhand der beiden Projektberichte 2003, resp. 2008 gewonnen werden (s. Literatur).</p> <p>Fazit: Im Projekt BICH wurden wichtige Voraussetzungen für die Rettung und koordinierte Aufarbeitung der bestehenden Bodendaten in der Schweiz geschaffen. Der Einsatz von Expertengruppen, bestehend aus Bodenkartier- und Informatikfachleuten in unterschiedlicher Zusammensetzung, hat sich bestens bewährt. Neben dem Bund haben auch die Kantone grosse Leistungen bezüglich der Aufarbeitung von Bodendaten und –karten erbracht.</p> <p>Ausblick: Mit dem Abschluss des Projektes BICH sind zwar die bestehenden Bodendaten in der Schweiz weitgehend gesichert, allerdings wurde nur ein Teil der Bodendaten auch aufgearbeitet. Mit einer konzentrierten Aktion der interessierten Bundesämter und der Kantone werden laufend die noch nicht digitalisierte Bodendaten aufgearbeitet und für die uneingeschränkte digitale Nutzung zur Verfügung gestellt werden. Dazu dient das neu erstellte Nationale Bodeninformationssystem NABODAT, in welchem der Bund und die Kantone ihre aktuellen als auch über Jahrzehnte erhobenen Bodeninformationen zusammenführen und effizient nutzen können. Die aufbereiteten Daten sollten dann möglichst einem grossen Kreis an interessierten Nutzern zur Verfügung gestellt werden können.</p>
<p>Zeitlicher Ablauf</p>	<p>Vorlauf:</p> <ul style="list-style-type: none"> · 2000 März: BGS-Tagung ‚Boden-Datenbanken‘. · 2000 Dezember: Sitzung BGS-Vertretung mit Bundesvertretern (BU-WAL, LHG) bezgl. Sicherung der Bodendaten, ohne Resultat. · 2001 März: BGS-Priorisierungspapier für Aufgaben/Funktionen im Zusammenhang mit Sicherung Bodendaten. · 2002: Gründung der Arbeitsgruppe ‚Bodenkartierung Kantone‘ Ziel: Koordination und Zusammenarbeit unter den Kantonen. Entwicklung strategischer Überlegungen in der Frage der Bodendaten und bezüglich der Verteilung der Pflichten zwischen Bund und Kantonen.

	<p>2002: Lancierung des BUWAL-BGS-Projektes ‚Bodeninformation Schweiz BICH‘:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Mai 2002: Darlegung der ungelösten Situation der Bodendaten und – Karten durch BGS-Vertretung vor Plenum der IKUB und BAFU-Direktor Ph. Roch. Auslöser für Schlüsseltreffen zwischen BUWAL, ARE und BGS. · BGS- Antrag ans BUWAL im August 2002, bewilligt mit Fr. 100'000.-, darauf Ausschreibung und Vergabe der Teilprojekte im Dezember 2002. · Durchführung der BGS-Tagung 2003 zu 'Bodendaten und Bodenkarten', organisiert durch BICH Projektausschuss. <p>2003 - 2009: Entwicklung von fachlich-pedologischen und Informatik-Werkzeugen:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Zur sicheren und benutzerfreundlichen Archivierung von Bodenprofil- und Bohrdaten (TP1) · Zur Aufarbeitung alter Bodenprofilaten – ‚Technische Anleitung‘ (TP7) · Übersetzungsschlüssel für Profilblattversionen ab 1967 bis BICH03. Gewisse Teile dieses Schlüssels konnten zwecks automatischer Übersetzung in die MIGRAPROFIL Aufarbeitungssoftware eingebaut werden. Einige Parameter (u.a. aggregierte Grössen) müssen, vor allem bei älteren Profilblättern, mit den manuellen Übersetzungsschlüsseln durch ausgewiesene Bodenkartier-Fachleute übersetzt werden. · Entwicklung von Datenmodellen als Ergebnis eingehender fachlicher Diskussionen zwischen Informatik- und Bodenkartierexperten. Die grösste Herausforderung stellte die Desaggregation diverser Bodeneigenschaften (z.B. Vernässung und Gründigkeit) dar. · Punkt-Datenmodell BICH03 (Profildaten) · Flächendatenmodell BICH08 (abgestimmt auf das Punktdatenmodell) · Weitere Werkzeuge für Erfassung, Export, Ablage und Austausch der Bodendaten. <p>2009: Projektabschluss mit Schlussbericht.</p>
<p>Partner</p>	<p>BAFU (Sektionen Umweltbeobachtung und Bodenschutz), Bodenschutz-fachstellen der Kantone, Agroscope Reckenholz.</p>
<p>Anleitungen</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Aufarbeitung alter Profildaten-Technische Anleitung (TP7), 2005. Verfasser: M. Zürner (Projektleitung), T. Gasche, A. Pazeller, J. Presler, A. Ruef, <p>für Expertengruppe:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Übersetzungsschlüssel für Profilblattversionen (ab 1967 bis BICH03) · Datenkontrolle via Access-Datenbank (Kurzanleitung)

