



Bodeninformationssysteme und (digitale) Bodenkartierung in Europa

Was kann die Schweiz davon lernen?

Madlene Nussbaum, Stéphane Burgos, Armin Keller, Marco Carizzoni, Andreas Papritz

Nationales Forschungsprogramm NFP 68 "Ressource Boden" – Bericht Fokusstudie – 15. Mai 2018

**Bodeninformationssysteme und (digitale) Bodenkartierung in Europa:
Was kann die Schweiz davon lernen?**

Bericht Fokusstudie, Nationales Forschungsprogramm NFP 68 "Ressource Boden"

15. Mai 2018

Madlene Nussbaum, Stéphane Burgos, Berner Fachhochschule, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften, Länggasse 85, 3052 Zollikofen

Armin Keller, Agroscope Reckenholz-Taenikon ART, Reckenholzstrasse 191, 8046 Zürich, Switzerland

Marco Carizzoni, BABU GmbH, Büro für Altlasten Boden und Umwelt, Rautistrasse 13, 8047 Zürich

Andreas Jürg Papritz, ETH Zürich, Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik, Universitätsstrasse 16, 8092 Zürich

Download: <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000262483>

**If you do not have soil maps,
how do you do your land management?!**

verwirrt-entsetzter Ausruf

R. Skalský

Inhaltsverzeichnis	1
Inhaltsverzeichnis	
Zusammenfassung	2
1 Hintergrund	5
2 Nachfrage nach Bodendaten in der Schweiz	5
2.1 Zusammenfassung Bedürfnisse	5
2.2 Eingrenzung der Literaturstudie	8
2.3 Vorgehen bei der Recherche	9
3 Übersicht Bodeninformation in Europa	11
3.1 Globale und europaweite Aktivitäten	11
3.2 Verfügbarkeit von Bodeninformation in Europa	12
3.3 Aktuelle Bodenkartierungen in Europa	13
3.4 Bodeninformationssysteme in Europa	20
4 Details zu ausgewählten Ländern oder Regionen	27
4.1 Nordrhein-Westfalen – Detailkartierung 1:5 000	27
4.2 Bayern – Übersichtsbodenkarte 1:25'000	30
4.3 Norwegen – Bodenkartierung Landwirtschaftsfläche ~1:20 000	34
4.4 Niederlande – Aktualisierung Kartierung 1:50'000	39
4.5 Schweden – Kartierung Ackerfläche	44
4.6 Albanien – Kartierung Landwirtschaftsfläche 1:10'000	48
4.7 Grossbritannien – <i>UK Soil Observatory</i> und <i>Citizen Science</i>	49
4.8 Niedersachsen – Bodeninformationssystem NIBIS	55
4.9 Slowakei – <i>Pôdny Portál</i>	58
4.10 Tschechien – <i>Geoportál SOWAC GIS</i>	61
5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen	67
5.1 Erhebung der fehlenden Bodeninformation in der Schweiz	67
5.2 Bodeninformationsplattform Schweiz	79
5.3 <i>Citizen Science</i> als Boden-Sensibilisierungsinstrument	80
Glossar	82
Verzeichnisse und Literatur	86
Anhang	99

Zusammenfassung

Flächendeckende und genaue Bodeninformation ist eine wichtige Grundlage für den nachhaltigen Umgang mit der Ressource Boden. In der Schweiz ist diese Datenbasis nach wie vor unvollständig. Um diese Lücke effizient zu schliessen, ist die Erhebung und die Publikation von Bodeninformation in anderen europäischen Ländern von Interesse. Im Rahmen einer Fokusstudie des nationalen Forschungsprogramms NFP 68 "Ressource Boden" wurde mit dem vorliegenden Bericht eine Übersicht der Verfügbarkeit von Bodeninformation, der aktuellen Kartierprojekte sowie der räumlichen Bodeninformationssysteme (BIS) erstellt.

Verfügbarkeit von Bodeninformation In Europa sind Bodenkarten in sehr unterschiedlichem Detaillierungsgrad vorhanden. Während einige Länder nur über eine sehr grobe Übersichtskarte (Massstab 1:1 Mio.) verfügen, haben andere sehr detaillierte Bodenkarten (Massstab 1:10 000 oder genauer) für fast die gesamte Landesfläche. Die detailliertesten landesweiten Bodenkarten liegen in Staaten des ehemaligen Ostblocks vor, wo mehrheitlich in den Jahren 1950–1990 Bodenkarten aufgenommen wurden. Tschechien, die Slowakei, Bulgarien, Estland, Lettland und Ungarn verfügen fast flächendeckend über hoch aufgelöste Karten im Massstab 1:5 000–1:10 000. Ab den frühen 70er-Jahren wurden die Böden der Staaten des damaligen Jugoslawien im Massstab 1:50 000 kartiert. In Westeuropa führten Belgien und Österreich eine flächendeckende Kartierung im Massstab 1:20 000 bzw. 1:25 000 durch. Neben Deutschland und den Niederlanden mit 1:50 000-Karten liegen in den anderen Ländern Westeuropas keine landesweiten mittel- oder grossmassstäbigen Karten vor. Teilregionen (z. B. Bundesländer) verfügen jedoch häufig über detailliertere Bodeninformation.

Die Schweiz hat im Vergleich zu anderen (Bundes-)Ländern von ähnlicher Fläche grosse Lücken in der detaillierten Bodeninformation, da landesweit nur eine Übersichtsbodenkarte im Massstab 1:200 000 vorliegt.

Aktuelle Bodenkartierungen Während ungefähr der letzten zehn Jahren wurde in 16 der 38 betrachteten Ländern Bodenkarten neu erstellt oder bestehende Kartenwerke aktualisiert. Dabei nahm die Harmonisierung und Auswertung von Archivdaten (Profile, Bohrungen oder Bodenkarten), mit dem Ziel homogene, landesweite Karten zu erstellen, eine zentrale Rolle ein. Neue grossflächige Bodenbeschreibungen im Feld wurden in der Hälfte dieser Länder durchgeführt. In einem Drittel der Länder wurden statistische Methoden (Bodenmodellierung, *Digital Soil Mapping*) zur Erstellung der Karten verwendet.

Bodeninformationssysteme Mehr als zwei Drittel der betrachteten Länder verfügen über ein meist frei zugängliches räumliches Bodeninformationssystem (BIS, Online-Kartenapplikation). Dieses erlaubt die Visualisierung von Karten verschiedener Bodeneigenschaften oder Bodentypen. Häufig sind zudem Anwendungskarten für Bodenfragen enthalten. Einige (Bundes-)Länder bieten komplexere Auswertungswerkzeuge an, die auf Fragen des Vollzugs bodenkundlicher Gesetzgebungen oder der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung zugeschnitten sind. Für benutzerdefinierte Flächen in Nordrhein-Westfalen, Tschechien, Norwegen oder Schweden kann beispielsweise der Bewässerungs- oder Kalkungsbedarf, das Erosionsrisiko oder das bewirtschaftungsbedingte Humusdefizit berechnet werden.

Empfehlungen für die Schweiz Durch den Einblick in die verschiedenen Kartierungsprojekte und die Übersicht der europäischen BIS können für die Schweiz im Hinblick auf die Beschaffung der fehlenden Bodeninformation folgende Schlüsse gezogen werden:

Flächendeckende, multifunktionale, detaillierte Bodenbeurteilung

- Für einen einheitlichen Vollzug von bodenrelevanten gesetzlichen Vorgaben wird auch in anderen europäischen Ländern eine homogene, flächendeckende Bodeninformation angestrebt. Die Nachfrage nach landesweiten Bodendaten in der Schweiz ist damit kein Einzelfall.
- Die kleinräumigen Besitzverhältnisse in der Schweiz und der hohe Nutzen einer Detailkartierung rechtfertigen die Investition in detaillierte Bodeninformation. Die öffentlich einsehbaren Vollzugswerkzeuge in Tschechien, der Slowakei oder Norwegen verdeutlichen den gewinnbringenden Einsatz von Bodeninformation beispielsweise zur Erosionsreduktion und zur Verminderung von Stickstoffeinträgen in Gewässern.
- Die multifunktionale Charakterisierung der Böden mit dem Ziel breiter Anwendungsmöglichkeiten ist in Europa Standard. Wird die Aufnahme von Bodeninformation auf eine Problematik (z. B. Bestimmung Fruchtfolgeflächen, Abschätzung Bewässerungsbedarf) beschränkt, verringert dies den Aufwand nur wenig. Der Standard-Datensatz der FAL24⁺-Kartierungsrichtlinien ist entsprechend den Nutzerbedürfnissen zu ergänzen.

Organisation einer Bodenkartierung

- Die Erhebung von Bodeninformation in Europa wird primär von der öffentlichen Hand finanziert. Dies unterstreicht, dass Bodendaten Grundlagendaten sind, deren Beschaffung von öffentlichem Interesse ist.
- In Europa sind für Bodenkartierungen Universitäten, Forschungsanstalten oder öffentlich-rechtliche Kartierungsdienste verantwortlich. Bodeninformation wird auf nationaler Ebene erhoben, ausser die föderalen politischen Einheiten erstrecken sich wie in Deutschland über beträchtliche Flächen. Aufgrund der im Vergleich kleinen Fläche der Kantone ist eine nationale Stelle (Kompetenzzentrum) zur Erneuerung und laufenden Optimierung der Kartiermethodik und zur Definition von Methoden und Normen einzusetzen. Private Auftragnehmer führen durch diese zentrale Stelle koordinierte klar umrissene Teilprojekte aus.
- Während der Laufzeit der Bodenkartierungen wurde in praktisch allen betrachteten Projekten methodische Optimierungen zur Vereinfachung der Arbeitsabläufe, zur Reduktion von Fehlern oder zur Erhöhung der Flächeneffizienz durchgeführt. Durch ein zentrales Kompetenzzentrum kann eine landesweit einheitliche und vollzugstaugliche Bodeninformation sichergestellt und bestmöglich von Innovationen zur Verbesserung des Kartierungsprozesses profitiert werden.

Methodische Aspekte

- Ob in den betrachteten Projekten konventionell kartiert oder Bodenmodellierung verwendet wurde, hing meist nicht von rein fachlichen, sondern eher von organisatorischen, personellen oder finanziellen Aspekten ab. Aufgrund der vorliegenden Studie kann keine Empfehlung über die einzusetzende Methode gemacht werden.
- Die Überprüfung der Genauigkeit einer zeitgemässen konventionellen Bodenkarte nach FAL24⁺-Standard ist für den direkten Vergleich mit einer Bodenmodellierung notwendig

und ist für die weitere Methodendiskussion unerlässlich. Sofern die Genauigkeiten beider Ansätze oder einer Kombination davon in derselben Grössenordnung liegen, können für die Wahl der Methode andere Aspekte (Reproduzierbarkeit, Flächeneffizienz, Kosten) berücksichtigt werden.

- Die direkte digitale Datenerfassung im Feld wurde in mindestens vier europäischen Kartierungsprojekten erfolgreich eingesetzt. Aufgrund der deutlichen Verbesserung der Datenqualität sollte sie auch in Schweizer Kartierungen unabhängig von der eingesetzten Methode angestrebt werden.
- Zahlreiche Länder haben Archivbodendaten für die Aktualisierung oder die Zusammenführung inhomogener Bodenkarten gewinnbringend verwendet. Dementsprechend ist die Digitalisierung und Harmonisierung von Archivbodendaten in der Schweiz weiterzuerfolgen. Zudem sind Daten von aktuellen Kartierungen oder Forschungsprojekten möglichst vollständig zentral zu sichern und für spätere Auswertungen oder Interpretationen bereit zu halten.
- Die Qualitätssicherung in den betrachteten Kartierungsprojekten beschränkt sich meist auf formelle Datenkontrollen. Besonders wichtig für ein homogenes Datenprodukt sind klare methodische Anweisungen für sämtliche Arbeiten und eine umfassende inhaltliche Qualitätssicherung.

Schweizer Bodeninformationsplattform

- Zur Erhöhung der Sichtbarkeit und Relevanz von Bodendaten ist ein zentrale Bodeninformationsplattform anzustreben. Diese Plattform bietet analog zur Bodeninformationsplattform von Grossbritannien einen zentralen Einstieg zu den vorhandenen Daten mit Beschreibungen über die verwendeten Methoden, Dateneignern und Nutzungslizenzen. Der Web-Auftritt der Bodeninformationsplattform sollte mit einer zentralen Datenservicestelle verbunden sein, da Bodendaten komplex sind und Endnutzerinnen und -nutzer meist interpretierte Aufbereitungen der ursprünglichen kartierten Bodendaten benötigen.
- Die BIS in Europa stellen Bodendaten grösstenteils frei und ohne Zugangsbarrieren allen zur Verfügung. Sofern Bodendaten keine schutzwürdigen Interessen von Personen betreffen, sollten diese frei zugänglich sein.
- Durch Laien erhobene Bodeninformation (*Citizen Science*) erreicht voraussichtlich nicht die benötigte Datenqualität, um in Bodenkartierungen verwendet zu werden. *Citizen Science* könnte jedoch zur Bewusstseinsbildung zum Thema Boden eingesetzt werden.

1 Hintergrund

In der Schweiz liegen nur für einen kleinen Teil der Landesfläche räumlich hochaufgelöste Bodendaten vor (Keller et al., 2018). Der sehr begrenzten Verfügbarkeit steht eine grosse Nachfrage nach Bodendaten in zahlreichen Fachbereichen gegenüber (Knecht et al., 2017). Die Methodik zur Erzeugung von Bodenkartierungen wurde in der Schweiz basierend auf der Kartieranleitung von Brunner et al. (1997) laufend weiterentwickelt (FAL24⁺-Standard, AfUSO, 2014). Trotzdem liegen methodische Lücken vor, die mit der geplanten Revision der Klassifikation der Böden der Schweiz (KLABS, BGS, 2010) und der Kartieranleitung geschlossen werden sollen (Weisskopf und Zihlmann, 2017).

Keine der bisherigen Studien und Berichte, die sich mit der methodischen Entwicklung, der Verwendung von Bodeninformation oder der Beschaffung der fehlenden Bodeninformation in der Schweiz befasst hat (Laustela et al., 2010; Tobias, 2012; Borer und Knecht, 2014; Knecht et al., 2017; Carizzoni et al., 2017; Weisskopf und Zihlmann, 2017), hat bisher umfassend über Entwicklungen zur Generierung von Bodeninformation im Ausland berichtet. Einzig Keller (2013) hat eine Übersicht einiger nationaler und regionaler Bodeninformationssysteme in Europa erstellt.

Vor dem Hintergrund kürzlich abgeschlossener Forschungsarbeiten des Nationalen Forschungsprogramms NFP 68 "Ressource Boden" (Keller et al., 2018) und der geplanten Revision der KLABS und der Kartieranleitung soll die vorliegende Fokusstudie eine Übersicht der aktuellen Entwicklungen in (digitaler) Bodenkartierung und im Aufbau räumlicher Bodeninformationssysteme (BIS) im europäischen Ausland bieten. Das vorliegende Dokument stellt den Schlussbericht der Fokusstudie *"Review of soil information systems and (digital) soil mapping activities in Europe to foster soil mapping in Switzerland"* dar. Nachfolgend werden in einem ersten Schritt die Bedürfnisse nach räumlichen Bodendaten in der Schweiz zusammengefasst und darauf basierend die Ziele dieser Fokusstudie eingegrenzt. Anschliessend wird in Kapitel 3 der aktuelle Stand der Bodenkartierung und die Verfügbarkeit von BIS beschrieben. In Kapitel 4 werden ausgewählte Kartierungen und BIS detaillierter vorgestellt und in Kapitel 5 Schlussfolgerungen für die Schweiz daraus gezogen. Die wichtigsten Begriffe sind in einem Glossar erklärt.

2 Nachfrage nach Bodendaten in der Schweiz

2.1 Zusammenfassung Bedürfnisse

2.1.1 Nutzergruppen

Laut der Bedürfnisabklärung von Knecht et al. (2017, siehe auch Tabelle 8 in Carizzoni et al. 2017) benötigen fast alle Forschungs- und Arbeitsgebiete, die sich im weiteren Sinne mit Boden befassen, Angaben über die räumliche Verteilung von Bodeneigenschaften oder -funktionen. Den dringlichsten Bedarf an Bodendaten ergibt sich bei Fragestellungen, welche die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen betreffen (z. B. Ertragspotential, Ausscheidung Fruchtfolgeflächen, Verdichtungsempfindlichkeit). Mit landwirtschaftlichen Fragen sind vor dem Hintergrund des Klimawandels (Trockenheit, Extremereignisse) zunehmend hydrologische Abklärungen verbunden.

Die Auffassung, dass die Erzeugung von räumlicher Bodeninformation kostenintensiv sei, ist unter Nutzerinnen verbreitet (Knecht et al., 2017). Möglicherweise ist dies ein Grund, weshalb Bodendaten in benötigter Genauigkeit nicht mit mehr Nachdruck gefordert werden. Aufgrund der heute fehlenden Daten und der antizipierten hohen Kosten für deren Erhebung werden teilweise Ersatzlösungen verwendet, wie die Verwendung von pflanzensoziologischen Informationen für die Gefahrenprävention in Schutzwäldern (Knecht et al., 2017).

2.1.2 Inhalt

Am häufigsten nachgefragt werden Bodeneigenschaften zum Wasserhaushalt und zur Wasserdurchlässigkeit wie die pflanzennutzbare Gründigkeit, die Bodenmächtigkeit und die Wasserhaushaltsgruppe. Zudem sind Angaben zur Korngrössenzusammensetzung in Ober- und Unterboden wichtig. Aus Knecht et al. (2017) wird jedoch deutlich, dass meist nicht Basisdaten einer Bodenkartierung nachgefragt werden. Von hauptsächlichem Interesse sind vielmehr daraus abgeleitete, für die Anwendung aufbereitete, allgemein verständliche Kartenprodukte. Konkret gewünscht werden abgeleitete Bodenfunktions- oder Anwenderkarten wie zu Hochwasserrückhaltevermögen, Bewässerungsbedürftigkeit oder Verdichtungsempfindlichkeit. Weit vorne auf der Prioritätenliste steht die Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit und Bodenqualität.

Teilweise übersteigen die Bedürfnisse die heute nach FAL24⁺-Standard erhobene Attributliste: Hydrologische Fragen verlangen beispielsweise Angaben zur (Makro-)Porosität, benötigt werden oft auch Angaben zum Boden als Lebensraum und zu dessen Biodiversität. Diese Daten werden heute kaum erhoben (Knecht et al., 2017; Carizzoni et al., 2017, Tabelle 4). Nach dem FAL24⁺-Flächenmodell beinhaltet die Bodenkarte Attribute für Ober- und Unterboden. Zur Beurteilung hydrologischer Fragestellungen sind zusätzliche Angaben der Bodenbeschaffenheit (z. B. Tiefenlage von stauende Schichten) im Unterboden notwendig (Carizzoni et al., 2017, Tab. 4). Das heute verwendete 2-Schichtmodell mit Angaben nur über Ober- und Unterboden stellt Informationen in der dritten Dimension nicht mit der benötigten Auflösung bereit. Neben der Bodentiefe spielt zunehmend auch die vierte, zeitliche Dimension für Bodendaten eine Rolle: Damit sollen beispielsweise langfristige Veränderungen abgeschätzt werden, welche für die Trinkwassergewinnung oder Waldbewirtschaftung oder die Entwicklung der Degradierung organischer Böden relevant sind (Knecht et al., 2017, Tabelle 7).

2.1.3 Bodendaten nach Landnutzung

Bodeninformation wird aufgrund des grossen Anteils an Ackerflächen im schweizerischen Mittelland stark nachgefragt (Landwirtschaft, Bewässerung, Gewässerschutz). Für die Raumplanung, den Tiefbau, Fragen des Bodenschutzes oder der Biodiversität ist Bodeninformation auch innerhalb des Siedlungsraums erforderlich.

Fragen zur Hydrologie, der Naturgefahrenprävention, zur Biodiversität und zum Klimaschutz benötigen zusätzlich Bodeninformation im Gebirge und im Wald, wenn auch teilweise der Detaillierungsgrad geringer sein kann. Die Forstwirtschaft hat ein Interesse an Bodendaten für die Waldfläche (Carizzoni et al., 2017, Tabelle 2 in).

2.1.4 Masstab und Ausdehnung

Die meisten Nutzergruppen benötigen einen hohen räumlichen Detaillierungsgrad der Bodeninformation insbesondere für das Schweizer Mittelland, um die variierenden Bodenverhältnisse für einzelne Parzellen charakterisieren zu können (Masstab zwischen 1:5 000 und 1:10 000, Tabelle 1). Seltener sind Informationen auf regionaler Ebene genügend (Masstab bis 1:25 000). Der grosse Bedarf an hochaufgelöster, zuverlässiger, parzellengenaue Information hängt stark damit zusammen, dass Boden Eigentum darstellt. Eigentumsrelevante Entscheide sind sorgfältig und auf einer soliden Basis zu treffen.

Die Information sollte einheitliche Aussage für die gesamte Fläche des betrachteten Gebiets erlauben. Die lückenhafte Abdeckung, wie sie heute vorhanden ist, verhindert die Beantwortung zahlreicher Fragestellungen und vermindert den Nutzen von Bodendaten deutlich. Die einzige flächendeckend vorhandene Information aus der Bodeneignungskarte 1:200 000 (FSO, 2000) ist hinsichtlich der inhaltlichen und räumlichen Auflösung nach übereinstimmender Ansicht aller Nutzer zu ungenau (Knecht et al., 2017). Die in diesem Masstab grossräumig abgegrenzten Einheiten (Polygone) beinhalten Bodengesellschaften anstelle von einzeln bezeichneten Bodentypen. Die Eigenschaften und Funktionen sind nur in groben Klassen angegeben und erlauben keine Differenzierung nach Bodentiefe.

Tabelle 1: Die bei Detailkartierungen im Masstab 1:5 000 verwendete Informationsdichte an direkten Bodenbeobachtungen beträgt ungefähr eine Bohrung pro 0.25 ha oder pro 1 cm² auf der Bodenkarte, sofern diese im Masstab 1:5 000 verwendet wird (heute in der Schweiz verwendeter FAL24⁺-Standard, AfUSO, 2014).

Darstellung Bodenkarte		1 cm ² auf der Bodenkarte entspricht im Gelände	
Masstab	Kleinst mögliches Polygon	Fläche	Seitenlänge Quadrat
1:5 000	1 cm ²	0.25 ha	50 m

Aus Knecht et al. (2017) wird keine deutliche regionale Differenzierung der Bedürfnisse in Bezug auf die Genauigkeit der Bodeninformation ersichtlich. Für die Berggebiete, Voralpen, Sömmerungsgebiete und Teile des Juras sind auch mittelmassstäbige Karten (1:25 000) zielführend (Keller et al., 2018). Klar ist hingegen, dass die Bedürfnisse nach Bodeninformation auch für Waldböden bestehen und dementsprechend nicht nur die Landwirtschaftsfläche kartiert werden sollte.

2.1.5 Art der Daten, nachgefragte Methode

Personen, die Bodendaten nutzen, kennen und verlangen primär das Datenformat (Polygone) und die Attribute von FAL24⁺, wie beispielsweise die Wasserhaushaltsgruppen (Knecht et al., 2017). Inwiefern Attribute in anderer Form (z. B. andere Klassierung, quantitative Angaben von Bodeneigenschaften) oder Bodenkarten in Form von kontinuierlichen Rastern anstelle von quasi-homogenen Einheiten als Polygone die Bedürfnisse der Nutzer befriedigen könnten, ist unklar. Nutzerinnen verfügen zumeist über keine Erfahrungen mit modellierten Bodendaten und stehen ihnen teilweise skeptisch gegenüber (Knecht et al., 2017). In der Schweiz wurden bisher nur wenige modellierte Datenprodukte erstellt (Nussbaum, 2017, Kap. 6).

Im Berggebiet sind aufgrund der ausgeprägten kleinräumigen Heterogenität der Böden angepasste, alternative Methoden gefragt, die lokal für den konkreten Fall zu entwickeln sind (Knecht et al., 2017)

2.1.6 Datenzugang, Datenverfügbarkeit

Der Datenzugang zu bereits vorhandener Bodeninformation wird von den Nutzerinnen als ungenügend wahrgenommen und verhindert weitergehende Anwendungen oder Nutzungen. Gewünscht wird eine öffentliche Datenverfügbarkeit (Knecht et al., 2017).

Ob Bodendaten verwendet würden, für die Nutzer zahlen müssten, wurde von Knecht et al. (2017) nicht erfragt.

2.2 Eingrenzung der Literaturstudie

2.2.1 Bodendatenerhebung, Kartierung

Aufgrund der Nutzerbedürfnisse in der Schweiz wurden europäischen Kartierungsprojekte mit den nachfolgenden Kriterien ausgewählt und beschrieben. Dabei konnte einer oder mehrere der folgenden Punkte auf die Kartierung zutreffen:

- Detaillierter/grosser Kartierungsmassstab (1:5 000 bis 1:10 000);
- multifunktionale Bodenbeurteilung und dementsprechend umfassende Charakterisierung aller Bodenschichten bis zum Ausgangsgestein (keine Einschränkung auf nur eine Endanwendung wie z. B. landwirtschaftliche Nutzungseignung);
- Verwendung von technischen Hilfsmittel bei der Feldaufnahme (z. B. Feldcomputer, Spektrometer);
- methodische Neuerungen wie der Einsatz von Bodenmodellierung;
- Kartierung von Böden im Gebirge;
- Kartierung von rasch degradierenden organischen Böden;
- Aktualisierung von Bodenkarten beispielsweise von organischen Böden;
- räumliche Priorisierung und Etappierung von Kartierungsprojekten, allenfalls mit unterschiedlichen Zielmassstäben je nach Prioritäten.

Neben inhaltlichen und methodischen Fragen sind für die Schweiz weiter organisatorische Eckdaten wie die Projektdauer, der Personal- oder Kostenaufwand, die Organisation einzelner Teilschritte und die Verantwortlichkeiten relevant.

2.2.2 Räumliche Bodeninformationssysteme (BIS)

Die räumlichen Bodeninformationssysteme (BIS) in Europa wurden nach ihrem konkreten Angebot inklusive Auswertungsmöglichkeiten für Endnutzerinnen und -nutzer aufgelistet und bei überdurchschnittlichem Informationsangebot oder Funktionalität im Detail dargestellt.

Nicht betrachtet wurde die technische Umsetzung (z. B. eingesetzte Softwarekomponenten) von BIS. Einerseits sollen sich (neu erhobene) Bodendaten in der Schweiz mit den bestehenden Werkzeugen wie Geodaten-Applikationen und -Kataloge der Kantone und des Bundes verarbeiten und verwalten lassen. Die konkrete technische Umsetzung wird sich dementsprechend an den existierenden Werkzeugen orientieren. Andererseits veralten die verwendeten Technologien zu rasch, um eine Auflistung zu rechtfertigen.



Abbildung 1: Übersicht der in dieser Studie betrachteten Länder (grau).

Dieser Bericht befasst sich nicht mit Untersuchungen, die in erster Linie auf die zeitlichen Veränderungen von Bodeneigenschaften oder auf Schadstoffeinträge fokussieren. Bodenbeobachtung und Umweltmonitoring mit Bodenbezug sind komplexe Aufgaben und die Berücksichtigung solcher Arbeiten hätte den Rahmen dieser Studie gesprengt.

2.3 Vorgehen bei der Recherche

Die in diesem Bericht berücksichtigten europäischen Länder (Abbildung 1) wurde aufgrund des Übersichtsberichts von Jones et al. (2005) ausgewählt. Die vorliegende Studie basiert auf Internetrecherchen, telefonisch und persönlich geführten Gesprächen und Email-Austausch. In den Verzeichnissen am Ende dieses Berichts befindet sich eine Liste der kontaktierten Personen. Relevante Webseiten wurden in die Literaturliste aufgenommen. Aufgrund der sehr kurzen Halbwertszeit von Internetlinks wurde Webseiten als PDF gesichert und liegen dem Autorenteam vor.

Ein Grossteil der für den vorliegenden Bericht relevanten Dokumente und Applikationen wurde ausschliesslich in der jeweiligen Landessprache publiziert ("graue" Literatur). Dies erschwerte das Auffinden der relevanten Webseiten und Dokumente erheblich. Deshalb kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein schlecht dokumentiertes Kartierungsprojekt oder ein BIS in einem Land unberücksichtigt blieb.

Waren erste Dokumente oder die verantwortliche Institution identifiziert, war die gesuchte Information mehrheitlich einfach zugänglich. Alle angefragten Personen gaben (teilweise mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung) bereitwillig Auskunft. Webseiten, Berichte und Web-Applikationen wurden mithilfe von *Google Translator* (<https://translate.google.com>) übersetzt. Die resultierenden Übersetzungen waren meist sehr gut verständlich, unabhän-

gig von der Ausgangssprache. Dennoch sind Missverständnisse und unscharfe Angaben durch diese maschinellen Übersetzungen und durch Verständigungsschwierigkeiten in den Gesprächen nicht auszuschliessen. Dazu kommt, dass bodenkundliche Begriffe von Land zu Land oft leicht unterschiedlich definiert sind.

Dieses Vorgehen erlaubte jedoch eine umfassende Übersicht über Bodenkartierungsprojekte und BIS in europäischen Ländern zu gewinnen, ohne dass die Länder nach den Sprachkenntnissen des Autorenteam oder der Ansprechpersonen im Zielland ausgewählt werden mussten.

Zuerst werden die Aktivitäten auf globaler und europäischer Ebene kurz dargestellt (Abschnitt 3.1). Anschliessend werden in Abschnitten 3.2, 3.3 und 3.4 der aktuelle Stand der Bodenkartierung, aktuelle Projekte und die Verfügbarkeit von BIS in Europa zusammengefasst. In Kapitel 4 werden Kartierungsprojekte oder die vorhandene Bodendaten-Infrastruktur von zehn Ländern bzw. Bundesländern etwas detaillierter erläutert. Kapitel 5 beinhaltet eine Zusammenfassung der Erkenntnisse und daraus abgeleitete Empfehlungen für die Bodenkartierung in der Schweiz.

3 Übersicht Bodeninformation in Europa

3.1 Globale und europaweite Aktivitäten

Die Arbeiten für eine erste globale Bodenkarte wurde von der *Food and Agriculture Organisation* der Vereinten Nationen (FAO) 1971 begonnen, und dann schrittweise mit verschiedenen Datenquellen erweitert (FAO, 2015). Im Rahmen der *Global Soil Partnership* (GSP) Initiative der FAO wird auf verschiedenen Ebenen der Zusammenschluss von nationalen räumlichen Bodeninformationssystemen (BIS) und Bodendatensätze vorangetrieben. Eines der fünf Handlungsfelder des GSP für eine nachhaltige Nutzung der Ressource Boden bildet die Erhebung von Bodeninformation und die Verbesserung der Datenverfügbarkeit. Zu diesem Zweck wurde unter dem Dach der GSP eine Plattform zur Koordination der nationalen BIS (*International Network of Soil Information Institutions*, INSII) geschaffen.

Eine Übersicht der global vorhandenen Bodendaten findet sich in Omuto und Nachtergaele (2013) und Hartemink et al. (2013). Der bisher weitaus am meisten benutzte Datensatz für Bodendaten auf globaler Skala ist die frei verfügbare *Harmonized World Soil Database* (HWSD, Fischer et al., 2012).

Flächendeckende globale Bodenkarten in einem aussagekräftigeren Maßstab werden aktuell durch zwei Initiativen erarbeitet: Die Arbeitsgruppe *GlobalSoilMap* der *International Union of Soil Science* (IUSS, internationale wissenschaftliche Gesellschaft für Bodenkunde) hat Spezifikationen für eine globale Bodenkarte erlassen (Arrouays et al., 2014). Zwölf Bodeneigenschaften sollen in sechs Bodentiefen (0–5, 5–15, 15–30, 30–60, 60–100 und 100–200 cm) durch Modellierung vorhergesagt werden: gesamte und pflanzenverfügbare Gründigkeit, organischer Kohlenstoffgehalt (C_{org}), pH, Sand-, Schluff- und Tongehalt, Skelettgehalt, effektive Kationenaustauschkapazität (KAK), Dichte der Feinerde (< 2 mm), Dichte des gesamten Bodens inkl. Skelett und Wasserrückhaltevermögen. Die räumliche Auflösung soll ein 100 m-Raster erreichen.

Diese Karten werden pro Land durch eine landeseigene Institution erstellt. Damit können nicht-öffentliche Bodenarchive und lokales Wissen in die Bodenmodellierung einfließen. Dänemark (Adhikari et al., 2012), Australien (Viscarra Rossel et al., 2015), Frankreich (Mulder et al., 2016a) und Chile (Padarian et al., 2017) haben Forschungsartikel über Arbeiten zur Erstellung der *GlobalSoilMap* für ihr Land publiziert. Die Karten der einzelnen Länder sollen schlussendlich zu einem Datenprodukt zusammengeführt werden. Wo keine *GlobalSoilMap*-Karten erstellt werden können, wird voraussichtlich mit *SoilGrids*, der zweiten globalen Kartierungsinitiative, ergänzt.

Das globale Kompetenzzentrum zu Bodeninformation *ISRIC – World Soil Information* (*International Soil Reference and Information Centre*) in den Niederlanden hat mit den *SoilGrids* flächendeckende globale Bodenkarten erstellt (Hengl et al., 2014, 2017). Mit 150 000 Bodenprofilen wurden Bodeneigenschaften mit einer Auflösung von 1×1 km und 250×250 m modelliert. Weiter wurden Karten der Bodentypen nach *World Reference Base* (WRB) und der US-Klassifikation (U. S. Soil Survey Division Staff, 1993) hergeleitet. Die globalen Karten von *SoilGrids* können über ein BIS (<https://soilgrids.org>) und die Smartphone-Applikation *SoilInfo App* betrachtet und heruntergeladen werden.

Auf der Ebene von Europa wird die Zusammenführung und Harmonisierung von Bodendaten durch das *European Soil Data Center* (ESDAC) am *Joint Research Center* (JRC) der Europäischen Kommission koordiniert (Panagos et al., 2012). Das ESDAC bietet umfangreiche Informationen zu Bodenkarten, Bodenprofilen und Bodeneigenschaften. Trotz der beachtlichen Metadatenbank zu Bodendaten bietet dieses Portal aber keine vollständige Übersicht zur Verfügbarkeit von Bodenkarten in den einzelnen Ländern oder zu den vorhandenen BIS.

3.2 Verfügbarkeit von Bodeninformation in Europa

In den betrachteten Ländern Europas sind Bodenkarten in sehr unterschiedlichem Detaillierungsgrad vorhanden (Abbildung 2). Während einige Länder landesweit nur über eine Übersichtskarte (Massstab 1:1 Mio.) verfügen, haben andere sehr detaillierte Bodenkarten (Massstab 1:10 000) für nahezu die gesamte Landesfläche.

Die detailliertesten landesweiten Bodenkarten wurden in Staaten des ehemaligen Ostblocks erstellt, wo mehrheitlich in den Jahren 1950–1990 Bodenkarten aufgenommen wurden (Jones et al., 2005). Fast alle Länder verfügen über Bodenkarten in mittleren oder sogar grossen Massstäben. Eine Ausnahme bildet Polen (312 680 km²), wo bis heute nur wenige Bodendaten vorliegen. Rumänien verfügt über Karten im Massstab 1:50'000 für ausgedehnte Gebiete. Auch in Litauen (65 300 km²) wurden Detailbodenkarten (1:5 000–1:10 000) für die landwirtschaftlichen Betriebe erstellt. Ab den frühen 70er-Jahren wurden die Böden der Staaten des damaligen Jugoslawien im Massstab 1:50 000 kartiert, wobei Slowenien (20 270 km²) die Kartierung mit 1:25'000 genauer fertiggestellt hat. In Westeuropa führten Belgien (30 530 km²) und Österreich (83 880 km²) eine flächendeckende Kartierung im Massstab 1:20 000 bzw. 1:25 000 in den 80er-Jahren durch. Mit Ausnahme von Deutschland (357 390 km²) und den Niederlanden (41 548 km²) mit 1:50 000-Karten gibt es in den anderen Ländern Westeuropas keine flächendeckenden mittel- oder grossmassstäbigen Karten.

Vor allem grössere europäische Länder haben Bodenkartierungen im mittleren Massstab für Teilregionen aber nicht flächendeckend durchgeführt. Kleinere Länder wie Dänemark (42 920 km²), die Niederlande, Belgien oder Österreich oder Regionen (Bundesländer) mit hoher Siedlungsdichte und begrenzten Landwirtschaftsflächen haben meist die landwirtschaftlich genutzten Böden im mittleren Massstab oder genauer kartiert. Verglichen mit diesen Ländern stellt die Schweiz (41 290 km²) eine Ausnahme dar: Wir verfügen bei weitem nicht über einen vergleichbaren Informationsstand über die räumliche Verbreitung und die Eigenschaften der Böden.

Für Schweden, Norwegen und Spanien liegt für das ganze Land nur die grobe Übersichtskarte der europäischen Bodendatenbank im Massstab 1:1 Mio. vor (Omuto und Nachtergaele, 2013).

Ein anderes Bild zeigt sich auf Stufe der Regionen (Bundesländer, Distrikte). Praktisch alle Länder mit Karten im mittleren und kleinen Massstabsbereich verfügen regional oder für bestimmte Landnutzungen (vor allem für Agrarflächen) über genauere Karten. In Frankreich beispielsweise wurden gezielt Regionen für genauere Kartierungen ausgewählt (Massstab 1:100 000 bis 1:25 000). Auch in Deutschland verfassten einzelne Bundesländer genauere Kartenwerke, beispielsweise Nordrhein-Westfalen (1:5 000, Abschnitt 4.1) oder Bayern (1:25 000, Abschnitt 4.2).

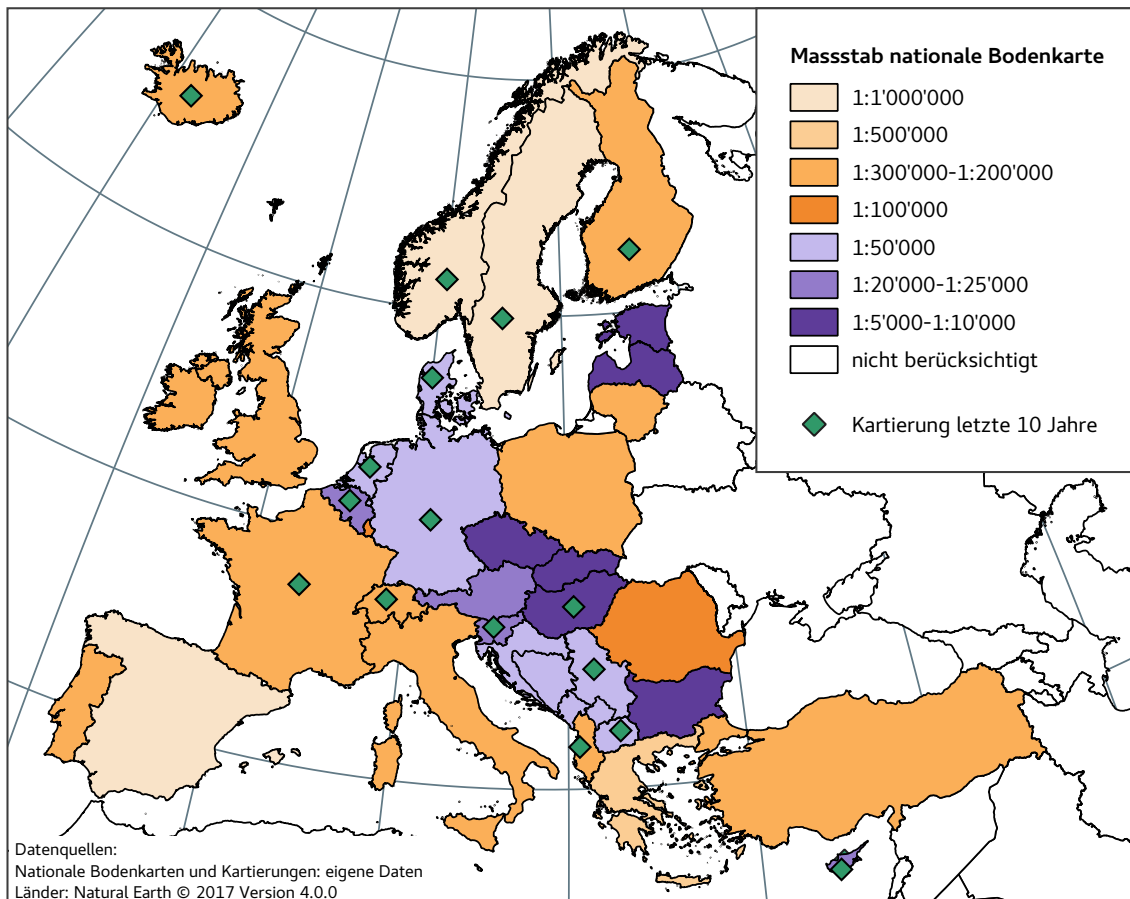


Abbildung 2: Stand Bodenkartierung in der Europa und Kartierungsaktivitäten in den letzten 10 Jahren (grüne Rhomben). Dargestellt ist der genaueste Masstab der Bodenkarte, welche landesweit vorliegt (Abdeckung > 70 % der Landesfläche).

3.3 Aktuelle Bodenkartierungen in Europa

3.3.1 Vorgehen und Abgrenzung

In diesem Abschnitt werden aktuelle Bodenkartierungen zusammengefasst. Berücksichtigt wurden laufende Kartierungen oder Kartierungen, die ungefähr während der letzten zehn Jahre abgeschlossen wurden. Ältere Arbeiten wurden nicht berücksichtigt, da diese möglicherweise nicht dem neusten Stand der Methodik entsprechen und nicht von aktuellen technischen Entwicklungen profitieren konnten.

Unter Kartierung wurde “die Erstellung einer neuen Karte mit bodenkundlichem Inhalt mit dem Ziel einer Endanwendung” verstanden. Forschungsarbeiten wurden nicht berücksichtigt, ebenso wenig reine Digitalisierungsarbeiten, die keine neuen Inhalte schufen. Andererseits wurden der Vollständigkeit halber bedeutende Feldkampagnen zur Gewinnung von Punktdaten einbezogen, auch wenn diese nicht zu eigentlichen Karten führten (z. B. Untersuchungen von Moorböden auf Transekten in Finnland und Grossbritannien).

Von 16 der betrachteten Ländern sind Kartierungsaktivitäten bekannt (Abbildung 2). Tabelle A1 bietet pro Projekt eine Kurzbeschreibung und Tabelle 2 gibt eine Übersicht der Eckdaten der Projekte. Die Projekte der Bundesländer Nordrhein-Westfalen und Bayern, von Norwegen, Schweden, Albanien und den Niederlanden werden in den Abschnitten 4.1 bis 4.6 etwas detaillierter vorgestellt.