	<ul style="list-style-type: none"> · Handbuch MIGRAPROFIL (Informatik- und bodenkundlicher Teil). 	
Spezifische Literatur	<ul style="list-style-type: none"> · Schlussbericht BI-CH 2003 Ziele und Ergebnisse, Synthese, Ausblick, Perspektiven, Umsetzungskonzept, 2004. Verfasserin: M. Knecht. · Sichere und benutzerfreundliche Archivierung von Bodenprofil- und Bohrdaten (TP1), 2004. Verfasser: A. Pazeller, A. Ruef, M. Petrasek. · Leitfaden Bodenkartierung: Bodendaten – ein Werkzeug für Planung, Nutzung und Schutz des Lebensraumes Boden (TP3), 2004. Verfasser: C. Lüscher · Datenmodell BI-CH 03 (TP5), Bericht, 2004. Verfasser: C. Eisenhut. (Originalbericht) · Aufarbeitung alter Profildaten - Technische Anleitung (TP7), 2005. Verfasser: M. Zürner, T. Gasche, A. Pazeller, J. Presler, A. Ruef, · Aufarbeitung alter Bodenkarten – Technische Anleitung (TP10), 2010. Verfasser: J. Presler, E. Bräm, T. Gasche, A. Ruef, M. Zürner. · Projektstands-Bericht der Projektleitung per Ende 2008 (Schlussbericht); Februar 2009. Verfasserin: M. Knecht <p>BGS-Publikationen:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Umfrage Bodenkartierung (vor BICH-Projekt). Dokument Nr. 10, 2000. · Bodeninformation Schweiz BICH-Schlussbericht 2003. Dokument Nr. 14, 2004. 	
Website	www.infooil.ch	
Bezug zu Kap.: 2.4		

11.4 Faktenblatt 4: NABODAT

Beschreibung	<p>NABODAT ist das neu erstellte Nationale Bodeninformationssystem, in welchem der Bund und die Kantone ihre aktuellen als auch über Jahrzehnte erhobenen Bodeninformationen zusammenführen und effizient nutzen können.</p> <p>Das Bodeninformationssystem wird auf einem zentralen Server mehrsprachig betrieben und über ein Webinterface mit intuitiver graphischer Oberfläche bedient. Damit sind die Bodendaten jederzeit auf jedem Computer mit Internet-Anbindung erreichbar und können importiert, erfasst, verwaltet, abgefragt und exportiert werden. Nebst der Speicherung der Bodendaten können zugehörige Dokumente und Bilder in NABODAT angefügt werden.</p> <p>Für die GIS-Anbindung von NABODAT stellt ein Web Feature Service (WFS) die raumbezogenen Daten im Internet bereit. Mit allen lokalen GIS-Clients, die fähig sind WFS zu lesen, kann so auf die Standortinformationen inklusive nahezu aller thematischen Attribute zugegriffen werden.</p> <p>Das Datenmodell von NABODAT versucht möglichst alle Bedürfnisse von Bund und Kantonen hinsichtlich Bodendaten abzudecken, d.h. es können nicht nur Profildaten verwaltet werden, sondern auch Bodendaten aus Schadstoffuntersuchungen, UVP, oder Bodendaten der Bodendauerbeobachtung. Da jedoch nicht immer nationale Referenzgrundlagen vorliegen, sondern verschiedene Datenmodelle und auch Analysemethoden in der Schweiz verwendet werden, ist die Harmonisierung der Daten in NABODAT eine grosse fachliche Herausforderung. Das NABODAT Datenmodell integriert die Punktdatenmodelle vom Projekt BICH, der kantonalen BODAT und der NABODAT 05 Version.</p> <p>Die Datenherrschaft der Bodendaten bleibt bei den Kantonen; mit dem Mandantensystem in NABODAT sind die Zugriffsrechte streng geschützt. Der Zugriff auf NABODAT ist ausschliesslich den Mandanten (Kanton, Bundesamt, etc.) vorbehalten. Pro Mandant können diverse Benutzer angelegt werden, die wiederum sehr fein granular mit individuellen Berechtigungen (Rollen) ausgestattet sein können. Eine Rolle ist z.B. die Berechtigung Standortinformationen zu erfassen (Standort-Write). Die Daten der jeweiligen Mandanten sind streng geschützt. Jeder Mandant sieht prinzipiell nur seine eigenen Daten. Durch ein Freigabesystem wird es jedoch möglich, Daten auch anderen Mandanten sichtbar zu machen. Diese Einsichtnahme beinhaltet kein Nutzungs- oder Publikationsrecht. Für ein solches Vorhaben muss die Genehmigung der Datenherrschaft (Mandant) eingeholt werden.</p>
Organisation	<p>Der NABODAT-Verbund setzt sich aus Bundesämtern und kantonalen Behörden zusammen. Grundlage der Zusammenarbeit bildet eine schriftliche Vereinbarung, in der die allgemeinen Bestimmungen zum NABODAT-Verbund zwischen dem BAFU als Projektleitung und den</p>