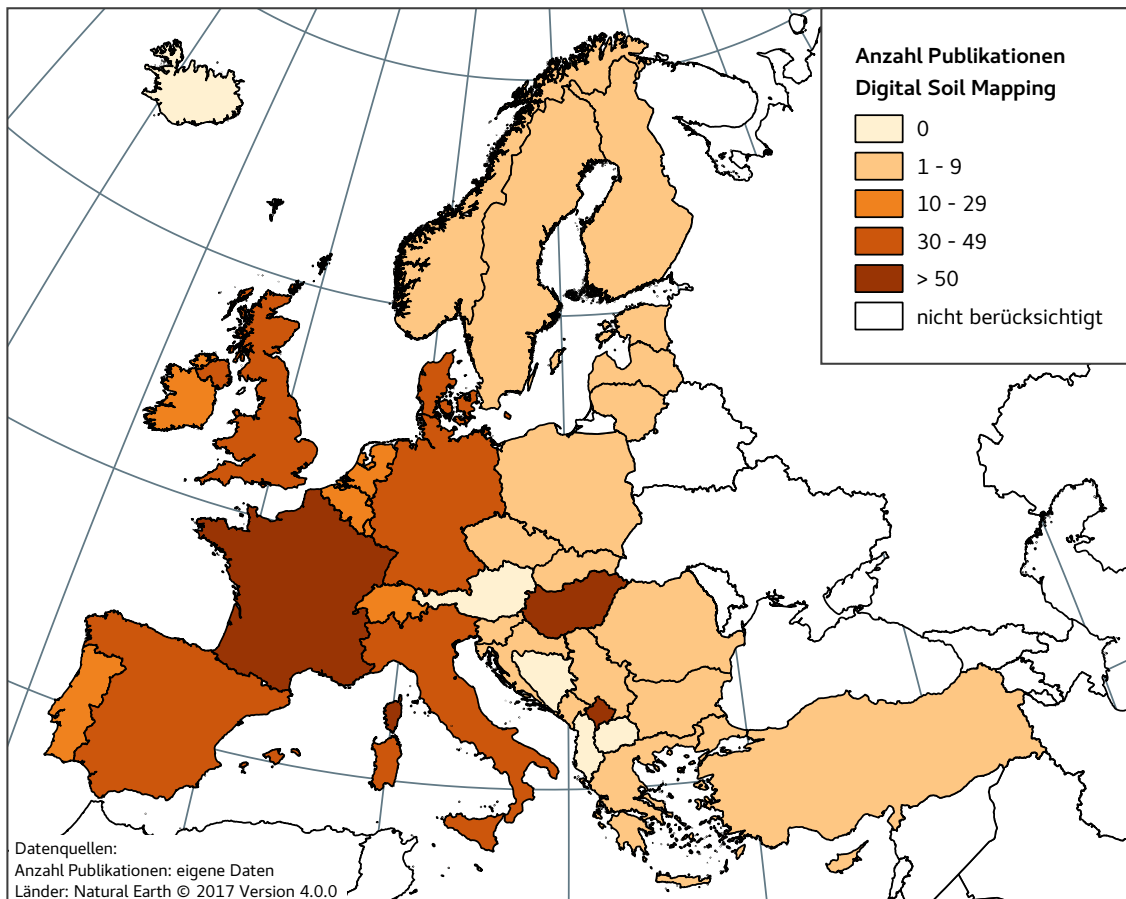


Abbildung 3: Anzahl Ergebnisse bei Google Scholar (<https://scholar.google.ch>) für Suchanfragen mit *digital soil mapping* im Artikeltext und dem Land im Artikeltitle als sehr grober Indikator für Bodenmodellierungsaktivitäten in der Forschung (Beispielsuchanfrage: *intitle:"Sweden OR Swedish" intext: "digital soil mapping"*, Anfragen 19.01.2018).

Bei Bodenmodellierungen war die Abgrenzung zur Forschung teilweise schwierig. Auch bei nationalen Arbeiten (z. B. Mulder et al., 2016a) ist unklar, ob der Transfer der Kartenprodukte in die Endanwendung gelingt. Beispielsweise hat eine studentische Arbeit die kürzlich digitalisierte Bodenkarte 1:50 000 für ganz Montenegro ausgewertet (Hot et al., 2016), als Vorarbeit für neue Felderhebungen zur Erstellung einer genaueren Bodenkarte. Ein konkretes Projekt mit klarem Vorgehen besteht jedoch noch nicht (Hot, pers. Mitt. 2018), weshalb diese Arbeit unberücksichtigt blieb. Um eine grobe Übersicht der Forschung im Bereich Bodenmodellierung zu erhalten, wurde für jedes Land die ungefähre Anzahl Forschungsartikel festgestellt (Abbildung 3).

3.3.2 Karteninhalt

Der Grossteil der Kartierungen hatte eine multifunktionale Bodenbeurteilung zum Ziel (*Mult.* in Tabelle 2). Zumeist wurden Bodentypen angesprochen oder Basisbodeneigenschaften erhoben, direkt Bodenfunktionen wie die landwirtschaftliche Nutzungseignung interpretiert oder Bodeneigenschaften für spätere Bodenfunktionsbewertungen kartiert. In den Niederlanden wurden nur die organischen Böden, basierend auf Angaben aus einer bestehenden Karte neu kartiert, aber auch dieses Kartenwerk fokussiert auf eine multifunktionale Bodenbeurteilung.

Tabelle 2: Eckdaten von Kartierungsaktivitäten in Europa für die letzten 10 Jahre. Da nicht alle Länder im Detail recherchiert wurden, sind die Angaben möglicherweise unvollständig (nbk: nicht bekannt).

Land	Massstab	Art ¹	Inhalt ²	Dauer [a] ³	Fläche [km ²]	Ziel-fläche ⁴	Total q^5	Dichte p^6	Kosten ⁷	Sekundär daten ⁸	Aus-führung ⁹	Hinweise
Albanien	1:10 000	kB	Mult.	21, 1	5 000	LN	nbk (A)	40 B:P 1:10	5 Pers.	BK, GK, DHM, VegK	D	
Wallonien (B)	1:20 000	H	Mult.	3	16 000	LN	nbk	100–250 (75 m-Raster)	nbk	nbk	Uni.	H mit Feldüberprüfung, Punktdichte ursprüngl. Karte, Dichte neue Erhebungen nicht bekannt.
Dänemark	1:20 000, 30 m	BM	Textur	4	43 000	LN, W	55 000 (A)	1.3	nbk	BK, BA, GK, DHM, Sat, LU, Fg	Uni.	Projektdauer eigene Schätzung
Bayern (D)	1:25 000	kB	Mult.	20	70 550	LN, W, G	nbk	2.1–4.2 B	193 (Flachland) 270 (Gebirge) + Digitalisierung Karte, + ca. 2-4 h Blattschnittkorrektur / km ²	BK, BA, BK, DHM, VegK	D, Priv.	Übersichtskartierung, Zuweisung Leitbodenformen durch Profile nicht in Kosten berücksichtigt (Abschnitt 4.2).
Niedersachsen (D)	1:50 000	kB	Mult.	15	47 619	LN, W, M	13 700 (A+N)	0.3	22 + Blattschnittkorrektur, + Digitalisierung, Nachbearbeitung	BK, BA, GK, DHM, VegK, Sat, anthropogene Böden	D, Priv.	Im Mittel je 4 interne, 4 externe Kartierfachleute
Nordrhein-Westf.(D)	1:5 000	kB	Mult.	>60, 1	20 500	LN, W	nbk	45–400 B 0.5–0.75 P	nbk	BK, BA, GK, Lokalwissen	D, Priv.	13 interne Kartierfachleute + teilw. externe Vergabe
Finnland	1:250 000	kB	sulfat-saure Böden	10, 1	nbk	sulfat-saure Böden	nbk	1 B:P 10:1– 20:1	nbk	BK, DHM, EM, Gam	Uni.	Karten-Vorstufe mit BM, Fläche nach Auftreten von sulfat-sauren Böden
Frankreich	1:250 000	kB	Mult.	nbk	643 800	LN, W, G	nbk	nbk	nbk	nbk	Uni.	
Island	1:250 000	kB	Mult.	nbk	102 755	LN, W, G	80 (N) nbk (A)	nbk	nbk	nbk	Uni.	
Mazedonien	1:50 000	kB, BM	Mult.	2	25 710	LN, W, G	4300 (A)	0.25 P	nbk	BK, BA, GK, DHM, VegK, Klim	Uni.	kB für ca. 1 200 km ² , BM ganzes Land (25 710 km ²)

Tabelle 2: Eckdaten aktuelle Kartierungsaktivitäten in Europa (Forts.)

Land	Massstab	Art ¹	Inhalt ²	Dauer [a] ³	Fläche [km ²]	Ziel- fläche ⁴	Total q^5	Dichte p^6	Kosten ⁷	Sekundär- daten ⁸	Aus- führung ⁹	Hinweise
Niederlande	1:50 000	BM	Mult.	6	3 850	organ. Böden	29 000 (A) 5 000 (N)	8–10 (total), 0.5–2 (N)	330–370	BK, BA, GK, DHM, LU	Uni.	Aktualisierung bestehende Karte, Validierung DSM
Norwegen	~1:20 000	kB	Mult.	>30, 1	>5 400	LW	2 000 (N)	nbk	5 360 mit 7 Pers. + 18–19 für Feldsaison	BK, GK, DHM, LB	Uni.	Punktdichte nicht standardisiert, laufend seit mehr als 30 a, jährlich +100 km ² J.
Schweden	50 m	BM	Textur	~8	25 000	A	2 400 (A) 12 600 (N)	1 B	65 + 2 Projektleiterin- nen + BM	BA, GK, DHM, Gam	D, Priv. (Feld), Uni. (BM)	Oberboden-Ton- und Sandgehalt (keine Kartierung der ebenfalls erho- benen Nährstoffe), Feldaufnahmen während 2 Jahren
Schweiz	1:5 000	kB	Mult.	—	—	LN, W	—	400 (50 m-Raster) B:P 60:1	39'000–55'000	BK, GK, DHM, LB	(D), Priv.	Angaben zum Ver- gleich nach (AfU- SO, 2014), Kosten nach (Carizzoni et al., 2017)
Serbien	1:50 000	kB, H	Mult.	4	7 000	LN, W	3 000 (A) nbk (N)	nbk	nbk	BK, BA, nbk	D	Legendenharmonisierung bestehender Karten
Slowenien	1:250 000	kB	Mult.	nbk	20 273	LN, W, G	nbk (A)	nbk	nbk	BK	Uni.	Generalisierung aus bestehenden 1:25 000-Karten
Ungarn	1:25 000– 1:50 000 100 m	H, BM	Mult.	nbk	93 036	LN, W, G	55 000 W, 5 170 LN (A), 0 (N)	nbk	nbk	BK, BA, GK, DHM, Sat, Klim	Uni.	
Zypern	1:25 000	BM	Mult.	nbk	5 979	LN, W, G	nbk	nbk	nbk	BK, DK, DHM, Klim	Uni.	

¹ Art der Methode, BM: Bodenmodellierung, kB: konventionelle Bodenkartierung, H: Harmonisierung/Neuinterpretation vorhandener Daten.

² Mult: Multifunktionale Bodenbeurteilung (keine Einschränkung auf wenige Bodeneigenschaften).

³ l: laufendes Kartierungsprojekt, Projektdauer bis zum geplanten Abschluss (geschätzt)

⁴ Zielfläche Landnutzung, A: Ackerfläche, LN: Landwirtschaftliche Nutzfläche, W: Wald, G: Bergregionen, M: Marschen.

⁵ Anzahl Standorte q , von welchen Archivdaten (A) verwendet bzw. neu (N) erhoben wurden, z. T. unterschieden nach Zielfläche, siehe Fussnote 4.

⁶ Anzahl Punkte p pro km², B: (Hand-)Bohrung, P: Profilgrube, B:P: Verhältnis Anzahl Bohrungen zu Profilen, wo nicht angegeben B oder P unklar

⁷ Kosten CHF pro km² (Umrechnung mit Jahresmittelkursen nach ESTV (2018), Pers: ungefähre Anzahl Kartierfachleute, +: nicht in Kosten inbegriffene Arbeiten.

⁸ Sekundärdaten, BK: bereits vorhandene Bodenkarten, meist nicht flächendeckend oder in einem anderen Massstab, BA: Punkdaten aus Bodenarchiv, GK: geologische Karten inkl. hydrogeolog. Karten, DHM: digitales Höhenmodell, VegK: Vegetationskarten wie forstliche Standortskarten, Fg: Feuchtgebiete, Sat: Satellitenbilder, LB: Luftbilder, Klim: Klimakarten, LU: Landnutzung, EM: elektromagnetische Aufnahmen, Gam: Gamma-Spektrometernaufnahmen.

⁹ Verantwortlichkeit und Ausführung der Arbeiten, D: Geologischer oder bodenkundlicher Dienst einer staatlichen Behörde, Uni.: Universität oder Forschungsinstitut, Priv: Vergabe von Teilen der Arbeit an privatwirtschaftliche Auftragnehmer.

Einzig in Dänemark und Schweden wurden nur für die Bodentextur Karten erstellt, wobei es in Dänemark dazu Archivdaten verwendet wurden. Die Kartierung in Finnland hatte zum Ziel, anhand des Vorhandenseins eines diagnostischen Horizonts die Verbreitung von sulfatsauren Böden zu kartieren. Zwei weitere Feldkampagnen in Finnland und Grossbritannien befassten sich ausschliesslich mit (degradierte) Mooren, es handelt sich jedoch nicht um eigentliche Kartierungen, da keine Karten erstellt oder abgeleitet wurden (Tabelle A1 im Anhang).

Alle Kartierungsprojekte ausser dasjenige in Schweden berücksichtigen den Unterboden, zumeist bis zum Ausgangsgestein. In Schweden wurden Oberbodenproben aus 0–20 cm entnommen. Da sich das Projekt auf den Oberboden und auf wenige Attribute beschränkte, konnte die Probenahme auf 90 % der schwedischen Ackerfläche innerhalb von nur zwei Jahren durchgeführt werden.

3.3.3 Organisation und Dauer

Die Mehrheit der Bodenkarten wurde durch Universitäten oder Forschungsinstitute erstellt (12 von 16). Einzig in Albanien und Serbien wurden die Kartierungen rein durch dem Landwirtschaftsministerium angehörende Stellen durchgeführt.

In Deutschland und Schweden arbeiten Ämter mit privaten Auftragnehmern zusammen. In Deutschland sind zudem Fachkräfte der auftraggebenden Ämter in der Kartierung tätig. In Schweden waren private Auftragnehmer mit Beprobungen und Laboranalysen beauftragt. Die Bodenmodellierung wurde hingegen durch eine Universität ausgeführt.

Die Dauer der Projekte ist sehr unterschiedlich und teilweise sehr lang. In Norwegen läuft die Kartierung seit 30 Jahren, in Bayern seit 20 und in Albanien werden beim Abschluss 21 Jahre vergangen sein. Die Projektdauer für Harmonisierungsarbeiten oder Bodenmodellierungen ist deutlich kürzer, da diese meist nicht im gleichen Umfang wie konventionelle Kartierungen auf Feldarbeiten basieren. Eine Ausnahme bildet Schweden, wo innerhalb von 2 Jahren 12 600 Standorte beprobt wurden.

3.3.4 Masstab und Ausdehnung

Der Detaillierungsgrad der neu erstellten Karten ist mit Masstäben von 1:5 000 bis 1:250 000 sehr unterschiedlich. Mit dem für die Schweiz interessanten detaillierten Masstab kartieren Albanien (1:10 000) und Nordrhein-Westfalen (1:5 000). Die meisten Arbeiten kartierten im mittleren Masstabsbereich von 1:25 000 bis 1:50 000. Flächendeckende Neuerhebungen für Karten im Masstab 1:250 000 wurden in Frankreich und Island kürzlich abgeschlossen. In Finnland wurden die sulfatsauren Böden ebenfalls im Masstab 1:250 000 kartiert. In Slowenien wurde aus der 1:25 000-Karte eine generalisierte Karte im Masstab 1:250 000 hergestellt.

Für die modellierte Bodenkarte von Schweden wurde kein Masstab angegeben, die Vorhersagen wurden für eine Rasterweite von 50 m berechnet. Mit den Referenzangaben in Tabelle 3 würde diese Kartierung mit einer Punktdichte von einer Bohrung pro km² als Projekt im Masstab 1:100 000 oder etwas grösser eingeordnet. Diese Punktdichte gilt jedoch für konventionelle Kartierungen und die Übertragung auf Bodenmodellierungen ist nicht direkt gegeben. Aufgrund der angegebenen Validierungsgenauigkeit und der Verwendung der Karte liegt ihr Masstab eher im mittleren Bereich (geschätzt 1:25 000, Abschnitt 4.5).

Die verwendete Dichte der Bohrungen und Profile ist bei ähnlichem Masstab recht unterschiedlich. Ausser für Albanien scheint keine Beziehung zu den Referenzangaben aus Legros

Tabelle 3: Faustregel für räumliche Dichte von Bodenprofilen oder Bohrungen für konventionelle Kartierungen unter der Annahme von einer Beobachtung pro cm^2 auf der Karte. Die Dichte ist abhängig von der resultierenden “Kartierungseffizienz”, welche je nach vorhandenen Dokumenten/Daten (topographische und geologische Karten, Luftbilder), der Erfahrung der Kartierperson oder der Komplexität der Landschaft variiert (nach Legros, 1996, S. 51).

Massstab	1 cm auf Karte	1 cm^2 auf Karte	Punktdichte [p/km^2]
1:5 000	50 m	0.0025 km^2 (0.25 ha)	160–400
1:10 000	100 m	0.01 km^2 (1 ha)	40–100
1:20 000	200 m	0.04 km^2 (4 ha)	10–25
1:25 000	250 m	0.0625 km^2 (6.25 ha)	6.4–16
1:50 000	500 m	0.25 km^2 (25 ha)	1.6–4
1:100 000	1 km	1 km^2 (100 ha)	0.4–1
1:250 000	2.5 km	6.25 km^2 (625 ha)	0.064–0.16

(1996, Tabelle 3) zu bestehen. In Wallonien, Finnland und den Niederlanden wäre aufgrund der Referenz die Karte genauer als der angegebene Massstab, bei allen anderen Kartierungsprojekten, von welchen die Punktdichte bekannt ist, wäre die Karte weniger genau.

Die mit den neuen Bodenkarten abgedeckten Flächen sind zum Teil sehr gross (z. B. Frankreich mit 644 000 km^2 oder Island mit 103 000 km^2). Im Massstab 1:250 000 wurden für 767 000 km^2 neue Karten erstellt oder bestehende aktualisiert. Im mittleren Massstab 1:20 000–1:50 000 waren es 343 000 km^2 und mit hohem Detaillierungsgrad (1:5 000–1:10 000) wurden mit 20 500 km^2 eine deutlich kleinere Fläche neu kartiert.

3.3.5 Methode

Neue Kartierungen mit konventioneller Polygonabgrenzung wurden von Albanien (Abschnitt 4.6), Bayern (Abschnitt 4.2), Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen (Abschnitt 4.1), Finnland, Frankreich, Island, Norwegen (Abschnitt 4.3) und Serbien durchgeführt. Dabei spielten bereits vorhandene Karten oder Archivbodendaten wie die Bodenschätzungsdaten in Deutschland ebenfalls eine grosse Rolle. Die verwendete Methodik basierte auf nationalen Klassifikationssystemen oder einer an lokale Verhältnisse angepassten Klassifikation (Norwegen) und auf national oder pro Bundesland festgelegten Detailbestimmungen zur Vorgehensweisen (Einbezug Grundlagendaten, Konzeptkarte, Bohrdichte etc.).

Bei sechs der in Tabelle 2 aufgeführten Projekten wurden Karten (teilweise) durch Bodenmodellierung erstellt. In Dänemark wurde mit einem umfassenden Archivdatensatz Karten der Bodentextur durch Modellierung abgeleitet. In den Niederlanden wurden die veralteten organischen Bodeneinheiten einer bestehenden 1:50 000-Bodenkarte durch Bodenmodellierung aktualisiert, wobei 5 000 neue Erhebungen zur Kalibrierung des Torfabbaus durchgeführt wurden (Abschnitt 4.4). In Mazedonien wurde ein kombinierter Ansatz verwendet. Zuerst wurde die Bodenkarte 1:50 000 durch konventionelle Bodenkartierung für eine Fläche von 1 200 km^2 ergänzt, für die sie noch gefehlt hatte. Anschliessend wurden die inhomogenen 1:50 000-Kartenblätter durch Bodenmodellierung harmonisiert, um ein einheitliches Kartenwerk zu erstellen. Aus den auf schwedischen Ackerflächen auf einem 1 km-Raster erhobenen Oberbodentexturdaten wurde ebenfalls durch Bodenmodellierung eine Karte hergestellt (Abschnitt 4.5).

Die Harmonisierung, Neuinterpretation oder Generalisierung von bestehenden Bodendaten wurde in Wallonien, Serbien und Slowenien durch Experteninterpretation ohne statistische Modellierungen durchgeführt. In Wallonien und Serbien wurden zusätzlich neue Felderhebungen zur Verifikation und Ergänzung der Kartenwerke durchgeführt.

Insgesamt spielten bereits vorhandene Bodendaten in Form von Punktbeobachtungen oder Bodenkarten bei der Erstellung neuer Bodenkarten eine grosse Rolle. Bereits vorhandene Bodenkarten entsprachen dabei entweder nicht dem gewünschten Massstab, waren nicht flächendeckend verfügbar oder enthielten nicht den benötigten Inhalt. Bei neun der in Tabelle 2 aufgeführten 18 Kartierungsprojekten wurden Bodendaten aus dem Archiv. Dabei handelte es sich um Beschreibungen von Profilen oder Bohrungen, die nicht während des aktuellen Projekts erhoben wurden, aber trotzdem wertvolle Informationen beitrugen.

Bodenmodellierungen spielten überwiegend eine Rolle bei Kartenaktualisierungen (Niederlande), Harmonisierung inhomogener Kartenwerke (Ungarn, Mazedonien, Zypern) oder wurden eingesetzt, weil umfangreiche flächendeckende Bodendaten verfügbar waren (Dänemark). Eine Ausnahme bildet Schweden, wo die neuen Daten zwar nicht direkt mit der Absicht einer statistischen Bodenmodellierung erhoben wurden (Abschnitt 4.5), aber mit einem solchen Ansatz ausgewertet wurden.

3.3.6 Sekundärdaten

Praktisch alle Kartierungen verwendeten geologische Karten, bereits vorhandene Bodenkarten und Bodendaten und ein Höhenmodell als Zusatzinformationen zur Kartierung. Vegetationskarten wurden für Kartierungen in Deutschland und Albanien eingesetzt. Satelliten- und Luftbilder wurden mindestens in fünf der 18 Kartierungen unabhängig von der Methode verwendet, Klimadaten und Daten zur Landnutzung wurden hingegen nur für die Bodenmodellierung hinzugezogen.

Gamma-Spektroskopie-Daten wurden in Schweden und Finnland verwendet. Diese stammten jedoch aus anderen, teilweise viel älteren Erhebungen für geologische Projekte und wurden nicht extra für die Bodenkartierungen erhoben.

Seltener wurden Informationen über anthropogene Bodenveränderungen (Niedersachsen) oder Feuchtgebiete (Dänemark) sowie Wissen von Lokalpersonen über spezielle Bodenbildungsprozesse (Nordrhein-Westfalen) verwendet.

3.3.7 Beziehung Massstab, Projektdauer, kartierte Fläche, Umfang des Inhalts und Methode

Grundsätzlich würde man erwarten, dass mit einer Kartierung in grossem Massstab, eine kleinere Fläche erfasst wird oder das Projekt wesentlich länger dauert. Aus Tabelle 2 lässt sich kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Projektdauer, kartierter Fläche und Kartierungsmassstab finden. Grosse Flächen (Frankreich, Island) wurden eher im Übersichtsmassstab 1:250'000 kartiert. Ungarn, dessen Karte ebenfalls fast 100 000 km² abdeckt, wurde jedoch mit mittlerem Massstab kartiert. Ebenso scheint keine klare Beziehung zwischen der jährlich kartierten Fläche (Rate) und dem Massstab oder der Methode zu bestehen.

Einzig die Gesamtprojektdauer ist für Bodenmodellierungen, Harmonisierungen oder Generalisierungen kürzer. Wo mit einer bereits vorhandenen grossen Datenbasis gearbeitet werden konnte, waren die jährlich kartierten Flächen höher. Von den Bodenmodellierungen Ungarn

und Dänemark ist die genaue Projektdauer nicht bekannt. Wird diese auf 6 Jahre geschätzt (Dauer einer Dissertation mit Nachbearbeitungsphase) wurden pro Jahr für ca. 15 500 km² (1:25 000-1:50 000) und 7 200 km² (1:20 000) neue Bodeninformation erstellt. In Slowenien wurden pro Jahr für 3 400 km² Karte zu 1:250 000 generalisiert. Diese Projekte arbeiteten jedoch vollständig mit Archivdaten und haben keine neue Felddaten erhoben. In Wallonien wurde pro Jahr für 5 300 (1:20 000) die konventionelle Bodenkarten aktualisiert, wobei dort Felderhebungen durchgeführt wurden (Umfang nicht bekannt).

In Schweden wurden pro Jahr für 3 100 km² eine Karte mit Bodenmodellierung erstellt, dies mit einem Anteil an 84 % neu erhobenen Daten (Massstab geschätzt auf 1:25 000). Die Bodenmodellierungen in Schweden und den Niederlanden hatten trotz der 12 600 und 5 000 Neubeprobungen mit 6–8 Jahren relativ kurz gedauert. In Schweden wurde jedoch nur der Oberboden mit wenigen Attributen untersucht und in den Niederlanden handelte es sich um eine Aktualisierung einer umfangreichen Bodendatenbank. Albanien hatte auch mit konventioneller Methode eine recht hohe Kartierungseffizienz, dort wurden von fünf Personen im Durchschnitt pro Jahr für 238 km² Karten im Massstab 1:10 000 erstellt, obwohl praktisch keine Archivdaten vorhanden waren. In Norwegen, wo Archivdaten auch weitgehend fehlten, 7 Kartierungsfachleute und 18 zusätzlichen Feldkräften pro Jahr 180 km² (1:20 000).

3.4 Bodeninformationssysteme in Europa

3.4.1 Vorgehen und Abgrenzung

Nachfolgend wird eine Übersicht über nationale und teilweise auch regionale BIS gegeben. Unter einem BIS wird in dieser Studie eine über das Internet zugängliche Visualisierungs- oder Auswertungsapplikation verstanden, die vielfältige Informationen über die räumliche Verteilung der Bodenbeschaffenheit in Form von Karten bereit stellt. BIS sind damit nationale oder regionale Karten-Viewer oder Geoportale zum Thema Boden. Die Bodenbeschaffenheit kann dabei beschrieben werden durch Bodentypen, Eigenschaften, Bodenfunktionen oder anderen Anwendungsprodukten, welche aus Bodendaten und weiteren Informationen (z. B. Klima, Hangneigung) abgeleitet wurden. Obwohl die Funktionalität der BIS oder deren Inhalte teilweise sehr rudimentär waren, wurde keine Vorauswahl getroffen, da die lokale Bedeutung nicht abgeschätzt werden konnte. Auch die Abgrenzung zu Applikationen aus anderen Themengebieten mit Bodenbezug war manchmal schwierig (z. B. dänische Applikation für die Landwirtschaft, welche zum Thema Boden nur eine Bodentexturkarte enthält, Tabelle A2).

Im Prinzip umfassen Bodeninformationssysteme Datenbanken zur Verwaltung von (räumlichen) Bodendaten. Solche Datenbanken dienen aufgrund ihrer Komplexität und Lizenzbestimmungen aber häufig nur einer bestimmten eingeschränkten Nutzergruppe. Beispielsweise steht die schweizerische Bodendatenbank NABODAT heute den Kantonen zur Verfügung. Für Aussenstehende ist es schwierig den Umfang und die Bedeutung dieser Fachapplikationen abzuschätzen. Dementsprechend konnten Bodendatenbanken in den berücksichtigten Ländern nur schwer aufgefunden und deren Relevanz nicht einfach abgeschätzt werden, weshalb sie in diesem Bericht nicht aufgeführt sind. Grundsätzlich kann aber davon ausgegangen werden, dass ein Land mit einem BIS auch über eine Bodendatenbank zumindest für den nicht öffentlichen Gebrauch verfügt.

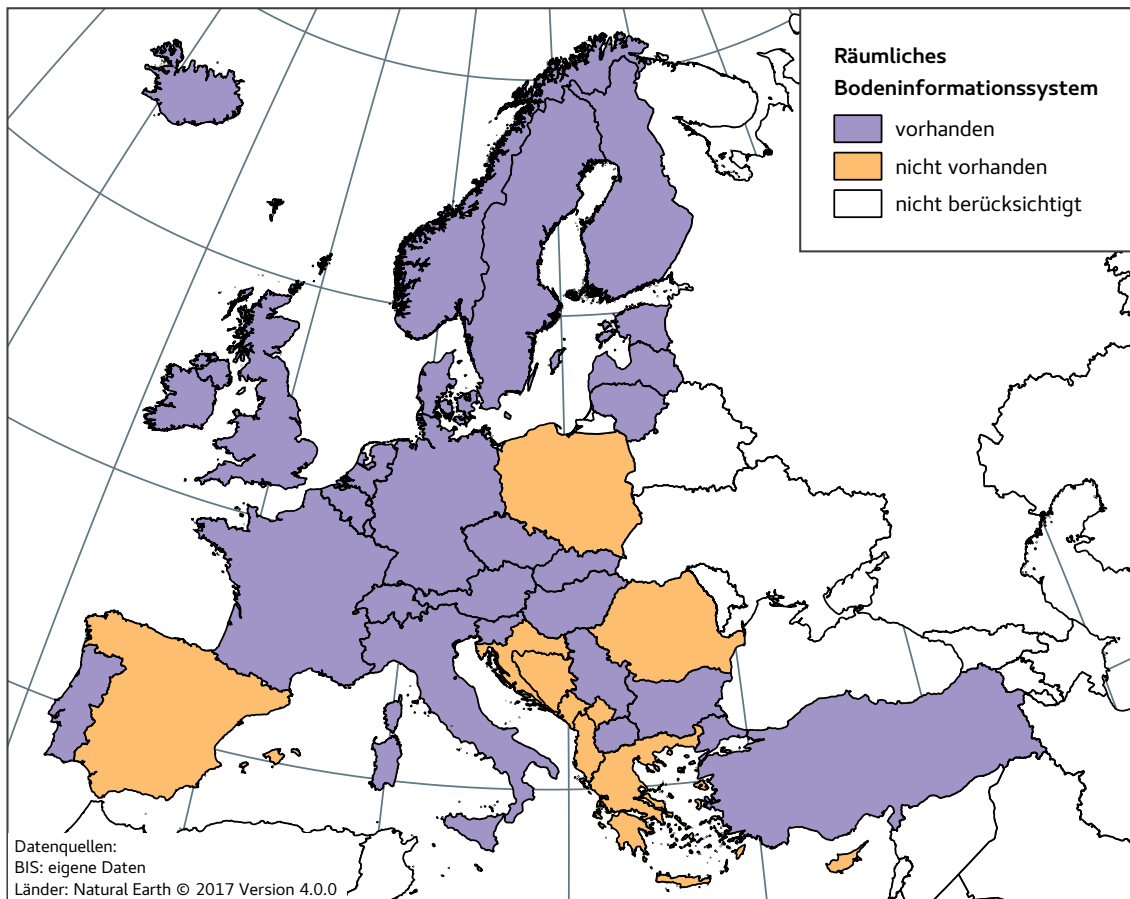


Abbildung 4: Zwei Drittel der untersuchten Länder verfügen über ein räumliches Bodeninformationssystem (digitaler Zugriff auf eine Bodenkarte). Die Webapplikationen hatten jedoch teilweise eine stark eingeschränkte Funktionalität. Ob die technische Umsetzung und der Inhalt (Masstab und dargestellte Bodenthemen) den lokalen Ansprüchen an Bodendaten genügen, bleibt offen.

3.4.2 Übersicht

Mehr als zwei Drittel der betrachteten Länder (26 von 38) verfügen über ein BIS (Abbildung 4, Tabelle 4). Tabelle A2 im Anhang fasst Inhalte der nationalen BIS zusammen und führt die verantwortlichen Institutionen auf. Für bedeutende regionale BIS wurde dieselbe Information zusammengestellt (Tabelle A3). Die regionalen BIS wurden aber nicht vollständig erfasst. Teilweise war kein Zugriff auf das BIS möglich, da auf Seite des Servers ein technisches Problem bestand (z. B. nicht funktionierende Links, fehlende Aktualisierung der Software; jeweils geprüft mit aktuellster Version verschiedener Browser). Der Inhalt solcher BIS wurde aufgrund anderer Quellen abgeschätzt oder konnte nicht erfasst werden.

Die Verfügbarkeiten von Bodendaten oder einem BIS sagen nichts darüber aus, wie weit ein BIS und dessen Inhalt den effektiven Nutzerbedürfnissen entsprechen oder ob für bestimmte Anwendungen die relevante Information fehlt. Für Länder, in welchen ein BIS fehlt, wird von bodenkundlichen Institutionen häufig darauf hingewiesen, für welche Fragestellungen ein BIS Informationen liefern könnte. Beispielsweise wären in Bosnien Herzegowina Bodendaten notwendig, um die Wiederaufnahme der landwirtschaftlichen Produktion zu planen und den Bodenschutz in den Bereichen Desertifikation, Versauerung, Verdichtung und Stickstoffauswaschung voranzubringen (Hadžiabdić et al., 2012).

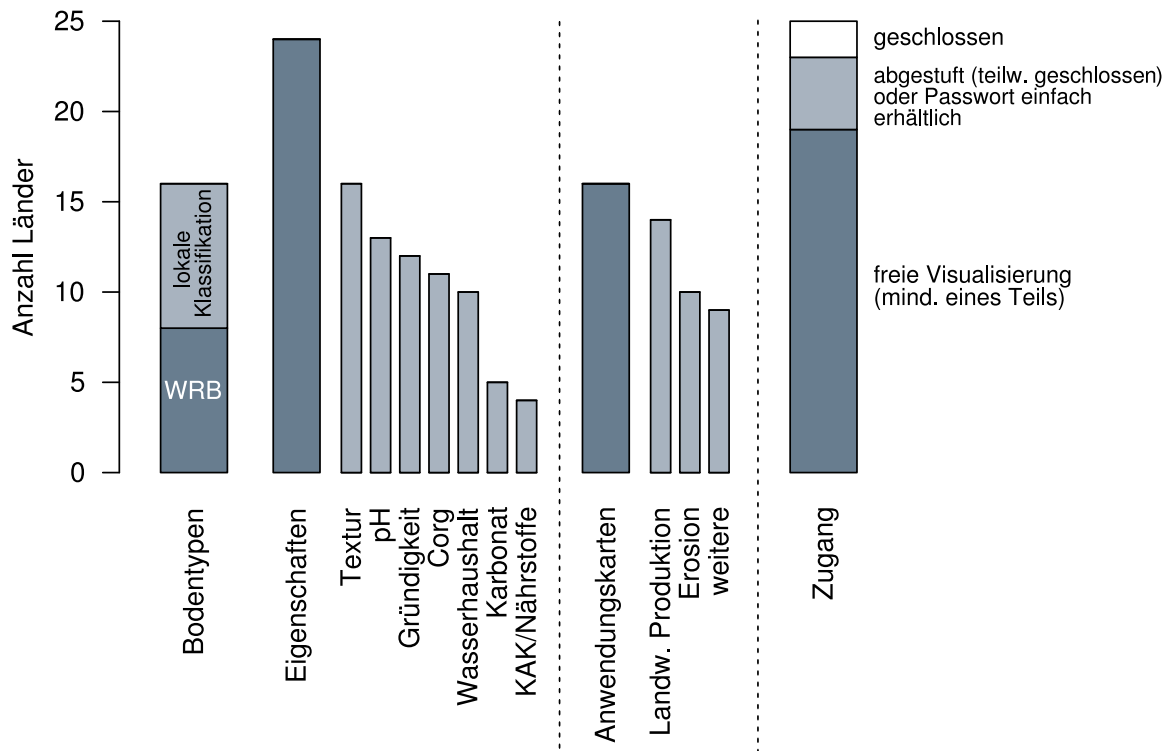


Abbildung 5: Übersicht der Inhalte der 26 betrachteten nationalen Bodeninformationssysteme (Tabelle A2). Eigenschaften: mind. eine Karte mit einer Basisbodeneigenschaft vorhanden, wobei die häufigsten separat aufgeführt sind (Textur bis Kationenaustauschkapazität [KAK]/Nährstoffe); Zugang: freie Visualisierung = grösster Teil der räumlichen Daten sind anzeigbar ohne Registrierung oder Passwort (teilweise werden jedoch Originaldaten oder detailliertere Daten verkauft oder nur auf Anfrage herausgegeben), Passwort einfach erhältlich = für die vorliegende Studie wurde der Zugriff ohne weiteres erteilt. (Profil- und Bohrungsdatenbanken sind in der Regel nicht öffentlich, Zugang meist erst nach Bestellung von Daten).

3.4.3 Inhalte

Alle BIS stellen Karten von Bodentypen, -gesellschaften oder -landschaften oder mindestens einer Basisbodeneigenschaft zu Verfügung (Abbildung 5, Tabelle 4). Neben Karten basieren auf der nationalen Bodenklassifikation werden bei der Hälfte der BIS auch solche nach der globalen Referenzbodenklassifikation *World Reference Base* (WRB, IUSS Working Group WRB, 2014) angeboten. In Slowenien wird beispielsweise in der englischen Version des Kartenviewers die Klassifikation nach WRB angezeigt.

Karten der Textur, des pH, der Gründigkeit, des C_{org}-Gehalts und über Eigenschaften, welche den Wasserhaushalt charakterisieren, werden am häufigsten bereitgestellt. Seltener sind Angaben zum Kalkgehalt, der Lagerungsdichte oder zu chemischen Kenngrößen wie Nährstoffe, Kationenaustauschkapazität (KAK) oder Schadstoffgehalte. Bodenbiologische Kenngrößen sind nur im britischen *UK Soil Observatory* mit groben Übersichtskarten zur Bodenbiodiversität enthalten.

Ein Viertel der betrachteten BIS führt die Lage der Bohrpunkte oder Profile und teilweise vollständige Punktaufnahmen als Kartenebenen. Durch Anklicken können Profilblätter und Analyseergebnisse visualisiert werden. Diese Punktinformationen wurden in einigen Fällen für die einfachere Vermittlung der Inhalte graphisch aufbereitet (Abbildungen 6 und 7).

Fast alle BIS enthalten anwendungsorientierte Karten, welche durch Interpretation der Bodenbasisdaten entstanden sind. Am häufigsten sind Angaben zur landwirtschaftlichen Nutzung

Tabelle 4: Übersicht der nationalen räumlichen Bodeninformationssysteme in Europa. Inhalte, Zugriff und Typ der betreibenden Institution.

Land	Masstab	LU ¹	Bodentypen/-gesellschaften	Bodentypen WRB	Gründigkeit	Ausgangsmaterial	Wasserhaushalt	Skelett	Textur	Lagerungsdichte	Kalkgehalt	pH	C _{org}	Nährstoffe, KAK	Bodenbiodiversität	Schadstoffe	Nutzungsseignung	Ertragspotential	Ertragseinschränkungen	Erosionsrisiko	Erosionsmassnahmen	Verdichtungsrisiko	Wasserspeichervermögen	Auswaschung Schadstoffe	weitere Anwendungskarten	Profilblätter, Bohrpunkte	Zugriff: frei	einfacher Passwortschutz	Abgestufter Zugriff ²	Qualifizierter Zugang ³	WMS ⁴	WFS ⁴	Download	Institution ⁵			
Belgien	1:20 000		*	*	*	*	*	*											*	*					*	*								D			
Bulgarien	1:10 000	LN			*	*	*	*	*		*							*	*	*					*			*						U			
Dänemark	1:20 000								*																	*								D			
Deutschland	1:3 Mio		*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							D			
	1:200 000		*	*	*	*	*	*	*	*			*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							D			
Estland	1:10 000		*				*						*				*	*								*					*	*		D			
Finland	1:250 000, ⁶ 1:1 Mio		*		*							*												*		*								D			
Frankreich	1:250 000												*	*	*	*									*		*							U			
Grossbritannien	1:250 000		*	*	*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*		*	*	*	*	*					*		U		
Irland	1:250 000		*		*			*																	*	*							*		D		
Island	1:500 000		*	*				*	*	*	*	*	*	*	*	*						*			*	*									D		
Italien	1:500 000– 1:250 000		*																					*	*	*	*	*							U		
Lettland	1:10 000	LN	*	*				*	*	*							*								*	*									D		
Litauen	1:10 000	LN						*		*							*								*	*									D		
Luxembourg	1:100 000		*								*	*												*	*	*	*									D	
	1:25 000 ⁷				*			*	*	*																									D		
Mazedonien	1:50 000		*	*	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*		*	*	*	*	*								D	
Niederlande	1:50 000		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*			U	
Norwegen	1:20 000	LN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								U	
Österreich	1:25 000	LN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*			D	
	1:750 000		*					*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*				D	
Portugal	1:250 000			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								U	
Schweden	50 m							*																*	*	*	*									U	
Schweiz	1:200 000			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*								D	
Serbien	unklar																																			D	
Slowakei	1:400 000		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*	*		U	
	1:10 000	LN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*	*		U	
Slowenien	1:1 Mio		*	*																																U	
	1:25 000		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*			U	
Tschechien	1:5 000	LN	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*					*	*		U	
Türkei	unklar							*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				*	*			D	
Ungarn	1:25 000– 1:50 000			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*									U

¹ Landnutzung, LN: nur landwirtschaftliche Nutzfläche,² Unterschiedlicher Zugriff auf Daten je nach Detaillierungsgrad (frei, passwortgeschützt),³ Zugang nur für bestimmte Nutzergruppen (z. B. Behörden),⁴ WMS, WFS siehe Glossar,⁵ Art der betreibenden Institution, U: Uni, D: öffentlicher Dienst/Ministerium/Amt,⁶ nur sulfatsaure Böden und Punktbeobachtungen organische Böden,⁷ nicht flächendeckend vorhanden.