	<p>Kantonen als Mandanten geregelt sind. Der Verbund organisiert sich in vier Gruppen:</p> <p>Steuerungsgruppe NABODAT</p> <p>Die Steuerungsgruppe vertritt das Projekt NABODAT gegenüber den politischen Instanzen und ist zuständig für die strategische Planung des Verbundes. Sie setzt sich zusammen aus kantonalen Vertretern und Vertretern von BAFU, ARE, BLW und ART.</p> <p>Projektleitung</p> <p>Die Projektleitung liegt beim BAFU. Als Schnittstelle zwischen der technischen und der planerischen Ebene übernimmt sie die Koordination zwischen den Mandanten und der Servicestelle NABODAT und ist federführend bei der Erstellung der Verträge und der Kommunikation nach aussen.</p> <p>Servicestelle NABODAT</p> <p>Die Servicestelle NABODAT ist der NABO (ART) angegliedert und leistet fachliche und technische Unterstützung. Die Servicestelle ist verantwortlich für:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Fragen zur Bedienung von NABODAT · Entgegennehmen von Wünschen und Anforderungen · Bereitstellung der für die Webapplikation zugehörigen Dokumentationen (Anwenderhandbuch, Glossar, etc.) und das Führen der globalen Stammdaten (Codelisten, Partner, Verordnungen) · Durchführung von Datenmigrationsprojekten · Schulungen · Weiterentwicklungen (Detailkonzepte, Testen) · Entgegennehmen von Anfragen zu Bodendaten <p>AG NABODAT</p> <p>Die Arbeitsgruppe NABODAT ist ein Gremium für den Erfahrungsaustausch, das sich aus aktiven Nutzern von NABODAT, der Projektleitung und der Servicestelle NABODAT zusammensetzt. In regelmässigen Treffen werden unter anderem Tipps und Tricks im Umgang mit NABODAT ausgetauscht, Wünsche zur Weiterentwicklung priorisiert und notwendige Erweiterungen der Stammdaten diskutiert.</p>
<p>Zeitlicher Ablauf</p>	<ul style="list-style-type: none"> · 2003-2004: Machbarkeitsstudie NABODAT · 2005: Erstellung Datenmodell · 2005-2008: Projektantrag an BAFU, Detailspezifikation, WTO-Ausschreibung · 2009-2011 Technische Entwicklung der Web-Applikation mit GIS-Anbindung, Einbezug einer kantonalen Testgruppe · ab 2012: Beginn Betriebsphase, Digitalisierung und Migration von Bodendaten, Aufbau einer Homepage, Servicestelle NABODAT, AG NABODAT, Schulungen, Technische Weiterentwicklungen · 2013/2014: Technische Weiterentwicklung für die Implementierung

	von Flächendaten
Stand und Ausblick	<p>Nach erfolgreichem Abschluss der Entwicklungsphase hat der Aufbau des NABODAT-Verbundes zurzeit höchste Priorität. Seit 2011 laufen bereits für mehrere Mandanten Migrationsprojekte.</p> <p>Da die digital verfügbaren Bodendaten bei Bund und Kantonen in zahlreichen Datenmodellen und Datenformaten vorliegen, bietet die Servicestelle NABODAT den Mandanten die aufwendige fachliche und technische Übersetzung dieser Daten für einen Import in NABODAT an. Neben inhaltlichen Erläuterungen, der Ergänzung von Metainformationen, der Vervollständigung der NABODAT-Pflichtfelder ist jedoch der Input vom Mandanten für Entscheidungen in Zweifelsfällen notwendig. Zur späteren Dokumentation der Bodendaten ist es insbesondere erforderlich die verwendeten Methoden zur Analyse der Bodenmessungen zu recherchieren, diese wurden oftmals nicht als Metainformation digital erfasst.</p> <p>Die ersten Kantone nutzen seit Mitte 2012 NABODAT teilweise oder vollumfänglich als eigenes Bodeninformationssystem.</p> <p>Parallel dazu läuft die technische Weiterentwicklung von NABODAT. Neben der Verwaltung von Punktinformationen soll ab 2014 auch die Integration von Flächendaten möglich sein.</p>
Website	www.nabodat.ch
Bezug zu Kap.: 2.5	

11.5 Faktenblatt 5: DSM Digital Soil Mapping

Beschreibung

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 soll nur eine kurze Zusammenfassung der wichtigsten Ingredienzen eines DSM Projekts gegeben werden:

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. Kovariablen können einerseits kontinuierlich variierende (z.B. tan (Hangneigungswinkel)) oder kategoriale Variablen sein (z.B. Kartierungseinheiten einer geologischen Karte). Weitere Kovariablen können durch Verknüpfung von Kovariablen abgeleitet werden (z.B. tan (Hangneigungswinkel) für Kartierungseinheit xy einer geologischen Karte mit Wert gleich Null für alle anderen Kartierungseinheiten). Solche Interaktionen erlauben nichtlineare und räumlich nicht-stationäre Abhängigkeiten zwischen Zielvariablen und Kovariablen zu modellieren. Neben den klassischen Bodenbildungsfaktoren (Klima, Relief, Alter, Organismen, Muttergestein) schlagen McBratney et al. (2003) auch vor, 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 3. und 4. werden oft sogenannte legacy soil data 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 (z.B. additive Modelle GAM oder Klassifikations- und Regressionsbäume CART, siehe McBratney et al., 2003, für üblicherweise verwendete Ansätze, und Hastie et al., 2011, für eine gute Übersicht über moderne Regressionsmethoden). Weiter werden hier unter dem Begriff Regressionsmodell auch die geostatistischen und geo-additiven Modelle (Kamman und Wand, 2003) subsummiert, 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**. Die Qualität eines statistischen Modells sollte nicht anhand der Güte des Fit an die für die Modellanpassung verwendeten Daten beurteilt werden, sondern anhand der Güte, mit welcher das Modell in einer Kreuzvalidierung (Hastie et al., 2011, Kapitel 7) die für die Modellanpassung nicht verwendeten Teile der Daten vorherzusagen vermag. Neben der Genauigkeit der Vorhersagen sollte mit der 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 m² für deren Beurteilung verwendet), dann kann zwar ein feinmaschigeres Gitter für die Berechnung der Vorhersagen der Zielgrösse verwendet und jedem Punkt des Vorhersagegitters die Bodennutzung des nächst gelegenen Stichprobenpunkt der Arealstatistik zugeordnet werden. Man setzt dann aber implizit voraus, dass die Bodennutzung in einer quadratischen Fläche von 1 ha um jeden Stichprobenpunkt der Arealstatistik konstant ist, was in Wirklichkeit natürlich 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** (Standorte sollten bevorzugt nach einem randomisierten Stichprobenplan gewählt werden, vgl. Brus et al., 2011) zur Validierung der statistischen Vorhersagen der Zielgrössen.

Digitale Kartierung von Bodeneigenschaften wird oft kombiniert mit einer daran anschliessenden Evaluation des Potentials der Böden für bestimmte Bodenfunktionen (soil functional maps, *digital soil as-*