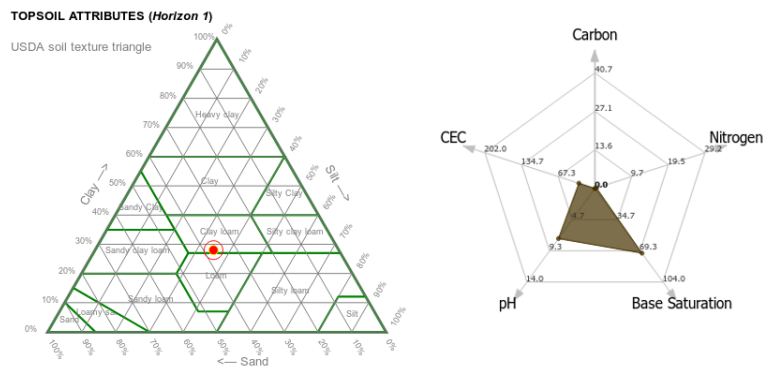


Abbildung 6: Neben der horizontweisen Angabe von Laborwerten werden im Irish Soil Information System (ISIS) die Werte graphisch aufgearbeitet: Texturdreieck nach USDA (U. S. Soil Survey Division Staff, 1993, links) und Nährstoff-Netzdiagramm (rechts) für den Oberboden des Referenzprofils der Bodenserie Ballincurra (WRB: Calcaric Cambisol, Humic, Ruptic, Siltic, Quelle: Teagasc, 2014).

wie Nutzungseignung und Ertragspotential in Form von Bodenpunktzahlen oder Bodenindizes. In sechs BIS sind zudem Angaben vorhanden, inwiefern die landwirtschaftliche Nutzung eingeschränkt ist. In etwas weniger als der Hälfte der BIS sind Erosionsrisikokarten enthalten, in zwei BIS mit Karten zu Erosionsschutzmassnahmen. Weitere Anwendungskarten beziehen sich auf die Verdichtungsempfindlichkeit, das Wasserspeichervermögen und die Bindungsstärke oder das Auswaschungsrisiko von Schadstoffen.

In regionalen BIS von Deutschland und Österreich (Tabelle A3) und primär in den nationalen BIS Tschechiens und der Slowakei ist eine breite Palette von interpretierten Karten für verschiedene Anwendungsbereiche abrufbar: Sickerwasserrate, Luftkapazität, Pufferung von Schadstoffen, Säurepuffervermögen, Grabbarkeit (für die Durchführbarkeit von Erdarbeiten), schutzwürdige Böden oder Eignung für Schutzgebiete, Substrattypen für den Weinbau, Standorteignung für die Beseitigung von Tierkörpern bei Seuchenzügen, Einschränkungen für die Klärschlammasbringung oder Zonen mit unterschiedlichem Nitratauswaschungsrisiko für die Umsetzung entsprechender gesetzlicher Richtlinien.

3.4.4 Auswertungsmöglichkeiten

Grundsätzlich handelt es sich bei den aufgeführten BIS um Kartenanzeige-Applikationen, die über einen Web-Browser aufgerufen werden können. Nur wenige BIS verfügen über Auswertungsmöglichkeiten, welche über die Visualisierung von verschiedenen Ebenen und die üblichen geografischen Werkzeuge (Zoom, Punktabfrage Ebenen, Distanzen oder Flächen messen, Transparenz einer Ebene definieren etc.) hinausgehen.

Ausnahmen bilden die BIS von Norwegen (Abschnitt 4.3, Abbildung 10), Schweden (Abschnitt 4.5, Abbildung 12), Niedersachsen (Abschnitt 4.8, Abbildung 18) und Tschechien (Abschnitt 4.10, Abbildungen 21 und 20). Die Systeme von Niedersachsen und Tschechien erlauben die Auswahl von benutzerdefinierten Flächenausschnitten, für Auswertungen zum Wasserhaushalt und Bewässerungsbedarf berechnet werden können. In Tschechien gibt es weiter ein Raumplanungswerkzeug, das den Bodenverbrauch auf bereits entwickelte Flächen oder auf Böden mit tieferem Ertragspotential leiten soll und einen Kartenviewer für den Vollzug von Massnahmen zur Reduktion der Nitratauswaschung. Zudem verfügen Tschechien und Norwegen über ein Werkzeug zur Berechnung des Erosionsrisikos pro Bewirtschaftungseinheit, das in beiden Ländern zur Berechnung der Subventionen Erosionsschutzmassnahmen verwendet wird. Die Slowakei verfügt über eine Applikation zur Berechnung des bewirtschaftungsbeding-

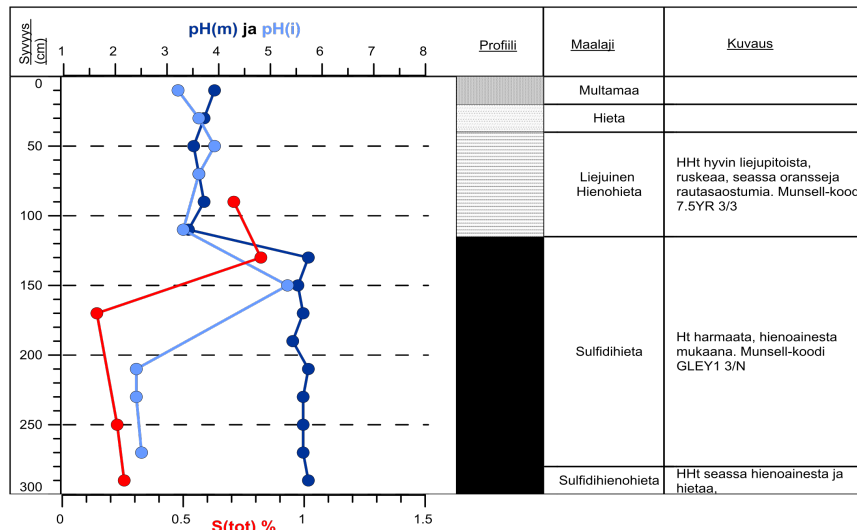


Abbildung 7: Aufbereitete Profilinformationen der finnischen Kartierung der versauerten Sulfatböden, abrufbar über die Kartenapplikation. Werteverlauf über die Profiltiefe für pH (m: normal, i: inkubiert) und Schwefeltotalgehalt mit automatisch erstelltem Profilschema, Texturtypen und Horizontbeschreibung. (Ausschnitt Profilblatt EERA-2011-45, GTK, 2011)

ten Humusdefizits und Schweden über ein Werkzeug zur Berechnung von bodenangepassten Saatmengen und Kalkungsgaben.

3.4.5 Datenzugriff und Dokumentation

Rund 80 % der Länder erlauben eine kostenfreie Visualisierung, mindestens eines Teils der vorhandenen Daten (Abbildung 5). Fünf Länder haben den Datenzugriff abgestuft, d. h. stark verallgemeinerte oder räumlich aggregierte Daten sind frei verfügbar, auf detailliertere Karten oder die Bodendatenbank haben aber nur ausgewählte Nutzergruppen Zugriff. Slowenien und Italien beschränken den Zugriff mit einem Passwort, für die vorliegende Studie wurde auf Anfrage ohne Weiteres ein Passwort herausgegeben. In Bulgarien werden die Daten nur auf Anfrage an ausgewählte Nutzer wie Amtsstellen des Landwirtschafts- oder Umweltministeriums, Landbesitzer oder -pächter und Agrarproduzenten in Form von Texten, Tabellen, Grafiken und aufbereiteten Karten in verschiedenen Maßstäben herausgegeben (Georgiev, pers. Mitt, 2018).

Bei mindestens 11 der 26 BIS können die Kartenebenen zudem in Form von *Web Map Services* (WMS) für die Visualisierung in eigene Anwendungen eingebunden werden. *Web Feature Service* (WFS), der die Einbindung in eigene Software zur Bearbeitung von Flächengeometrien ermöglicht oder die Möglichkeit, Daten direkt herunter zu laden, werden seltener angeboten (12 von 26 BIS). Möglicherweise wurden aufgrund der Sprachbarriere nicht alle WMS, WFS oder Download-Möglichkeiten entdeckt, da diese häufig nicht direkt in den Kartenapplikationen ersichtlich waren.

Zugriffsstatistiken sind nur von wenigen BIS bekannt: Auf das britische *UK Soil Observatory* (Abschnitt 4.7.1) wird rund 2000 mal pro Woche zugegriffen, auf den Bodenteil der norwegischen Kartenapplikation *Kilden* rund 190 mal pro Woche und auf die norwegische Erosionsapplikation 8500 pro Tag. Da jedoch nicht klar ist, wie die jeweiligen Webserver die Zugriffe registrieren (pro Benutzer, pro initialen Aufruf oder pro Neuaufbau der Seite je nach Navigation der Nutzerin), sind diese Angaben nur grobe Näherungswerte für die Popularität der Applikationen gemessen an den effektiven Nutzerzahlen.

Für den korrekten Gebrauch der Karten wären Dokumentationen in Form von Metadaten nötig. Insgesamt ist bei der Recherche der Eindruck entstanden, dass ausser dem Titel und der Legende der Kartenebene Metadaten meist fehlen oder dass auf einer separaten Metadaten-Webseite nur sehr wenige Angaben vorhanden sind. Häufig fehlen Angaben über Analysemethoden (mit Hinweis auf Publikationen) oder über die ursprünglichen Datenquellen. Gute Metadaten finden sich beispielsweise im BIS der Slowakei, wo neben Beschreibungen, aufgrund von welchen Grundlagen und Methoden die Karten erstellt wurde, die gesetzlichen Grundlagen für deren Verwendung ausgeführt sind (Abschnitt 4.9), oder im BIS Grossbritanniens, wo zu den Karten Hinweise auf Berichte mit Methodendokumentationen zu finden sind.

3.4.6 Verantwortliche Institutionen

Die Hälfte der BIS werden erstaunlicherweise nicht von Amtsstellen oder öffentlichen Diensten betrieben, sondern von Universitäten oder Forschungsinstituten. Ob die BIS im Auftrag einer Amtsstelle (z. B. nationales Amt für Landwirtschaft oder Umwelt) betrieben werden, ist nicht klar. Das britische *UK Soil Observatory* wird vom Forschungsinstitut *British Geological Survey* betrieben und vom britischen Forschungsrat für Umwelt finanziert. Angaben zur Auftragslage oder der Finanzierung der anderen BIS waren nicht öffentlich zugänglich oder wurden nicht aufgefunden.

4 Details zu ausgewählten Ländern oder Regionen

In diesem Kapitel werden Kartierungsprojekte und räumliche Bodeninformationssysteme (BIS), die für die Schweiz interessant erscheinen, detaillierter beschrieben. Zuerst werden die Bodenkartierungen von Nordrhein-Westfalen, Bayern, den Niederlanden, Albanien, Schweden und Norwegen beschrieben. Anschliessend werden die teilweise recht umfangreichen Bodeninformationssysteme von Grossbritannien, Niedersachsen, der Slowakei und Tschechien vorgestellt. Für Grossbritannien wird zudem auf das Thema *Citizen Science* eingegangen.

4.1 Nordrhein-Westfalen – Detailkartierung 1:5 000

4.1.1 Hintergrund

In Nordrhein-Westfalen wird eine detaillierte Bodenkarte im Massstab 1:5 000 für die Landwirtschafts- und Waldfläche (16 770 und 8 690 km²) erarbeitet. Die Bodenkarte deckt heute 5 500 km² der Waldfläche und mit ca. 10 000 km² zwei Drittel der Landwirtschaftsfläche ab. Die Hälfte davon wurde digitalisiert (Schulte-Kellinghaus, pers. Mitt. 2018).

Landwirtschaftsflächen werden bereits seit Ende der 50er-Jahre zur Schaffung von Planungsgrundlagen insbesondere für Meliorationen kartiert. Ziel war früher primär die Beurteilung der natürlichen Ertragsfähigkeit der Böden. Heute werden Bodenkarten vor allem für die landwirtschaftlichen Beratung, zur Lösung von Interessenkonflikten zwischen Wasserwirtschaft und landwirtschaftlicher Bodennutzung in Wasserschutzgebieten (Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie) sowie als Entscheidungsbasis für die Ausweisung, Abgrenzung und Pflege naturschutzwürdiger Areale verwendet. Rechtliche Grundlage bildet die Richtlinien über Standortsuntersuchungen für die Landwirtschaft von 1961 (GD NRW, 2011).

Die Bodenkarte für die Waldfläche wird zur sachgerechten Prüfung und Durchführung von Erst- und Wiederaufforstungen sowie als Entscheidungshilfe zur Planung von Waldschutzmassnahmen durch Forstbetriebe und -behörden (Baumartenwahl, Kalkungen, Meliorationen) verwendet. Die rechtliche Grundlage für die Kartierung bildet heute das Landesforstgesetz. Bereits 1953 wurden die öffentlichen Waldflächen kartiert. 1976 wurde die Kartierung auf die ganze Waldfläche ausgeweitet (GD NRW, 2011).

4.1.2 Organisation und Finanzierung

Finanziert wird die Kartierung durch das Wirtschaftsministerium und das Umweltministerium von Nordrhein-Westfalen. Verantwortlich für die Kartierung ist der Geologische Dienst von Nordrhein-Westfalen.

Die Bodenkartierung wird überwiegend von den 13 internen Fachleuten neben anderen Aufgaben des Geologischen Dienstes ausgeführt. Die genauen Kosten der Bodenkartierung sind nicht bekannt, da die Aufwände intern nicht separat rapportiert und quer über die Abteilungen summiert werden. Die Anzahl der internen Kartierfachleute war jedoch Anfang 1990er-Jahre aufgrund von politisch präsenten Bodenthemen (z. B. Waldsterben) doppelt so gross.

Wenn das laufende Budget es zulässt, werden Kartierungsaufträge an private Ingenieurbüros vergeben. Der Geologische Dienst arbeitet mit einem Stamm von Privatanbietern zusammen. Da es sich um eine methodisch komplexe Aufgabe handelt, wäre die jährlich völlig freie Vergabe viel zu aufwändig.

Die Kartierung wird nach Grundkartenblättern von 2×2 km (400 ha) durchgeführt. Eine Fachperson kartiert pro Tag eine Fläche von 10–20 ha (inkl. Anfahrt, Handbohrungen, Polygoneinzeichnung auf Papier und Büroarbeit zur Vorbereitung und Eingabe der Bohrungen, jedoch ohne Laboranalysen). Meist wird eine Kartierungsfachperson durch zwei Bohrarbeiter (studentische Hilfskräfte, Arbeitssuchende) begleitet (Schulte-Kellinghaus, pers. Mitt. 2018).

4.1.3 Methodik

Die Bodenkarte wird durch konventionelle Polygonabgrenzung erstellt. Verwendet wird grundsätzlich die Kartieranleitung KA5 (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005), wobei diese durch weitere Kodierungsvorschriften konkretisiert wurde (GD NRW, 2011, 2012). Dies war notwendig, um ein zeitgemäßes BIS mit verschiedenen Auswertungen zu ermöglichen und um Sekundärdaten (Klima, Relief) auszuwerten (Milbert, pers. Mitt. 2017).

Die zusätzlichen Kartierungsrichtlinien beinhalten detaillierte Angaben zur Bodenansprache, sofern diese von der KA5 abweichen. Es werden konkrete Vorgehensweisen definiert und Bodenansprachebeispiele mit Auswertungsberechnungen aufgeführt. Beispielsweise werden Recherchen zur Entstehungsgeschichte von Plaggen vorgeschlagen, um solche Böden mit Sicherheit zu identifizieren und andere Entstehungsmöglichkeiten auszuschliessen (GD NRW, 2011). Diese detaillierten Methodengrundlagen erhöhen die Reproduzierbarkeit der Kartierungsergebnisse.

Die noch nicht digitalisierten Kartenblätter werden während der laufenden Arbeiten aktualisiert und mit den geltenden Normen harmonisiert. Dies ist aufgrund methodischer Entwicklungen notwendig, da heute anstelle von Bodentypen die Aufnahme von Bodeneigenschaften stärker im Vordergrund steht. Teilweise ist bei den älteren Kartenblättern die räumliche Auflösung ungenügend, da damals ungenauere Grundlagen (z. B. zu Relief) verwendet wurden (Schulte-Kellinghaus, pers. Mitt. 2018).

Erhebung Bodendaten

Pro Grundkartenblatt (2×2 km) werden 2–3 Bodenprofile mit vollständiger Profilbeschreibung aufgenommen. Die Dichte hängt jedoch stark von der Komplexität der Landschaft ab.

Die Polygone werden mit Hilfe von Handbohrgeräten abgegrenzt. Ziel-Tiefe der Bohrungen ist 2 m. Die Orte für Bohrungen werden in einem Abstand von 50–150 m so gewählt, dass die Landschaft möglichst gut repräsentiert wird (Schulte-Kellinghaus, pers. Mitt. 2018). An den Bohrkernen werden die Horizontabfolge und -mächtigkeit, die Textur, das Ausgangsgestein und der Wasserhaushalt angesprochen. Im Wald werden zusätzlich die Humusformen bestimmt und die Basengehalte mit mehreren Kriterien geschätzt. Auf Landwirtschaftsflächen wird zudem die landwirtschaftliche Nutzungseignung bewertet. Der pH-Wert wird an mindestens 10 % der feldfrischen Proben mit einem pH-Messgerät bestimmt. Dafür werden destilliertes Wasser und Eichlösungen mitgebracht. Weiter gehört Dipyridyl zur Messung des reduzierten Eisens (Fe^{3+}) zur Felddausrüstung sowie ein Fotoapparat mit Stativ (GD NRW, 2011).

Datenerfassung im Feld

Zur Bestimmung der Koordinaten kann ein GNSS-Gerät verwendet werden, das Einzeichnen auf dem Luftbild oder der Feldkarte im Massstab 1:5'000 genügt gemäss Richtlinien jedoch. Während der Feldarbeit werden die Daten der Bohrungen und die Polygone auf Papier erfasst.

Bohrungen werden zur Abgrenzung der Polygone verwendet, anschliessend jedoch nicht in die Datenbank aufgenommen. Die Qualität der Bodenansprache, die Anzahl und die Lage der Bohrungen variiert stark. Meist sind die Bohrungen nicht repräsentativ für eine Landschaft, da beispielsweise zur besseren Abgrenzung seltener Einheiten wiederholt gebohrt wird und die häufigeren Bodentypen aufgrund von Erfahrungen mit ähnlichen Landschaften mit weniger Bohrungen bestimmt werden können (Schulte-Kellinghaus, pers. Mitt. 2018). Die Profilsprache mit den Laboranalysen und die Beschreibung zu jedem abgegrenzten Polygon wird in eine zentrale Datenbank übertragen. Wenn Internetverbindung fehlt, steht eine leere Access-Version der Datenbank bereit, die anschliessend in die zentralen Datenbank übertragen wird (GD NRW, 2011). Die Digitalisierung wird oft durch nicht-bodenkundliche Hilfskräfte durchgeführt (Schulte-Kellinghaus, pers. Mitt. 2018).

Die direkte Erfassung mit Computern im Feld wurde vor etwas mehr als 10 Jahren geprüft, konnte jedoch nicht in den Arbeitsablauf integriert werden. Die Geräte waren damals zu schwer, hatten eine zu kurze Akkulaufzeit und die Eingabe einer Bohrung dauerte bis zu 30 min. Der Wechsel vom Luftbild zu den Kartierungsrichtlinien war zu umständlich und die Polygone konnten nicht genügend einfach eingezeichnet werden. Zudem wurde das abschnittsweise Arbeiten mit unvollständigen Polygonen, die erst im Verlauf der Kartierung vervollständigt werden, nicht unterstützt (Schulte-Kellinghaus, pers. Mitt. 2018).

Polygonabgrenzung

Bodeneinheiten beinhalten Flächen mit weitgehend einheitlichen bodenkundlichen Merkmalen und werden direkt im Feld auf der Grundlage der Handbohrungen und weiterer Geländemerkmale ausgeschieden. Pro Polygon wird eine Bodeneinheit mit einem Zahlencode gebildet. Für jede Bodeneinheit werden Bodenuntertyp, Oberbodentextur, Mächtigkeit der obersten Bodenschicht und für Waldböden zusätzlich Basengehalt festgehalten. Die Kartenrandbereinigung zu benachbarten Kartiergebieten wird laufend während der Kartierung vorgenommen (GD NRW, 2011).

Sekundärdaten

Vor und während der Feldarbeit werden folgende Daten qualitativ ausgewertet und berücksichtigt (GD NRW, 2011):

- Flächendeckend vorhandene Bodenkarte 1:50 000,
- Detailbodenkarten mit Bohrregister, Profilbeschreibungen und Analyseergebnissen (sofern vorhanden),
- Bodenkarten der fiskalischen Bodenschätzung (Erhebungen von 1930-1940 mit Bohrungen alle 50 m und damaligem Klassifikationssystem),
- geologische Karten (inkl. Kontakt zur lokal verantwortlichen Geologin),
- historische topographische Karten (z. B. Altflussläufe),
- Grundwasserkarten, inkl. Angaben zu Einzugsgebieten für Grundwassergewinnung,
- und weitere Informationen über anthropogen veränderte Flächen, Friedhofsgutachten, sowie Lokalwissen der einem Bezirk vorstehenden Landwirten (Ortslandwirt) über Drainagen und Geländeänderungen.

Qualitätskontrolle

Pro Jahr findet ein Eichtag statt, wo an 10–20 Proben mit bekannten Labormesswerten die Schätzungen abgeglichen werden. Vor der Kartierung grösserer Gebiete werden Flurbegehungen durchgeführt. Weiter orientieren sich die Kartierfachleute für die Schätzungen im Feld laufend an den Labormessungen, welche für die Bodenprofile durchgeführt werden. Zudem wird versucht, dieselben Fachleute in ähnlichen Landschaftsverhältnissen einzusetzen.

Nach der Eingabe in die Datenbank werden die Profile mit den Beschreibungen der zugehörigen Polygone abgeglichen. Der geologische Dienst hat umfangreiche Plausibilitätskontrollen und Prüfroutinen, die für die Kartierungsperson automatisch ein Protokoll mit unvollständigen, widersprüchlichen oder auffälligen Eingaben erstellen.

Die Karten werden mit allen möglichen Bodeneigenschaften ausgegeben, um die Nachbarschaften der Polygone und mögliche Verwechslungen zu prüfen. Jede Grundkarte wird neben der verantwortlichen Kartierungsfachperson zusätzlich durch eine Fachredaktion visuell verifiziert (Schulte-Kellinghaus, pers. Mitt. 2018).

Kartenprodukte

Die kartierte Fläche ist im nordrhein-westfälischen Geoportal (Tabelle A3) ersichtlich. Die Bodenkarte kann für € 0.10 pro ha digital im Vektorformat oder als PDF-Datei und für € 25.- pro gedrucktes Kartenblatt bestellt werden (GD NRW, 2015b). Grundsätzlich müssen durch einen Landesbetrieb wie der Geologische Dienst die Kosten für die Bereitstellung von Informationen/Diensten (Druck, Versand CD, Downloadangebot) berechnet werden. Die Bodenkarte der Waldfläche kann kostenlos als *Web Map Service* (WMS) angeboten werden, da die Realisierung dieses Angebots nicht teuer ist (Schulte-Kellinghaus, pers. Mitt. 2018).

Angeboten werden zahlreiche Inhalte der Bodenkarte 1:5 000 als nicht georeferenzierte Bilddateien oder attributierte Polygone: Bodentypen, Textur, Grundwasser- und Staunäseeinfluss, Basengehalt und Humusform von Waldböden oder die landwirtschaftliche Nutzungseignung, nutzbares Wasserspeichervermögen, Luftkapazität, gesättigte Wasserleitfähigkeit, kapillare Aufstiegsrate, Versickerungseignung für Niederschlagswasser, Sickerwasserrate, Kationenaustauschkapazität, effektive Durchwurzelungstiefe, Erosionsgefährdung, schutzwürdige Böden und für Waldböden zusätzlich die Kalkungsbedürftigkeit und Hinweise zur Baumartenwahl, Windwurfgefährdung und Befahrbarkeit der Böden (Milbert, pers. Mitt. 2017, GD NRW, 2015c; Groß-Dohme und Kamp, 2012).

Die Hauptnachfrage kommt von Seite der Landwirtschaft- und Forstverwaltungen, welche die Bodeninformation für die Beratung von privaten Landbesitzern verwenden (Schulte-Kellinghaus, pers. Mitt. 2018).

4.2 Bayern – Übersichtsbodenkarte 1:25'000

4.2.1 Hintergrund

Der Auftrag zur bodenkundlichen Landesaufnahme besteht bereits seit den 1950er-Jahren, damals wurde die erste Bodenkarte 1:25'000 erstellt. Bis 1995 waren ca. 20 % der Landesfläche kartiert (Martin, pers. Mitt. 2017). Seit 2015 liegt die Übersichtsbodenkarte 1:25'000 (ÜBK25) flächendeckend und digital für ganz Bayern (70 550 km²) vor. Die Arbeiten dazu wurden im Jahr 1995 mit dem Ziel begonnen, eine Konzeptbodenkarte zu erstellen. Diese war ursprüng-

lich nur für den verwaltungsinternen Dienstgebrauch gedacht und sollte die Grundlage für zwei Kartenwerke bilden: 1) Vorstufe für die für ganz Deutschland geplante Bodenübersichtskarte 1:200'000 und 2) Vorarbeit für die spätere Kartierung im Massstab 1:50'000.

Das Projekt der 1:50'000-Kartierung konnte wegen Personalabbau nicht weiterverfolgt werden. Gleichzeitig wurden aber bodenkundlich relevante Datengrundlagen digital verfügbar und bildeten immer bessere Hilfsmittel zur Abgrenzung von Kartierungseinheiten. Damit konnte mit dem gleichen Aufwand eine Bodenkarte erstellt werden, die einer Auflösung von 1:50'000 entspricht. Die Feldkarten waren im Massstab 1:25'000 gezeichnet worden. Deshalb wird die Karte als Übersichtsbodenkarte bezeichnet, da diese einer Übersichtskartierung im Massstab 1:25'000 entspricht. Nach der Kartieranleitung KA5 (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005) handelte es sich um eine Manuskriptbodenkarte. Die Bedeutung dieser Bezeichnung wäre für Endanwender jedoch unklar und wurde deshalb nicht verwendet. Die Karte enthält Bodeninformation für landwirtschaftliche Flächen sowie für den Wald, ebenso für Gebirgsregionen (Martin, pers. Mitt. 2017, Traidl, pers. Mitt. 2017, LfU, 2010).

4.2.2 Organisation und Finanzierung

Die Kartierung wird vom Bayrischen Landesamt für Umwelt (LfU, Abteilung Bodenkundliche Landesaufnahme) durchgeführt. Das LfU verfügt über unbefristet angestelltes Kartierungspersonal, befristete Projektmitarbeiter und arbeitet zudem mit privaten Büros zusammen.

Die Kartierung wurde nach dem Blattschnitt der topographischen Karte 1:25 000 in 613 Messtischblättern bearbeitet (LfU, 2016). Die Kosten für ein Messtischblatt (12×12 km, ca. 144 km², siehe Methodik unten) beliefen sich bei der Vergabe an private Ingenieurbüros gegen Projektende auf € 25 000.- im Flachland und € 35 000.- im Hochgebirge. Verlangt wurde von den Auftragnehmern eine digitalisierungsfähige Feldkarte basierend auf einer vorgegebenen Kartenlegende. Die Digitalisierung der Feldkarte sowie die Anpassung an die Nachbarblätter wurde vom LfU übernommen. Für die Feldarbeit benötigte das LfU-Personal 3–6 Teamwochen pro Messtischblatt, wobei ein Team aus zwei Mitarbeitern bestand (Martin, pers. Mitt. 2017).

4.2.3 Methodik

Die ÜBK25 ist eine blattschnittfreie Karte mit einheitlicher Legende für ganz Bayern. Es handelt sich jedoch nicht um ein homogenes Kartenwerk. Die Kartieretappen wurden nach Messtischblättern der digitalen topographischen Karte 1:25'000 (TK25) definiert. Bayern umfasst 613 Messtischblätter (inkl. alle Randblätter). Die bis 1995 erstellten Karten mussten nochmals überarbeitet werden, die restliche Fläche wurde neu kartiert.

Die Karten werden durch konventionelle Polygon-Abgrenzung nach KA4 und KA5 (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden, 1994, 2005) erstellt. Die Polygonabgrenzung im Feld erfolgte weitgehend aufgrund geomorphologischer Merkmale, Vegetationsunterschieden, Bodenfarben, etc. Zur Unterstützung wurden auch Geodaten herangezogen. Im Verlauf der Kartierung wurden Geodaten eine immer grössere Hilfe (Martin, pers. Mitt. 2017).

Erhebung Bodendaten

Die Felderhebungen wurden mit dem Handbohrer durchgeführt, da der Einsatz flexibel ist und minimalste Schäden in einer bestehenden Kultur verursacht. Die Diskussion um Betre-

tungsrecht oder Entschädigung konnte so vermieden werden. Im unwegsamem Gelände wurden Handbohrer oder Klappspaten eingesetzt.

Seitdem Feldcomputer eingesetzt werden, wird für jede Handbohrung Folgendes erfasst: Koordinaten, Bodentyp, Textur, Substrattyp nach KA5 und zugehörige Kartierlegendeneinheit sowie optionale Bemerkungen. Diese Daten sind im Umweltatlas Boden für die Kartierungspunkte abrufbar (Tabelle A3, LfU, 2016). Pro Messtischblatt wurden zwischen 300 bis 600 Handbohrungen bis 1 m Tiefe angefertigt.

Das LfU verfügt über ein eigenes Labor zur Analyse von Bodenproben der Leitbodenprofile (siehe Ausblick unten). Reichen die vorhandenen Kapazitäten nicht aus, werden Analysen auch an andere Labors vergeben. Pro Messtischblatt werden rund 500 Laboruntersuchungen durchgeführt.

In der Bodenkartierung werden keine Spektrometer oder andere Geräte für Näherungsmessungen verwendet. Im Bodenschutz werden jedoch erfolgreich XRF-Geräte zur Abschätzung des Schwermetallgehaltes eingesetzt, um Belastungen zu erkennen. Für verbindliche Entscheide sind jedoch Standardlabormessungen nötig (Martin, pers. Mitt. 2017, LfU, 2010).

Erhebung Bodendaten im Gebirge

Das kartierte Gebiet umfasste Böden im Gebirge. Die Kartierungsmethodik wird hier separat beschrieben. Da ursprünglich eine Karte im Massstab 1:200 000 vorgesehen war, wurden die Legendeneinheiten im Gebirge eher grob definiert. Aufgrund der steigenden Nachfrage nach Bodendaten und der Bereitschaft, genauere Aufnahmen zu finanzieren, wurden die Einheiten nach und nach genauer aufgenommen.

Die Schwierigkeit bei der Kartierung von Böden im Gebirge liegt bei der Bildung aussagekräftiger Legendeneinheiten. Die Einheiten sollten möglichst die vorgefundene gesamte Variabilität abbilden. Gleichzeitig darf eine Einheit nicht zu breit definiert werden, da die Aussage der Karte ansonsten bedeutungslos wird. Grundsätzlich wurden fast immer Bodenformengesellschaften (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005, S. 326) ausgeschieden und definiert, welche Anteile von Bodentypen in diesen Einheiten dominieren.

Im Flachland waren für die Definition der Legendeneinheiten oft Informationen über die Geologie ausschlaggebend. Dies war im Gebirge schwieriger, eine direkte Orientierung an der Geologie hat sich als zu wenig flexibel herausgestellt. Eine direkte/deterministische Abbildung der Bodenbildungen aus der Geologie war zudem nicht möglich, da in den Legenden der alten geologischen Karten inhomogene Benennungen verwendet worden waren. Zur Definition der Legendeneinheiten der Bodenkarte wurden deshalb meist geomorphologische Kriterien verwendet. Beispielsweise wurden 8 verschiedene Schwemmfächereinheiten differenziert.

Im Gebirge wurde aufgrund der erschwerten Zugänglichkeit mit Übertragungen gearbeitet. Aufgrund der Substrate wurden dieselben Bodengesellschaften ausgeschieden. Sofern Zeit und Zugänglichkeit es erlaubten, wurden diese Übertragungen verifiziert. Je nach Substrat waren solche Übertragungen z. T. einfach möglich, gewisse Substrate führen jedoch zu unterschiedlichen Bodenbildungen. Eine solche Vorgehensweise verlangte deshalb grosse Erfahrung und Regionskenntnis.

Pro Messtischblatt wurden ungefähr 20 Feldtage eingesetzt. Dabei wurden 80 % der direkt untersuchten Orte mit dem Auto aufgesucht. In Gebieten, die nicht mit dem Auto zugänglich waren, wurde mit Übertragungen gearbeitet. Dafür wurde versucht, möglichst alle durch Strassen erschlossene Gebiete aufzusuchen. In die Datenbank wurden pro Messtischblatt 200–300

Bohrungen eingegeben. Die Kartierung stützte sich jedoch auf zahlreiche informelle Beobachtungen wie natürliche Aufschlüsse oder Aufschlüsse an Strassenböschungen.

Pro Bohrung wurden vereinfachte Ausgangsgesteinsklassen (z. B. Dolomit, Mergel) angesprochen, die im Gelände einfach erkennbar sind. Grundsätzlich wurde nach KA5 (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005) gearbeitet, diese Klassierung bildet gebirgsspezifische Bodengenese (z. B. Frostböden) jedoch nicht genügend ab. Für eine Weiter-/Neuentwicklung der Klassifikation fehlte in diesem Projekt die Zeit. Aufgrund fehlender Bodentypen mussten Böden teilweise ungenau zugeordnet werden. In ganz Deutschland machen die Böden in den Alpen nur einen sehr kleinen Teil aus. In KA3 (Benzler, 1982) waren Gebirgsböden in der deutschen Klassifikation noch vorhanden gewesen, sie wurden später vermutlich aufgrund fehlender Relevanz gestrichen.

Bodenmodellierungen im Gebirge sind häufig schwierig, da die geologischen Karten nicht das für die Bodenbildung relevante Substrat abbilden (Traidl, pers. Mitt. 2017).

Datenerfassung im Feld

Die Polygone wurden zuerst auf Papierkarten gezeichnet und anschliessend digitalisiert. Seit 2004 werden Feldcomputer (Toughbooks, Panasonic) zur Erfassung der Punktdaten eingesetzt. Die Dateneingabe erfolgt über die Tastatur mit zwei verschiedenen Eingabemasken für Kartierpunkte und Profile. Bei einer Handbohrung werden nur die notwendigsten Daten erfasst (siehe oben). Für die Bodenansprache und Erfassung der Daten waren mit dem Einschlagen des Bohrstocks ca. 15 min vorgesehen. Die Erfassung der Daten von ganzen Bodenprofilen erfolgte durch eine mehrseitige Erfassungsmaske mit einer Vielzahl von Feldern und dauerte dementsprechend länger. Spritzwasser oder staubige Hände waren nie ein Problem, ab und zu musste die Tastatur mit dem Staubsauger gereinigt werden (Martin, pers. Mitt. 2017).

Sekundärdaten

Für die Kartierung wurden alle verfügbaren und bodenkundlich relevanten Geodaten eingesetzt. Dies waren insbesondere (Martin, pers. Mitt. 2017):

- bereits vorhandene Bodenkarten (selten)
- Daten der fiskalischen Bodenschätzung für landwirtschaftliche Flächen (Karten und Punktdaten)
- Daten der forstlichen Standortskarte (sofern zugänglich)
- geologische Karten
- digitales Geländemodell (Reliefschattierung)

Kartenprodukte

Die Bodenkarte 1:25 000 wurde über den bayrischen Umweltatlas Boden (Tabelle A3) publiziert. Neben der Bodeneinheit werden zahlreiche Ableitungen wie das natürliche Ertragspotential oder das Säurepuffervermögen angeboten (Tabelle A3). Die Karten können frei heruntergeladen werden (LfU, 2016).

4.2.4 Ausblick

In den momentan laufenden Arbeiten werden den pro Messtischblatt definierten Kartenrandlegenden Leitbodenformen zugeordnet. Die Übersichtsbodenkarte 1:25 000 besteht in ihrer ursprünglichen Form nur aus der Karte bzw. aus dem digitalen Datensatz und einer Kartenrandlegende. Die Kartenrandlegende weist nur Bodengesellschaften/Bodentypen und Angaben zum Substrat und der Textur aus. Durch die Zuweisung von Leitbodenformen zur Kartenrandlegende können den Kartierungseinheiten weitere Bodeneigenschaften und -funktionen zugeschrieben und damit der Informationsgehalt der Karte erhöht werden.

Bodenprofile der Leitbodenformen werden entweder passend zur Kartenrandlegende neu aufgenommen und beprobt oder werden der Bodendatenbank entnommen. Bis Ende 2020 sollen die wichtigsten Legendeneinheiten durch Leitbodenformen beschrieben sein.

Für weitere Arbeiten wie die Überführung der Übersichtsbodenkarte zur eigentlichen genaueren Bodenkarte im Masstab 1:25'000 fehlen ein konkreter Auftrag, das Personal und die finanziellen Mittel (Martin, pers. Mitt. 2017).

4.3 Norwegen – Bodenkartierung Landwirtschaftsfläche ~1:20 000

4.3.1 Hintergrund

Die Bodenkartierung der Landwirtschaftsflächen begann in Norwegen in den frühen 1980er-Jahren. Zu diesem Zeitpunkt war der grösste Teil Norwegens südlich (oder unterhalb) der Waldgrenze mit dem "wirtschaftlichen Kartenwerk" AR5 (Economic Map Series, Økonomisk kartverk) im Masstab 1:5 000 abgedeckt. Die AR5-Kartierung klassierte nur die Möglichkeiten der landwirtschaftlichen Landnutzung (übliche Pflugtiefe / nur Oberflächenbearbeitung, jedoch maschinelles Ernten möglich / nur Weideland, keine Möglichkeit für maschinelle Ernte). Die Bodenkartierung hatte zum Ziel, detailliertere und standardisierte Angaben über die landwirtschaftlich genutzten Böden (Acker- und Grasland) zu liefern. Die Legenden zu den Kartierungseinheiten beschrieb den Bodentyp, zusätzlich ergänzt mit Angaben zu Textur, Wasserhaushalt und Ausgangsmaterial (Solbakken, pers. Mitt. 2018). Ende der 1980er-Jahre führte das starke Algenwachstum in der Nordsee (v.a. Skagerrak zwischen Norwegen und Dänemark), welches durch Erosion und Abschwemmverluste aus der Landwirtschaft verursacht wurde, zur Nordsee-Erklärung (North Sea Declaration, Arnoldussen, 2014). Norwegen äusserte darin die Absicht, die Erosion und die damit verbundenen Stickstoff- und Phosphoreinträge in die Nordsee zu reduzieren. Eine wichtige Massnahme zur Umsetzung des Abkommens war die Subventionierung von Landwirten mit Erosionsrisikoflächen, falls sie im Herbst auf Bodenbearbeitung verzichteten. Um die Grundlage für den Vollzug zu erarbeiten, wurde deshalb die landwirtschaftliche Kartierung im Einzugsgebiet der Nordsee intensiviert (Solbakken, pers. Mitt. 2018).

4.3.2 Organisation und Kosten

Verantwortlich für die Kartierung ist die Abteilung für landwirtschaftliche Bodenkartierung (Avdeling jordkartlegging/Department of Agricultural Soil Survey) des staatlichen norwegischen Instituts für Bioökonomie (NIBIO, Norsk institutt for bioøkonomi/Norwegian Institute of Bioeconomy Research). NIBIO wurde 2015 als Zusammenschluss des norwegischen Instituts für Wald und Landschaft (Bioforsk) und dem norwegischen Institut für Agrarökonomie

gegründet (Hedstein, 2015). Die Abteilung für landwirtschaftliche Bodenkartierung besteht aus sieben Angestellten und verfügt über ein Budget von NOK 11.1 Mio (CHF 1.3 Mio) pro Jahr (Solbakken, pers. Mitt. 2018).

Nur rund 3 % der Landesfläche von Norwegen ist Landwirtschaftsland. In der seit etwas mehr als 30 Jahren laufenden Kartierung wurde mit 5 300 km² rund die Hälfte des norwegischen Landwirtschaftslandes erfasst. Jedes Jahr wird eine Fläche von 100 km² neu kartiert (Svendgård-Stokke, 2018). Nach Vollendung der Kartierung in den prioritären Gebieten im Süden rückt die Kartierung zunehmend in den Norden des Landes vor. Die Profildatenbank umfasst etwas mehr als 2 000 Einträge mit Bodenprofilen auf Landwirtschaftsland.

Die eingesetzten Arbeitsstunden pro km² variieren stark und sind abhängig von zahlreichen Faktoren wie Struktur der Landschaft, Relief und Geologie oder der Grösse und Verteilung der Landwirtschaftsflächen. Für die Planung werden im Mittel fünf Arbeitstage pro km² angenommen. Die Kosten belaufen sich ungefähr auf NOK 45 000.- pro km² (CHF 54.- pro ha). Die Feldarbeit findet in zwei Perioden statt: Monate April–Mai und September–Oktober. Für das Jahr 2018 werden 18–19 Personen aus der Abteilung für landwirtschaftliche Kartierung, anderen NIBIO-Abteilungen oder von ausserhalb des NIBIO für die Feldarbeit engagiert. Diese Personen wurden alle extra für diese Aufgabe ausgebildet. NIBIO verfügt über ein eigenes Labor (Solbakken, pers. Mitt. 2018).

4.3.3 Kartiermethodik und Masstab

Die Karten werden mittels konventioneller Polygonabgrenzung durch fortlaufendes Bohren im Feld erstellt. Gebohrt wird mit Handbohrer bis 1 m Tiefe und die Bohrung, danach wird die Bohrung direkt mit dem Feldschlüssel in die Klassifikation eingeordnet (Abschnitt 4.3.5). Sofern nicht bis 1 m gebohrt werden kann, wird mindestens versucht, die ersten 50 cm zu erfassen. Die Polygongrenzen werden anhand der den Daten aus den Bohrungen, der Interpretation des Luftbildes, der im Feld sichtbaren Landschaftsmerkmalen festgelegt.

Wird bei der Bohrarbeit ein neuer Bodentyp gefunden (neue Kombination von Merkmalen, die in der Datenbank noch nicht vorkommt, Abschnitt 4.3.4), wird ein Profil gegraben und der neue Bodentyp vollständig nach standardisierten Richtlinien beschrieben. Jeder Horizont eines Profils wird beprobt und nach Standardrichtlinien im eigenen Labor analysiert. Am Anfang der Kartierung wurden ständig neue Bodentypen beschrieben, sobald die Kartierung in ein neues Gebiet vordrang. In der Zwischenzeit sind bereits zahlreiche Bodentypen beschrieben und es werden weniger Profile neu gegraben. Einsatz von automatischen Bohrsystemen oder Sensortechnologie (z. B. Spektrometer) wurden bisher nicht geprüft. Die räumliche Dichte von Bohrungen und Profilen ist nicht standardmässig festgelegt, sondern ist abhängig von der Komplexität des Reliefs, der Landschaft und der Bodenbildungsprozesse. Die kleinste erlaubte Polygonfläche betrug 0.4 ha vor der Vereinfachung der Bodenansprache und 1 ha nachher (siehe Abschnitt 4.3.4 unten).