	<p>essment DSA, Carré et al, 2007) ,welche ihrerseits von <i>digital soil risk assessment</i> DSRA gefolgt wird (Carré et al, 2007).</p>
<p>Bisherige CH -Projekte</p>	<p>Bisher sind die praktischen Erfahrungen in DSM und DSA in der Schweiz sehr beschränkt.</p> <ul style="list-style-type: none"> · Steiner et al. (2006) 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) kartierten für den Kanton Thurgau mittels External-Drift Kriging die Schwermetallkonzentrationen im Oberboden. · Herbst & Mosimann (2010) verwendeten Random Forest, um Skelettgehalt und Gründigkeit von Waldböden in Kanton Basel-Landschaft zu kartieren. · Auf nationaler Skala ist die Arbeit von Nussbaum et al. (2012) bisher die einzige DSM Studie. 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.
<p>Spezifische Literatur</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Brus, D. J.; Kempen, B. & Heuvelink, G. B. M. 2011. Sampling for validation of digital soil maps. <i>European Journal of Soil Science</i>, 62, 394–407. · Carré, F.; McBratney, A. B.; Mayr, T. & Montanarella, L. 2007. Digital soil assessments: Beyond DSM. <i>Geoderma</i>, 142, 69–79. · Hastie, T.; Tibshirani, R. & Friedman, J. 2009. <i>The Elements of Statistical Learning; Data Mining, Inference and Prediction</i>. Springer Verlag. · Herbst, P. & Mosimann, T. 2010. Prognose ökologisch wichtiger Waldbodeneigenschaften mit Random Forest in der Nordwestschweiz. <i>Geomatik Schweiz</i>, 108, 140–144 · Kammann, E. E. & Wand, M. P. 2003. Geoadditive Models. <i>Applied Statistics</i>, 52, 1–18. · McBratney, A. B.; Mendonça Santos, M. L. & Minasny, B. 2003. On Digital Soil Mapping. <i>Geoderma</i>, 117, 3–52. · 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 · Rehbein, K. & Keller 2007a. Räumliche Interpolation von Zinkgehalten in den Böden des Kantons Thurgau. Forschungsanstalt Ag-

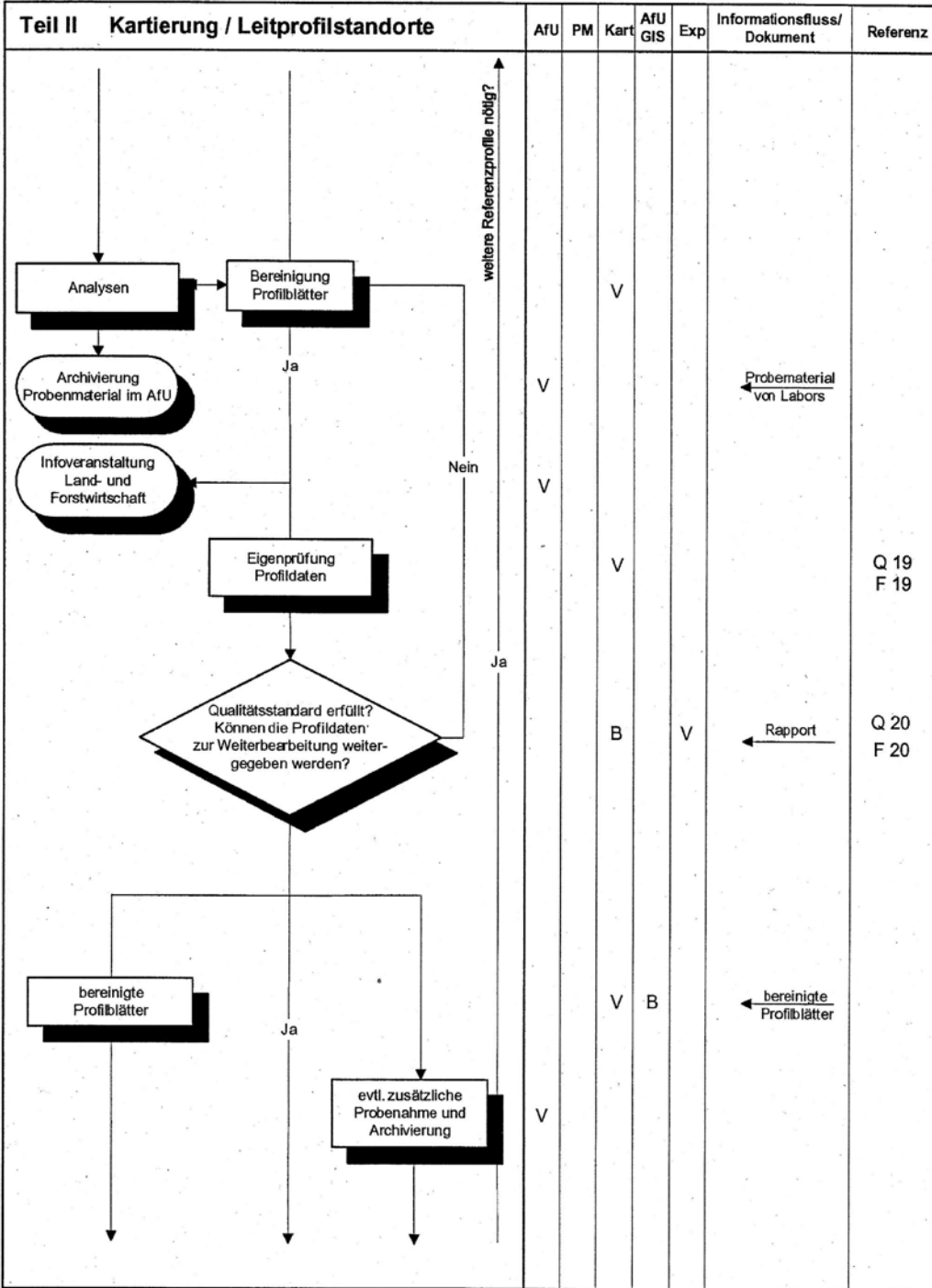
	<p>roscope Reckenholz-Tänikon ART.</p> <ul style="list-style-type: none"> · Rehbein, K. & Keller, A. 2007b. Grossräumige Schwermetallgehalte in den Böden des Kantons Thurgau. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART. · Scull, P.; Franklin, J.; Chadwick, O. A. & McArthur, D. 2003. Predictive Soil Mapping: A review. Progress in Physical Geography, 27, 171–197. · Steiner, C.; Behrens, T.; Telse, D. & Stamm, C. 2006. Bodenkarten als Grundlagen für die Festlegung des Zuströmbereichs Z₀. Eine Machbarkeitsstudie. EAWAG. 	
<p>Bezug zu Kap.: 3.4</p>		