Die Polygone wurden ursprünglich auf Luftbildern im Masstab 1:15 000 eingezeichnet. Die Bodentypenkarten wurden vor der Inbetriebnahme der Kartenapplikation *Kilden* (Tabelle A2) im Masstab 1:5 000 mit der AR5-Karte im Hintergrund gedruckt. Abgeleitete thematische Karten wurden meist im Masstab 1:20 000 herausgegeben. In *Kilden* werden Bodenthemen ab dem Masstab 1:80 000 angezeigt, wobei weiter als auf 1:5 000 eingezoomt werden kann, was aber aufgrund der Kartenungenauigkeit nicht möglich sein sollte.

Bis 2013 wurde die Hangneigung für jede Bodeneinheit im Feld gemessen. Seither wird die-

ser Wert bei der Verarbeitung der Polygone nachträglich aus dem digitalen Höhenmodell zugewiesen (Solbakken, pers. Mitt. 2018).

4.3.4 Entwicklung Klassifikation basierend auf WRB

Zu Beginn der Kartierung Anfang der 1980er-Jahre wurde das Bodenklassifikationssystem von Kanada verwendet. Dieses System war aber nicht in der Lage die norwegischen Böden zufriedenstellend zu unterteilen und war im Feld nicht einfach anwendbar. Als 1994 der erste Entwurf der WRB vorlag, wurde dieser mit den Profilen der landwirtschaftlichen Bodenkartierung getestet. Nachdem 1998 die erste offizielle Version der WRB publiziert wurde, wurde eine Legende für die norwegischen Bodenkarten basierend auf der WRB abgeleitet. In der Feldsaison 2002 wurde dieser neue Schlüssel getestet und ab 2003 eingesetzt. Mit der neuen Version 2006 der WRB wurden die Legende und der Feldschlüssel ebenfalls nachgeführt.

Während der Entwicklung der WRB-basierten Kartenlegende haben sich gewisse WRB-Definitionen als unpraktisch erwiesen. Einige Kriterien wurden aus praktischen Gründen verändert, andere wurden verändert oder weggelassen, um die norwegischen Böden besser zu beschreiben. Teilweise wurden Merkmalscodes (*Qualifier*), welche in der WRB nur einer Hauptgruppe (*Unit*) angehören, auf eine andere Hauptgruppe übertragen. Der Feldschlüssel (NIBIO, 2017) hatte ursprünglich vier Hierarchiestufen:

- 1) 14 mögliche WRB-Gruppen,
- 2) 215 mögliche WRB-Einheiten,
- 3) 800 mögliche Bodenserien basierend auf Unterschieden in Textur, C_{org} -Gehalt, Ausgangsmaterial etc.,
- 4) Bodentyp mit Unterteilung der Bodenserie nach Oberbodentextur.

Zusätzlich zum Bodentyp wurden einem Polygon auf der Bodenkarte weitere Eigenschaften zugeordnet, welche die Bodennutzung beeinflussen, wie Hangneigung, Skelettgehalt oder an die Oberfläche reichende Felsaufschlüsse.

Um den Kartierfortschritt zu beschleunigen, wurde nun kürzlich auf eine vereinfachte Bodensprache hin gearbeitet, welche die detaillierten Stufen von Bodenserie und Bodentyp auslassen und auf WRB-Gruppen und -Einheiten fokussieren. Dieses vereinfachte Verfahren soll nach wie vor erlauben, die wichtigsten Bodeneigenschaften zu erfassen. Während der letzten drei Jahre wurden das ausführliche und das vereinfachte Verfahren eingesetzt. Ab 2018 soll nur noch das vereinfachte Verfahren verwendet werden, allerdings wird für jedes Polygon zusätzlich zur WRB-Einheit auch noch die Oberbodentextur festgehalten.

Einige der für Norwegen vorgenommenen Änderungen wurden der WRB-Arbeitsgruppe vorgelegt und in späteren Versionen der WRB integriert. Heute basiert die lokal angepasste Klassifikation auf WRB2014 (Solbakken, pers. Mitt. 2018, Nyborg und Olsen, 2016; NIBIO, 2017).

4.3.5 Datenerfassung

Für Polygonabgrenzung wurden im Feld Luftbilder in Stereoansicht verwendet und die Polygongrenzen direkt darauf eingezeichnet (Abbildung 8). Diese Feldkarten wurden anschliessend im Büro digitalisiert und in die Datenbank integriert.



Abbildung 8: Für die Kartierung der Landwirtschaftsböden in Norwegen wurde für die Polygonabgrenzung im Feld mit Stereo-Luftbildern (links) und später ab 2003 mit Feldcomputer (rechts) gearbeitet (Quelle: Solbakken, 2018)

Ab 2003 wurde mit der Entwicklung eines Systems für direkte Digitalisierung der Felddaten begonnen. Die Feld-Tabletcomputer sind mit GPS ausgestattet. Die Bodenprofile werden mit einer auf dem Gerät installierten Eingabemaske erfasst (Abbildung 9, Solbakken, 2017). Die Grenzen der Polygone werden direkt im Feld digital festgehalten. Die Feldcomputer haben die Polygonabgrenzung stark vereinfacht, da weitere Geodaten (z. B. geologische Karten, AR5-Karten) als Hintergrund geladen werden können. Die Feldcomputer funktionieren bei Sonneneinstrahlung und bei Regen gut. Vor der Einführung der Erfassungsgeräte musste bei starkem Regen die Kartierung unterbrochen werden, da die gedruckten Luftbilder unbrauchbar wurden. Die Verschmutzung der Feldcomputer stellt kein größeres Problem dar. Grundsätzlich arbeiten die Kartierungsfachleute alleine, es sind jedoch immer mehrere Personen im gleichen Gebiet unterwegs. Sofern die Wetterbedingungen schlecht sind, wird in Zweier-Teams weiter gearbeitet. Eine Person bedient den Feldcomputer, die andere Person bohrt. Fortlaufende Datensicherung ist jedoch zentral. Die Daten werden zweimal am Tag zusätzlich auf einem externen Speichermedium gespeichert. Spätestens nach dem Abschluss der Arbeit in einem Kartierungsgebiet werden die Daten per Email an die zentrale Datenbank übermittelt. Die Akkukapazität der Feldcomputer ist in der Regel genügend. Das Feldpersonal verfügt über Reserveakkus, die normalerweise einmal pro Tag gewechselt werden müssen und über Nacht wieder aufgeladen werden.

Als Hilfsmittel für die korrekte Bodenansprache nach WRB-Klassifikation wird ein strukturiertes und vollständig verlinktes PDF-Dokument (Bodenbestimmungsschlüssel) mit 670 Seiten verwendet. Schrittweise wird zwischen 2–4 Kriterien ausgewählt und man springt zur Stelle mit dem nächsten Entscheidungsschritt. Nach bis zu 9 Entscheidungen (nicht relevante Schritte werden automatisch übersprungen) wird eine zugelassene Kombination von WRB-Gruppe und *Qualifier* mit Code angezeigt, die für das Profil oder die Bohrung erfasst wird (NI-BIO, 2017). Die Klassierung beruht auf Informationen über die Art des Oberbodenhorizonts, zum Wasserhaushalt, zu diagnostischen B-Horizonten, zur Tiefe bis zum Ausgangsgestein, zur Basensättigung und zum Karbonatgehalt, zum Skelettanteil, zur dominanten Texturklasse unterhalb des Oberbodens, zu Schichtungen oder Bodenveränderungen (Solbakken, pers. Mitt. 2018).

nr	betegn.	fra	til	hue	Fuktig V	C	tst	Tørr - hue - - V -	Fargeflekk type	Geologisk gavs	Tekstur i felt
<input checked="" type="checkbox"/> 1	Ap	0	20	10YR	4	2	2 Blandet (gnidd)	10YR 5 2	0 ikke valgt	8 Morene	9 Sandig silt
<input checked="" type="checkbox"/> 2	AB	20	32	10YR	4	3	2 Blandet (gnidd)	10YR 6 3	0 ikke valgt	8 Morene	7 Siltig melk
<input checked="" type="checkbox"/> 3	Bw	32		2,5Y	4	1	2 Blandet (gnidd)		0 ikke valgt	8 Morene	7 Siltig melk
<input type="checkbox"/> 4							0 ikke valgt		0 ikke valgt	0 ikke valgt	0 ikke valgt
<input type="checkbox"/> 5							0 ikke valgt		0 ikke valgt	0 ikke valgt	0 ikke valgt
<input type="checkbox"/> 6							0 ikke valgt		0 ikke valgt	0 ikke valgt	0 ikke valgt
<input type="checkbox"/> 7							0 ikke valgt		0 ikke valgt	0 ikke valgt	0 ikke valgt
<input type="checkbox"/> 8							0 ikke valgt		0 ikke valgt	0 ikke valgt	0 ikke valgt

Sjiktmerknader

1: Mange røtter. God strukturutvikling

2: Inneholder mye glimmer. "Seig og plastisk". Bra strukturutvikling. Noen røtter

3: Tele f.s. Vanskelig å bore. å bore gjennom. Høyt siltinnhold. Mye glimmer

4:

5:

6:

7:

8:

PRØVER

feltnr	prøvenr	fra	til
1	EIS653	1	5
2	EIS623	2	20
3	EIS653	3	32
4			
5			
6			
7			
8			

Abbildung 9: Eingabemaske Bodenprofile für mobile Geräte der landwirtschaftlichen Bodenkartierung in Norwegen. Pro Horizonte können Eigenschaften über Dropdown-Menüs erfasst (oben) oder mit Bemerkungen versehen werden (mitte). Die Beschriftungen der Probenbeutel wird für die spätere Zuweisung ebenfalls aufgenommen (unten) (Quelle: Solbakken, 2017).

4.3.6 Qualitätskontrolle

Zu Beginn der Feldsaison findet jedes Jahr ein Kurs mit allen Kartiererinnen und Kartierern statt, um die Erfassung und Beurteilung von Bodeneigenschaften während der Kartierung zu vereinheitlichen. Weiter tragen laufende Absprachen zwischen dem Feldpersonal während der Kartierungsperiode zur Sicherung einer einheitlichen Vorgehensweise bei.

Nach der Feldarbeit werden die erfassten Daten durch eine Software geprüft. Dabei werden die jedem Polygon zugewiesene Klassifikation mit den im Feldschlüssel definierten WRB-Einheiten abgeglichen. Ausser einiger technischer Überprüfungen gibt es kein standardisiertes Verfahren, um die Richtigkeit der Polyongrenzen zu prüfen. Häufig sind die Übergänge zwischen den Bodeneinheiten nicht abrupt, sondern graduell (Solbakken, pers. Mitt. 2018).

4.3.7 Kartenprodukte und Publikation

Neben Karten der Bodenbasiseigenschaften (Oberbodentextur, Unterscheidung organische/mineralische Böden, Wasserspeichervermögen, Ausgangsmaterial) und der WRB-Gruppe werden zahlreiche Bodenfunktionskarten abgeleitet. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung und dem Vollzug von Erosions- und Auswaschungsrichtlinien. Abgeleitet werden Angaben zur Produktionsfunktion wie die Nutzungseignung, Angaben zu nutzungslimitierenden Bodeneigenschaften, Gründe für eine Vernässung und das Trockenheitsrisiko. Dazu werden Bodeneigenschaften mit weiteren Standorteigenschaften wie Klima oder Relief kombiniert (Svendgård-Stokke, 2018). Erosionsrisikokarten werden nach einer angepassten Version der *Universal Soil Loss Equation* (USLE) erstellt.

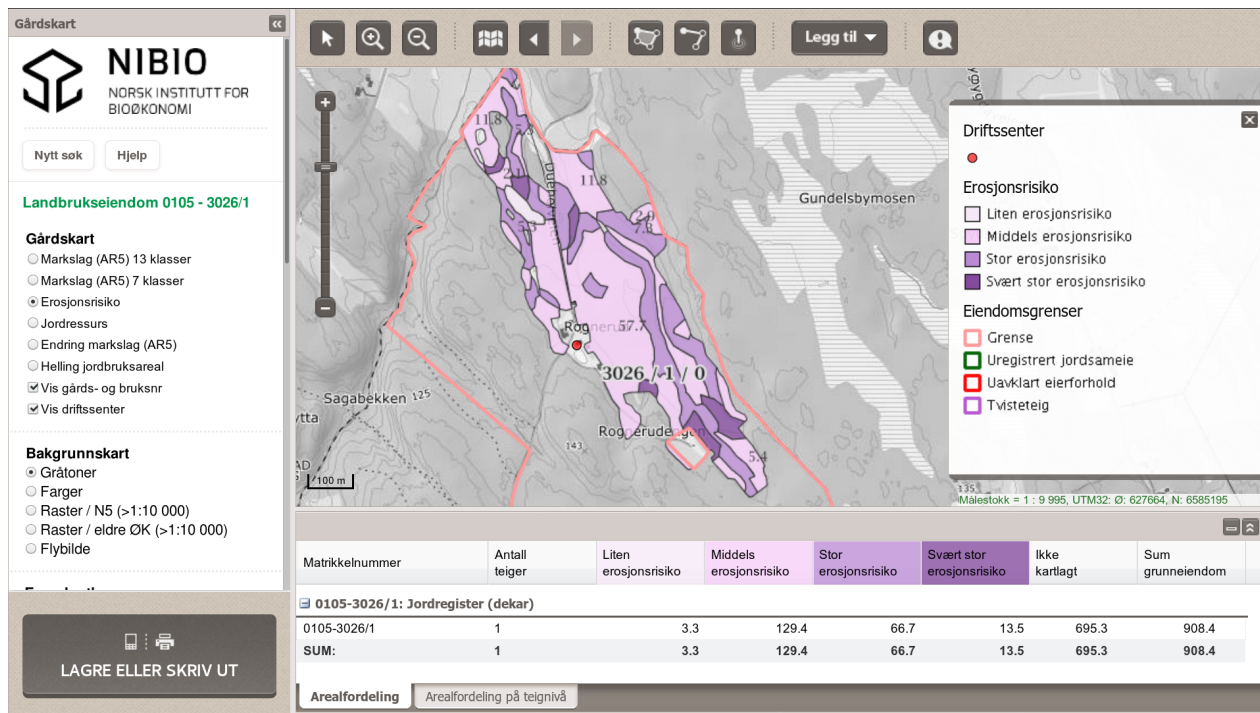


Abbildung 10: Erosionsrisikokarte der Landwirtschaftsfläche eines Betriebes in der Applikation *Gårdskart* (Quelle: NIBIO, 2018).

Die Bodenkarte und davon abgeleitete Produkte werden über zwei Webapplikationen angeboten (Tabelle A2). Einerseits werden über *Kilden* (Teil Boden/ *Joordmoon*) neben Karten zu anderen Themen alle bodenbezogenen Karten für die bereits kartierte Fläche angezeigt. Andererseits können in der Fachapplikation *Gårdskart* die (Landwirtschafts-)Flächen einzelner Betriebe ausgewählt und pro Parzelle und Betrieb Statistiken erstellt werden (Abbildung 10). In dieser Applikation sind nur die Bodenfunktionskarten enthalten. *Kilden* wurde im Jahr 2017 156 843 mal aufgerufen, der Teil *Joordmoon* 9718 mal. Die Spezialapplikation *Gårdskart* wird deutlich stärker frequentiert: im Mittel wurde *Gårdskart* im Jahr 2017 8 586 pro Tag aufgerufen. Die grösste Nutzergruppe von *Gårdskart* sind lokale Landwirtschaftsadministratoren (Solbakken, pers. Mitt. 2018).

4.4 Niederlande – Aktualisierung Kartierung 1:50'000

4.4.1 Hintergrund

In den Niederlanden verlangt ein Gesetz, dass räumliche Informationen über den Boden und den geologischen Untergrund geschaffen werden. Die Kosten des Fehlens dieser Information wurden für verschiedenen Anwendungsbereiche quantifiziert. Dies hat den politischen Prozess beschleunigt. Die gesetzliche Grundlage sieht vor, dass Bodeninformation für viele Anwendungen wie Landwirtschaft, Energie, Wasserwirtschaft und Bauwirtschaft geschaffen wird. In den Jahren 1964–1995 wurden flächendeckend konventionelle Bodenkartenblätter (Masstab 1:50 000) basierend auf einer standardisierten Methode publiziert (Kempen, 2011, Kap. 1). Eine neue gesetzliche Grundlage ermöglichte es, Zusatzarbeiten zur Bodenkarte im Masstab 1:50 000 problemlos zu finanzieren. Vorher war die Suche nach Finanzmittel für grossangelegte Bodendatenerhebungen jeweils schwierig gewesen. Höher aufgelöste Bodenkarten – v.a. nachgefragt von landwirtschaftlicher Seite – müssen jedoch immer noch durch diese selbst finanziert werden.

Untersuchungen haben gezeigt, dass die 20–50 Jahre alten 1:50 000-Karten nicht mehr aktuell sind. Betroffen sind Gebiete mit organischen Böden (ca. 527 000 ha, ~13 % der Landesfläche von 41 540 km²) auf trockengelegten Flächen wie den Poldern. Die Bodenkarte 1:50 000 wurde zwischen 2009–2014 für 365 000 ha aktualisiert, wo ein Wechsel von tieftorfigen zu flachtorfigen oder zu mineralischen Böden erwartet wurde. Karten wurden nicht aktualisiert, wenn keine Änderung des Bodentyps zu erwarten war. Einzig für die Provinz Friesland wurden 35 000 ha mit tieftorfigen Böden in einem Zusatzauftrag der Provinz und der Wasserbehörde kartiert, obwohl keine Veränderung des Bodentyps erwartet wurde (Okx, pers. Mitt. 2017, Kempen 2011, Kap. 1, de Vries et al. 2014)

Für Bewirtschaftungsempfehlungen oder für die Planung von Bodenverbesserungsmassnahmen ist der Massstab 1:50 000 zu grob. Es gab deshalb keinen Bedarf für die Aktualisierung der Karten über tieftorfigen Flächen ohne Änderung des Bodentyps. Für das Treibhausgasinventar würden jedoch zunehmend auch Daten über tieftorfigen Flächen benötigt (Okx, pers. Mitt. 2017).

4.4.2 Organisation und Finanzierung

Verantwortlich für die Durchführung der Kartierung ist die Universität Wageningen (*Wageningen University & Research, Wageningen Environmental Research [Alterra], Team Soil, Water and Land Use*). Die Universität hat eigenes Feldpersonal, insgesamt sechs Personen davon vier Personen mit langjähriger Felderfahrung (> 20 Jahre). Bei Bedarf wird neues Feldpersonal durch die eigenen Fachleute ausgebildet. Die Zusammenarbeit mit privaten Ingenieurbüros hat sich nicht bewährt, weil diese nicht über das benötigte Fachwissen verfügten und ihre Arbeit nicht die erforderliche Qualität erreichte hatte. Die Zusammenarbeit mit privaten Firmen wird zudem erheblich erschwert, weil diese Daten oder Modelle nicht herausgeben (z. B. Spektralbibliotheken, Kalibrationsmodelle, Okx, pers. Mitt. 2017).

Finanziert wurde die Aktualisierung der organischen Böden durch das niederländische Wirtschaftsministerium (de Vries et al., 2014). Das Budget für die Aktualisierung betrug € 1.2 Mio (CHF 1.3 Mio) und lag je nach Teilgebiet bei € 3.00–3.30 pro ha (CHF 3.30–3.70 pro ha). Ungefähr drei Viertel der Kosten der Bodenmodellierung (siehe Methodik unten) entfiel auf die Feldarbeit. Gegenüber der ursprünglich geplanten konventionelle Kartierung konnten die Kosten durch Bodenmodellierung auf einen Drittel gesenkt werden (Kempen et al., 2012). Die Kosteneinsparungen auf 35 % im Vergleich zu einer konventionellen Kartierung wurden auch im nachfolgenden Projekt bestätigt (Okx, pers. Mitt. 2017).

Die Datensicherung und -archivierung findet zentral beim geologischen Institut statt.

4.4.3 Methodik

Zu Beginn des Projekts wurde mittels konventioneller Polygonabgrenzung kartiert. Die Methodik der Kartierung wurde im Verlauf des Projekts geändert, da neue Forschungsergebnisse vorlagen, die Kosten mit dem konventionellen Vorgehen nicht eingehalten werden konnten und die Arbeiten zu langsam fort schritten (Kempen et al., 2015). Ab 2011 wurde auf Bodenmodellierung umgestellt. Die Niederlande sind damit das erste Land Europas, das Bodenmodellierung auf nationaler Ebene ausserhalb der Forschung eingesetzt hat. Die Bodenmodellierung wurde in Zusammenarbeit mit dem verantwortlichen Kartierungsteam durchgeführt (Kempen, 2011).

Neu erhobene Bodendaten

Die Umstellung auf die Bodenmodellierungsmethodik hat die Feldarbeit für die Kartierungsfachleute wesentlich verändert, da im Feld nicht mehr homogenen Einheiten abgegrenzt werden mussten. Zudem wurden die Standorte für Bohrungen neu mit einem statistischen Design und nicht mehr gutachtlich im Feld ausgewählt. Basierend auf der bereits vorhandenen 1:50 000-Karte wurde eine stratifizierte Stichprobe mit gleichmässiger räumlicher Verteilung (*spatial coverage sampling*, Walvoort et al., 2010) gewählt. Stratifiziert wurde nach den Bodentypen der 1:50 000-Karte oder nach Grossregionen, sofern die zu kartierenden Flächen weit auseinander lagen. Die räumliche Dichte der Bohrungen wurde gutachtlich festgelegt (eine Bohrung pro 50–200 ha). Tieftorfige Gebiete wurden mit einer Bohrung pro 50 ha untersucht, da die Archivdaten (siehe unten) häufig zensiert waren. In Gebieten mit neueren Erhebungen (2001–2004) wurde im Schnitt einmal pro 200 ha und auf den weiteren Flächen einmal pro 75 ha gebohrt. Insgesamt wurden rund 5 000 Bohrungen erhoben (de Vries et al., 2014; Kempen et al., 2012, 2015, de Vries, pers. Mitt. 2018,).

Der Edelmannbohrer stellte sich als das effizienteste Gerät heraus, da aufgrund des Zielmassstabes die Bohrstandorte weit auseinander liegen und Handbohrungen in den feinkörnigen oder sandigen Böden der Niederlande einfach durchzuführen sind. Textur und C_{org} wurden im Feld geschätzt. Die Genauigkeit der Feldschätzungen war sehr gut. Einzig kleinere C_{org} -Gehalte waren schwierig zu schätzen.

Datenerfassung im Feld

Widerstandsfähige Feldcomputer wurden in den Niederlanden bereits seit einiger Zeit eingesetzt (z. B. Modell Husky, DVW Electronics). Für die aktuelle Kartierung wurden robuste Tablet Computer (Motion, Xplore Technologies) mit Touchscreen verwendet, die mit einem Stift bedient werden. Die Dateneingabemaske war mit der Bodenkarte verknüpft und liess durch die Klassifikation erlaubte Eingaben zu (Abbildung 11). Neben Punkt-Beschreibung erlaubte die Anwendung weiter die direkte Erfassung Polygonen inkl. Attributen.

Das Feldpersonal war bereits an die älteren Feldcomputer gewöhnt und hat dieses Hilfsmittel schnell akzeptiert. Die Dateneingabemaske wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Feldpersonal entwickelt. Der Feldcomputer ersetzte zudem alle Informationen in Papierform (Feldkarte, Datenschlüssel, Anleitungen zur Feldansprache etc.), bot eine bessere Übersicht über alle Hilfsinformationen und reduzierte das Material, das ins Feld mitgenommen werden musste (Okx, pers. Mitt. 2017, Pleijter und Woltjer, 2012). Im Laufe des Projekts wurde weiter die modellierte Bodenkarte in die Feldcomputer integriert.

Ein wichtiger Vorteil des Computereinsatzes war die direkte Kontrolle der Eingaben. Datenschlüssel-widrige Eingaben waren dank vorgegebenen Eingabeoptionen (Dropdown-Menüs) nicht mehr möglich. Dies hatte die Datenqualität insgesamt wesentlich verbessert, eine sehr grosse Ersparnis bei der Qualitätskontrolle der Daten gebracht und die Anzahl Korrekturen massiv reduziert. Weiter gingen durch die direkte Eingabemöglichkeit weniger Daten verloren, und es entstand mit dem Punktdatensatz bereits ein vollständiges (Zwischen-)Produkt (Pleijter und Woltjer, 2012).

Die Feld-Tablets waren genügend wasser-, schlag- und schmutzresistent. Einzig die Bildschirme waren bei intensiver Sonneneinstrahlung für die Eingaben zu wenig hell. Zudem wurde die Eingabemaske für ein bestimmtes Betriebssystem (Windows 7) und GIS-Software (ArcInfo) entwickelt. Die Maske muss deshalb in nächster Zeit auf die aktuellsten Versionen dieser Software portiert werden (Okx, pers. Mitt. 2017).

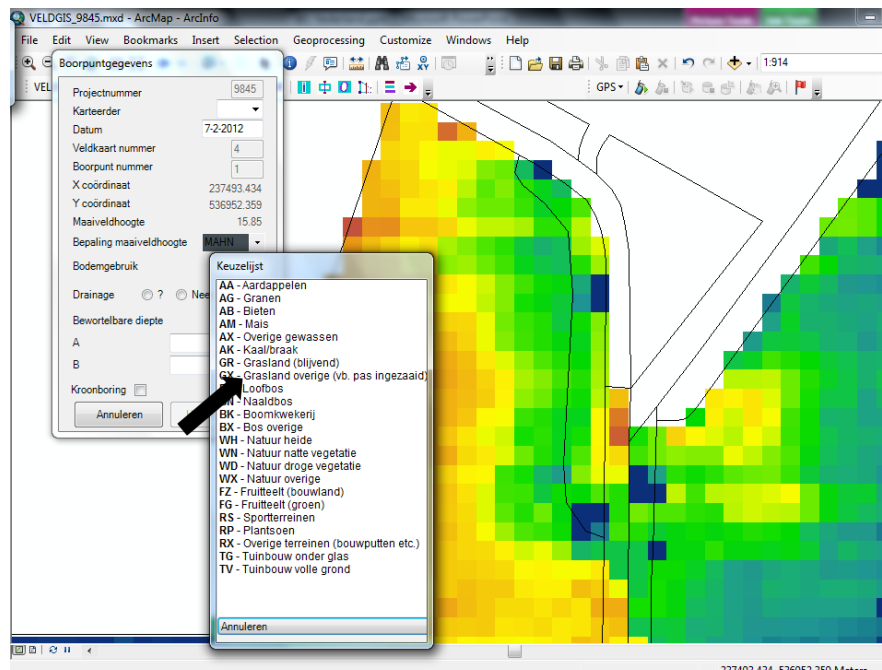


Abbildung 11: Eingabemaske des Feldcomputers mit abschliessender Auswahlliste zur Landnutzung, verwendet für die Feldarbeit in den Niederlanden (Pleijter und Woltjer, 2012, Quelle:).

Archiv-Bodendaten mit Torf-Abbaumodell

Aus der bisherigen Kartierung 1:50'000, aus Kartierungen im Massstab 1:10'000 sowie diversen Projekten war bereits eine grosse Menge an Archivdaten in der niederländischen Bodendatenbank vorhanden. Für die flächendeckende Bodenkartierung 1:50 000 waren im Mittel 8–10 Bohrungen pro km² ausgeführt worden (Kempen et al., 2012).

Zudem wurde in den Jahren 2004–2005 eine Übersichtserhebung mit 5 300 Bohrungen mit reduzierter Datenerfassung durchgeführt. Diesen Daten wurde nachträglich aufgrund der Klassifikation eine mittlere Torfmächtigkeit und Torfhorizontobergrenze zugewiesen (Kempen et al., 2015). Insgesamt standen von rund 34 000 Standorten Bodendaten zur Verfügung (Okx, pers. Mitt. 2017).

Archivdaten, die älter als 5 Jahre waren, wurden mit einem Torfabbau-Modell aktualisiert. Dieses Modell sagt die aktuelle Torfmächtigkeit vorher und berücksichtigte einen mittleren minimalen Grundwasserstand und schätzte die Torfabbaurrate aus den Daten. Wo anstelle der Torfmächtigkeit (in cm) nur die Bodenklassifikation bekannt war oder der Torf tiefer reichte als die Beobachtung (zensierte Daten), wurden für das Torfabbau-Modell zufällig Werte aus dem durch die Klassifikation vorgegebenen Intervall oder einer angenehmen Verteilung gezogen. Die korrigierten Daten wurden anschliessend für die Bodenmodellierung (siehe Methodik unten) verwendet, wobei die Daten über Torfmächtigkeit gemäss Unsicherheit gewichtet wurden. Die Unsicherheit des Torfabbau-Modells wurde später in der zum schlussendlichen Datenprodukt gehörenden Unsicherheitskarte berücksichtigt (Kempen et al., 2015).

Sekundärdaten

Für die Modellierung wurden insgesamt 54 Kovariablen verwendet, welche von folgenden bereits vorhandenen Datensätzen abgeleitet wurden (Kempen et al., 2015):

- Ableitungen aus der (veralteten) Bodenkarte 1:50'000: Torftyp, -mächtigkeit und -degradierungsgrad, Abbauegefährdung, Oberflächenlithologie.
- Grundwassertiefe (Auflösung 25 m): Mittlerer jährlicher Höchst- und Niedrigststand.
- Höhenmodell (Auflösung 25 m): diverse topographischen Indices berechnet in Fokalregionen mit Radii 1 km.
- Historische Landnutzungskarten ab 1900, welche kultiviertes von nicht kultiviertem Land unterscheiden und verschiedene Landgewinnungsperioden abbilden.
- Geohydrologische Karte (Auflösung 100 m), Sedimenttiefe.

Erstellung der Bodenkarte

Die Karte der Bodentypen wurden indirekt aktualisiert, indem anstelle von Klassen zwei diagnostische Grössen modelliert und vorhergesagt wurden. Dies waren die Torfmächtigkeit und die Tiefe der Obergrenze des ersten Torfhorizonts (Zielgrössen). Dieses Vorgehen liess eine einfachere Modellierung zu. Aus diesen beiden Zielgrössen konnten die fünf Hauptbodengruppen der niederländischen Bodenklassifikation hierarchisch abgeleitet werden. Weiter wurde die Torfmächtigkeit von einigen Endnutzern direkt nachgefragt und Angaben über Bodentypen vorgezogen.

Die Zielgrössen hatten hohe Anteile an Nullwerten (*zero-inflated data*), da kein Torfhorizont mehr gefunden wurde. Aus diesem Grund wurden die Karten in zwei Schritten hergestellt. Zuerst wurde die Präsenz/Absenz von Torf als Torf-Auftretenswahrscheinlichkeit mit einer logistischen Regression vorhergesagt. Anschliessend wurde die Torfmächtigkeit mittels Kriging mit externer Drift modelliert. Diese Modellierungsschritte wurden für sechs bodengeographisch unterschiedliche Teilgebiete separat durchgeführt. Weiter wurden für die Zielgrössen Unsicherheitskarten erstellt.

Die Zielgrössen wurden mit einer Rasterweite von 50 m vorhergesagt. Die daraus abgeleiteten Hauptbodengruppen wurden für die 1:50 000-Karte räumlich generalisiert und als Polygone dargestellt. Weiter wurde mit dem Fachwissen der Kartierungsfachleute eine Tabelle erstellt, um weitere Bodenklassifikationselemente (*soil codes*) abzuleiten. Da diese nicht direkt aus den Hauptbodengruppen folgen, wurden sie unter Einbezug des räumlichen Kontexts hergeleitet. Dazu wurde ein automatisierter GIS-Arbeitsablauf implementiert. Die Erstellung der Polygonkarte war keine einfache Aufgabe, da die neuen Kartenteile die gleiche Informationen wie die bisherige Karte enthalten musste (Kempen et al., 2015).

Qualitätskontrolle

Für die Überprüfung der Genauigkeit der neuen Karte wurde eine stratifizierte Validierungsstichprobe erhoben. Zudem prüften die Kartierungsfachleute die Karte und suchten bei unplausiblen Ausschnitten nach Ursachen (Kempen et al., 2015)

Für zwei Teilgebiete mit 89 und 150 Validierungsbohrungen betrug die mittlere absolute Abweichung der Torfmächtigkeit zwischen der Karte und den Bohrungen 23.5 und 30.9 cm. Das Bestimmtheitsmass (R^2) lag bei 0.50 und 0.65.

Produkte

Aus dem Projekt resultierten Karten der Torfmächtigkeit und der Tiefe des obersten Torfhorizonts (50 m-Raster) sowie die Bodenkarte 1:50 000 mit den aktualisierten organischen Hauptbodengruppen. Je nach Kundenwunsch werden spezifische Interpretationen der Karten-

produkte ausgeliefert. Anfragen kommen vor allem von Gemeinden zu Raumplanungsfragen und von den lokalen Wasserbehörden.

4.4.4 Ausblick

Das Torf-Abbaumodell schätzte, dass pro Jahr ca. 1 cm Torf abgebaut werden. Damit wird die Bodenkarte in rund 10 Jahren bereits wieder veraltet sein (Kempen et al., 2015). Eigentlich müsste die Degradierung der organischen Böden mit einem Beobachtungsnetz verfolgt werden, um die Abbaubedingungen besser zu verstehen und die Karte einfacher zu aktualisieren. Dazu fehlt jedoch ein Auftrag und die Finanzierung.

Momentan laufen Arbeiten zur Aktualisierung der Bodenkarten von jüngeren Poldern (erstellt ab 1942) mit demselben Verfahren. Die Beprobungsdichte für die Neuerhebungen liegt bei einer Bohrung pro 80 ha (de Vries, pers. Mitt. 2018).

Weiter laufen Versuche zur Verwendung von Sensortechnologie zur Bestimmung von bodenhydrologischen Eigenschaften (Knotters et al., 2016). Geprüft wurden zudem Drohnenflüge mit einem Gamma-Spektrometer. Diese Erhebung ist momentan noch recht teuer (€ 6 000.- für 60 ha). Deshalb haben für grossmassstäbliche Kartierungen elektromagnetische Messungen und Vis-NIR-Sensoren und für nationale Kartierungsarbeiten im kleinen Massstab spektrale Informationen aus Satellitenprogrammen (z. B. Sentinel) ein grösseres Potential (Okx, pers. Mitt. 2017).

4.5 Schweden – Kartierung Ackerfläche

4.5.1 Hintergrund

Schweden verfügt einzig über eine Übersichtsbodenkarte 1:1 Mio. (1987) für das ganze Land. Einzelne Karten im Massstab von 1:20 000 decken 1 000 km² oder 3 % des Ackerlandes ab (Jones et al., 2005).

Ziel der neuen Bodenerhebung war eine nationale Texturkarte für den grössten Teil der Ackerfläche zu erstellen, da die bisher verwendete Karte auf einer sehr kleinen Anzahl Proben basierte. Hauptargument für die Erhebung neuer Bodendaten war wie in Norwegen (Abschnitt 4.3) die Nährstoffauswaschung in die Ostsee, welche unter Eutrophierung leidet (Djodjic, pers. Mitt. 2017). Bisher war eine Texturkarte verwendet worden, die auf Daten von 3 000 Beprobungsstandorten (1988–1995) basierte. Die Texturkarte war bereits damals mit der Interpolationsmethode der inversen Distanzgewichtung erstellt worden (Eriksson et al., 1999; Djodjic, 2014). Um die Genauigkeit dieser Karte zu verbessern, wurden in den Jahren 2011–2012 neue Beprobungen auf einer Fläche von 25 000 km² durchgeführt (entspricht ca. 90 % der schwedischen Ackerflächen, Paulsson et al., 2015; Piikki und Söderström, 2016).

4.5.2 Organisation, Ablauf und Finanzierung

Für die Kartierung war das Schwedische Zentralamt für Landwirtschaft (*Swedish Board of Agriculture / Jordbruksverket*) verantwortlich. Zu Beginn des Projekts wurde ein Workshop mit Wissenschaftlern, Statistikerinnen, Beratungsbüros mit bodenkundlicher Erfahrung und Endanwendern durchgeführt, um das Vorgehen festzulegen. Insbesondere wurden die Anzahl

Beprobungsstandorte, deren Lage, und die zu analysierenden Kenngrößen besprochen. Anschliessend wurde dem statistischen Zentralamt von Schweden (*Statistics Sweden / Statistiska centralbyrån*) den Auftrag erteilt, eine randomisierte Stichprobe der Beprobungsstandorte zu erstellen.

Feldarbeit und Probenanalysen wurden zwei Organisationen übertragen. Eine national tätige landwirtschaftliche Beratungsfirma, welche Bodenproben für Landwirtschaftsbetriebe analysiert, führte die Beprobung in einem Teil von Schweden durch. *Eurofins Scientife* (<https://www.eurofins.se>) war für die Beprobung des anderen Landesteils und für die Laboranalysen zuständig. *Eurofins* ist das grösste Bodenlabor in Schweden und eine der grössten Laborfirmen weltweit und hatte mit der Analyse der 13 000 Proben keine Kapazitätsprobleme.

Die schwedische Universität für Agronomie (*Swedish University of Agricultural Sciences / Sveriges lantbruksuniversitet*) führte als Auftragsarbeit die räumliche Interpolation der Messwerte und die Bodenmodellierung (siehe Abschnitt *Kartenerstellung* unten) aus und erzeugte aus der Textur- eine Erosionsrisikokarte.

Die Gesamtzahl von Arbeitsstunden ist aufgrund der zahlreichen beteiligten Personen nicht bekannt. Das Projektbudget betrug SEK 14 Mio. (CHF 1.6 Mio.). Dazu kommen die Lohnkosten für die zwei Projektleitenden, welche nicht im Budget eingeschlossen waren (Carlsson-Ross, pers. Mitt. 2017).

4.5.3 Methodik

Erhobene Bodendaten

Ursprünglich war geplant, nur die Textur zu messen. Nach Diskussionen mit Forschenden wurde die Parameterliste erweitert. Vorangehende Forschungen hatten gezeigt, dass die Phosphor-Bindungsstärke wesentlich vom Aluminium- und Eisengehalt abhängt, welche kostengünstig zusätzlich analysiert werden können. Schlussendlich wurden folgende Größen bestimmt: Textur, Gehalt organischer Substanz, pH, Fe, Al, K, Ca, leicht lösliches Mg und P. Die Analysen wurden im Labor nach standardisierten Methoden durchgeführt. Beprobte wurde ausschliesslich der Oberboden von Ackerflächen (ohne organische Böden und Flächen im hohen Norden). Insgesamt wurden 13 000 Stichprobenpunkte beprobt, die regelmässig über die Ackerfläche verteilt wurden (1 km-Rasterstichprobe mit kleinen zufälligen Verschiebungen, um Rückschlüsse auf die genaue Lage der Beprobungsstandorte zu verhindern, Jordbruksverket, 2017)

Eine Rasterstichprobe wurde gewählt, weil diese die Stichprobenpunkte gleichförmig verteilte. Dies erleichterte die räumliche Interpolation der Messwerte. Das Hauptargument für die Rasterbeprobung war jedoch, dass aus einem Umweltbeobachtungsprogramm bereits Texturdaten von 2 000 Standorten verfügbar waren, die auf einem Raster über ganz Schweden verteilt waren. Diese Daten waren die Grundlage für die im Jahr 1999 erstellten Texturkarte und konnten dem neuen Raster gut ergänzt werden. Künftige Erweiterungen der Stichprobe können erneut auf einem Raster erfolgen (Carlsson-Ross, pers. Mitt. 2017).

Oberbodenmischproben wurden mit einem Bohrstock an mindestens 9 Orten im Abstand von 3–5 m um den vorgesehenen Rasterstichprobenpunkts bis in eine Tiefe von 20 cm entnommen (Kyllmar, 2018). Die Bodenproben wurden archiviert und können für Forschungsprojekte verwendet werden (Carlsson-Ross, pers. Mitt. 2017).

Datenerfassung

Die exakten Koordinaten wurden mit einem GNSS-Gerät aufgenommen. Sofern der gemäss Rasterstichprobe vorgesehene Ort wegen Hindernissen (Verweigerung des Zugangs durch Besitzer, Felsen, Zäune, kein Ackerland, zu nahe am Feldrand) nicht beprobt werden konnte, wurden der Stichprobenpunkt um bis zu 10 m (z. B. zur Feldmitte) verschoben oder nicht beprobt. Die Verschiebung wurde zusammen mit den weiteren Angaben vom Feldpersonal auf dem extra für diese Feldaufnahmen entwickelten Datenblatt notiert. Dieses Datenblatt wurde zusammen mit dem Probenmaterial an das Labor geliefert, wo die Information vom Labor in eine Excel-Tabelle übertragen wurde.

Dieses Vorgehen führte in einigen Fällen dazu, dass die Koordinaten vertauscht wurden und die Analysen nicht verwendet werden konnten. Der Austausch zwischen dem Zentralamt für Landwirtschaft und mit den Feld- und Laborteams wurde intensiviert, um solche Fehler zu vermeiden. Am Schluss lagen von den 13 000 beprobten Standorten Daten für 12 598 vor (Carlsson-Ross, pers. Mitt. 2017).

Qualitätskontrolle Bodendatenerhebung

Die Genauigkeit der Laboranalysen wurde vor dem Projekt überprüft, indem Analysen von Bodenproben durch *Eurofins* und zwei anderen Laboratorien verglichen wurden. Eigentlich wäre vorgesehen gewesen, dass während der Kartierung Vergleichsproben in den Analyseserien mitgemessen werden sollten. Dies ging bei der Instruktion des Feldpersonals der beiden privaten Firmen jedoch leider vergessen. Diese Unterlassung ist aus Sicht der Projektleitung die einzige wesentliche Schwäche des Gesamtprojekts (Carlsson-Ross, pers. Mitt. 2017).

Kartenerstellung

Bei Projektbeginn war nicht beabsichtigt gewesen, die Bodenkarte durch Bodenmodellierung zu erstellen. In einem ersten Schritt wurden Karten mit einer vereinfachten räumlichen Interpolationsmethode (Vonoroi-Interpolation mit manueller Anpassung) erstellt und mit bisherigen Texturkarte verglichen, um festzustellen, ob die zusätzlichen Proben die Genauigkeit der Karte verbessern konnten (Djodjic, pers. Mitt. 2017, Djodjic, 2014, 2015).