11.6 Faktenblatt 6: Grundsätze der Qualitätssicherung

<p>Qualität</p> <p>Qualitätssicherung</p> <p>Methodik</p>	<p>Grundsätzliches</p> <ul style="list-style-type: none">· Für die Bodenkartierung, die als Prozessergebnis Bodenbasis-Daten mit einer sehr langen Lebenserwartung generiert, entscheidet deren Qualität über alle davon abgeleiteten Produkte.· Die Definition der Datenbeschaffung muss methodenkonform und personenunabhängig sein. Zu diesem Zweck sind bei jeder Bodenkartierung ausreichende Massnahmen zur Qualitätssicherung zu ergreifen. <p>Qualität, Qualitätssicherung und Methodik⁵⁹</p> <p>In allgemeiner Form definiert, gibt die Qualität an, in welchem Masse ein Produkt den zuvor definierten Anforderungen entspricht.</p> <p>Auf die Bodenkartierung bezogen, bezieht sich die Qualität auf bestimmte zu erhebende Daten, beziehungsweise auf das Vorgehen, wie diese Daten im Feld gewonnen und danach weiterverarbeitet werden.</p> <p>Als bodenkartierungsspezifische Anforderungen gelten:</p> <ul style="list-style-type: none">· gleichbleibende, hohe Qualität und Vergleichbarkeit der Bodendaten, auch in langjährigen Projekten, d.h. los- und etappenübergreifend.· Vielfältig einsetzbare, gesicherte Rohdaten, d.h. weit möglichst unter Vermeidung von Aggregationen und/oder Klassifizierungen. <p>Die Qualitätssicherung (QS) ist die Summe der geplanten systematischen Tätigkeiten, die gewährleisten, dass das vorgegebene Qualitätsniveau erreicht wird.</p> <p>Die QS erstreckt sich auf alle relevanten Tätigkeiten und alle involvierten Akteure des Gesamtprozesses ‚Bodenkartierung‘, d.h. von der Projekt- und Kartierungsplanung über den ganzen Kartierungsprozess i.e.S. über das Datenmanagement bis zur Produktgestaltung.</p> <p>Akteure sind (am Beispiel des Bodenkartierungsprojektes Solothurn) der Auftraggeber, das Projektmanagement, die beauftragten Bodenkartierfachleute, die für die Datenverarbeitung Verantwortlichen und die speziell für die QS engagierten Experten.</p> <p>Jedes Bodenkartierungs(teil-)projekt ist durch ein Prozessablaufschema eindeutig definiert mit den für jeden Schritt konkret</p>
--	---

⁵⁹ Diese Ausführungen und nachfolgenden Abbildungen stützen sich auf das interne Dokument „Projekthandbuch. Bodenkartierung Kanton Solothurn“. © Amt für Umwelt Kanton Solothurn.