Danach wurde aber mit einem Bodenmodellierungsansatz Texturkarten mit einer Rasterauflösung von 50 m erzeugt. Dazu wurden ungefähr 15 000 Datenpunkte aus der aktuellen sowie der Erhebung der frühen 90er-Jahre verwendet.

Als Sekundärdaten standen folgende Datensätze (insgesamt 8 Kovariablen) zur Verfügung:

- Konzentrationen ²³²Thorium und ⁴⁰Kalium aus Gammaspektroskopie-Befliegungen (seit 1968) mit unterschiedlichen Flughöhen und u.a. deshalb aufwändiger Datenaufbereitung,
- Höhe über Meer und topographische Indices auf drei Massstabsebenen abgeleitet aus Lidar-Höhenmodell,
- Karte der Quartärablagerungen (2 Varianten von aggregierten Klassen, vereinfachte Polygone aufgrund der Unsicherheiten an den Polygongrenzen).

Zur Verknüpfung dieser Geodatensätze mit dem Ton- und Sandgehalt wurden *Multivariate Adaptive Regression Splines* (MARS, nicht-parametrische Regressionstechnik, die nicht-lineare Beziehungen und Kovariablen-Interaktionen berücksichtigt) verwendet. Die zu kartierende Fläche wurde für die Modellierung in 23 Teilgebiete aufgeteilt und die resultierenden Kar-

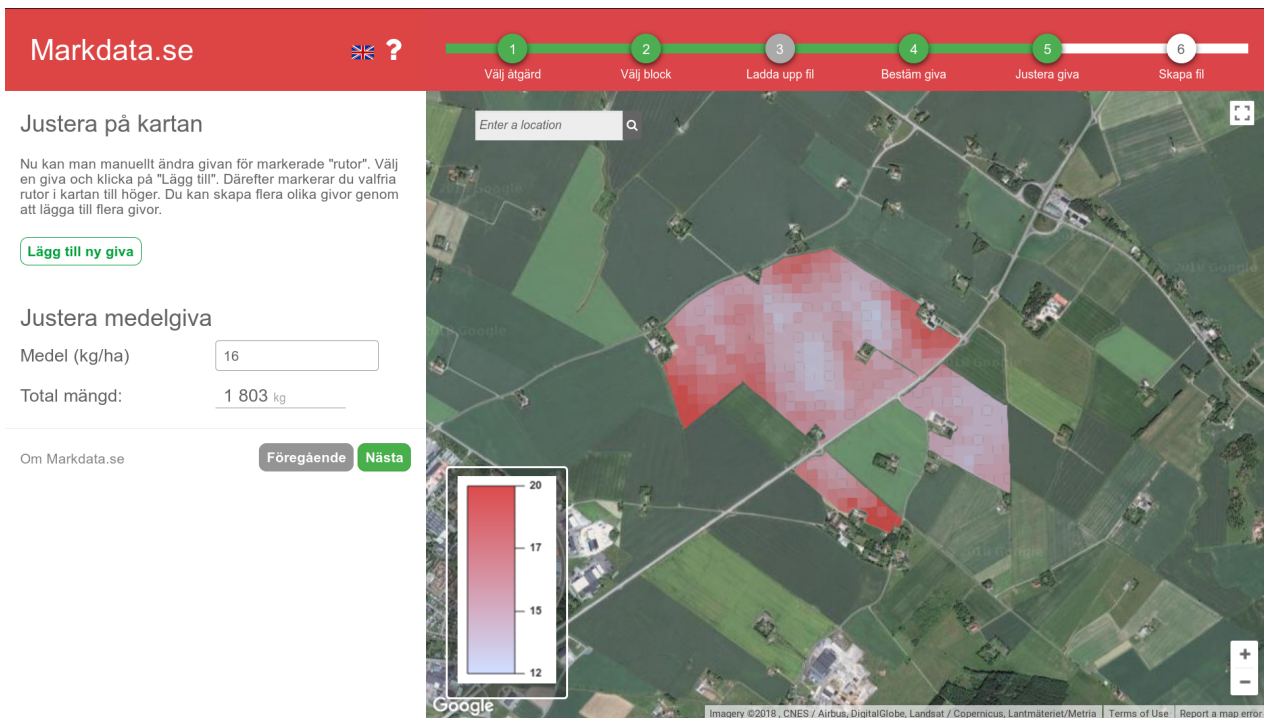


Abbildung 12: Schwedische *Precision Farming*-Applikation *Markdata*, welche aufgrund der Oberbodentexturkarte variable Saatmengen und Kalkungen pro Parzelle berechnet. Für die jeweils ausgewählten Parzellen können die aktuellen pH-Werte hochgeladen werden (Quelle: SLU, 2016).

ten zusammengefügt. Die Genauigkeit der Karte wurde mit einer 10-fachen Kreuzvalidierung überprüft. Der mittlere absolute Fehler betrug 5.6 % für den Tongehalt und 10 % für den Sandgehalt, die quadrierten Korrelationskoeffizienten (r^2) zwischen gemessenen und vorhergesagten Werten beliefen sich auf 0.76 und 0.70. Aus den Ton- und Sandgehaltskarten wurden zusätzlich die FAO-Texturklassen abgeleitet und je eine Karte mit der räumlichen Verteilung der Unsicherheiten der Vorhersage erstellt (Piikki und Söderström, 2016; Söderström und Piikki, 2016; Söderström et al., 2016).

4.5.4 Produkte

Eine Übersichtskarte kann als Raster-Datei mit einer Pixelweite von 10 km bei der schwedischen Universität für Agronomie heruntergeladen werden. Die genauere Bodenkarte wird auf Anfrage abgegeben (Jordbruksverket, 2017). Die durch Söderström und Piikki (2016) modellierte Texturkarte kann über einen Geodaten-Viewer visualisiert (Tabelle A2) und beim schwedischen geologischen Dienst (*Geological Survey of Sweden / Sveriges geologiska undersökning*) kostenlos bezogen werden (Piikki und Söderström, 2016).

Momentan wird basierend auf der modellierten Texturkarte eine Erosionsrisikokarte abgeleitet. Diese Karte wird in einem weiteren Projekt verwendet, in dem Rahmen der HELCOM (zwischenstaatliche Kommission für den Schutz der Meeresumwelt im Ostseeraum) in regelmäßigen Abständen die Nährstoffauswaschungen in die Ostsee berechnet wird (Carlsson, pers. Mitt. 2017). Die Karten werden zudem in der *Precision Farming*-Applikation *Markdata* verwendet, mit der Landwirte texturabhängige Saatmengen und Kalkungen berechnen können (Abbildung 12, Piikki und Söderström, 2018).

4.5.5 Ausblick

Momentan ist kein Nachfolgeprojekt geplant. Sofern Ressourcen für weitere Erhebungen gefunden werden könnten, wäre nicht die Beprobung, sondern räumliche Erweiterung der Untersuchungen auf den in diesem Projekt ausgeschlossenen hohen Norden von Schweden prioritär (Carlsson, pers. Mitt. 2017).

4.6 Albanien – Kartierung Landwirtschaftsfläche 1:10'000

4.6.1 Hintergrund

In Albanien wird momentan eine grossflächige Detailkartierung durchgeführt. Albanien wurde erstmals in den 1950er-Jahren gesamthaft im Massstab 1:200 000 mit einer an das russische System angelehnten Klassifikation kartiert. Zwischen 1971 bis 1980 wurden Karten im Massstab 1:50 000 und 1:10 000 für die gesamte Landwirtschaftsfläche (ebenfalls mit dieser Klassifikation) erstellt. Für das Küstengebiet wurden 2001 die Karten 1:50 000 in das System der WRB übertragen. Die Bedeutung, welche Bodeninformation vor dem politischen Umbruch Anfangs der 90er-Jahre in Albanien hatte, wird weiter unterstrichen durch die in 5-Jahresabständen erfolgten Probenahmen zur Überwachung der Bodenfruchtbarkeit: Bis 1990 wurden diese Untersuchungen mit einer Beobachtung (Profil/Bohrung) pro 10 ha im flachen und pro 3-5 ha in Hügelgebiet und Gebirge durchgeführt. Nach 1990 wurden diese Daten in einem Landwirtschaftsverzeichnis pro Bezirk zentral abgelegt, dabei ging jedoch die räumliche Zuordnung verloren (Zorba et al., 2016).

Bodenkarten werden heute im Rahmen eines nationalen Bodenüberwachungsprogramms erstellt, das die Landeignung evaluiert (Titel: "Sustainable Management of Agricultural Land"). Die Kartierung ist Teil des Agrarlandinventars des albanischen Ministeriums für Landwirtschaft und ländliche Entwicklung. Zielfläche der Kartierung ist nur die effektiv genutzte Landwirtschaftsfläche (ca. 500 000 ha).

Die Bodenkarten werden verwendet für eine nachhaltige Landnutzungsplanung, Nutzungseignung für bestimmte landwirtschaftliche Kulturen, Auswertung von regionalen Verteilungsmustern der Bodeneignung (Zdruli, pers M. 2018) und für weitere Aufgaben wie die Identifikation von Gebieten mit natürlichen Einschränkungen nach Richtlinien der Europäischen Union (Zorba et al., 2016).

4.6.2 Organisation und Ablauf

Verantwortlich für die Kartierung ist das Zentrum für landwirtschaftlichen Technologietransfer (QTTB, Fushë-Krujë, Albanien), welches dem oben genannten Ministerium angehört. Finanziert wird die Kartierung vollständig durch dieses Ministerium, wobei keine Zahlen veröffentlicht werden.

Zwei erfahrene Bodenkundler sowie drei Nachwuchskräfte arbeiten an der Kartierung (Zdruli, pers. Mitt. 2018). Seit 2003 wurden pro Jahr Flächen von 6 000 bis 60 000 ha kartiert. Ende 2016 waren somit 240 000 ha oder 34 % der Zielfläche kartiert (Zorba et al., 2016). Das Personal plant die Kartierung der kompletten Fläche von 500 000 ha in den nächsten 7 Jahren fertigzustellen. Das QTTB verfügt über ein eigenes Labor für Bodenanalysen und andere Aufgaben, welches durch ca. 4 Personen betrieben wird. Bodenproben werden beim QTTB archiviert (Zdruli, pers. Mitt. 2018).

4.6.3 Methodik und Produkte

Die aktuelle Kartierung 1:10 000 stützt sich auf eine Bohrung/Profil pro 2.5 ha. Dabei wird ungefähr pro 10 Bohrungen ein Profil geöffnet. Verwendet werden Handbohrer, die Profile werden bis zum Ausgangsgestein oder bis in eine Tiefe von 2 m von Hand gegraben. Bagger o.ä. werden manchmal verwendet, sofern einer in der Nähe verfügbar ist. Teilweise werden Profile an Aufschlüssen bei Strassen angelegt. Pro Person werden im Schnitt 1–2, teilweise sogar 4 Profile pro Tag angesprochen. Die Bohr- und Profilstandorte werden durch die Bodenkartierer gutachtlich festgelegt und die Koordinaten mit einem GNSS-Gerät bestimmt (Zdruli, pers. Mitt. 2018).

Archivierte Bodendaten werden nur in Form von alten Papierkarten verwendet, diese spielen jedoch eine wichtige Rolle. Die meisten Bodendaten gingen leider während der politischen Transitionsphase in den 90er-Jahre verloren.

Bodenbasiseigenschaften werden im Feld nach Standardreferenzwerken (FAO, USDA) geschätzt und physikalische und chemische Eigenschaften im Labor gemessen. In der Datenbank erfasst werden folgende Bodeneigenschaften: Skelett Oberboden, Textur Ober- und Unterboden, Gründigkeit, Bodenstruktur des Ober- und Unterbodens, elektrische Leitfähigkeit, Hydromorphiemerkmale, Flurabstand, Vorhandensein künstlicher Drainagen inkl. Typ, Wasserrückhaltevermögen, Hochwasserrisiko, Erosionsrisiko, Bodenbedeckung, Anteil austauschbaren Natriums, Kationenaustauschkapazität, Fruchtbarkeit Oberboden (abgeleitet aus pH, Gehalt organischer Substanz, verfügbares Phosphor, austauschbares Kalzium, Kalium, Magnesium und Natrium), Nutzungslimitationen und -eignungsklasse (Zdruli, pers. Mitt. 2018, Zorba et al., 2016). Die Böden werden nach WRB klassiert. Die Ableitung weiterer Bodenfunktionen mittels Pedotransferfunktionen wird nicht gemacht und ist nicht geplant (Zdruli, pers. Mitt. 2018).

Bodeneinheiten werden durch das Kartierungspersonal als Polygone ausgeschieden. Dabei werden die im Feld erhobenen Bodendaten und kartographische Informationen (vorhandene Bodenkarten, Geomorphologie, Geländeformen, Relief, Vegetationsbedeckung und geologische Karten) verwendet. Bei Feld- und Laborarbeiten werden keine Näherungsmethoden angewandt (z. B. Vis-NIR), und es werden keine Feldcomputer eingesetzt.

Geplant ist, Karten der Basisbodeneigenschaften zu erstellen und über ein Web-Portal des Landwirtschaftsministeriums zu publizieren, sobald die Kartierung abgeschlossen ist (Zdruli, pers M., 2018) .

4.7 Grossbritannien – *UK Soil Observatory* und *Citizen Science*

In England wurden in den letzten Jahren keine neuen Bodenkarten aufgenommen bzw. den Endnutzern verfügbar gemacht (zur Bodenmodellierungen in Schottland siehe 3.3). Auf die Situation in Grossbritannien wird hier näher eingegangen, weil dieses Lan über ein zentrales BIS verfügt und zwei interessante *Citizen Science*-Applikation entwickelt hat.

4.7.1 UK Soil Observatory (UKSO)

Datengrundlage

In Grossbritannien ist die vorhandene Bodeninformation aufgrund der politischen Einteilung fragmentiert. Für England und Wales wurde 1983 nach mehr als 60 Jahren Arbeit eine flächen-deckende Karte im Massstab 1:250 000 fertiggestellt (NATMAP, National Soil Map of England and Wales, Fläche 151 000 km², Cranfield University, 2018a; Farewell und Hallett, 2017). Diese weist rund 300 verschiedene Bodengesellschaften aus und liegt seit 2001 als Vektordatenprodukt vor. Das vollständige Produkt NATMAP Vector kann für £ 500.- pro 1 000 km² gekauft werden (Cranfield University, 2018a). *LandIS* (Land Information System) bietet freien Zugriff auf eine generalisierte Version der Karte. Weiter können für ein gewünschtes Gebiet Berichte mit thematischen Karten und lokalen Auswertungen des Bodenbeobachtungsnetzes generiert werden (Tabelle A3, Abbildung 13). Für gewisse Regionen sind detailliertere Karten im Massstab zwischen 1:25 000 bis 1:100 000 vorhanden, wobei Karten in mittleren Massstäben 1:63 360 und 1:25 000 ca. 25 % der Fläche von England und Wales abdecken (Jones et al., 2005). Diese Karten werden ebenfalls über die Cranfield University vertrieben (Larman, 2018). Das Bodenbeobachtungsnetz (*National Soil Inventory*) verfügt über mehr als 6 000 Messstellen, die auf einem 5 km-Raster angeordnet sind. Die Ersterhebung fand 1980 statt. Mitte der 90er-Jahre wurden die Standorte teilweise erneut beprobt (Baritz et al., 2008).

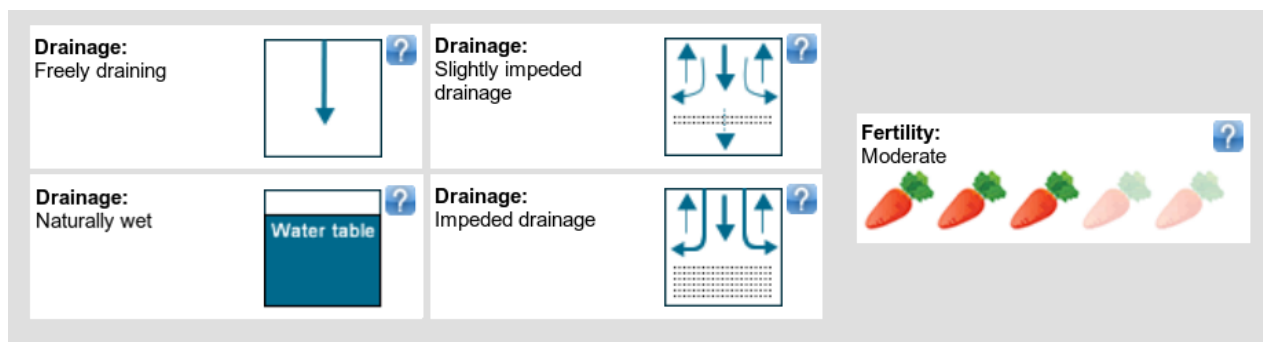


Abbildung 13: In LandIS (Land Information System) werden in der Legende pro Polygon einer Bodengesellschaft die Wasserhaushaltsklassen (links) und die Bodenfruchtbarkeitsbewertung (rechts) mit einfach verständlichen Symbolen dargestellt. Eine Detailbeschreibung kann mit dem ?-Knopf neben dem Symbol abgerufen werden (Quelle: Keay, 2018).

Für Schottland wurde zwischen 1947 und 1981 ebenfalls eine Übersichtsbodenkarte 1:250 000 mit Polygonen, welche die Verteilung von Bodengesellschaften darstellen (Komplexe), erstellt. Die neuste digitale Version wurde 2013 nach Anpassungen der Bodenklassifikation publiziert und ist frei zugänglich. Der grösste Teil der Ackerfläche wurde zudem im Massstab 1:25 000 kartiert (Tabelle A3). Zusätzlich zum schottischen BIS gibt es ein Abfragewerkzeug für lokale Referenzprofile *Soil Information For Scottish Soils* (SIFSS). Dieses wurde mithilfe der Bodendatenbank *Scottish Soils Knowledge and Information Base SSKIB* erstellt, welche Daten aus mehr als 40 000 Proben von 13 000 Standorten enthält (The James Hutton Institute, 2018b). Weiter wurden 1979–1988 im 10 km-Raster das *National Soil Inventory of Scotland* mit 720 Profilen erhoben.

Nordirland verfügt eigentlich über eine Karte von Bodengesellschaften im Massstab von 1:50 000 (Bradley et al., 1997), diese liegt vermutlich nicht digital vor (afbi, 2018).

Neben den Übersichts- und Detailkartierungen und den jeweiligen Bodenbeobachtungsmessnetzen wurden im Rahmen des *Countryside Survey* (CS) Umwelt- und Bodendaten in ganz

Grossbritannien erhoben. Der CS dient dem Biodiversitätsmonitoring sowie der Beobachtung der menschlichen Einflüsse auf Umwelt und Klima und wird durch eine Partnerschaft der jeweiligen Regierungsdepartemente sowie des *Natural Environment Research Council* (NERC, britischer Forschungsrat für Umweltwissenschaften) getragen (Jones et al., 2005).

Zentrale Plattform

Diese Bodendaten haben alle verschiedene Dateneigner und werden unter verschiedenen Lizenzen verteilt. Mit dem *UK Soil Observatory* (UKSO) wurde ein zentrales Web-Portal geschaffen, das als Eintrittspunkt für den Zugang zu Grossbritanniens Bodendaten dienen und die Daten, soweit möglich kostenlos, verteilen soll. Die Kartenapplikation bietet mehr als 100 thematische Kartenebenen aus Bodenkartierung und -monitoring mit einheitlich beschriebenen Metadaten (Tabelle A2). Neben den in *LandIS* und dem schottischen BIS vorhandenen Daten werden auch Daten der Bodenbeobachtungsnetze zugänglich gemacht:

- Bodengesellschaften/-gruppen nach lokaler Klassifikation und WRB (1:250 000, flächendeckend)
- C_{org} -Vorrat Oberboden (1:250 000, ohne Nordirland).
- Feldkapazität, Oberbodentextur, Nutzungseignung (1:250 000, Schottland).
- Bodenbiodiversität aus CS (0–8 cm): Shannon-/Simpson-Indices, grobe Taxa Wirbellose, Struktur Bakteriengesellschaften (Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism, 1 km-Raster, ohne Nordirland, Emmett et al., 2008).
- C_{org} -Gehalt/-Vorrat und pH Oberboden (aus CS, 1 km-Raster und Punktdaten BioSoil Waldbeobachtungsflächen in versch. Tiefen, ohne Nordirland).
- Nährstoffe Oberboden: C:N-Verhältnis, P, N_{tot} (aus CS, 1 km-Raster, ohne Nordirland).
- Oberbodenfeuchte, Oberbodendichte (Zylinderproben, aus CS, 1 km-Raster, ohne Nordirland, Emmett et al., 2010).
- Texturklassen, detailliert und aggregiert, Korngrößenklassen Ausgangsmaterial, Substratklassen nach *European Soil Bureau*, Gründigkeitsklassen (1:50 000 und 1 km-Raster, abgeleitet aus Datenbanken zu Geologie und Boden des *British Geological Survey*, ohne Nordirland).
- Bodenchemische Übersichtskarten des *National Soil Inventory* zu zahlreichen Schwermetallen (1 km-Raster, nur England und Wales), Schwermetall-Detailuntersuchung (nur Südwestengland, 500 m-Raster), alle nur sehr grob interpoliert.
- Standorte Bodenbeobachtungsnetz mit Punktabfrage (Schottland).
- Geophysikalische Befliegung Südwestengland (40 m-Raster).
- Blattübersicht Bodenkarten genauer als 1:250 000 (ohne Nordirland).
- Bodentypen für Waldflächen in öffentlichem Besitz (1:10 000, ohne Nordirland).
- Durch Laien erhobene Bodendaten (Abschnitt 4.7.2).

Wie die Liste zeigt, sind die Daten in der räumlichen Abdeckung und im Detaillierungsgrad recht inhomogen. Flächendeckende Karten für ganz Grossbritannien sind meist nur im 1 km-Raster vorhanden. Die für ganz Grossbritannien im Massstab 1:250 000 produzierten Karten sind nicht vollständig harmonisiert. So gibt es für England und Wales, für Schottland und für Nordirland je separate Kartenebenen mit Bodengruppen nach WRB, welche nicht über

die gleiche Legende verfügen und einen deutlichen Blattschnitt an der englisch-schottischen Grenze zeigen.

Je nach Lizenz können die Daten direkt bei UKSO heruntergeladen werden, ansonsten sind in den Metadaten die Bezugsmöglichkeiten und Kosten aufgeführt. Die Plattform soll neben der Verbreitung der Bodendaten an Nutzergruppen mit direktem Bodenbezug zur Bewusstseinsbildung und zur generellen Umweltbildung zum Thema Boden beitragen (Cranfield University, 2018b). Die Plattform stellt neben den Bodendaten in der Kartenapplikation Listen zu bodenrelevanten (Forschungs-)Institutionen, deren Publikationslisten, (Mobile-)Applikationen, Anwendungen in der Privatwirtschaft, Filmmaterial oder Bildungsinstitutionen mit Bodenlehrgängen zusammen.

Die Haupt-Nutzergruppen der UKSO-Plattform sind Gartenbau, Landwirtschaft und Forschung. Die Plattform wird mit rund 2000 Zugriffen pro Woche rege genutzt. Die sehr ansprechende Nutzeroberfläche der Kartenapplikation wurde mit ESRI-Produkten erstellt (Robinson, pers. Mitt. 2017). NERC hat in die Entwicklung der Plattform £ 500 000.- investiert. Der Betrieb und damit die Sicherstellung des öffentlichen Zugangs auf Bodendaten wird mit £ 50 000.- jährlich von NERC unterstützt (NERC, 2017).

4.7.2 Citizen Science, Crowdsourced Data

In Grossbritannien gibt es in Geologie und Umweltforschung zahlreiche Ansätze von *Citizen* oder *Crowd Science* (Forschung durch oder mit Hilfe von interessierten Laien basierend auf Freiwilligenarbeit).

Dabei handelt es sich primär um Smartphone- oder Web-Applikationen, mit welchen Beobachtungen über Pflanzenvorkommen und -gesundheit, Insekten, Raubvögel, aquatischen Lebewesen, vulkanische Asche, Erdbeben, Überschwemmungen, Erdbeben oder temporär frei liegende geologische Aufschlüsse bei Baustellen erfasst werden können (British Geological Survey, 2017a; Centre for Ecology and Hydrology, 2018; Chapman und Gould, 2018; Ambrose-Oji et al., 2014). Dabei werden häufig Social Media zur Rekrutierung, längerfristigen Motivation und Ausbildung von Freiwilligen sowie zur Publikation der Resultate für die Beteiligten verwendet. Gewisse Projekte haben beträchtliche Mengen an Beobachtungen generiert: *LeafWatch* erhielt innerhalb von 3 Jahren 12 235 Einträge zu Baumkrankheiten von 8 030 Freiwilligen. Über *What's Up?* wurden innerhalb von einem Jahr durch nur 560 Nutzer 46 000 Vogelbeobachtungen gemeldet (Ambrose-Oji et al., 2014). Teilweise richten sich die Applikationen explizit an Schulen und dienen nicht primär der Datengewinnung für wissenschaftliche Zwecke, sondern der Sensibilisierung über ein Thema oder dem Betrieb von Messnetzen (z. B. School Seismology, British Geological Survey, 2017b). Roy et al. (2012) haben einen allgemeinen Leitfaden für Citizen Science-Projekte entwickelt.

Im Bereich Boden wurden die Smartphone-Applikationen *mySoil*, *SOCiT* und *SIFSS* entwickelt. *SIFSS* (The James Hutton Institute, 2018a) ist ein Anzeige- und Abfragewerkzeug für Bodenkarten. Mit den zwei anderen können die Nutzerinnen Bodendaten erfassen, weshalb sie hier etwas ausführlicher beschrieben werden.

mySoil – Bodendatenerhebung durch Laien

mySoil ist eine im Jahr 2012 publizierte Smartphone-Applikation (iOS, Android), die Laien erlaubt, die Übersichtsbodenkarte von Europa zu visualisieren und vereinfachte Bodenbeobachtungen zu erfassen. Dieselben Beobachtungen können auch über die UKSO-Kartenapplikation

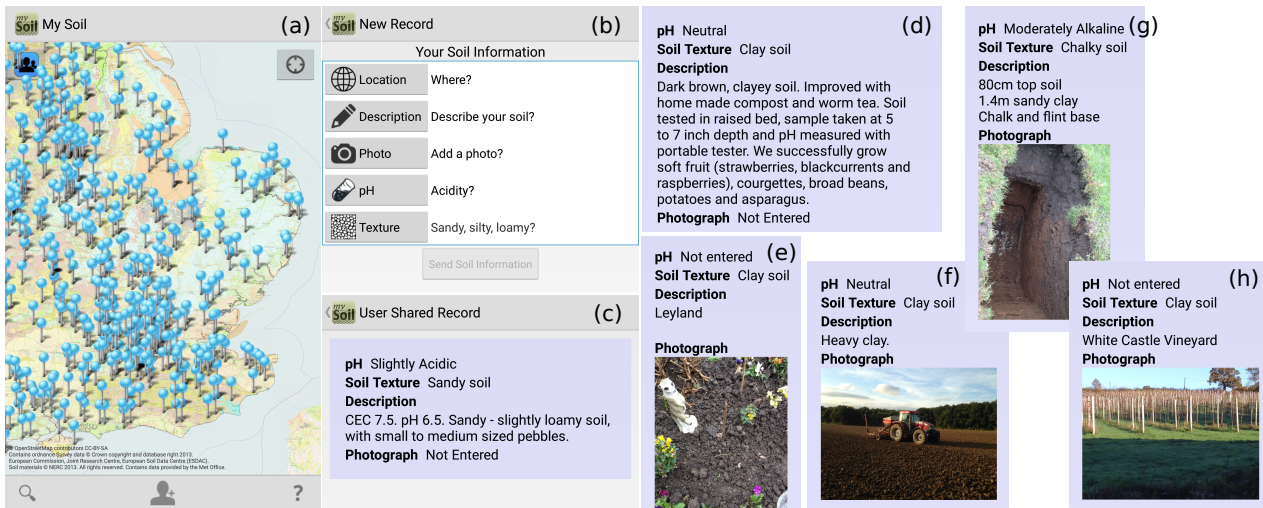


Abbildung 14: In der *mySoil*-Applikation können alle Beobachtungen angezeigt werden (a). Zu einer neuen Boden-Beobachtung können einige wenige Informationen hinzugefügt werden (b). Die vorhandenen Beobachtungen sind sehr unterschiedlich, (c)–(h) zeigen einige detailreiche Erfassungen. Zumeist liegt jedoch nur eine Textur-Klasse oder der pH vor (Quelle: British Geological Survey, 2017c).

(Abschnitt 4.7.1) angezeigt oder erfasst werden. Die Datenerfassung ist nicht auf Grossbritannien beschränkt, sondern weltweit möglich. Für das Gebiet der EU zeigt *mySoil* eine Bodenkarte an (Quelle ESDAC, vermutlich Ausgangsgesteinsklassen, Legende fehlt). Mit der Eingabemaske (Abbildung 14) können Ort, eine Beschreibung, Foto, pH und Textur erfasst werden. Für die Schätzung der Bodentexturklasse liegt eine Anleitung bei (Abbildung 15), für die Schätzung des pH wird auf die Anleitung eines pH-Indikators, erhältlich in Läden für Gärtnereibedarf, verwiesen. Für den Inhalt der Beschreibung und das Foto gibt es keinerlei Hinweise, was erfasst werden sollte. Die Aufnahmen sind dementsprechend sehr unterschiedlich (Abbildung 14, c–h) und reflektieren den unterschiedlichen Wissensstand der Nutzer.

mySoil wurde mehr als 45 000 mal heruntergeladen. Seit 2012 wurden mehr als 4000 Laien-Bodenbeobachtungen hochgeladen (Shelley et al., 2013; Robinson et al., 2017a,b). Die laufende Nutzerumfrage ist noch nicht abgeschlossen.

Die Applikation dient vor allem der Sensibilisierung für das Thema Boden. Die Datenqualität ist zu gering, um die Daten für eine Kartierung zu verwenden und ersetzt professionelle Datenerhebung oder Monitoring nicht (Robinson et al., 2017b). Es sind jedoch interessante Vergleiche mit den professionell erstellten Karten möglich (Robinson, pers. Mitt. 2017).

SOCiT – Mobiltelefon als einfachster Bodensensor

SOCiT (Apple Inc., 2018; The James Hutton Institute, 2018a) ist eine iOS-Anwendung für *Digital Field Soil Mapping* (Behrens et al., 2017). Dabei wird Bodeninformation auf einen Server geladen und verarbeitet (z. B. die Modellrechnungen angepasst) und die Nutzerin erhält umgehend eine Schätzung des C_{org} -Gehalts des Bodens.

SOCiT nutzt die Kamera des Smartphones oder Tablets als Bodensensor und das GNSS des Geräts für die Lokalisierung der Aufnahme. SOCiT benötigt weiter eine Farbreferenzkarte (kostenlos erhältlich beim Autor). Der Nutzer fotografiert ein Bodenprofil zusammen mit der Referenzkarte und lädt dieses Bild auf den SOCiT-Server. Dort werden nach der Farbkorrektur Farb- und Bildtexturindices abgeleitet. Zusammen mit Geodaten (Ableitungen aus Höhenmodell, Klimadaten, Landnutzungskarte, Bodenübersichtskarte 1:250 000) für den Ort der Aufnahme wird anschliessend eine Vorhersage des C_{org} -Gehalts berechnet und an die Nut-

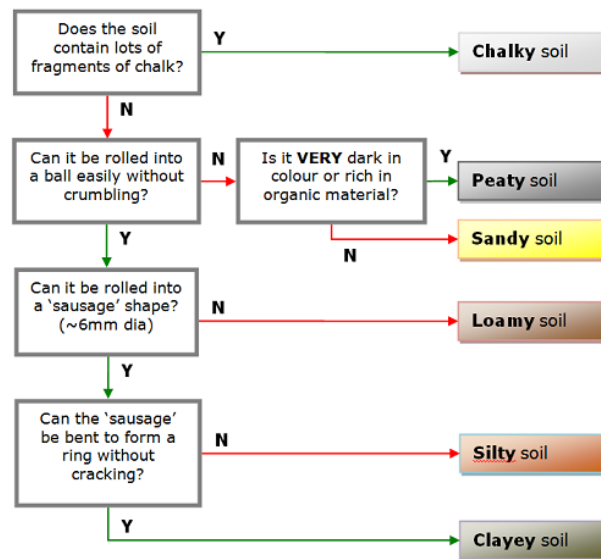


Abbildung 15: Vereinfachter Entscheidungsbaum zur Bestimmung der Textur durch Laien mit der mySoil-Applikation oder der UKSO-Webapplikation mit Abgrenzung zu kalkigen und organischen Böden (Quelle: British Geological Survey, 2015)

zerin übermittelt (Abbildung 16). Die Vorhersage wird durch ein Modell (neuronales Netz) berechnet, welches vorgängig mit Daten über OS-Gehalt und Munsell-Farbe der Bodenproben aus der schottischen Bodendatenbank trainiert wurde (Aitkenhead et al., 2016). Die Applikation liefert innerhalb Schottlands Schätzungen des OS-Gehalts des Bodens, jedoch ohne Differenzierung der Bodentiefe.

Die hochgeladenen Fotos werden ausschliesslich zur Vorhersage des OS-Gehalts durch den SOCiT-Server verwendet. Weitere Verwendung der Fotos (Datensammlung für Bodenmodellierung) war bei der Einführung nicht vorgesehen. Es wurde befürchtet, dass ohne Datenschutzzusicherung die Applikation nicht verwendet würde.

Digitalkameras von Mobiltelefonen eignen sich nur beschränkt als Bodensensoren, da die Aufnahmebedingungen (Licht, Distanz, Schärfe, Umgebungsinformation) stark variieren, die Farbantwort geräteabhängig ist und je nach eingesetzter Software zusätzlich manipuliert wird. Zudem ist die spektrale Auflösung der Sensoren sehr begrenzt. Die Genauigkeit des GNSS des Smartphones (35–40 m) genügt für SOCiT, da die Geodaten ohnehin nicht genauer vorlagen (Aitkenhead et al., 2016). Schwierigkeiten bei der Verarbeitung der Bilder ergeben sich aus unterschiedlichen Lichtverhältnissen auf dem Bodenprofil (z. B. Schatten des Nutzers) oder fehlerhafter Platzierung der Referenzkarte auf dem Bodenprofil (Aitkenhead et al., 2016). Die Verarbeitungsroutine prüft dies und maskiert nicht relevante Bereiche wie die Vegetation an der Bodenoberfläche. Die Qualität der hochgeladenen Bilder war zumeist gut genug, um eine Vorhersage zu erlauben (Aitkenhead, pers. Mitt. 2017).

Die Nutzung der Applikation seit Publikation im Jahr 2015 blieb mit rund 100 verschickten Farbreferenzkarten und rund 300 berechneten Vorhersagen bescheiden. Neben der Publikation auf der Webseite des *James Hutton Institute* und eines Artikels in einer Lokalzeitung wurden keine weiteren Kommunikationskanäle bedient. Die grösste Nutzergruppe sind Lehrpersonen, welche die Applikation für Exkursionen verwenden. In der Landwirtschaft – wie ursprünglich erhofft – wurde die SOCiT kaum eingesetzt, da Angaben über den OS-Gehalt ohne Interpretationshilfe oder Landnutzungsempfehlungen den Landwirten nicht genug Nutzen bietet.

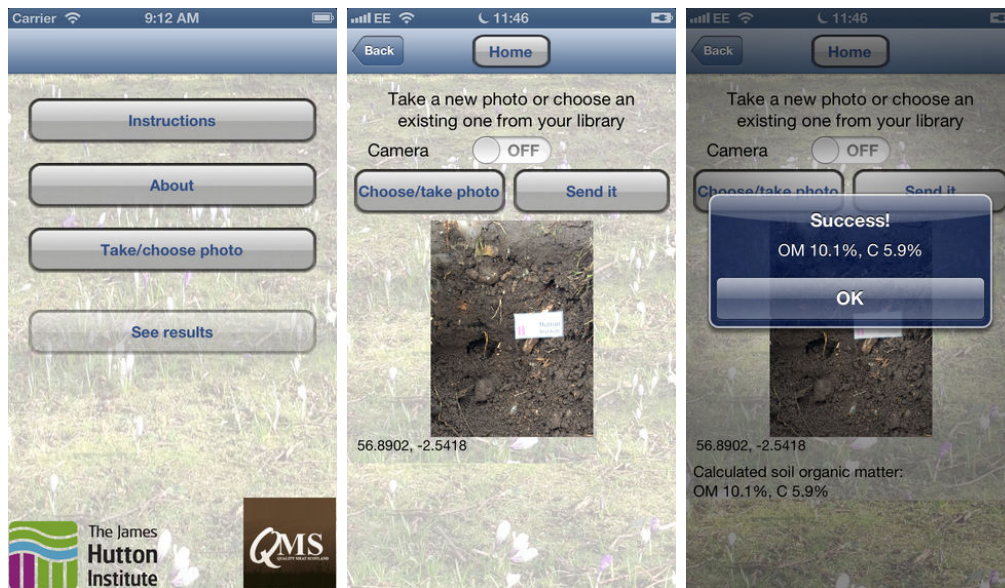


Abbildung 16: SOCiT ist eine sehr einfache Smartphone-Applikation, welche anhand eines Bodenprofil-Fotos und mit einem serverseitigen Modell eine lokale Schätzung des organischen Kohlenstoffgehalts des Bodens berechnet. Dazu wird neben der Applikation eine Farbreferenzkarte benötigt (Quelle: The James Hutton Institute, 2018a).

SOCiT hätte Potential für die Landwirtschaft als Teil einer umfangreicheren Applikation, die Entscheidungshilfen für die Bewirtschaftungsplanung bereitstellen würde. Sollte SOCiT primär zu Sensibilisierungszwecken eingesetzt werden, müsste die Applikation anders gestaltet werden. Sofern die Applikation für eine Bodenkartierungen eingesetzt werden sollte, müssten die Bildverarbeitung und die Modellierung überarbeitet und verbessert werden, damit die Ergebnisse genügend genau und stabil würden (Aitkenhead, pers. Mitt. 2017). Insgesamt ist SOCiT eher ein Prototyp und nicht genügend ausgereift und auf spezifische Bedürfnisse bestimmter Nutzer angepasst.

4.8 Niedersachsen – Bodeninformationssystem NIBIS

Niedersachsen verfügt, ähnlich wie andere deutsche Bundesländer, über ein Bodeninformationssystem, das die Böden multifunktional für zahlreiche Anwendungen beschreibt (Abbildung 17). Der Kartenserver des niedersächsischen BIS (NIBIS, Tabelle A2) verfügt einerseits über Karten über Bodenthemen zur rein visuellen Verwendung. Andererseits werden zwei Boden-Fachanwendungen (MeMaS Lite, BOWAB) bereitgestellt, weshalb das niedersächsische BIS hier etwas detaillierter dargestellt wird. Die ebenfalls enthaltene Fachanwendung *Auswertung 3D-Modell* ist ein Werkzeug zur Visualisierung geologischer Daten und wird hier nicht weiter beschrieben.

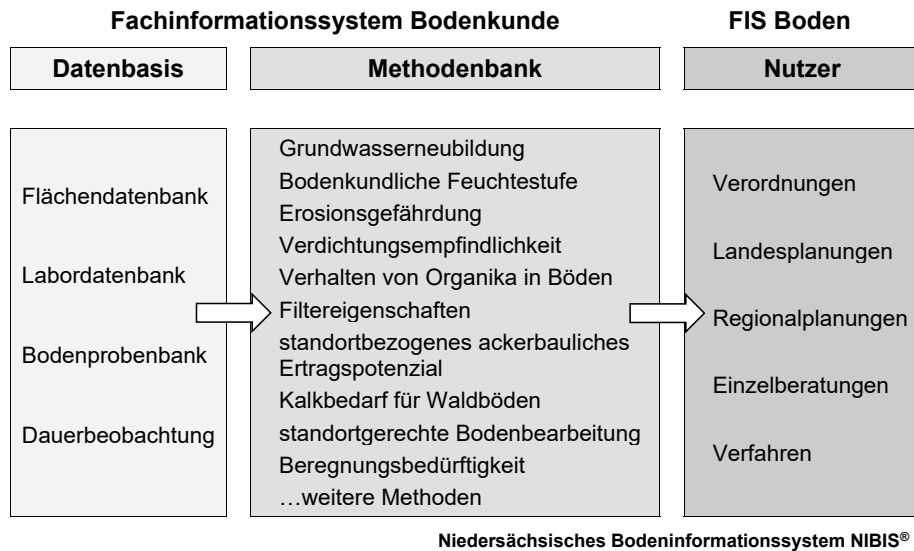


Abbildung 17: Struktur des niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS). Aus Bodenbasisdaten werden mit Ableitungsmethoden (Methodendatenbank) zahlreiche anwendungsorientierte Datenprodukte für vielfältige Nutzungen im Vollzug erstellt (Quelle: Müller und Waldeck, 2011, Abb. 1).

4.8.1 NIBIS-Themenkarten

Der NIBIS-Kartenserver stellt umfangreiche Bodenbasis- und Anwendungskarten bis zum Masstab 1:25 000 zur Verfügung:

- Übersichtskarte 1:500 000 mit Boden(gross)landschaften und Bodengesellschaften.
- Bodenübersichtskarte 1:50 000 (erstellt aus 1:200 000-Karte) mit Bodentyp.
- Forstliche Standortskarte 1:25 000 mit Standorttypen in Bezug auf Substrat und Wasserhaushalt, pro Polygon können weitere Angaben zu Wasser- und Nährstoffhaushalt sowie Substrat abgerufen werden.
- Bodenkarte 1:50 000 mit zahlreichen Kartenebenen mit spezifischem Anwendungsfokus (wenige Basisbodeneigenschaften):
 - Bodentypen,
 - Effektive Durchwurzelungstiefe, pflanzenverfügbares Bodenwasser,
 - potentieller Bewässerungsbedarf,
 - Gefährdung der Bodenfunktionen durch Verdichtung, standortabhängige Verdichtungsempfindlichkeit,
 - Schwermetallbelastungen in Planungsgebieten, Verdachtsflächen für Belastungen,
 - Flächenhinweiskarte mit allfälligem Ausbringungsverbot für 2 Herbizidwirkstoffe,
 - Stickstoffemissionsmonitoring: Denitrifikationspotential des Bodens, potentielle Nitratkonzentration im Sickerwasser, Stickstoff-Flächenbilanzsaldo pro Gemeinde,
 - Auftretenshäufigkeit sulfatsaurer Böden in niedersächsischen Küstengebieten in 0–2 m und unterhalb von 2 m Tiefe,
 - Natürliches ackerbauliches Ertragspotential,
 - Mögliche schutzwürdige Böden,
 - Standorteignung für die Beseitigung von Tierkadaver bei Seuchenzügen,

- Wasser-/Winderosionsrisiko, erosionsvollzugsorientierte Tongehaltsklassen und mögliche Erosionsschutzmassnahmen (Verkürzung der Hanglänge mit Grünstreifen, Begrünung erosiver Tiefenlinien; Vollzugsinstrument, förderfähige Feldblöcke für Agrarumweltmassnahmen).
- Bodenschätzungskarte 1:5 000 mit Boden- und Ackerpunktzahl.
- Bodenversiegelung 1:25 000 in den Jahren 2000 und 2005 sowie mittlere Versiegelung pro Gemeinde 2015,
- Bodenbeobachtungsflächen, Standorte Bohrungen mit (vereinfachten) Profilblättern.