	<p>bezeichneten Beteiligten und Verantwortlichkeiten und den zu beachtenden Qualitätsaspekten, die in Form von definierten, qualitätsentscheidenden Prozessen (Q xy) überwacht, allenfalls korrigiert und in den zugehörigen Formularen protokolliert werden (F xy). Für verschiedene Prozesse stehen Checklisten (C xy) zur Verfügung.</p>
<p>Beispiel</p>	<p>Die folgenden zwei Seiten zeigen beispielhaft einen Ausschnitt aus dem Prozessablaufschema (auf der ersten Seite) mit dem eigentlichen Fließdiagramm (links); rechts daneben in den Spalten die jeweiligen Verantwortlichkeiten der Akteure, weitere Hinweise zum Informationsfluss und allfällige Dokumente und die Nummerierung des qualitätsentscheidenden Prozesses (Q xy) mit dem entsprechenden Protokoll (F xy).</p> <p>Ein Beispiel für ein solches Protokoll ist auf der zweiten nachfolgenden Seite.</p>
<p>Bezug zu Kap.: 3.7</p>	



© Amt für Umwelt Kanton Solothurn

Abb: Beispiel eines Prozessablaufschemas

**Teil II Kartierung / Leitprofilstandorte****Formulare****F 20 Qualität Profilansprache**

Teilprojekt/Perimeter:

Datum:

Profilnummer:

Die Bezeichnungen entsprechen der FAL/BGS-Klassifikation

ja / nein

Diskussionspunkte:

Tiefe	Bezeichnung	Argumentation*	Folgerung
-------	-------------	----------------	-----------

Typ/Untertypen

Argumentation*

Folgerung

Profilnummer:

Die Bezeichnungen entsprechen der FAL/BGS-Klassifikation

ja / nein

Diskussionspunkte:

Tiefe	Bezeichnung	Argumentation*	Folgerung
-------	-------------	----------------	-----------

Typ/Untertypen

Argumentation*

Folgerung

Profilnummer:

Die Bezeichnungen entsprechen der FAL/BGS-Klassifikation

ja / nein

Diskussionspunkte:

Tiefe	Bezeichnung	Argumentation*	Folgerung
-------	-------------	----------------	-----------

Typ/Untertypen

Argumentation*

Folgerung

Unterschrift Expertin/Experte:

Verteiler:

- Kartiererin/Kartierer
- Projektmanager/Projektmanagerin

* Die Argumentation stützt sich ausschliesslich auf die FAL/BGS-Klassifikation, auf Erfahrungen benachbarter Lose und bisherige Kartierungen im Kanton Solothurn

Abb.: Beispiel eines Formulars (F 20) zur Protokollierung der Überprüfung des geforderten Qualitätsstandards „Qualität Profilansprache“.

12 Begriffe

12.1 Kartierung allgemein	
Karte	<p>Eine Karte ist ein maßstäblich verkleinertes, vereinfachtes (generalisiertes), inhaltlich ergänztes und erläutertes Grundrissbild der Erde (bzw. von Teilen der Erde) oder anderer Weltkörper und des Welt- raumes in einer Ebene (topographische Karte). In der Regel wird da- runter eine analoge Abbildung auf Papier o.ä. dauerhaften Trägern verstanden; technische Entwicklung ermöglicht aber auch kurzfristige Kartendarstellungen auf Bildschirmen usw.</p> <p>Die Karte stellt die Sachverhalte, im Unterschied zum Kartogramm, situations- und positionstreu dar. Die Karte präsentiert ein massge- bundenes und strukturiertes Modell räumlicher Bezüge und Objekte in horizontaler Bildebene. [Qu.2]⁶⁰</p> <p>Eine Karte ist eine ganzheitliche Darstellung und intellektuelle Abs- traktion der geographischen Realität, die für einen bestimmten Zweck oder verschiedene Zwecke weitervermittelt werden soll, wozu die relevanten geographischen Daten in ein Endprodukt umgewandelt werden, das visuell, digital oder betastbar sein kann. [Qu.2]⁶⁰</p>
Thematische Karten	<p>Sie stellen raumbezogene Themen oder Fachaussagen unterschied- lichster Art dar, ohne als Abbildung der Erdoberfläche verstanden werden zu müssen. Karten mit Linien gleicher Zahlenwerte (z.B. Isohypsen, Isothermen, Isobaren, Isohyeten, Isochronen), Bevölke- rungsdichtekarten, Wirtschafts- und Verkehrskarten sind kein Abbild der Natur. Situationstreue muss aber gewährleistet sein. Allgemeine Klassifikation thematischer Karten nach stofflicher Verarbeitung, Dar- stellungsprinzipien und Maßstäben:</p> <ol style="list-style-type: none">1. analytische und synthetische Karten,2. primäre und abgeleitete Quellenkarten,3. konkrete und abstrakte Karten,4. induktive und deduktive Karten,5. Darstellungen unveränderlicher und veränderlicher Sachverhalte,6. Darstellungen festbegrenzter und kontinuierlich verbreiteter Sachverhalte,7. Karten und Kartogramme,8. Großmaßstäbliche und kleinmaßstäbliche Karten,9. Einzelkarten, Kartenwerke und Atlanten. <p>[Qu.2]⁶⁰</p>