4.8.2 NIBIS-Fachanwendungen

MeMaS Lite

MeMaS (Methoden-Management-System) Lite ist ein einfaches räumliches Abfragewerkzeug, das erlaubt, Daten über Probenahmepunkte in einem rechteckigen Kartenausschnitt in eine Excel-Tabelle zu exportieren. Die Tabelle enthält keine räumlichen Koordinaten und erlaubt damit keine Lokalisierung der Information. Der genaue Zweck von diesem Datenexport bleibt unklar.

Angeboten werden folgende Bodeneigenschaften, die teilweise nicht als Karte visualisiert werden können: effektive Durchwurzelungstiefe, (nutzbare) Feldkapazität, Gesamtporenvolumen, Grundwasserstufe, Lagerungsdichte und Substanzvolumen, mittlere kapillare Aufstiegsrate, pflanzenverfügbares Grundwasser, Sickerwasserrate, Gefährdung Grundwasser durch Schwermetalle, Nitratauswaschungsgefährdung, relative Bindungsstärke des Oberbodens für Schwermetalle, Bodenklasse für Erdarbeiten nach DIN18300, Verschlammungsneigung.

Weiter können die Attribute der Bodenkarten-Polygone innerhalb eines Kartenausschnitts in eine Tabelle exportiert oder im Kartenviewer angezeigt werden.

Bodenwasserhaushalt (BOWAB)

Die Anwendung *Bodenwasserhaushalt* ermöglicht die Berechnung von Kennwerten zur standort- und vegetationsabhängigen Bewässerungssteuerung oder zur generellen Bewertung des Bodenwasserhaushalts für die Bestimmung des optimalen Beprobungszeitpunkts der im Herbst durchgeführten N_{\min} -Untersuchungen.

Die Berechnungen basieren auf einem Mehrschicht-Bodenwasserhaushaltsmodell, welches täglich und standortbezogen das im Boden gespeicherte Wasser, das pflanzenverfügbare Bodenwasser und die tägliche Sickerwasserrate unter Berücksichtigung aktueller Tagesverdunstungswerte berechnet. Die Bodenwassergehalte können dabei für verschiedene Tiefenstufen ausgegeben werden. Verwendet werden wenige, flächendeckend verfügbare Eingangsgrößen. Aus der Bodenkarte wird die nutzbare Feldkapazität verwendet. Die Wetterdaten (Niederschlag, Temperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung) gehen als Tagesmittelwerte in das Modell ein (May et al., 2012).

Die für die Berechnungen notwendigen Parameter werden durch eine Eingabemaske eingegeben und können gespeichert werden, um die Berechnungen zu einem anderen Zeitpunkt für denselben Standort erneut durchzuführen.

Das Modell wird für einen Standort (Punkt) berechnet, welcher auf der Bodenkarte gewählt werden kann. Für diesen Standort können Bodendaten eingegeben werden. Alternativ weist

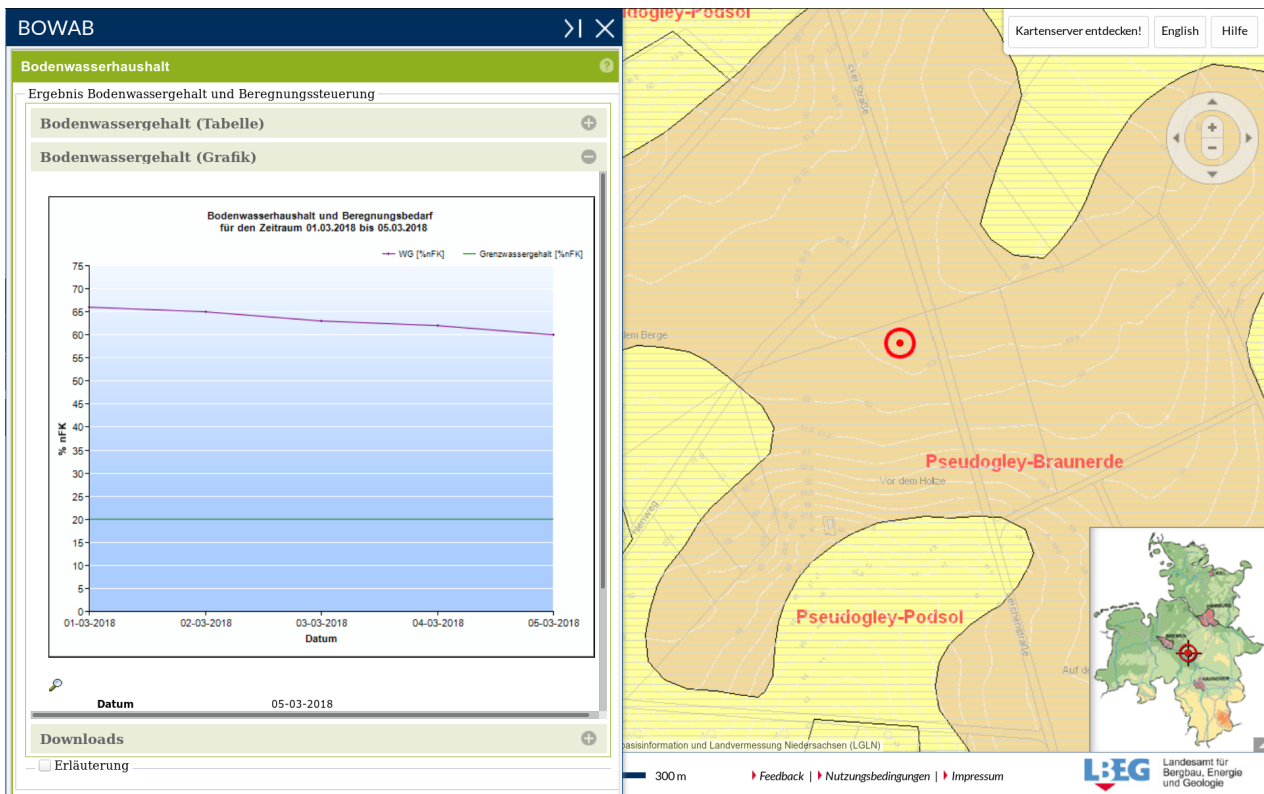


Abbildung 18: Bodenwasserhaushaltsberechnung der Fachanwendung Bodenwasserhaushalt (BOWAB) des NIBIS-Kartenserver. Der rote Punkt stellt den ausgewählten Berechnungsort auf der Bodentypenkarten 1:50 000 für ein imaginäres Beispiel dar. Die Grafik (links) zeigt die Abnahme des Wassergehalts (% nutzbare Feldkapazität, violett) und den Grenzwassergehalt (grün), der für die eingetragene Kultur nicht unterschritten werden sollte. Für die fünf dargestellten Tage wurde in diesem Beispiel kein Niederschlag vorausgesagt (Quelle: LBEG, 2018).

das System ein Profil aus der Bodenschätzung zu, wobei diese Daten angepasst werden können. Weiter sind Angaben zu Aussaat- und Ernteterminen der Haupt-, Zwischen- oder Nachfrucht einzugeben. Als Startwerte können gemessene Bodenwassergehalte übergeben und eigene Niederschlagsmesswerte manuell erfasst werden.

4.9 Slowakei – *Pôdny Portál*

Die Slowakei verfügt seit 1993 über eine Übersichtsbodenkarte im Maßstab 1:400 000. Weiter wurden zwischen 1960 und 1980 für die Landwirtschaftsfläche (48 % der Landesfläche, ca. 23 500 km²) detaillierte Bodenkarten in den Maßstäben 1:5 000 und 1:10 000 aufgenommen (Jones et al., 2005). Das slowakische BIS *Pôdny Portál* (Bodenportal, Tabelle A2) kann damit auf umfangreiche Grundlagen zurückgreifen, weshalb es hier etwas detaillierter dargestellt wird.

Das *Pôdny Portál* bietet einen zentralen Zugriff auf verschiedene Applikationen, unter anderem auf ein System zur Beantragung landwirtschaftlicher Subventionen (LIPS, inkl. Möglichkeit, Parzellen einzuzeichnen und angebaute Kulturen zuzuweisen, mit umfangreichen Lernvideos), ein System zur Beantragung von Ausnahmegewilligungen im Nitratvollzug (HRIS) und ein Auswertungswerkzeug (ERPS), mit welchem diverse landwirtschaftliche Statistiken mit graphischer Aufbereitung pro administrativer Einheit generiert werden können.

Das *Pôdny Portál* hat insgesamt einen starken Fokus auf die landwirtschaftliche Produktion.

Folgende Bodeninhalte werden angeboten:

- **Übersichtsbodenkarte** 1:400 000 (Landwirtschaftsfläche, Wald) mit Hauptbodentypen inkl. Übersetzungsschlüssel WRB (Granec und Surina, 1999).

Weiter pro Polygon als Klassen abrufbar: Gründigkeit, pH, Textur, Skelett, Nutzungseignung, nutzungseinschränkende Faktoren, Versauerungsgefährdung, Gefährdung für (geogene) Schadstoffe bei tiefem pH, Potential für Naturschutz (z. B. für endemische Pflanzen), Empfehlungen für Bodenschutz (z. B. reduzierter Pestizideinsatz) und Bodenverbesserung (z. B. Humusaufbau).

- Bodenbezogene Vollzugsapplikationen und anwendungsorientierte Ableitungen der detaillierten Bodenkarte (Massstab jeweils nicht angegeben, 1:5 000–1:10 000):
 - **Bodenbewertung:** Bodenökologische Einheiten (bonitovanými pôdno-ekologickými jednotkami, BPEJ) für die gesamte Landwirtschaftsfläche (Ackerflächen, Wiesen, Weiden, Dauerkulturen), abgeleitet aus der Bodenkarte (Oberbodentextur, Gründigkeit, Skelett), Klimateignung und Hangneigung. Kartenapplikation mit BPEJ-Einheiten, gruppiert zu 9 Bodenqualitätsklassen (Produktionspotential unter natürlichen Bedingungen im konventionellen Anbau); Kartenebene des geschützten Ackerlands mit monetärer Bewertung des Ertragspotentials (wertvolles Ackerland zur Ernährungssicherung, Total 1 368 000 ha oder 56 % der gesamten Ackerfläche, Richtlinien seit 2013, NPPC-VUPOP, 2017d). Zudem werden die Preise landwirtschaftlicher Grundstücke aus den BPEJ-Einheiten abgeleitet (NPPC-VUPOP, 2017b).
 - **Nitratvollzug zum Gewässerschutz:** Nitratrichtlinien (seit 2003) zur Reduktion der Nitratauswaschung in Oberflächengewässer und Grundwasser aus Kunst- und Hofdünger durch zu hohe Ausbringmengen, falsche Ausbringzeitpunkte oder Lagerungsfehler. Karte der drei Vulnerabilitätsklassen pro Produktionsblock (Abbildung 19), Vollzugs-Applikation (HIS), mit der Landwirte je nach Vulnerabilitätsklasse für ihre Produktionsblöcke Ausnahmeregelungen für Stickstoffdüngeranwendungen während der Sperrfristen beantragen können; räumliches Düngeplanungswerkzeug NPPC-VUPOP (2017a).
 - **Klärschlamm und Bodenverbesserungsmassnahmen:** Richtlinien seit 2001 zur Ausbringung von Klärschlamm und Aushubmaterial (Unterboden, Sedimente) Karte mit möglichen Ausbringgebieten basierend auf dem Landwirtschaftsregister LPIS.
 - **Humusbilanz:** Berechnungswerkzeug zur Bekämpfung des Humusdefizits durch organische Düngergaben pro Bewirtschaftungsblock (vermutl. gruppierte Parzellen wie bei Nitratvollzug) mit Angabe der Kulturen und der Menge und Art der organischer Dünger. Benötigte Ausgabemenge organischer Dünger ($t\ ha^{-1}$, aufgeteilt nach Tierart), damit kein Humusdefizit entsteht, mit Richtwerten und Anwendungsempfehlungen (z. Z. technisch nicht funktional).
 - **Physikalischer Bodenschutz:** Gesetz über Schutz und Nutzung landwirtschaftlicher Flächen seit 2004. Umsetzung von Schutzmassnahmen gegen Wasser- und Winderosion, Umsetzung von Erosionsgrenzwerten. Erosionsrisikokarte basierend auf Bodenkarte, Anzeige lokales Erosionsrisiko nach Kulturpflanze (z. Z. technisch nicht funktional). Berechnung des maximal zulässigen Schutzeffekts der Vegetationsdecke (C-Faktor, NPPC-VUPOP, 2017c)
Schutzmassnahmen gegen Verdichtung mit Fokus auf Prävention, Karte Verdich-

tungsempfindlichkeit.

- **Weitere Informationen** abgeleitet aus der Bodenkarte: Bodentypen, Textur, Skelett, Oberbodenmächtigkeit, Gründigkeit, Bodenpunktzahl (10 Gruppen, Produktionspotential), Nutzungseignung Acker- oder Grasland, Bodenpreisklassen, Klassen Biomassenproduktionspotential, Produktionspotential für verschiedene Kulturen inkl. Bioenergiepflanzen, Eignung für schnell wachsende Baumkulturen, Rentabilitätsklassen verschiedener Kulturen, Pufferkapazität und Auswaschung von organischen und anorganischen Schadstoffen.
- Übersichtskarten der Tierdichten und Emissionen aus der Landwirtschaft (z. B. Methan, Ammoniak, Stickoxid).

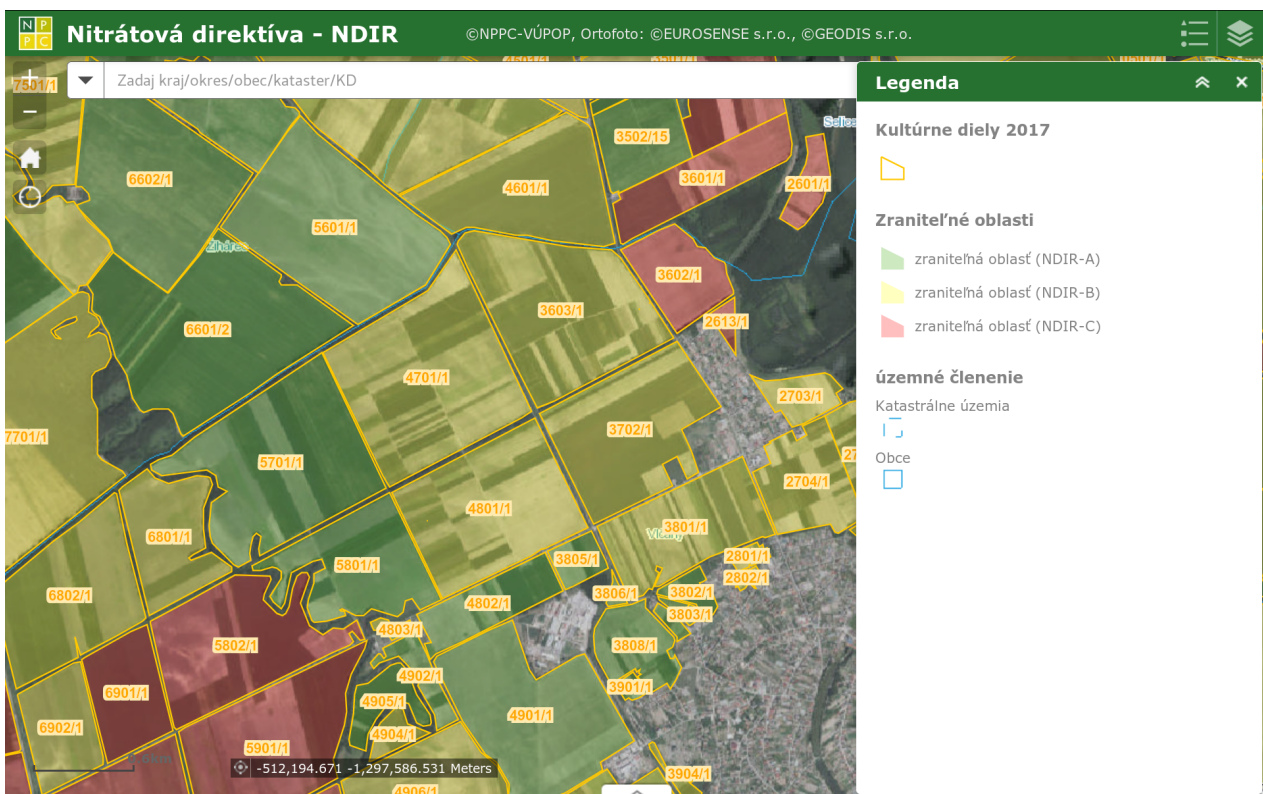


Abbildung 19: Kartenviewer für den Vollzug der Massnahmen zur Reduktion der Nitratauswaschung in der Slowakei. Drei Vulnerabilitätsklassen pro Produktionsblock dienen als Grundlage für die Vergabe von Ausnahmegewilligungen für Düngegaben während der Sperrfrist (Quelle: NPPC-VUPOP, 2017e).

Leider sind die Applikationen teilweise technisch veraltet und nur eingeschränkt funktionsfähig. Die Systeme für die landwirtschaftlichen Subventionen (LIPS), den Nitratvollzug (Abbildung 19) und das Statistikauswertungstool (ERPS) sind aktuell und machen einen benutzerfreundlichen Eindruck. Die Regierung investiert momentan nicht in die Aktualisierung der Bodendaten (Skalský, pers. Mitt. 2018).

Neben dem *Pôdny Portál* verfügt die Slowakei über eine umfangreiche Bodendatenbank (KPP) mit Daten von 18 000 Profilen und Bohrungen (Jones et al., 2005). Diese Daten wurden im Rahmen der Kartierungen aufgenommen. Neben Bohrungen für die Polygonabgrenzung wurde im Durchschnitt eine Bohrung pro 14 ha mit einem reduzierten Datensatz (Angaben für zwei Tiefen bis 60 cm, pH, Anteil Tonfraktion inkl. Feinschluffanteil) erhoben. Pro 140 ha wurde ein Profil untersucht (Grube bis 150 cm, Textur, pH, KAK, BS, C_{org}). Physikalische Eigenschaften wie die Dichte fehlen leider in der KPP-Datenbank. Auszüge aus der Bodendatenbank werden auf Anfrage abgegeben (Skalský, pers. Mitt. 2018).

4.10 Tschechien – *Geoportál SOWAC GIS*

4.10.1 Datengrundlage und Organisation

Ebenso wie die Slowakei verfügt Tschechien über detaillierte Bodenkarten im Massstab 1:5 000 für die Landwirtschaftsfläche (42 600 km², 54 % der Landesfläche), die in der Periode 1960–1972 hergestellt wurden (Jones et al., 2005; VŮMOP, 2017c). Weiter wurden pro Bezirk generalisierte Karten im Massstab 1:50 000 erstellt (VŮMOP, 2014b). Aus diesen Erhebungen liegen Daten von 700 000 Bohrungen, 370 000 Profilen und 2 Mio. Bodenproben vor (VŮMOP, 2014b), die bisher über das System PUGIS verwaltet wurden (Kozák und Borůvka, 2000; Jones et al., 2005; Sládková, 2008, Žížala, pers. Mitt. 2018). Die Bodenkarten und Punktbodendaten sind noch nicht vollständig digitalisiert, der Abschluss der Arbeiten ist jedoch bis 2020 geplant (Žížala, pers. Mitt. 2018).

Für rund 40 000 ha pro Jahr werden die fünfstelligen Codes der BEJP-Einheiten (bodenökologische Einheiten wie Slowakei, Abschnitt 4.9) mit Bohrungen im Feld aktualisiert. Weiter werden für die gesamte Landwirtschaftsfläche seit 1962 alle 6 Jahre agrochemische Analysen durch das zentrale Landwirtschaftsprüfamt (*Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, ÚKZÚZ*) durchgeführt. Pro 2 bis 10 ha wird eine Oberbodenprobe auf verfügbare Nährstoffe (P, K, Ca, Mg), pH, KAK und C_{org} untersucht. Aufgrund von fehlenden finanziellen Ressourcen ist es zur Zeit nicht möglich, die Bodenkarten mit diesen Messungen zu aktualisieren. Momentan läuft eine Pilotstudie, um Empfehlungen für die Erneuerung der Detailbodenkarte mittels Bodenspektroskopie und -modellierung zu erarbeiten (Žížala, pers. Mitt. 2018).

Die Entwicklung des *Geoportál SOWAC GIS* (Tabelle A2) wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts im Zeitraum 2006–2008 begonnen. Ziel war, ein thematisches geographisches Informationssystem (Data Warehouse) zu schaffen, welches den einfachen Zugang zu Bodendaten für Forschungsprojekte gewährleistet und eine Plattform für den Transfer von Forschungswissen in die Praxis bildet. Neben Werkzeugen für wissenschaftlichen Anwendungen sollen Applikationen für die öffentliche Verwaltung, die Gemeinden und generell ein breites Publikum geschaffen werden (VŮMOP, 2014b). Das *Geoportál SOWAC GIS* wird vom Forschungsinstitut für Bodenverbesserung und Bodenschutz (*Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, VŮMOP*) betrieben, welches dem tschechischen Landwirtschaftsministerium angehört. In Tschechien sind für den Wald Bodendaten vorhanden, wobei eher das Monitoring von Schadstoffen im Vordergrund steht. Die Verwaltung von Bodendaten aus Wald und Landwirtschaft ist institutionell stark getrennt (Žížala, pers. Mitt. 2018).

Das *Geoportál SOWAC GIS* stützt sich auf die Detailbodenkartierung der Landwirtschaftsfläche und die BPEJ-Einheiten. Die enthaltenen teilweise stark vollzugsorientierten Applikationen werden nachfolgend beschrieben.

4.10.2 Allgemeines BIS *Půda v mapách*

Půda v mapách ist eine Kartenanwendung mit folgendem Inhalt basierend auf der Bodenkarte 1:5 000:

- **Basisbodenkarte:** Bodentypen, Gründigkeit, Skelett, Klimaregionen, Hangneigung pro BPEJ-Einheit, landw. nicht nutzbare Bodeneinheiten wegen ungünstigem Wasserhaushalt, Bodeneinheiten mit hoher Wasserspeicherkapazität.

- **Erosion** (Verordnung Erosionsschutz seit 2003): Wasser- und Winderosionsrisiko, erwarteter langfristiger durchschnittlicher Bodenabtrag durch Wassererosion, von Wasser- und Winderosion bedrohte Bodentypen, maximal zulässiger Erosionsschutzfaktor der Vegetation (C-Faktor), Hanglänge (LS-Faktor), Eignung für Grasland als Erosionsschutz, Lage Erosionsmonitoring-Flächen (siehe unten) und Entwässerungswege berechnet aufgrund der Topographie.
- **Bodenschutz und -bewertung**: Schutzklassen basierend auf BPEJ-Klassierung (gesetzlicher Schutz landwirtschaftlicher Flächen seit 1992), Grundstückpreisklassen nach BPEJ (gesetzliche Bewertung von Vermögenswerten), Durchschnittspreise landwirtschaftlicher Flächen nach Katastergebiet.
- **Düngenvollzug**: Gebiete mit Düngerausbringverbot für bestimmte Zeiträume und Pflanzen, drei Anwendungszonen (Verordnung seit 2003).
- **Grundwassergefährdung**: Grundwassergefährdungskarte für Schadstoffeintrag unter Einbezug des Bodens, des anstehenden Gesteins und der grundwasserführenden Schicht, hydrogeologische Karten zur Grundwasserleitfähigkeit, Fließgeschwindigkeit und zur Charakterisierung des Grundwasserleiters, Wasserbilanz.
- Karten landw. Schläge und grobe Nutzungsklassen des LPIS (System für Beantragung landwirtschaftlicher Subventionen, analog zur Slowakei, Abschnitt 4.9).

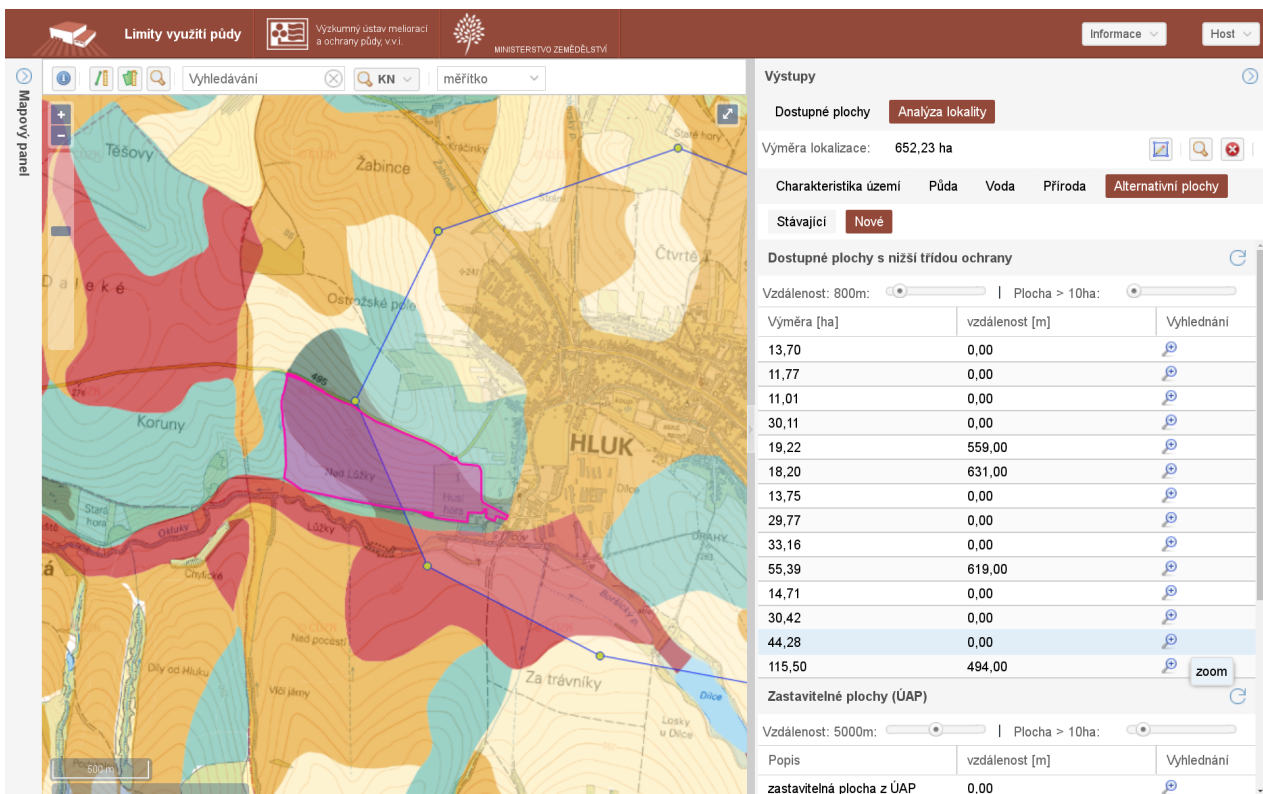


Abbildung 20: Tschechisches Raumplanungswerkzeug im *Geoportal SOWAC GIS* mit den fünf Bodenschutzklassen (rot: Boden mit hohem Ertragspotential, dunkelgrün: Boden mit niedrigem Ertragspotential). Rechts wird neben Flächenauswertungen zum Thema Boden, Wasser und Naturschutz für ein hier zufällig gezeichnetes Polygon (blau) eine Liste alternativen Zonen (pink) angezeigt werden, die statt dem ausgewählten Polygon für eine neue Siedlungsentwicklung genutzt werden könnte (Quelle: VŮMOP, 2016a).

4.10.3 Raumplanerisches (Boden-)Informationssystem *Limity využití půdy*

Limity využití půdy (ca. Landnutzungsbegrenzung) ist eine Kartenapplikation mit Themen-ebenen, die für die Raumplanung relevant sind. Ziel des Systems ist die Erhaltung der landwirtschaftlicher Flächen von höchster Qualität zur Förderung effizienter landwirtschaftlicher Produktion (VŮMOP, 2016a). Mit der Applikation können (unverbindliche) informative Auszüge für Förderanträge erstellt werden.

Zahlreiche Karten über die Flächennutzung können angewählt werden. Vorhanden sind Karten über allgemeine raumplanerische Themen wie das heutige Siedlungsgebiet, Distanzklassen zum Siedlungsrand und zu Strassen, Entwicklungsgebiete für Industrie und Siedlung, Verkehrsinfrastruktur, Naturschutzgebiete, Feuchtgebiete, kontaminierte Flächen, Überschwemmungsrisikogebiete sowie Bevölkerungs-, Bildungs-, und Wirtschaftsstatistiken pro Gemeinde, zusätzlich können Hintergrundkarten wie topographische Karten, Orthofotos oder Parzellenpläne und die fünf Schutzklassen der BPEJ-Bewertung angezeigt werden.

Neben der Visualisierung der Karten können pro Gemeinde Statistiken der raumplanerischen Entwicklungsgebiete erstellt werden. Weiter kann ein Polygon von maximal 1 000 ha frei ausgewählt werden. Für dieses Polygon werden diverse Statistiken zu boden-, hydrologischen- und Naturschutzthemen generiert: Einerseits werden Flächenanteile der Bodentypen, Gründigkeits- und Skelettklassen, der fünf Bodenschutzklassen, der möglichen Ertragsleistung, Landnutzungsklassen (Ackerflächen, Dauerkulturen), Erosionsanfälligkeit, drainierte und bewässerte Flächen und Infiltrationsvermögen ausgewiesen. Weiter werden Flächenanteile der Überschwemmungsrisiko und der Grundwassergefährdungsgebiete oder von Naturparks oder -schutzgebieten im ausgewählten Polygon berechnet.

Andererseits wird eine Liste aufbereitet, die Alternativflächen wie Siedlungs- oder Industriebächen oder nicht vollständig bebaute Bauzonen mit Angabe der Fläche und Distanz zum eingezeichneten Polygon ausgibt. Weiter wird eine Liste neuer potentieller Einzonungsflächen angezeigt, welche die Siedlungsentwicklung unter Berücksichtigung des Erschliessungsgrads auf tiefere Bodenschutzklassen leiten soll (Abbildung 20). In der Kartenapplikation lässt sich die maximal akzeptierbare Distanz der vorgeschlagenen Flächen zum eingezeichneten Polygon manuell einstellen und sehr einfach zwischen den vorgeschlagenen Flächen wechseln.

4.10.4 Anti-Erosionsrechner *Protierozní kalkulačka*

Protierozní kalkulačka ist ein Berechnungswerkzeug, das die Wahl von Massnahmen zum Schutz vor Bodenerosion unterstützt. Die Applikation liefert Informationen über die Erosionsgefährdung der Bewirtschaftungseinheiten nach LIPS (siehe oben) und über die mögliche Erosionsminderung durch Änderung der Anbaupraktiken. Es können die eigenen Fruchtfolgen eingegeben und in Bezug auf das Erosionsrisiko bewertet werden. Weiter werden Auswirkungen von Schutzmassnahmen auf die Erodierbarkeit und den C_{org} -Gehalt bewertet. Der Anti-Erosionsrechner dient dem Vollzug von Erosionsgrenzwerten. Bis 2030 soll die Bodenerosion schrittweise deutlich gesenkt werden soll (VŮMOP, 2017a).

Die Anwendung bietet freien Zugriff auf einen Teil der Funktionen. Neben der Anzeige von thematischen Karten kann die Senkung des Erosionsrisikos durch Schutzmassnahmen geschätzt werden.

Registrierte Benutzer können für ihre LIPS-Bewirtschaftungseinheiten zudem eigene Fruchtfolgen erfassen oder die Standard-Anbauverfahren anpassen. Die Erosionsschutzmassnahmen

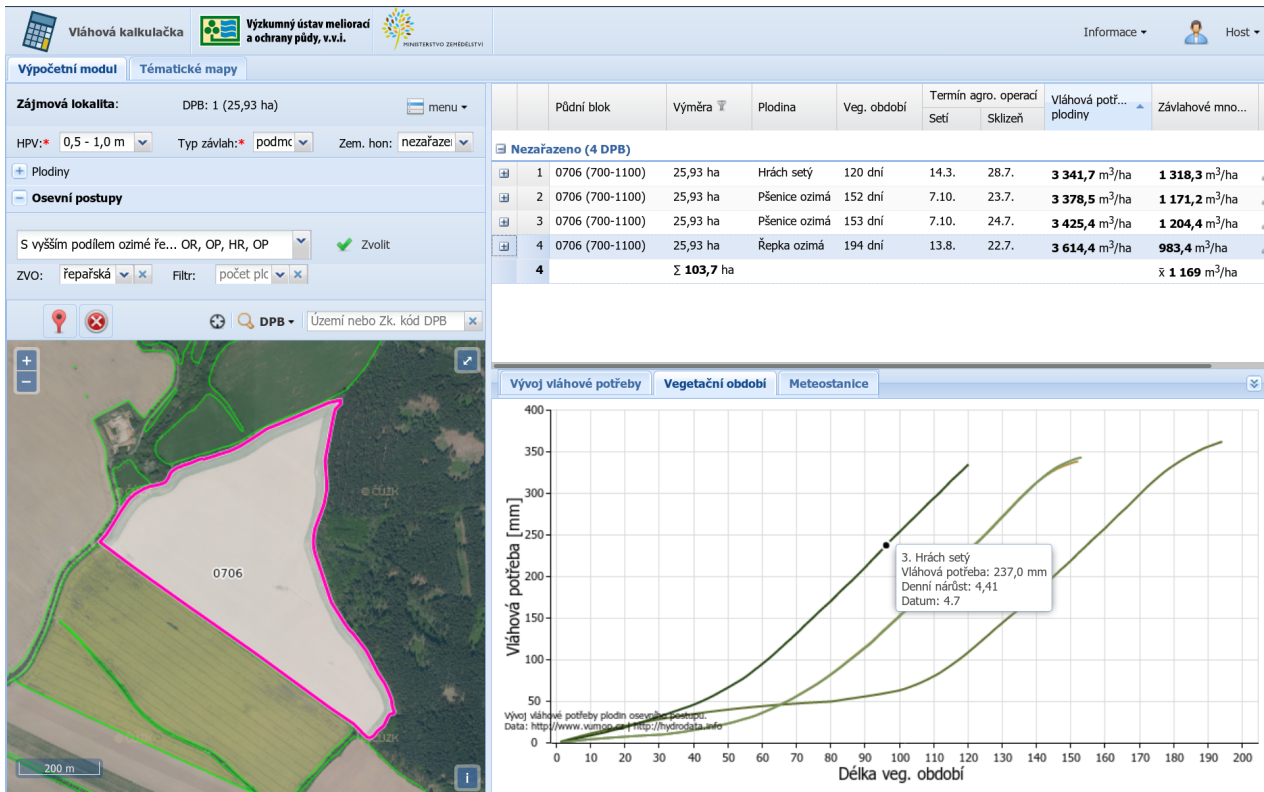


Abbildung 21: Tschechischer Bewässerungsrechner im *Geoportál SOWAC GIS*. Für eine ausgewählte Parzelle (pink) kann die Fruchtfolge und die Aussaatmethode festgelegt werden (oben links). Die Auswertung zeigt den total zu erwartenden Wasserverbrauch (oben rechts), sowie den Wasserbedarf über die Anbauperiode (unten rechts) aufgeteilt nach den einzelnen Kulturen in der Fruchtfolge (Quelle: VŮMOP, 2016b).

werden im Hinblick auf ihre Wirksamkeit zur Erosionsbekämpfung sowie den C_{org} -Gehalt und damit die Veränderung der Erodierbarkeit (K-Faktor) bewertet. Weiter können eigene Karten geladen und ein Bericht erzeugt werden (siehe auch Lernvideo, VŮMOP, 2017a).

4.10.5 Bewässerungsrechner *Kalkulače vláhové potřeby*

Kalkulače vláhové potřeby ist ein Berechnungswerkzeug zur Bestimmung des Wasserbedarfs und der Bewässerungsmenge landwirtschaftlicher Nutzpflanzen an einem bestimmten Standort. Die Berechnungsmethodik basiert auf einer tschechischen Norm von 1994 und der Wasserbedürfnisse der Kulturpflanzen wie durch die FAO definiert.

Für die Berechnungen werden Tagesmittelwerte von Evapotranspiration, Lufttemperatur und Niederschlagsmengen des Zeitraums 1981–2010 verwendet (VŮMOP, 2016b). Weiter können die aktuellen (summierten) Niederschlagsmessungen der Meteorostationen angezeigt werden. Im Kartenfenster können zusätzliche Klimakarten eingeblendet werden. Für eine ausgewählte Parzelle wird die Fruchtfolge, Aussaat- und Erntezeitpunkt und das Aussaatverfahren angegeben. Wird nichts angegeben, werden Modell-Anbauverfahren eingesetzt. Berechnet werden der gesamte Wasserbedarf und die notwendige Bewässerungsmenge, separat für jede Kultur in der Fruchtfolge (Abbildung 21). Die maximale Fläche für die Berechnung beträgt 10 Schläge oder 500 ha. Registrierte Benutzerinnen können die ihre Eingaben speichern und später einfach aktualisieren (VŮMOP, 2016b).

4.10.6 Weitere Inhalte im *Geoportál SOWAC GIS*

Geoportál SOWAC GIS bietet weiter den Zugriff auf das Erosionsmonitoring (*Monitoring eroze*) an, dieses wird hier nicht im Detail beschrieben, da Monitoring-Programme nicht Bestandteil der vorliegenden Studie ist. Das im *Geoportál SOWAC GIS* aufgeführte Informationssystem Bodenverbesserungen (ISMS, *Informační systém melioračních staveb*) stellt Informationen zu landwirtschaftlichen Flächenverbesserungen bereit, insbesondere zur Bewässerungs- und Entwässerungsinfrastruktur (z. B. Pumpstationen, bewässerte Flächen) und zu Erosionsschutzmassnahmen. Die Daten basieren auf einem Agrarwasserwirtschaftsbericht aus dem Jahr 2016 und werden laufend aktualisiert. Dieser Bericht beinhaltete eine nationale Bestandesaufnahme im Hinblick auf die Milderung negativer Auswirkungen von Dürreperioden (VŮMOP, 2016c). Das ISMS beinhaltet keine Bodeninformation.

Folgende SOWAC GIS-Applikationen beinhalten weitere Bodenthemen zum Boden:

Abfragen zu Bodeneinheiten mit *eKatalog BPEJ*

eKatalog BPEJ erlaubt lokale Abfragen zu den BPEJ-Einheiten über deren Nummer, die aktuelle Position des Nutzers oder über die Auswahl auf einer Karte. Für die ausgewählte BPEJ-Einheit wird eine Beschreibung des Bodentyps mit dessen Hauptmerkmalen, die Skelett- und Gründigkeitsklasse und ein Profildfoto angezeigt. Weiter werden Angaben über Klimaregion, monetäre Landbewertung, Bodenschutzklasse und Ertragspotential mit Beschreibungen und Kenngrößen aufgeführt, ergänzt mit Hinweisen über Verordnungen zur Reduktion der Nitratauswaschung (Düngeverbot in Bezug auf Kulturpflanzen, Düngemittelart und Klimazone), Karte mit Informationen über Subventionen bei Umwandlung von Acker- zu Grasland und Empfehlungen für ökologische Massnahmen. Alle diese Angaben können für die ausgewählte BPEJ-Einheit als PDF-Bericht exportiert werden (VŮMOP, 2017b).

Archiv Originalaufnahmen *WAKPP (Webový archiv Komplexního průzkumu půd)*

WAKPP (Web-Archiv der umfassenden Bodenuntersuchung KPP) ist ein Online-Archiv der Bodenerhebungen in den Massstäben 1:5 000 und 1:10 000 der 1960er-Jahre. Über das Archiv können gescannte Profilblätter und Bohrverzeichnisse, Berichte zu den einzelnen Kartenblättern, Originallegenden und Bilder der gezeichneten Konzeptkarten angezeigt werden (Abbildungen 22). Das Archiv soll die Bodenkarteninhalte vor allem für die Forschung in einfach zugänglicher Form frei zur Verfügung stellen (VŮMOP, 2014b).

Bodendatenbank *KPP (Komplexní průzkum půd)*

Über *Geoportál SOWAC GIS* ist die Datenbank des KPP (umfassende Bodenuntersuchung) über eine Kartenanwendung zugänglich. Bohrungen und Profile können zusammen mit der Bodenkarte (Bodentypen, Gründigkeit, Substrat, BPEJ-Einheiten) visualisiert und pro Punkt die Bodenansprache und -analyse abgerufen werden. Weiter besteht die Möglichkeit, die Werte von zwei ausgewählten Bohrungen in einer Tabelle miteinander zu vergleichen. Die Kartenanwendung ist direkt mit den Profilblättern und dem Bohrregister im WAKPP verlinkt (VŮMOP, 2017c).

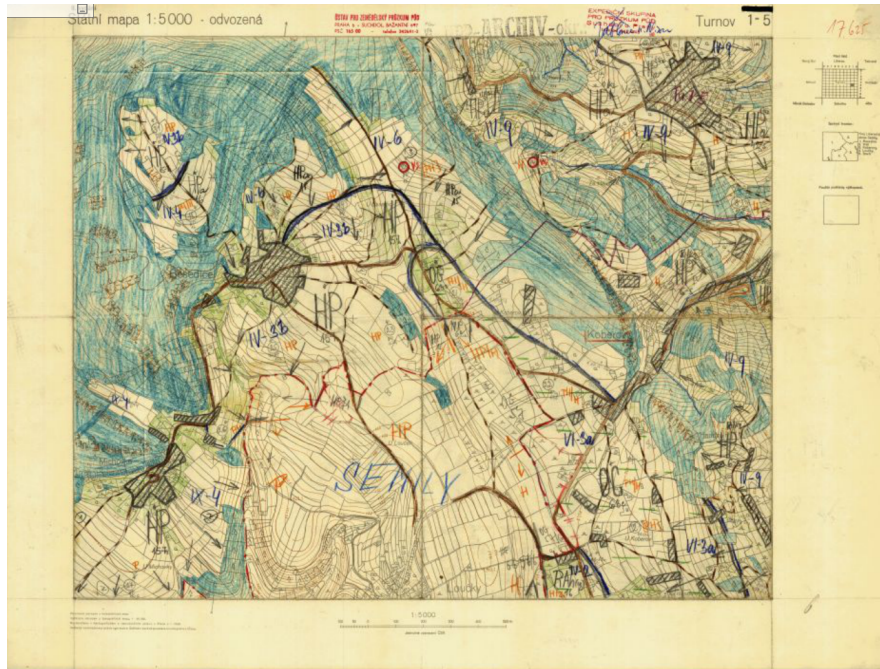


Abbildung 22: Ursprüngliche Feldkarten der Bodenkartierung in Tschechien im Massstab 1:5 000 im Web-Bodenarchiv WAKPP des *Geoportál SOWAC GIS* (Quelle: VŮMOP, 2014a).

Boden in Zahlen (*Půda v číslech*)

Über die Applikation *Půda v číslech* können Flächenstatistiken für ganz Tschechien oder fünf Ebenen von administrativen Einheiten (Region, Gross-Bezirke, Bezirke, Gemeinde, Orte) erstellt werden. Die administrative Einheit wird in einer Karte ausgewählt und anschliessend werden für die im allgemeinen BIS (*Půda v mapách*) vorhandenen Bodendaten Statistiken berechnet und ausgegeben.

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Nachfolgend werden die vorangehend beschriebenen Kartierungsaktivitäten und räumlichen Bodeninformationssysteme (BIS) in Bezug zur Situation in der Schweiz gestellt und daraus Handlungsempfehlungen für die Bodenkartierung in der Schweiz abgeleitet.

5.1 Erhebung der fehlenden Bodeninformation in der Schweiz

5.1.1 Notwendigkeit flächendeckender Bodendaten

In Europa wurden für grosse Flächen Bodendaten neu erhoben oder aktualisiert (Tabelle 2). Es fällt auf, dass die Kartenwerke in den meisten Fällen teilweise bereits seit den 1950er-Jahren für die gesamte Landesfläche (oder gesamte Fläche eines Bundeslands) oder mindestens für eine Landnutzung flächendeckend erstellt wurden. In Schweden, wo ca. 10 % der Ackerflächen nicht kartiert wurden, würde die Projektleiterin als nächsten Schritt die Böden auf diesen Flächen kartieren. Dichtere Erhebungen oder der Erweiterung des Karteninhaltes für die bereits kartierten Flächen hat für sie eine kleinere Priorität (Abschnitt 4.5).

In zahlreichen Fällen hatten die Arbeiten zum Ziel, ein für die ganze Fläche homogenes Kartenwerk zu erstellen (Blattschnittkorrekturen in deutschen Bundesländern, Bodenmodellierungen in Ungarn, Mazedonien, Harmonisierungen in Serbien, Wallonien). Für einen einheitlichen Vollzug von bodenrelevanten gesetzlichen Vorgaben sind homogene, flächendeckende Daten notwendig. Die Nachfrage nach flächendeckenden Bodendaten in der Schweiz (Abschnitt 2) ist damit kein Einzelfall.

5.1.2 Detaillierungsgrad

Die meisten Kartierungen fanden in Europa im mittleren Massstab statt. Nur in Albanien und Nordrhein-Westfalen wurden aktuelle Karten mit einem hohen Detaillierungsgrad aufgenommen und in Tschechien, der Slowakei und Bulgarien liegen Karten im Massstab 1:5 000–1:10 000 vor. Die Daten aus grossmassstäblichen Kartierungen werden für verschiedene Anwendungen und Vollzugaufgaben mit offensichtlichem Mehrwert verwendet (Abschnitte 4.9 und 4.10, Tabelle A2). In Frankreich und Österreich wären detailliertere Karten vorgesehen gewesen (1:100 000 resp. 1:5 000), diese wurden aufgrund des grossen Aufwands aber nur in kleineren Massstäben fertig gestellt (1:250 000 resp. 1:25 000). Da in dieser Studie die genaue Verwendung von Bodendaten im Vollzug nicht untersucht werden konnte, ist sehr schwer abschätzbar, ob die nun vorhandene Auflösung den Ansprüchen genügt.

Bodenbezogene Entscheide über beispielsweise Fruchtfolgeflächen berühren Eigentumsrechte, was parzellengenaue Bodeninformation nötig macht (Knecht et al., 2017). Die kleinräumigen Besitzverhältnisse in der Schweiz und der hohe Nutzen einer Detailkartierung rechtfertigen unserer Ansicht nach die Investition in detaillierte Bodeninformation (Keller et al., 2018).

5.1.3 Multifunktionale Bodenbeurteilung

Die multifunktionale Erhebung der Böden ist in Europa Standard. Praktisch alle neu erhobenen oder aktualisierten Bodenkarten (Tabelle 2) charakterisieren Böden über eine breite Palette von Bodeneigenschaften und daraus ableitbaren Bodenfunktionen. Einzig in Dänemark und Schweden wurden nur Textur-Karten erstellt, und in Finnland zielt die Kartierung

nur auf das Umweltproblem der sulfatsauren Böden.

Wie bereits Carizzoni et al. (2017) argumentierten, reduziert sich der Aufwand nur wenig, wenn auf eine umfassende Charakterisierung der Böden verzichtet wird. Aus einem Set an Basisbodeneigenschaften lassen sich zahlreiche Bodenfunktionen und Anwendungsprodukte ableiten (Greiner et al., 2017).

Der Standard-Datensatz nach den FAL24⁺-Kartierungsrichtlinien genügt nicht vollständig, um typische Bodenfunktionen zu bewerten. Der Standard sollte mit physikalischen Bodeneigenschaften (Bodendichte, Porosität), Nährstoffgehalten und biologischen Kenngrößen erweitert werden (Keller et al., 2018).

5.1.4 Finanzierung

Soweit die Finanzierung der aktuellen Kartierungsprojekte überhaupt bekannt ist, wurden diese alle von öffentlichen Geldgebern getragen. Die Mittel kamen auf nationaler Ebene (Niederlande, Norwegen, Schweden, Albanien, Serbien) meist vom Landwirtschaftsministerium oder dann von der nächstkleineren Verwaltungseinheit (Bundesländer wie Nordrhein-Westfalen, Bayern, Niedersachsen, Wallonien).

In den Niederlanden wurden organischen Böden für ein Teilgebiet zuerst im Auftrag einer lokalen Wasserbehörde kartiert (Vorarbeit der in Abschnitt 4.4 vorgestellten nationalen Aktualisierung der Bodenkarte). Andere denkbare Geldgeber wie Zusammenschlüsse von Landwirten (z. B. Meliorationsgenossenschaften, Bewirtschaftungsverbände), Privatwaldbesitzer, Naturschutzverbände oder Trinkwasseraufbereitungswerke sind nicht bekannt. Vermutlich gibt es einzelne solche Projekte, diese wurden in der vorliegenden Studie jedoch nicht gefunden und haben sehr wahrscheinlich keine Relevanz für Kartierungen über grosse Flächen. Für die Präzisionslandwirtschaft (z. B. van den Borne, 2018) werden häufig lokale Erhebungen durchgeführt, die Unterschiede der Bodeneigenschaften innerhalb der Parzellen eines Betriebes zeigen. Solche Karten haben jedoch kaum Relevanz für grosse Flächen.

Die Erhebung von Bodeninformation in Europa wird somit primär von der öffentlichen Hand finanziert. Dies unterstreicht, dass Bodendaten Grundlagendaten sind, deren Beschaffung von öffentlichem Interesse ist.

5.1.5 Organisation

Bodeninformation als nationale Angelegenheit

Bodeninformation wird auf nationaler Ebene erhoben, ausser es besteht eine starke föderale Trennung (Belgien), die föderalen politischen Einheiten erstrecken sich selbst über beträchtliche Flächen (Deutschland) oder die politische Situation erlaubt nicht im ganzen Land Zugang (Zypern).

Die in dieser Studie betrachteten deutschen Bundesländer sind 3.6 bis 10 mal grösser als der grösste Kanton der Schweiz und 32 bis 89 mal grösser als der Kanton Solothurn, wo seit längerem eine Kartierung läuft. Dies zeigt deutlich auf, dass für die relativ kleinen Flächen in der Schweiz eine landesweite Kartierung durchaus machbar ist.

Kantonale Bodenfachstellen sind grundsätzlich mit Vollzugsaufgaben beauftragt. Eine Bodenkartierung ist ein komplexes Projekt, das nicht mit wenigen Mitteln neben dem normalen Tagesgeschäft ausgeführt werden kann. Zudem besteht zur Zeit ein beträchtlicher Bedarf für

Weiterentwicklung der Bodenkartierungsmethodik. Der Schwerpunkt der Fachkompetenzen von kantonalen Bodenfachstellen liegt bei den breit gefächerten Vollzugsarbeiten und nur wenige können zusätzlich den fachlichen Anforderungen einer Bodenkartierung und deren methodischer Erneuerung gerecht werden. Diese Aufgabe sollte auch in der Schweiz der Bund übernehmen, um sicher zu stellen, dass Bodeninformation in Zukunft flächendeckend mit einheitlicher Methodik erhoben wird.

Anzahl mit Bodeninformationsbeschaffung beschäftigte Personen

Grundsätzlich sind in Europa pro Land oder Bundesland nur wenige Personen (5-10, in wenigen Fällen bis 30) gleichzeitig an Kartierungsprojekten beteiligt, die immer von einer zentralen Institution bzw. Fachgruppe geleitet werden. Damit handelt es sich um überschaubare Projekte. Zum Vergleich: an der Harmonisierung der geologischen Karten (geologische Vektordatensätze, GeoCover) arbeiten rund 20 Personen (Mitarbeiter swisstopo, pers. Mitt. 2018) und die Erstellung des dreidimensionalen Landschaftsmodell der Schweiz (TLM3D) beschäftigt 50 der 400 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Schweizer Landestopographie swisstopo (Berner Zeitung, 2016).

Projektdauer und damit verbunden Risiken

Ein Grossteil der Bodenkartierungen dauerte in Europa zehn Jahre und mehr. In Norwegen läuft die Kartierung seit mehr als 30 Jahren. Dauert ein Projekt so lange, ist dies mit zahlreichen Risiken verbunden: Generelle Effizienzverluste durch Arbeitsschritte, die zeitlich weit auseinander liegen, Personalfluktuationen und damit verbundener Wissensverlust, methodische Entwicklungen, Aktualisierung der IT-Infrastruktur oder Budget-Kürzungen.

In Niedersachsen arbeiteten im Schnitt vier verwaltungsinterne und vier externe Fachleute an der Kartierung, über die ganze Projektlaufzeit von 15 Jahren waren jedoch 14 private Auftragnehmer, 20 Kartierungsfachleute und 48 Hilfskräfte daran beteiligt. Dies verlangte detaillierte Arbeitsrichtlinien, Qualitätssicherungsmassnahmen, langfristige Personalplanung und eine gute Projektleitung (Langner und Gehrt, 2013; Gehrt, 2017). Laut Langner und Gehrt (2013) sollte ein solches Projekt nicht länger als 8 Jahre dauern, da bei längerer Projektdauer Datenverarbeitungswerkzeuge gewechselt werden müssen. Die Anpassung der IT-Infrastruktur ist heute schätzungsweise nach 8–10 Jahren nötig. Dies gilt vor allem für Software ohne offene Schnittstellen.

In Bayern hat sich während der 20 Jahre dauernden Kartierungstätigkeit die Methode graduell angepasst und verbessert, da zunehmend Geodaten verwendet werden konnten. Die erstellten Kartenblätter liegen nun zwar ohne Blattrandverwerfungen vor, trotzdem handelt es sich nicht um einen homogenen Datensatz.

Für die flächendeckende Kartierung in der Schweiz sollte eine kurze Projektzeit angestrebt werden, was aus Gründen der Datenverfügbarkeit und effizienten Mittelverwendung ohnehin wünschenswert wäre, und den oben erwähnten Aspekten sollte bereits bei Planung Rechnung getragen werden. Besonders wichtig sind klare methodische Anweisungen für sämtliche Arbeiten und eine umfassende Qualitätssicherung (siehe unten).

Durchführende Institutionen

In vielen Ländern arbeiten Universitäten oder Forschungsinstitute an der Erhebung und Bereitstellung von Bodeninformation. In Albanien und Serbien werden die Arbeiten vollständig von nationalen Kartierungsdiensten erledigt, die den jeweiligen Landwirtschaftsministerien

angehören. Nur in den deutschen Bundesländern und in Schweden werden für einen Teil der Arbeiten private Auftragnehmer eingesetzt. Es fällt jedoch auf, dass in Deutschland auf Seiten der verantwortlichen geologischen Dienste und Landesämter mehrere Fachleute angestellt sind, welche ebenfalls direkt an der Kartierung inklusive Felderhebung beteiligt sind. Diese Personen erheben selbst Karten, bearbeiten die Blattschnittkorrekturen oder führen Nachbearbeitungen der Karten durch. In Bayern beträgt der Anteil der durch das geologische Landesamt selbst durchgeführten Arbeiten rund 30 % (Abschnitt 4.2). Meist betreiben die Universitäten und Ämter für die Bodenkartierung sogar eigene Labore.

In Niedersachsen waren insgesamt 14 verschiedene Auftragnehmer an der Bodenkartierung beteiligt (Langner und Gehrt, 2013). In Schweden wurden die klar definierten Feldaufnahmen und Laboranalysen, aber nicht die eigentliche Kartenerstellung, an zwei private Dienstleister vergeben. Obwohl die Vorgaben klar beschrieben und einfach kontrollierbar waren, war ein enger Austausch zwischen dem Schwedischen Zentralamt für Landwirtschaft und den beiden beauftragten Unternehmen nötig (Abschnitt 4.5.3). In den Niederlanden wurde die Auftragsvergabe an Private nicht weiter verfolgt, da diese die gewünschte Datenqualität nicht erreichten (Abschnitt 4.4).

In der Schweiz werden heute die Kartierungsarbeiten fast vollständig durch privatwirtschaftlichen Auftragnehmer ausgeführt. Dabei werden die Kartierungen nach Gebiet (Los) räumlich aufgeteilt an verschiedene Anbieter vergeben. Durch die auftraggebenden Kantone werden keine inhaltlichen Arbeiten vorgenommen. Die Kantone führen nur einen Teil der digitalen Datenerfassung (Profilblätter) und die formalen Datenkontrollen durch. Für die inhaltliche Qualitätskontrolle werden ebenfalls Private beauftragt.

Die fast umfassende Vergabe der Kartierungsarbeiten an privatwirtschaftliche Auftragnehmer, wie dies in der Schweiz momentan praktiziert wird, erscheint uns aus folgenden Gründen nicht optimal:

- Grundsätzlich verlangt eine Kartierung (unabhängig von der verwendeten Methode) viel Fachwissen, auch auf der Seite der Auftraggeber. Wie die Beispiele aus Deutschland und Schweden zeigen, lassen sich die einheitliche Erhebung von Bodendaten, laufende Anpassung der Methodik an Gegebenheiten und praktische Anwendbarkeit (wie in Norwegen) oder die inhaltliche Qualitätskontrolle nicht mit wenigen Stellenprozenten einer Vollzugsstelle eines Kantons bewältigen. Resultate sind langsamer Kartierungsfortschritt, wenig Methodenentwicklung und inhomogenes Endresultat, da die inhaltliche Qualität nicht von einer zentralen Stelle, sondern von wechselnden Auftragnehmern kontrolliert wird.
- Das Auftragsvolumen und die Anzahl möglicher Auftragnehmer ist aktuell in der Schweiz zu klein, als dass Marktmechanismen die Datenbeschaffung positiv beeinflussen würden. Auf der Auftraggeberseite stehen momentan kantonale Bodenfachstellen, die aufgrund zahlreicher anderer Aufgaben nicht selbst an der Kartierung teilnehmen können. Auf der Auftragnehmerseite stehen einige wenige, mit zwei bis vier Personen zumeist recht kleine, Ingenieur- oder Umweltbüros. Da Ausschreibungen häufig das bewältigbare Arbeitsvolumen eines Anbieters übersteigen, schliessen sie sich zu Konsortien zusammen. Für die Kantone besteht damit keine Angebotsvielfalt. Zudem müssen aus praktischen Gründen möglichst lokale Anbieter gewählt werden, da es sich um ortsabhängige Arbeiten mit sonst teureren Anfahrtswegen handelt. Der Markt kann zudem praktisch nicht auf ausländische Anbieter ausgeweitet werden, da die Anwendung der Klassifikation der Böden der Schweiz (KLABS, BGS, 2010) und der Kartierungsrichtlinien FAL24⁺

(Brunner et al., 1997; AfUSO, 2014) viel implizites Erfahrungswissen enthalten, welches nur durch Schulung oder Austausch mit erfahrenen Schweizer Kartierungsfachleuten zugänglich gemacht werden kann. Objektive Grenzwerte oder detaillierte Richtlinien sind für zahlreiche Bodeneigenschaften nicht explizit ausformuliert vorhanden. Auch bei fundiertem bodenkundlichem Vorwissen kann die Methode durch reines Studium der Dokumente nicht direkt erlernt werden.

Da der Markt sehr klein ist, auf Seite der Kantone kaum inhaltliche Inputs geleistet werden können und die potentiellen Kleinanbieter nicht die kritische Masse für technische Neuerungen haben, hat diese strukturelle Situation in der Schweiz einen Innovationsstau ergeben. Die Marktsituation hat nicht dazu geführt, dass einzelne Anbieter aktuellste technische Lösungen übernommen oder nach einer deutlichen Vereinfachungen der Datenverarbeitung für die Kantone gesucht hätten (z. B. direkte digitale Datenerfassung im Feld).

- Private Anbieter halten aus strukturellen Gründen für ihren wirtschaftlichen Fortbestand bodenkundliches Methodenwissen für künftige Marktvorteile zurück, was nicht im Interesse der Allgemeinheit liegen kann. Bei bodenkundlichen (Feld-)Methoden und deren Weiterentwicklungen handelt es sich um allgemeine Grundlagen, die von der öffentlichen Hand finanziert werden und damit der Allgemeinheit vollständig zur Verfügung stehen sollten.

Die inhaltliche Methodenarbeit (Weiterentwicklung der Klassifikation oder der Kartiermethodik, Weisskopf und Zihlmann 2017) liegt heute praktisch vollständig bei privaten Anbietern. Diese bringen sich in Fachgremien wie den Arbeitsgruppen Klassifikation oder Kartierung der Bodenkundlichen Gesellschaft Schweiz (BGS) ein, was die Situation jedoch nicht verändert. Zudem ist der Wissenstransfer mit ausländischen bodenkundlichen Institutionen und Gremien mangelhaft und nicht gesichert. Oftmals kann keine Person gefunden werden, welche die BGS beispielsweise an Arbeitstreffen zur Weiterentwicklung der Klassifikation der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft (DBG) ohne Honorar vertreten kann. Gleiches gilt für andere wichtige internationale Institutionen wie *Global Soil Partnership (GSP)*, *The European environment information and observation network (Eionet)* oder die Arbeitsgruppe der *World Reference Base (WRB)*.

Zur Sicherung der wirtschaftlichen Interessen können die privaten Büros methodische Entwicklungen für sich behalten, sofern dies aufgrund vertraglicher Abmachungen möglich ist. Eine methodische Änderung lässt sich so nicht auf alle anderen Anbieter verteilen und damit nicht auf die Gesamtheit der Kartierungen ausweiten. Die eher kleinen Auftragnehmerbetriebe können sich häufig umfassende Weiterbildungen des Personals oder Anschaffungen von teuren Geräten für Methodentests nicht leisten. Deshalb besteht aufgrund der momentanen Strukturen eine Tendenz zum Status-Quo, teilweise auch wenn private Anbieter für methodische Entwicklungen bezahlt werden.

Dazu kommt, dass private Anbieter nur die vertraglich zugesicherten Bodeninformation (Profilblätter, attributierte Polygone) an die Kantone weitergeben. Allfällige weitere Beobachtungen oder Bohrprotokolle verbleiben unter Umständen bei den Unternehmen und stehen den Kantonen für Nachfolgeprojekte wie Kartenaktualisierungen nicht zur Verfügung.

- Die praktisch vollständige Bearbeitung der Kartierungen durch private Anbieter führt zu langen Dienstwegen. Methodische oder organisatorische Anpassungen können nur sehr langsam umgesetzt werden. In Norwegen (Abschnitt 4.3.4) wurde die Klassifikation

während der Kartierung laufend den praktischen Umsetzungsmöglichkeiten angepasst und für eine effiziente Bodenansprache im Feld vereinfacht. Immer vor der Kartiersaison werden in Norwegen Eichtage durchgeführt, was einfach möglich ist, da der oder die Projektleiterin direkten Zugriff auf die Arbeitsplanung des beteiligten Feldpersonals hat. Bis alle privaten Kartierungsfachleute in der Schweiz auf demselben Stand in Bezug auf die Änderung der Bodenansprache eines Attributs sind, dauert dies ungewisse Zeit. Eichtage werden durch die BGS-Arbeitsgruppen durchgeführt, diese sind jedoch freiwillig und es besteht keine Weisungsmacht eines Auftraggebers. Sollen grössere möglicherweise den Aufwand erhöhende Änderungen eingeführt werden, wie die komplette Digitalisierung der Bohrprotokolle, muss die nächste Offertstellung mit dem nächsten Vertragsabschluss abgewartet werden.

Eine flexible laufende Verbesserung der Methodik – wie sie in zahlreichen europäischen Projekten durchgeführt wurde und damit vermutlich in jedem Kartierungsprojekt notwendig ist – wäre nur mit einem zentral organisierten Kartierungsdienst mit klarer Weisungsbefugnis an die Kartierungsfachleute möglich.

Diese Aspekte gelten jedoch nicht für andere bodenkundliche Dienstleistungen, die durch private Ingenieur- oder Umweltbüros angeboten werden. Beispielsweise bei der bodenkundlichen Baubegleitung ist der Markt auf Seiten Auftraggeber und -nehmer genügend gross, dass von den Vorteilen privater Anbieter profitiert werden kann.

Auf Seite der in der bodenkundlichen Forschung tätigen Institutionen besteht gleichzeitig ein geringes Interesse angewandte Kartierungsmethoden bereit zustellen (Nussbaum, 2017, Kap. 6). Die Forschung ist auf häufig international publizierbare Themen ausgerichtet. Darin entwickelten Methoden sind meist zu teuer oder zu komplex, um direkt in einer Kartierung gewinnbringend eingesetzt zu werden. Zahlreiche Projekte haben ihre Studiengebiete im Ausland und die Resultate können nicht immer direkt auf die Schweiz übertragen werden. Für Forschungsprojekte mit direktem, lokalem Umsetzungsziel gibt es nur wenige Finanzierungsmöglichkeiten, da die Resultate kaum *peer-reviewed* publiziert werden können. Weiter findet aufgrund der Strukturen von Universitäten ein ständiger Wissensverlust statt. Doktorierende arbeiten häufig recht autonom. Nach ihrer Arbeit verlassen sie die Forschungsgruppe und nehmen die aufgebaute Methodenkompetenz mit, da selbst die Betreuungsperson die Methodenverwendung nicht bis ins Detail kennt. Dies verdeutlicht, dass methodisches Wissen über Bodenkartierung an einer eigens dafür verantwortlichen Institution aufgebaut und langfristig erhalten werden muss.

Eine nationale Bodenkartierung stellt eine nationale Referenz für Methoden und Normen dar, und etabliert zwangsläufig einen nationale Dienst analog zur Aufarbeitung der landesweiten geologischen Karten. Private Auftragnehmer können für gezielte, klar umrissene Aufträge eingesetzt werden, die methodische Hauptverantwortung und inhaltliche Fachkompetenz obliegt jedoch einer zentralen Stelle (Abbildung 23).

5.1.6 Etappierung und Priorisierung einer flächendeckenden Kartierung

Es ist nicht immer bekannt, wie europäische Kartierungsprojekte zeitlich und räumlich geplant worden sind. Weiter ist nur sehr wenig Information vorhanden, ob und wie bestimmte Teilgebiete mit höherer Priorität bearbeitet worden sind.

In Deutschland definieren die rechteckigen topographischen Grundkartenblättern die Teilschritte eines Kartierungsprojekts. Diese bilden aber weder Naturräume wie Einzugsgebiete

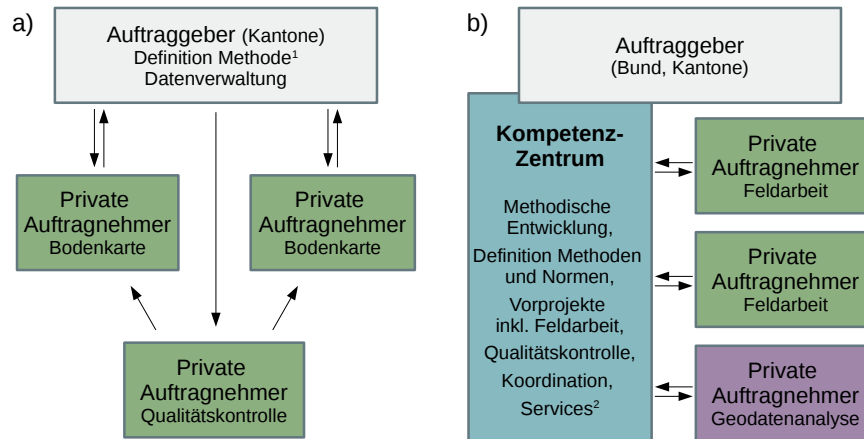


Abbildung 23: Fachliche Organisation: Heute (a) werden Aufträge durch Kantone an private Auftragnehmer vergeben. Die Kantone definieren die Methode (¹), wobei diese meist vom Kanton Solothurn (AfUSO, 2014) übernommen wird. Um eine landesweite Kartierung effizient durchzuführen, ist ein Kompetenzzentrum notwendig (b), welches Methoden erneuert und definiert und als zentrale Koordinationsstelle auftritt. Dies vereinfacht zudem die Arbeit der privaten Anbieter, da die zentrale Stelle ihnen aufgrund von Vorprojekten genau umrissene Aufträge weitergeben kann und “Services” (² vorbereitete Geodaten, Verwaltung Datenbanken und Eingabewerkzeuge, Ausleihe technische Geräte, Koordination mit anderen Aufgabenfeldern) bereitstellt.

oder geologische Einheiten ab, noch garantieren sie kurze Zufahrtswege. Diese Strukturierung hat vermutlich zu einem erheblichen Mehraufwand bei der Anfahrt in Kartenrandgebiete geführt, und die Blattschnittkorrektur war aufwändiger, da dieselbe Geländekammer von mehreren Personen bearbeitet wurde. Die räumliche Aufteilung mit künstlichen Grenzen wurde von den befragten Personen zwar nicht bemängelt, ist aber aus den genannten Gründen nicht empfehlenswert.

In Frankreich wurden die Arbeiten pro Departement an lokale Universitäten oder Forschungsinstitute vergeben, was aufgrund der Grösse des Landes als eine sinnvolle Vorgehensweise erscheint. In Norwegen wird ebenfalls nach Kartenblättern gearbeitet, diese werden nach Dringlichkeit der Reduktion der Nährstoffeinträge in die Nordsee priorisiert.

Mit den heutigen Möglichkeiten der (automatisierten) Geodatenaufbereitung können die Kartierungsgrundlagen auch für unregelmässige Flächen wie Einzugsgebiete einfach erstellt werden. Die räumliche Aufteilung der zu kartierenden Flächen könnte zudem über Berechnungen der kürzesten Anfahrtswege optimiert werden.

Eine Etappierung einer Kartierungsprojekts mit prioritärer Ausführung in bestimmten Teilgebieten sollte das Resultat einer konkreten Bedürfnisanalyse zu Projektbeginn sein. Denkbar wäre die Aufteilung einer landesweiten Bodenkartierung in zeitlich definierte Projekte nach Kriterien wie Tal- und Bergzone oder nach Landnutzung (Ackerland, Grasland, Wald).

5.1.7 Methodik

Erhebungsdichte Bodendaten

In den europäischen Kartierungen (Tabelle 2) wurden mehrheitlich andere Bohrdichte, als in Tabelle 3 vorgeschlagen, verwendet. Insbesondere für Bodenmodellierungen, wo die Erklärungskraft der Sekundärdaten nicht a priori abgeschätzt werden kann, sind Richtlinien für eine nötige Bohrdichte schwierig. Vermutlich wäre eine iterative Beprobung mit laufender

Qualitätskontrolle des Kartenprodukts sinnvoll. Dies erhöht jedoch im Mittel den Aufwand einzelner Bohrungen, weil die gleichen Gebiete mehrmals aufgesucht werden müssen (Kempen et al., 2012). Gleichzeitig kann so möglicherweise die gesamte Anzahl Bohrungen gesenkt werden.

Digitale Datenerfassung im Feld

Die direkte digitale Datenerfassung im Feld wird in den Niederlanden, in Norwegen, in Bayern und in Frankreich teilweise bereits seit mehr als 15 Jahren erfolgreich eingesetzt. Erfasst werden Punktdaten (Profile und Bohrungen) und auch Flächendaten (Polygone).

Die Vorteile sind offensichtlich: Erhöhung der formellen Datenqualität durch ortsspezifische Eingabemasken basierend auf verfügbaren Grundlagendaten aus der Klassifikation, Erhöhung der Positionsgenauigkeit mit GNSS (heute: Einzeichnen auf gedrucktem Luftbild) und Vermeidung von Übertragungsfehlern bei der späteren Digitalisierung im Büro. Der Nachbearbeitungsaufwand konnte beispielsweise in den Niederlanden massiv gesenkt werden. Zudem könnten ohne viel Mehraufwand sämtliche heute nicht digitalisierten Bohrprotokolle direkt erfasst und gesichert werden. Weiter stehen mehrere Geodaten-Ebenen im Feld gleichzeitig zur Verfügung. Ebenso kann auf die gesamten Kartierungsrichtlinien im Feld zugegriffen werden, ohne dass zusätzliches Material mitgebracht wird. Hindernisse wie Schmutz, Nässe etc. waren nach expliziter Nachfrage in den Ländern, wo Feldcomputer verwendet werden, kein Problem. In Norwegen hat das Gerät die Kartierungsarbeit bei Regen sogar verbessert, da die Luftbilder auf Papier schnell unbrauchbar wurden. Überall wurde bestätigt, dass mit der Einführung der Feldcomputer eine deutliche Verbesserung erreicht wurde. Eine zentrale Stelle könnte mit entsprechenden Schulungen eine Einführung erleichtern.

Kritischer Punkt für die effiziente Verwendung von Feldcomputern ist eine der speziellen Struktur von Bodendaten angepasste Eingabemaske, welche auch ohne Serververbindung Dateneingaben erlaubt. Die Entwicklung einer solchen verlangt einen engen Austausch mit den Kartierungsfachleuten, ist jedoch technisch gesehen keine Herausforderung. Beispielsweise wurde analog eine Eingabemaske von NABODAT zusammen mit Kantonsvertretern entwickelt.

Zudem müsste durch die Auftraggeber die Digitalisierung der Daten, möglicherweise inklusive der Bohrprotokolle, explizit verlangt werden. Sofern effiziente Eingabewerkzeuge bestehen, wäre dies mit vertretbarem Zusatzaufwand und -kosten möglich.

Objektivere Profilbeschreibung und Schätzung einzelner Bodeneigenschaften durch Näherungsmessgeräte

In der Forschung werden Ansätze zur automatisierten Bestimmung von Horizonten an der Profilwand untersucht (*Digital Soil Morphometrics*, Hartemink und Minasny, 2014, 2016). Dabei werden feldtaugliche Vis-NIR-Spektrometer, XRF-Geräte oder andere Methoden verwendet, mit welchen durch nicht destruktive Messung die ganze Profilwand genügend rasch erfasst werden kann. Die erhobenen Daten werden anschliessend mit einer Clusteranalyse gruppiert und zu Horizonten zusammengefasst. Grundsätzlich handelt es sich um Näherungsmessungen, welche mit Laboranalysen kalibriert werden müssen. Dieser Ansatz wird momentan erforscht und ist (noch) nicht praxisfähig (Hartemink, pers. Mitt. 2017).

In den berücksichtigten Kartierungen werde keine Methoden zur objektivieren Erfassung von Bodenhorizonten oder -eigenschaften eingesetzt. Einzig die *Citizen Science*-Applikation SOCiT (Abschnitt 4.7.2) verwendet die Kamera von Smartphones zur Abschätzung des C_{org} -Gehalts. In den untersuchten Ländern ist jedoch auch kein Fall bekannt, wo solche Methoden

für eine Kartierung eingehend geprüft und anschliessend verworfen worden wären.

Automatisierte Erfassung von Horizontabfolgen in Profilen ist für eine Kartierung in der Schweiz momentan sicher nicht realistisch. Die (halb)automatisierte Schätzung von Bodeneigenschaften hat jedoch grosses Potential zur Beschleunigung der Felderhebung (grössere Zahl ungenauerer Beobachtungen in kürzerer Zeit) oder zur Objektivierung der Feldansprache. Für das Bodenkartierungsprojekt im Berner Seeland wurde bereits geprüft, ob die Horizontmächtigkeiten und -eigenschaften von organischen Böden durch einfache Fotos (RGB, Kanäle rot, grün und blau) bestimmt werden können. Die mit einem Bohrgerät bis 2 m gewonnenen Bohrkerne werden mit einer gewöhnlichen Kamera unter kontrollierten Lichtbedingungen fotografiert. Aus den Bildern werden aufgrund der Farbwechsel Horizontabfolgen definiert und mittels Clusteranalyse einem vollständig mit Labormessungen charakterisierten Bodenprofil zugewiesen. Im Prinzip lassen sich so aufwändig analysierte Daten von wenigen Standorten als Näherungsbeobachtung auf zahlreiche weitere Standorte übertragen. Dieser Ansatz würde vermutlich genauer, wenn statt einfachen RGB-Fotos Reflexionsdaten von Spektrometer mit Messbereich bis zur Absorptionsspanne der Tonminerale verwendet würden.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Berechnung des Flächenanteils von Rostflecken mit der Smartphone-Kamera zur Unterstützung der objektiveren Bestimmung der Vernässungsmerkmale (*g*- und *gg*-Horizontsymbole). Eine solche Applikation würde die rot-braunen und grauen Farbwerte jeweils gruppieren, mithilfe von in der KLABS klar definierten Munsell-Farbschwellenwerten die Flächenanteile berechnen und eine Empfehlung für die Bodenansprache des Horizonts machen. Dies würde die grosse Varianz der Feldansprache mit unterschiedlich hergestellten oder verblichenen Munsell-Farpreferenzkarten (Sánchez-Marañón et al., 2005) etwas ausgleichen.

Archiv(boden)daten

In zahlreichen europäischen Kartierungen wurden Bodendaten aus vorherigen, teilweise recht alten Projekten ausgewertet. Wo flächendeckend vorhandene Archivdaten oder bereits verfügbare Bodenkarten verwendet werden konnten (Dänemark, Ungarn, Deutschland, Slowenien, Wallonien, Niederlande) konnte der Kartierungsprozess wesentlich beschleunigt werden. In den Niederlanden konnten veraltete Bohrungen in organischen Böden mit einem statistischen Modell näherungsweise aktualisiert und so die Dauer der Kartierung wesentlich verkürzt sowie die Kosten gesenkt werden. Insgesamt beschleunigten die Verwendung von Archivbodendaten die Kartierung, senkten die Kosten und erlaubten Neuinterpretationen.

Für die Schweiz können folgende Schlüsse daraus gezogen werden:

1. Die Digitalisierung und Harmonisierung von Archivbodendaten, wie sie in den letzten Jahren bereits stark vorangetrieben wurde, ist weiterzuverfolgen. Dies betrifft auch historische Grundlagendaten wie beispielsweise die zahlreichen Höhenmessungen der 60er–70er-Jahre im Berner Seeland, welche die Bestimmung von Sackungsraten der organischen Böden erlauben.
2. Werden neue Bodenerhebungen durchgeführt (Kartierungen, Monitoring, Forschung etc.) sind diese nach Möglichkeit zentral zu speichern. Insbesondere ist bei Kartierungen auf eine vollständige Datensicherung aller Erhebungen inklusive Polygon-Abgrenzungsbohrungen zu achten. Aktualisierungen von Kartenwerken, wie sie insbesondere für organische Böden regelmässig nötig sein werden, werden stark vereinfacht, wenn alle Grundlagendaten punktgenau vorhanden sind (siehe Niederlande, Abschnitt 4.4). Dies gilt auch für die Neuinterpretation der Bodeninformation. Um künftige Fragen und

Interpretation nicht einzuschränken, sollten Bodenansprachen zudem möglichst wenig aggregiert oder klassiert werden.

Konventionelle Kartierung oder Bodenmodellierung?

Genauigkeit der Kartenprodukte Die vorliegende Studie zeigt eindrücklich, wie in verschiedenen Ländern konventionelle Kartierungen durch technische Entwicklungen ergänzt und erweitert wurden. Aufgrund der beschriebenen Kartierungsprojekte kann nicht entschieden werden, ob eine konventionelle Kartierung, Bodenmodellierung oder eine Kombination beider Methoden vorzuziehen ist. Die geschaffenen konventionellen Bodenkarten wurden keiner unabhängigen, inhaltlichen Qualitätsprüfung unterzogen. Für die Bodenmodellierungen wurden statistische Validierungen durchgeführt (Kreuzvalidierung, Daten-Splitting) und Kenngrößen wie das Bestimmtheitsmass (R^2) oder der mittlere Fehler berechnet.

In der Schweiz dürften, wenn verschiedene Personen die gleiche Fläche kartieren, 10 % der Flächen eine andere Klasse aufweisen (erlaubter Fremdanteil eines Polygons 10 %, AfUSO, 2014). Uns ist nicht bekannt, ob die erlaubte Fehlerquote jemals systematisch durch eine unabhängige Untersuchung geprüft wurde. Margreth (2015) hat die Gelegenheit einer laufenden Bodenkartierung genutzt und für ein Testgebiet in Luzern die Kartierung der pflanzennutzbaren Gründigkeit und der 25 Wasserhaushaltsgruppen mit konventioneller Kartierung nach FAL24⁺-Standard und Bodenmodellierung verglichen. Die modellierte Bodenkarte stimmte auf rund 43 % der Fläche mit der konventionellen Kartierung überein. Dabei wurde jedoch aufgrund fehlender Mittel für weitere Bohrungen die aufgrund der Kartierungsrichtlinien erlaubte Abweichung der konventionellen Karte zur Realität vernachlässigt. Für einen aussagekräftigen Vergleich müsste man neue Bohrungen durchführen, an den Bohrkernen die pflanzennutzbare Gründigkeit und die Wasserhaushaltsgruppe bestimmen und dann prüfen, mit welchem Fehler die konventionelle Bodenkarte und die Bodenmodellierung diese Zielgrößen vorherzusagen vermögen.

Bazaglia Filho et al. (2013) haben für einen Zuckerrohrbetrieb in Brasilien für 182 ha eine Bodentypen-Karte im Massstab von 1:10 000 durch vier verschiedene Kartierungsfachleute erarbeiten lassen und die räumliche Verteilung der Bodentypen zudem modelliert. Die Karten waren auf maximal 70% der Fläche identisch. Die modellierte Bodenkarte lag innerhalb der Variationsbreite der vier konventionellen Karten. Sie bildete keine der konventionellen Karten genau ab, was laut den Autoren durch ein automatisiertes Verfahren praktisch unmöglich zu erreichen wäre. Jede Kartierungsfachperson verfügt über einen eigenen Kartierungsstil, der sich durch eine Modellierung nicht direkt abbilden lässt. Die Imitation eines bestimmten Kartierungsstils wäre zudem nicht sinnvoll, da dies kaum zu einer genaueren Bodenkarte führen würde. Die fünf Bodenkarten des Zuckerrohrbetriebs wurden nicht mit einem durch Zufallsstichprobe erhobenen unabhängigen Datensatz validiert, womit nicht entschieden werden kann, welche Karte die Realität am genauesten abbildet.

Vermutlich lassen sich diese Ergebnisse aufgrund von methodischen Unterschieden in der konventionellen und modellierten Kartenerstellung nicht mit direkt auf die Schweiz übertragen. Dass modellierte und konventionelle Bodenkarten in etwa gleich genau sind, konnte für die Schweiz durch Nussbaum und Papritz (2017) und Nussbaum et al. (2018) gezeigt werden. Dabei wurde jedoch eine konventionelle Karte verwendet, die nicht nach dem aktuellen FAL24⁺-Standard erstellt wurde. Die Überprüfung der Genauigkeit einer zeitgemässen konventionellen Bodenkarte nach FAL24⁺ ist für den direkten Vergleich mit einer Bodenmodellierung notwen-

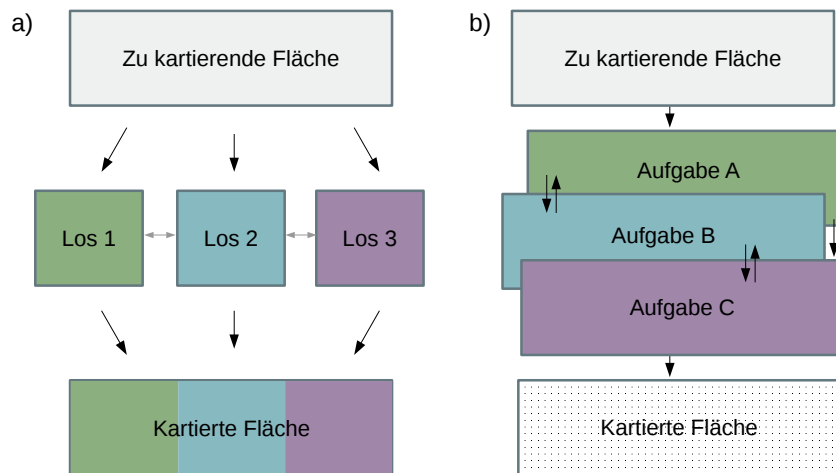


Abbildung 24: Räumliche Organisation: Eine zu kartierende Fläche wird heute nach Teilgebieten (Lose) unterteilt an verschiedene Auftragnehmer vergeben (a). Um optimal von technischen Neuerungen und personellen Ressourcen zu profitieren, ist künftig eine Aufteilung nach Aufgaben zu empfehlen, die für das gesamte Gebiet erledigt werden (b). Diese Arbeitsweise bedingt jedoch laufend einen engen Austausch zwischen den einzelnen Teilaufgaben. (Die Qualitätssicherung ist in diesem Schema für beide Fälle nicht eingezeichnet).

dig und ist für die weitere Methodendiskussion unerlässlich.