⁶⁰ Unter [Qu. x] ist in Kap. 12.4 die verwendete Quelle des jeweiligen Begriffs zu finden

12.2 Bodenkartierung und Bodenkarten

Bodenkartierung

Bodenkartierung ist eine systematische, flächendeckende Bodeninventur. [Qu.5]⁶⁰

Bodenkartierung ist die kartenmässige Erfassung, Kartierung und Beschreibung des Bodeninventars. [Qu.4]⁶⁰

Bodenkarte

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. [Qu.3]⁶⁰

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. Die so gekennzeichneten Böden werden zu Bodeneinheiten zusammengefasst. [Qu.5]⁶⁰

Bodenkarten zeigen die räumliche Verteilung der Böden, die nach Aufbau und Eigenschaften in Legenden und gegebenenfalls in Erläuterungsheften beschrieben sind. Massstab und Inhalt der Bodenkarten richten sich nach Ziel und Fragestellung. Sie entstehen durch die Erfassung und Beschreibung der Böden mit Hilfe von Schürfgruben und Bohrungen. Diese Punktinformationen werden in Flächeninformationen umgesetzt und in Form von Bodeneinheiten mit vergleichbaren oder –je nach Massstab- zumindest ähnlichen Inhalten dargestellt. [Qu.5]⁶⁰

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. [Qu.6]⁶⁰

12.3 DSM Digitale Bodenkartierung und Digitale Bodenkarten

Digitale Bodenkartierung, allgemein

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

	über die Bodenbildungsfaktoren verknüpfen. [Qu.1, verändert nach A. Papritz]
Digitale Bodenkartierung, klassischer Ansatz	<p>Es können folgende Modelle unterschieden werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> · "Data-Mining": Basierend auf "Trainingsdaten" und Prädiktorenregeln (Entscheidbäume 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. [Qu.1]⁶⁰
Digitale Bodenbewertung	<p>Digitale Bodenbewertung (digital soil assessment, DSA, Carré et al., 2007) ist die computergestützte Bewertung von Bodenfunktionen. Dazu werden häufig Pedotransferfunktionen eingesetzt.</p> <p>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</p>
Regressionsmodell	<p>Ein Regressionsmodell beschreibt einen statistischen Zusammenhang zwischen einer Zielgröße (auch als abhängige Variable bezeichnet) und einer oder mehreren Kovariablen (auch als unabhängige Variable bezeichnet).</p> <p>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 der Ziel- und Kovariablen auf Abhängigkeiten der Zielgröße und der Kovariablen und nicht erhobenen Drittvariablen beruht.</p>
Digitale Bodenkarte	Eine digitale Bodenkarte ist die Visualisierung von digital vorliegenden, flächenhaften räumlichen Informationen über direkt gemessenen

	<p>oder abgeleiteten Bodeneigenschaften und/oder Einheiten eines Bodenklassifikationssystems. Der Begriff wird auch für digitalisierte „klassische“ Bodenkarten verwendet. [Qu.1] ⁶⁰</p>
<p>12.4 Verwendete Quellen</p>	
	<p>Qu.1 Übersetzt und z.T. gekürzt 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, Luxembourg.</p> <p>Qu.2 Universität Rostock: Lexikon Geoinformatik-Service der Professur für Geodäsie und Geoinformatik (GG) online auf http://www.geoinformatik.uni-rostock.de</p> <p>Qu.3 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.</p> <p>Qu.4 Hintermaier-Erhard G., Zech W. (1997): Wörterbuch der Bodenkunde. Enke. Stuttgart.</p> <p>Qu.5 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.</p> <p>Qu.6 BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (1996): HANDBUCH Waldbodenkartierung. Bearbeitung: Ruef A. und Peyer K., Eidg. Forschungsanstalt für landw. Pflanzenbau FAP, Reckenholz, Zürich. Herausgeber: BUWAL, Bern.</p>