Sofern die Genauigkeiten beider Ansätze in derselben Größenordnung liegen, können für die Wahl der Methode andere Aspekte (Reproduzierbarkeit, Flächeneffizienz, Kosten) berücksichtigt werden.

Verwendung von konventioneller Kartierung oder Bodenmodellierung Die methodische Übersichtspublikation von McBratney et al. (2003) hat zur Etablierung der Bodenmodellierung mindestens in Wissenschaftskreisen geführt. Die meisten in dieser Studie berücksichtigten konventionellen Kartierungen (Abschnitt 3.3, Tabelle A1) wurden vorher begonnen oder geplant. Unterdessen hat sich die Bodenmodellierung weiterentwickelt und zumindest auf globaler Ebene etabliert (Abschnitt 3.1). Ob in einem Projekt konventionell oder durch Modellierung kartiert wird, hängt somit vom Projektbeginn ab.

Weiter spielen die methodischen oder strukturellen Präferenzen der verantwortlichen Personen eine grosse Rolle und können die Anwendung der Bodenmodellierung verhindern. Dies wurde in informellen Gespräche mit Personen aus mindestens drei Ländern bestätigt. Häufig sind an Universitäten oder den Kartierungsdiensten Personen mit der Beschaffung von Bodeninformation beauftragt, welche sehr gute Kenntnisse der konventionellen Methode, jedoch nicht der Bodenmodellierung haben. Bisher konnten diese Abteilungen recht autonom arbeiten und definierten Detailinhalte und Prozesse ihrer Arbeit selbst. Theoretisch ist die Erstellung einer konventionellen Bodenkarte von Beginn bis Ende durch eine einzige Person möglich.

Bodenmodellierung ist eine interdisziplinäre Methode an der Schnittstelle von Geodatenanalyse, Fernerkundung, Bildanalyse, Statistik und Bodenkunde, die auf den Austausch zu diesen Wissenschaftsbereichen angewiesen ist. Da es sich bei den erwähnten Fachbereichen um umfangreiche Disziplinen handelt, lässt sich das nötige Wissen, um eine Bodenmodellierung durchzuführen, praktisch nicht mehr auf einer einzigen Person vereinen. Um in einer Bodenmodellierung eine hohe Qualität zu erreichen, ist eine Arbeitsteilung und enger Austausch zwischen den beteiligten Fachpersonen nötig. Die Kartierarbeit wird damit sequentiell auf mehrerer Personen verteilt, anders als bei der konventionellen Kartierung, wo für ein Gross-

teil der Arbeiten eine räumliche Aufteilung nach Gebieten stattfindet (Abbildung 24).

Bodenmodellierung ist im Hinblick auf den Mangel an erfahrenen Kartierungsfachleuten eine Chance. In der Schweiz hat nur eine kleine Anzahl Personen das nötige Fachwissen, um konventionelle Bodenkartierungen autonom durchzuführen. Sofern in der Schweiz eine landesweite Bodenkartierung in Angriff genommen wird, könnten die umfangreichen Arbeiten auch auf Fachkräfte aus anderen Disziplinen verteilt werden.

Weiter wurde in Gesprächen und im Email-Austausch für diese Studie manchmal Missverständnisse festgestellt. Konventionell arbeitende Bodenfachpersonen denken teilweise, dass Bodenmodellierung ohne Bodenpunktdaten (Profile und Bohrungen im Feld) auskommt. Die Übertragbarkeit von Modellen von einem Gebiet auf ein anderes ist ohne lokale Kalibrierung mit Bodendaten aus dem Archiv oder einer Neuerhebung nicht ohne eingehende Prüfung gegeben.

Soll Bodenmodellierung in der Schweiz eingesetzt werden, so müsste Aufklärungsarbeit in der bodenkundlichen Gemeinschaft geleistet werden. Weiter müssten die Auftraggeber Kooperation verschiedener Fachdisziplinen einfordern, wenn sich diese nicht aus eigenem Antrieb zu Projektgemeinschaften zusammen schliessen.

Qualitätssicherung

Die Sicherung der Qualität von Bodeninformation ist ein zentraler Aspekt, er steht aber in den wenigsten Ländern im Vordergrund. Meist werden – wie auch in der Schweiz – formelle Datenkontrollen durchgeführt, welche die Plausibilität prüfen, um mögliche Datenkombinationen zu korrigieren oder fehlende Einträge zu markieren. Ein erster Schritt dieser Datenkontrollen wurde bereits in einigen Ländern (z. B. Niederlande, Norwegen) via Eingabemasken der Feldcomputer implementiert. Beim Import in NABODAT werden die Bodendaten formell im Hinblick auf das Datenmodell geprüft (z. B. Abgleich mit Codelisten). Formelle Datenkontrollen sind ein wichtiger Bestandteil des Erhebungsprozesses und sollten möglichst automatisiert in den Arbeitsablauf eingebaut werden.

Die inhaltliche Datenqualität wurde beispielsweise in Niedersachsen durch sehr exakte Kartierungsrichtlinien und Arbeitsanweisungen, Schulungen und Betreuung der Auftragnehmer sichergestellt. Trotzdem haben die zahlreichen Auftragnehmer die Kartierung mit unterschiedlicher Qualität umgesetzt, was längere Nachbearbeitungszeiten zur Folge hatte (Langner und Gehrt, 2013).

Dies zeigt, dass trotz detaillierter Richtlinien und Schulungen die Durchsetzung einer homogenen Datenqualität gegenüber privaten Auftragnehmern und internen Mitarbeitern schwierig ist. In der Schweiz sind die Kartierungsrichtlinien weit weniger detailliert. Die Qualität der Profilsprache wird jedoch immer durch eine mit der Qualitätssicherung (QS) beauftragte Person überprüft, womit die Feldansprache homogenisiert wird. Zudem finden zu Beginn der Kartierung in einem neuen Gebiet Feldbegehungen mit allen Projektbeteiligten statt. Die Produktion der eigentlichen Karte mittels Polygonabgrenzung wird jedoch durch die QS-Person nur sporadisch verfolgt und überprüft.

Die Schätzung des Fehlers der räumlichen Vorhersage, wie er in jedem Kartenprodukt vorhanden ist, sowie von lokalen Unsicherheiten wurde nur von Bodenmodellierungen gemacht. Nicht nur modellierte, sondern auch konventionelle Karten sollten auf ihre räumliche Genauigkeit geprüft und die räumlich häufig variable Unsicherheit sollte mit dem Kartenprodukt an die Endnutzer kommuniziert werden.

5.2 Bodeninformationsplattform Schweiz

5.2.1 Zentrale Bodeninformationsplattform und Servicestelle für Datenvertrieb

Grundsätzlich sind in der Schweiz die Kantone mit dem Vollzug von bodenrelevanten gesetzlichen Richtlinien beauftragt. Fast alle Kantone betreiben Geoportale für Umweltdaten. Für den Vertrieb von flächendeckenden Bodendaten käme damit in erster Linie diese bestehende Geodateninfrastruktur in Frage. Boden stellt in diesen Systemen eine Gruppe von Kartenebenen neben anderen Umweltthemen dar.

Wie von Keller et al. (2018) vorgeschlagen, sollten zur Erhöhung der Sichtbarkeit und Relevanz von Bodendaten aber besser eine zentrale Bodeninformationsplattform gebildet werden. Als Vorbild dazu wurde in diesem Bericht das *UK Soil Observatory* (Abschnitt 4.7.1) beschrieben. Diese Plattform ist ein zentraler Einstieg zu den vorhandenen Datensätzen mit Informationen über den Datensatz, Lizenzen und Dateneignern. Die Kartenebenen sind jedoch inhomogen (Blattschnitt, nicht harmonisierte Legenden) oder teilweise redundant (Texturkarten) und der Unterschied zwischen den ähnlich benannten Datenprodukten ist sogar für bodenkundlich versierte Nutzerinnen nicht offensichtlich. Sofern die Bodeninformationsplattform mehr sein soll als eine Sammlung von Metadaten über die Kartenebenen und Bodendatenbanken, muss ein gewisser Grad an Harmonisierung erreicht werden.

Der Web-Auftritt der Bodeninformationsplattform sollte mit einer zentralen Datenservicestelle verbunden sein. Bodendaten sind komplex und benötigen meist interpretierte Aufbereitungen der ursprünglichen kartierten Bodendaten für Endnutzerinnen und -nutzer. Wie Beispiele aus Deutschland, Tschechien oder der Slowakei zeigen, können für zahlreiche Anwendungen bereits Karten vorerstellt werden. Bestimmte Anwendungen werden jedoch oft zusätzliche Bedürfnisse haben, welche eine Endkunden-Beratung und Datenaufarbeitung durch eine Bodenfachperson nötig machen.

5.2.2 Rechtlicher und technischer Datenzugriff

Die in diesem Bericht beschriebenen BIS stellen die Bodendaten zu einem grossen Teil frei und ohne Zugangsbarrieren wie Nutzerregistrierungen allen potentiellen Nutzern zur Verfügung.

Die Erzeugung von Bodendaten, sofern dies bekannt ist, wird mit Steuergeldern finanziert. Dies ist auch in der Schweiz der Fall. Der Schaden durch Nicht-Verwendung von Grundlagendaten wie Bodeninformation, ist für die Allgemeinheit wesentlich grösser als der Erlös durch den Datenverkauf (Gassert et al., 2011). Dazu kommt, dass wohl nur wenige die Daten zu den effektiven Kosten beziehen und nutzen würden.

Sofern Bodendaten keine schutzwürdigen Interessen von Personen betreffen, sollten diese darum frei zugänglich sein.

5.2.3 Inhalte und Umsetzung

Sofern flächendeckende Bodendaten vorhanden wären, wären auch den Anwendungen kaum Grenzen gesetzt. Die in diesem Bericht beschriebenen BIS weisen zahlreiche aus Bodenbasisdaten erstellte Anwendungskarten aus und stellen teilweise Berechnungswerkzeuge bereit. Es ist davon auszugehen, dass bei zunehmender Verwendung von Bodeninformation, weitere Bedürfnisse angemeldet werden, die bisher noch gar nicht bekannt sind.

5.2.4 Risiken eines webbasierten BIS

Für diese Studie wurden zahlreiche BIS betrachtet und diverse einfach zu behebbende Unzulänglichkeiten festgestellt, die vermutlich direkte Nutzung der Bodendaten reduzieren:

- Ungenügende Bekanntheit oder Sichtbarkeit der vorhandenen Bodeninformation (inkl. Ausmass, Abdeckung, Inhalt), auf unterschiedliche Webseiten verteilte Ressourcen, die sich nur schwer auffinden lassen.
- Inhaltlich nicht gut aufbereitete BIS, schwer verständliche Legenden, fehlende Metadaten etc.
- Teilweise waren die BIS zudem graphisch und von der Bedienerfreundlichkeit her mangelhaft. Dies reduziert den Wert der Bodeninformation, da Nutzer allenfalls “aufgeben” und die Bodendaten nicht verwenden, sofern die Menüführung nicht genug einfach ist.
- Die Erstellung von Karten-Viewern ist mittlerweile sehr einfach. Der langfristige Betrieb scheint jedoch organisatorisch schwierig zu sein: Bei vier von 26 BIS gab es technische Probleme, so dass für diese Studie nicht darauf zugegriffen werden konnte (mehrere Versuche innerhalb von zwei Monaten). Die regelmässige Aktualisierung eines BIS und Kontrolle des vollständigen Funktionsumfangs muss deshalb organisatorisch abgesichert werden.
- Nicht persistente Weblinks erschweren das Wiederauffinden der BIS. Innerhalb des Zeitraums der vorliegenden Studie haben sich zahlreiche (teilweise extrem lange) Links geändert und die gewünschte Information konnte nicht mehr oder nur durch kreative Interpretation des veralteten Links wieder aufgefunden werden. Persistente Kurz-Links auf die Webseiten mit der Kerninformation sind somit eine Voraussetzung für das effiziente Wiederfinden durch Nutzerinnen eines BIS.

5.3 Citizen Science als Boden-Sensibilisierungsinstrument

Die Datengewinnung durch Laien mit *Citizen Science* ist aufgrund der Komplexität von Bodenerhebungen schwierig. Jedenfalls konnte mit *mySoil* in Grossbritannien keine genügende Datenqualität erreicht werden (Abschnitt 4.7.2).

Die Applikation wurde 45 000 mal herunter geladen, was aber nicht heisst, dass alle Personen verstanden haben, worum es sich bei *mySoil* handelt. Trotzdem wurde die Boden-Smartphone-Applikation 45 000 mal angeklickt, was ein grundsätzliches Interesse oder Neugier signalisiert. Dieser Wert ist im Vergleich zu anderen Apps sicher nicht hoch, aber wenn man bedenkt, dass “Boden beobachten” nicht per se ein Hobby ist wie Vögel beobachten (Rossiter et al., 2015), dann wurden doch eine recht grosse Anzahl Personen erreicht. Immerhin wurden mehr als 4 000 Beobachtungen hochgeladen. Es kann davon ausgegangen werden, dass sehr viel weniger Personen diese Einträge gemacht haben. Einige wenige Personen werden vermutlich für zahlreiche Beobachtungen verantwortlich sein. Dennoch finden wir diese Zahlen beachtlich. 4 000 mal hat jemand ein Foto von seiner Gartenerde oder eine pH-Messung gemacht, ein Stück Erde zur Texturbestimmung zwischen den Fingern gerollt oder etwas Text zu einem Boden hinzugefügt.

Eine solche Applikation wäre auch in der Schweiz ein mögliche Massnahme zur Bewusstseinsbildung, die mit einfachen Mitteln ein breites Publikum (z. B. Schulen, Vereine, Hobbygärtnerinnen und -gärtner) erreichen könnte. Boden wäre auch ohne Boden-Lehrperson direkt

erlebbar und würde verbunden mit neuen Medien, was das Thema möglicherweise auch für jüngere Altersklassen attraktiver machen könnte.

Möglich wäre die Entwicklung einer solchen Applikation im Rahmen der BGS-Arbeitsgruppe “Boden des Jahres”, die sich bereits mit Öffentlichkeitsarbeit befasst. Technisch müsste die Applikation von einem auf Webauftritte spezialisierten Unternehmen entwickelt werden, wozu eine Finanzierung notwendig wäre (Grössenordnung CHF 20 000–50 000.-, je nach Funktionsumfang und unterstützten Plattformen). Da keine weitergehende Vernetzung zu anderen technischen Systemen erforderlich wäre, wäre eine Umsetzung nicht weiter komplex. Einzig eine offene Schnittstelle und die Orientierung am Datenmodell von NABODAT wäre wünschenswert, sofern die Daten schlussendlich doch ausgetauscht werden sollten. Denkbar wäre eine Lösung nach dem Vorbild von Grossbritannien, wo einerseits Daten mit der Smartphone-Applikation erhoben werden können. Andererseits können die *Citizen Science*-Daten im Kartenviewer des *UK Soil Observatory* (Abschnitt 4.7.1) dargestellt oder auch darüber erfasst werden. Diese Applikation hat aus unserer Sicht jedoch zu wenig spezifische Information für Laien und erklärende Inhalte zum Thema Boden. Denkbar wären einfach verständliche, graphisch aufbereitete Kurzinformationen mit einem Maskottchen (z. B. sprechender Regenwurm im Comic-Stil).

Danksagung

Dieses Projekt wurde durch den Schweizer Nationalfonds (SNF) im Rahmen des nationalen Forschungsprogramms NFP 68 “Ressource Boden” als Fokusstudie finanziert. Ein grosses Dankeschön geht an die zahlreichen Personen aus ganz Europa, die für diesen Bericht grosszügig Auskunft gegeben haben. Weiter möchten wir uns bei Kilian Aregger für die Recherche-Vorarbeiten und bei Nico Dürrenmatt fürs Korrekturlesen bedanken.

Glossar

Nachfolgend werden Abkürzungen aufgelistet sowie einige Begriffe erklärt. Einerseits soll die Verwendung der Begriffe in Bericht geklärt werden, andererseits soll das bodenkundliche Vokabular fachfremden Personen zugänglich gemacht werden.

AR5	<i>Economic Map Series / Økonomisk kartverk</i> im Massstab 1:5 000 von Norwegen (Abschnitt 4.3)
BIS	räumliches Bodeninformationssystem, Karten-Viewer oder Geoportal zum Thema Boden, über das Internet zugängliche Visualisierungs- oder Auswertungsapplikation mit vielfältiger Informationen über die räumliche Verteilung der Bodenbeschaffenheit in Form von Karten; in dieser Studie ohne Bodendatenbanken, die keinen direkten Raumbezug oder Visualisierungsmöglichkeit haben
BGS	Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz (https://www.soil.ch)
Bodenansprache	Bodenkundliche Beschreibung der Merkmale eines Bodenprofils oder eines Bohrkerns nach einem Klassifikationssystem durch eine Fachperson (inkl. Feldanalysen z. B. mit Salzsäure)
Bodeneigenschaft	auch Bodenattribut oder Bodenparameter, Basisgrössen zur Beschreibung eines Bodens, z. B. Skelettgehalt, Textur, C _{org} -Gehalt
Bodeneinheit	Kombination von Bodeneigenschaften, die bei einer konventionellen Kartierung einem Polygon zugewiesen wird (Brunner et al., 1997), entspricht Bodenform nach KA5 (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005)
Bodenfunktion	Interpretation der Bodeneigenschaften im Hinblick auf eine Funktion des Bodens, häufig mit klar definierten Ableitungsregeln aus Bodeneigenschaften hergeleitet, möglicherweise mit anderen nicht-bodenbezogenen Daten kombiniert wie Klima, Hangneigung (Greiner et al., 2017); z. B. Potential für die landwirtschaftliche Produktion, Wasserrückhaltevermögen, Filter- und Pufferleistung beim Eintrag von Schadstoffen
Bodenfunktionskarten, Anwendungskarten	Karten, welche die räumliche Verteilung von Bodenfunktionen oder andere für Endnutzerinnen und -nutzer relevante bodenbezogene Grössen zeigen; z. B. Karte der Verdichtungsempfindlichkeit zur Planung von Fahrgassen für die Holzernte, Zonen mit unterschiedlichem Nitratauswaschungsrisiko und damit unterschiedlichen Düngervorschriften, Erosionsrisiko und mögliche Schutzmassnahmen
Bodengesellschaft	anstelle von Bodentypen in kleinmasstäbigen Übersichtbodenkarten, in räumlicher Nachbarschaft auftretende unterschiedliche Bodentypen, die hinsichtlich ihrer Eigenschaften regelhafte Abfolgen bilden und zu einer wiederholt auftretenden Einheit zusammengefasst werden können (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005)
Bodenhorizont	meist horizontale Bodenschicht mit homogenen physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften, Bezeichnung und Abgrenzungen zwischen Horizonten definiert durch jeweilige Bodenklassifikation

Bodeninformation	Überbegriff für Bodendaten wie Beschreibungen von Profilen oder Bohrungen, Laboranalysen, konventionell oder durch Bodenmodellierung erstellte Bodenkarten zu Bodeneigenschaften, Bodentypen oder Bodengesellschaften, Bodenfunktionen, Anwendungskarten, Bodendatenbanken resultierend aus Bodenkartierungen oder auch Forschungsprojekten oder Bodenmonitoring
Bodenkarte	räumliche Bodeninformation, Geodatenprodukt mit bodenkundlichem Inhalt zu Bodeneigenschaften möglicherweise mit Angabe zur Bodentiefe, für welche diese Eigenschaften zutreffen, zu Bodentypen oder zu Bodenfunktionen
Bodenklassifikation	auch Bodensystematik, Handbuch, welches die Beschreibung von Bodeneigenschaften, die Abgrenzung zwischen Bodenhorizonten und die charakteristischen Horizontabfolgen der Bodentypen definiert, beinhaltet häufig auch Ableitungsregeln für Bodenfunktionen; praktisch jedes Land verfügt über eine eigene Bodenklassifikation, um die gesamte Variabilität vollständig beschreiben zu können
Bodenmodellierung	<i>Digital Soil Mapping</i> , Bodenkartiermethode, bei der Bodeneigenschaften (auch Bodentypen) von Profilen oder Bohrungen mit statistischen Modellen mit Umweltgeodaten (z. B. geologische Karte, Ableitungen aus Höhenmodell) korreliert werden, Kartenerstellung durch statistische Vorhersage auf einem Punktraster (Rasterkarte, McBratney et al., 2003); Profile und Bohrungen aus Archivdaten oder neue Bodenansprachen im Feld
Bodenprofil	von Hand oder mit Bagger ausgehobene Grube (häufig zwischen 1–2 m tief), worin eine Person hinabsteigen kann, um an einer vertikalen Wand die verschiedenen Horizonte bodenkundlich zu beschreiben und Proben für Laboranalysen entnehmen kann
Bodentextur	Verteilung der Korngrößen der Feinerde kleiner als 2 mm, Anteil von Ton (< 0.002 mm), Schluff (0.002–0.05 mm) und Sand (0.05–2 mm, Brunner et al., 1997), je nach Bodenklassifikation leicht andere Schwellenwerte, auch Bodenart (Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005) oder Feinerdekörnung genannt
Bodentyp	Gruppierung der Böden nach charakteristischen Abfolge von Horizonten oder nach diagnostischen Horizonten, beschreibt häufig typische Entstehungsprozesse oder Gruppen von Eigenschaften, Bezeichnung und (hierarchische) Abgrenzungen zwischen Bodentypen definiert durch jeweilige Bodenklassifikation
Bohrung	Entnahme von Bodenmaterial oder eines Bohrkerns durch ein Bohrgerät (meist mit Handbohrer bis 1 m, aber auch tiefer; maschinell möglich) für eine bodenkundliche Beschreibung eines Teils von Bodeneigenschaften, bestimmte Eigenschaften nur durch Ausheben eines Bodenprofils vollständig beschreibbar
C _{org} -Gehalt	Gehalt des organisch gebundenen Kohlenstoffs
FAL24 ⁺	Aktueller konventioneller Bodenkartierungsstandard in der Schweiz, entwickelt durch Brunner et al. (1997) an der Forschungsanstalt Agrarökologie und Landbau (FAL, Schriftenreihe Nr. 24), weiterentwickelt und konkretisiert in Kartierprojekten des Kantons Zürich (Jäggi et al., 1998) und Solothurn (AfUSO, 2014)
FAO	<i>Food and Agriculture Organisation</i> der Vereinten Nationen

Fruchtfolgeflächen	auch FFF, qualitativ bestgeeignetes ackerfähiges Kulturland; ein Mindestumfang dieser Fruchtfolgeflächen soll vor Überbauung geschützt werden und für die langfristige Versorgungssicherung mit Nahrungsmitteln erhalten bleiben; FFF müssen von den Kantonen kartografisch und in Zahlen erfasst und dokumentiert werden
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> , System zur Positionsbestimmung durch Empfang von Signalen von Navigationssatelliten, Sammelbegriff für Systeme GPS, GLONASS, Galileo
GSP	Global Soil Partnership
ISMS	tschechisches Informationssystem für Bodenverbesserungen (<i>Informační systém melioračních staveb</i>)
KAK	Kationenaustauschkapazität, Mass für austauschbare Kationen, Zahl der negativen Bindungsplätze (z. B. für Nährstoffe) in einem Boden
KLABS	Klassifikation der Böden der Schweiz (BGS, 2010)
Komplexe Einheiten	zusammengesetzte Bodeneinheit, Zuweisung von mehreren Bodeneinheiten zu einer Polygonfläche, wenn bei der konventionellen Kartierung einer kleinen zu kartierenden Fläche nicht homogene Bodeneigenschaften zugewiesen werden können, häufig mit Flächenprozentangabe der zugewiesenen Bodeneinheit
Konventionelle Kartierung	Bodenkartiermethode, bei der Einheiten (Polygone) ähnlicher Bodeneigenschaften im Feld durch Bohrungen abgegrenzt und auf eine Karte eingezeichnet werden (Polygonkarte, Brunner et al., 1997; Jäggli et al., 1998; AfUSO, 2014; Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden, 2005), auch Generalisierungen von vorhandenen Bodenkarten durch manuelle Abgrenzung von Einheiten, möglicherweise auch Verwendung digitaler Hilfsmittel wie Terrain-Analyse, Feldcomputer, Auswertung Bodendatenbanken, jedoch keine statistische Vorhersage von Bodenkarten (siehe Bodenmodellierung)
Metadaten	auch Metainformationen, strukturierte Daten, die Informationen über Merkmale anderer Daten enthalten, wichtig in Bezug auf Bodendatenbanken und Geodaten zur Dokumentation von Labor-, Feld- und Kartierungsmethoden sowie Datenlizenzen
NERC	<i>Natural Environment Research Council</i> , britischer Forschungsrat für Umweltwissenschaften
pers. Mitt.	schriftliche oder mündliche persönliche Mitteilung, siehe Verzeichnis auf Seite 86
Pflanzennutzbare Gründigkeit	Mächtigkeit des durchwurzelbaren Teils eines Bodens, von der gesamthaft möglichen Durchwurzelungstiefe werden Skelett und verdichtete oder ständig wassergesättigte Zonen abgezogen (Brunner et al., 1997), in anderen Klassifikationen abweichende Definition
QS	Qualitätssicherung
QTTB	Zentrum für landwirtschaftlichen Technologietransfer, Albanien
SIFSS	<i>Soil Information For Scottish Soils</i>
Skelettgehalt	auch Bodenskelett, alle mineralischen Bodenbestandteile mit einem Durchmesser von mehr als 2 mm (Steine, Kies, Brunner et al., 1997)

Textur	siehe Bodentextur
ÜBK25	Übersichtsbodenkarte 1:25'000 von Bayern (Abschnitt 4.2)
UK SO	<i>United Kingdom Soil Observatory</i> , räumliches Bodeninformationssystem von Grossbritannien (Abschnitt 4.7.1)
Wasserhaushaltsgruppe	aggregiertes Attribut nach FAL24 ⁺ mit 25 Klassen, welches die Art und den Grad der Vernässung eines Bodens sowie die pflanzennutzbare Gründigkeit charakterisiert, hat einen grossen Einfluss auf die Eignungsklasse für die landwirtschaftliche Nutzung (Brunner et al., 1997)
WCS	<i>Web Coverage Service</i> , wie WMS, zur Übertragung von Rasterdaten, direkte Weiterverarbeitung der Werte in den Rasterpixeln möglich
WFS	<i>Web Feature Service</i> , wie WMS, zur Übertragung von Vektorgeometrien, direkte Weiterverarbeitung der Geometrien möglich
WMS	<i>Web Map Service</i> , Schnittstelle zum Abrufen von Geodatenauszügen mit der Möglichkeit der direkten Einbindung in lokale GIS-Applikation, nur Visualisierung
WRB	<i>World Reference Base for Soil Resources</i> (IUSS Working Group WRB, 2014), weltweite Bodenklassifikation, die erlaubt, Informationen über Böden und deren Eigenschaften über regionale und nationale Grenzen hinweg auszutauschen
XRF-Gerät	Röntgenfluoreszenzspektroskopie (<i>X-ray fluorescence spectroscopy</i>), zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der elementaren Zusammensetzung einer Probe, wobei die Probe durch die Messung nicht zerstört wird, wird häufig zur Feststellung von Schadstoffen verwendet

Personenverzeichnis persönliche Mitteilungen

Aitkenhead, Matt, Information and Computational Sciences, The James Hutton Institute, Aberdeen, Schottland, Grossbritannien (matt.aitkenhead@hutton.ac.uk, <http://www.hutton.ac.uk/staff/matt-aitkenhead>).

Beucher, Amélie, Dr., Soil Physics and Hydropedology, Department of Agroecology, Aarhus University, Tjele, Dänemark (amelie.beucher@agro.au.dk, <http://agro.au.dk/en/contact/employees/> →Beucher, Amélie).

Carlsson-Ross, Carina, Swedish Board of Agriculture / Utredare övergödning, Miljöanalyserheten, Jordbruksverket, Jönköping, Schweden (carina.carlsson-ross@jordbruksverket.se, <http://www.jordbruksverket.se>).

de Vries, Folkert, ing., Abteilung Boden, Wasser und Landnutzung, Wageningen University & Research, Wageningen, Niederlande (folkert.devries@wur.nl, <https://www.wur.nl/nl/Personen/ing.-F-Folkert-de-Vries.htm>).

Djodjic, Faruk, Section for Geochemistry and Hydrology, Department of Aquatic Sciences and Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences / Sveriges lantbruksuniversitet, Uppsala, Schweden (faruk.djodjic@slu.se, <https://www.slu.se/cv/faruk-djodjic/>).

Gehrt, Ernst, Dr., Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Geozentrum Hannover, Hannover, Deutschland, (ernst.gehrt@lbeg.niedersachsen.de, <http://www.lbeg.niedersachsen.de>)

Georgiev, Bozhidar, Prof. Dr., The Institute of Soil Science, Agro-Technology and Plant Protection "Nikola Pushkarov"(ISSAPP), Sofia, Bulgarien (dr_georgiev@abv.bg, http://www.issapp.org/index.php?page=58&lang=2&show_id=111).

Hartemink, Alfred, Prof. Dr., Department of Soil Science, University of Wisconsin-Madison, Madison, USA (hartemink@wisc.edu, <http://soils.wisc.edu/people/faculty/hartemink/>).

Hot, Elma, University of Montenegro, Podgorica, Montenegro (https://www.researchgate.net/profile/Elma_Hot).

KIS, ohne Namensangabe, Service Desk von eSoil (eTLA), Kmetijski inštitut Slovenije (KIS) / Agricultural Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenien (cto@kis.si).

Lacoste, Marine, Dr., Unité de Recherche en Science du Sol, INRA, Centre Val de Loire, Site d'Orléans, Orléans, Frankreich (Marine.Lacoste@orleans.inra.fr, https://www6.val-de-loire.inra.fr/ur-sols_eng/People/LACOSTE-Marine).

Martin, Walter, Dr., Bodenkundliche Landesaufnahme, Bayrisches Landesamt für Umwelt, Augsburg, Deutschland (walter.martin@lfu.bayern.de, <https://www.lfu.bayern.de/>).

Milbert, Gerhard, Dr., Bodenkundliche Landesaufnahme, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Krefeld, Deutschland (gerhard.milbert@gd.nrw.de, <http://www.gd.nrw.de>).

Mukaetov, Dusko, Prof. Dr., Department of Soil Science and Plant Nutrition, Institute of Agriculture Skopje (UKIM), Skopje, Mazedonien (d.mukaetov@zeminst.edu.mk, <http://zeminst.edu.mk/biography/dusko-mukaetov>).

Okx, Joob, Dr., Abteilung Boden, Wasser und Landnutzung, Wageningen University & Research, Wageningen, Niederlande (joop.okx@wur.nl, <https://www.wur.nl/nl/Personen/Joop-Okx.htm>).

Poggio, Laura, Dr., Information and Computational Sciences, The James Hutton Institute, Aberdeen, Schottland, Grossbritannien (laura.poggio@hutton.ac.uk, <http://www.hutton.ac.uk/staff/laura-poggio>).

Robinson, David A., Dr., Centre for Ecology & Hydrology (CEH), Natural Environmental Research Council (NERC), Bangor, Wales, Grossbritannien (davi2@ceh.ac.uk, <https://www.ceh.ac.uk/staff/david-robinson>).

Schulte-Kellinghaus, Stefan, Dr., Bodenkundliche Landesaufnahme, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Krefeld, Deutschland (stefan.schulte-kellinghaus@gd.nrw.de, <https://www.gd.nrw.de>).

Skalský, Rastislav, Dr., General Pedology and Pedogeography, Soil Science and Conservation Research Institute, National Agricultural and Food Centre, Bratislava, Slowakei (r.skalsky@vupop.sk, <http://www.podnemapy.sk/portal/vseobecne/kontakt.aspx>).

Solbakken, Eivind, ing., Department of Agricultural Soil Survey, Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO), Ås, Norwegen (eivind.solbakken@nibio.no, <https://www.nibio.no/ansatte/eivind-solbakken>).

Traidl, Robert, Dr., Bodenkundliche Landesaufnahme, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Marktredwitz, Bayern, Deutschland (robert.traidl@lfu.bayern.de, <http://www.lfu.bayern.de/boden/index.htm>).

Vrščaj, Borut, Dr., Agricultural Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenien (borut.vrscaj@kis.si, http://www.kis.si/Sodelavci_OKENV_Test/Borut_Vrscaj_OKENV_cv1_Test/).

Zdruli, Pandi, Dr., Land and Water Department, Mediterranean Agronomic Institute of Bari (CIHEAM IAM), Bari, Italien (pandi@iamb.it, <http://www.iamb.it>).

Žížala, Daniel, Research Institute for Soil and Water Conservation, Department of Soil Survey – Remote Sensing and Pedometrics Laboratory / Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VÚMOP), Oddělení Půdní služba – laboratoř DPZ a pedometriky, Zbraslav, Tschechien (zizala.daniel@vumop.cz, <http://www.vumop.cz>).

Abbildungsverzeichnis

1	Übersichtskarte betrachtete Länder	9
2	Karte Stand Bodenkartierungen in der Europa	13
3	Suchergebnisse pro Land für <i>digital soil mapping</i> bei Google Scholar	14
4	Karte Vorhandensein Bodeninformationssystem	21
5	Übersicht Inhalte nationale Bodeninformationssysteme	22
6	Visualisierungen aus dem Irish Soil Information System	24
7	Profilinformationen der finnischen Kartierung	25
8	Datenerfassung im Feld in Norwegen	37
9	Eingabemaske Bodenprofile Norwegen	38
10	Erosionsrisikokarte in der Applikation <i>Gådskart</i>	39
11	Eingabemaske Feldcomputer Niederlande	42
12	<i>Markdata</i>	47
13	Visualisierungen aus dem britischen LandIS	50
14	Inhalte <i>Citizen Science</i> -Applikation <i>mySoil</i>	53
15	Entscheidungsbaum zur Textur-Bestimmung in <i>mySoil</i>	54
16	SOCiT-Applikation	55
17	Struktur niedersächsisches Bodeninformationssystem (NIBIS)	56
19	Nitratvollzugsapplikation Slowakei	60
20	Tschechisches Raumplanungswerkzeug im <i>Geoportál SOWAC GIS</i>	62
21	Tschechischer Bewässerungsrechner im <i>Geoportál SOWAC GIS</i>	64
22	Ursprüngliche Feldkarten im tschechischen <i>Geoportál SOWAC GIS</i>	66
23	Fachliche Organisation von Bodenkartierungen	73
24	Räumliche Organisation von Bodenkartierungen	77

Tabellenverzeichnis

1	Informationsdichte bei Detailkartierungen in der Schweiz	7
2	Eckdaten aktuelle Kartierungsaktivitäten in Europa	15
3	Faustregeln räumliche Dichte Profile und Bohrungen	18
4	Inhalt nationale räumliche Bodeninformationssysteme in Europa	23
A1	Übersicht aktuelle Kartierungsaktivitäten in Europa	100
A2	Übersicht nationale räumliche Bodeninformationssysteme in Europa	106
A3	Ausgewählte regionale räumliche Bodeninformationssysteme in Europa	117

Literatur

- Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden: Bodenkundliche Kartieranleitung, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 1994.
- Ad-hoc Arbeitsgruppe Boden: Bodenkundliche Kartieranleitung, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, 2005.
- Adhikari, K., Kheir, R. B., Greve, M. B., Bøcher, P. K., und Greve, M. H.: Progress towards GlobalSoilMap.net soil database of Denmark, *Digital Soil Assessments and Beyond*, S. 445–451, 2012.
- Adhikari, K., Bou Kheir, R., Greve, M. B., Greve, M. H., Malone, B. P., Minasny, B., und McBratney, A. B.: Mapping soil pH and bulk density at multiple soil depths in Denmark, *GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System - Proceedings of the 1st GlobalSoilMap Conference*, S. 155–160, 2014a.
- Adhikari, K., Hartemink, A. E., Minasny, B., Bou Kheir, R., Greve, M. B., und Greve, M. H.: Digital mapping of soil organic carbon contents and stocks in Denmark, *PLOS ONE*, 9, doi:10.1371/journal.pone.0105519, 2014b.
- Adhikari, K., Minasny, B., Greve, M. B., und Greve, M. H.: Constructing a soil class map of Denmark based on the FAO legend using digital techniques, *Geoderma*, 214–215, 101–113, doi:10.1016/j.geoderma.2013.09.023, 2014c.
- afbi: Soil maps and soil survey, Agri-Food and Biosciences Institute Northern Ireland, <https://www.afbini.gov.uk/articles/soil-maps-and-soil-survey>. letzter Zugriff: 23/02/2018, 2018.
- AfUSO: Bodenkartierung Kanton Solothurn, Projekthandbuch Teil III, Kartiermethodik, Bericht 6. Auflage, Amt für Umwelt des Kantons Solothurn, <https://www.so.ch/verwaltung/bau-und-justizdepartement/amt-fuer-umwelt/boden-untergrund-geologie/bodenkartierung/>. letzter Zugriff: 15/02/2018, 2014.
- Aitkenhead, M., Donnelly, D., Coull, M., und Gwatkin, R.: Estimating Soil Properties with a Mobile Phone, in: *Digital Soil Morphometrics*, editiert von Hartemink, A. E. und Minasny, B., S. 89–110, Springer International Publishing, Cham, doi:10.1007/978-3-319-28295-4_7, 2016.
- Ambrose-Oji, B., van der Jagt, A., und O’Neil, S.: Citizen Science: Social Media as a supporting tool, Bericht, Forest Research, Edinburgh, https://www.forestry.gov.uk/pdf/Social_Media_Support_Citizen_Science_April_2014.pdf. letzter Zugriff: 31/01/2018, 2014.
- Amt der Oö. Landesregierung: Land Oberösterreich - Bodenfunktionen – Was Boden leistet, <http://www.land-oberoesterreich.gv.at/106895.htm>. letzter Zugriff: 21/02/2018, 2018.
- Apple Inc.: SOCiT on the App Store, The James Hutton Institute, <https://itunes.apple.com/gb/app/socit/id631266307?mt=8>. letzter Zugriff: 31/01/2018, 2018.
- Arnalds, O.: The soils of Iceland, *World soils book series*, Springer, Dordrecht, 2015.
- Arnalds, Ó. und Óskarsson, H.: Íslenskt jarðvegskort, *Náttúrufræðingurinn*, 78, http://www.moldin.net/uploads/3/9/3/3/39332633/jardvegskort_2.pdf. letzter Zugriff: 06/02/2018, 2009.
- Arnoldussen, A.: Reduction of soil erosion in Norway, Bericht, scape, Soil Conservation And Protection for Europe, <http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/projects/scape/uploads/7/Arnoldussen.pdf>. letzter Zugriff: 19/02/2018, 2014.
- Arrouays, D., McBratney, A. B., Minasny, B., Hempel, J. W., Heuvelink, G. B. M., MacMillan, R. A., Hartemink, A. E., Lagacherie, P., und McKenzie, N. J.: The GlobalSoilMap project specifications, in: *GlobalSoilMap Basis of the global spatial soil information system*, S. 9–12, CRC Press, doi:10.1201/b16500-4, 2014.
- Baritz, R., Eberhardt, E., van Liedekerke, M. H., und Panagos, P.: Environmental Assessment of Soil for Monitoring Volume III: Database Design and Selection, Vol. III, JRC Scientific and Technical Reports, doi:10.2788/93697, 2008.
- Bazaglia Filho, O., Rizzo, R., Lepsch, I. F., Prado, H. d., Gomes, F. H., Mazza, J. A., und Demattê, J. A. M.: Comparison between detailed digital and conventional soil maps of an area with complex geology, *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37, 1136–1148, doi:10.1590/S0100-06832013000500003. letzter Zugriff: 25/03/2018, 2013.
- Behrens, T., Schmidt, C., und Keller, A.: Digital Soil Mapping, Factsheets, Bericht, Soilution GbR und Nationale Bodenbeobachtung (NABO), Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt, Heusweiler und Zürich, 2017.
- Benzler, J. H.: Bodenkundliche Kartieranleitung (KA3), Schweizerbart, Stuttgart, 3 Edn., 1982.
- Berner Zeitung: Die Landeskarte wird dreidimensional, <https://www.bernerzeitung.ch/schweiz/standard/Die-Landeskarte-wird-dreidimensional/story/27514037>. letzter Zugriff: 08/05/2018, 2016.

- BFW: Bodenkarte, Historische Entwicklung der Bodenkartierung in Österreich, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald and Naturgefahren und Landschaft - BFW and Vienna and Austria, <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=7244>. letzter Zugriff: 12/02/2018, 2007.
- BFW: BFW Praxisinformation - Unser Boden, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), 2015.
- BFW: Bodenkarte, Downloads, Digitale Bodenkarte im 1km-Raster (Erweiterte Version 2016), Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald and Naturgefahren und Landschaft - BFW and Vienna and Austria, <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=8548>. letzter Zugriff: 12/02/2018, 2016.
- BGS: Klassifikation der Böden der Schweiz Bodenprofiluntersuchung, Klassifikationssystem, Definitionen der Begriffe, Anwendungsbeispiele, Bericht Dritte Auflage, Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Luzern, 2010.
- Borer, F. und Knecht, M.: Bodenkartierung Schweiz Entwicklung und Ausblick, Bericht, Arbeitsgruppe Bodenkartierung der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz, http://www.soil.ch/cms/fileadmin/Medien/Arbeitsgruppen/Bodenkartierung/Bericht_BoKa_2014_Schlussfassung_BGS_Web.pdf. letzter Zugriff: 15/02/2018, 2014.
- Bradley, R. L., Titus, B. D., und Fyles, J. W.: Nitrogen acquisition and competitive ability of *Kalmia angustifolia* L., paper birch (*Betula papyrifera* Marsh.) and black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP) seedlings grown on different humus forms, *Plant and Soil*, 195, 209–220, doi:10.1023/A:1004263716346, 1997.
- British Geological Survey: Soil texture (PNG-Grafik), <http://mapapps2.bgs.ac.uk/ukso/img/soiltexture.png>. letzter Zugriff: 31/01/2018, 2015.
- British Geological Survey: Citizen Science at BGS, <http://www.bgs.ac.uk/citizenScience/>. letzter Zugriff: 31/01/2018, 2017a.
- British Geological Survey: UK school seismology project, <http://www.bgs.ac.uk/schoolseismology/schoolSeismology.cfc?method=viewLatestQuake>. letzter Zugriff: 31/01/2018, 2017b.
- British Geological Survey: mySoil App: Growing our knowledge, <http://www.bgs.ac.uk/mySoil/>. letzter Zugriff: 31/01/2018, 2017c.
- Brunner, J., Jäggi, F., Nievergelt, J., und Peyer, K.: Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden, Bericht 24, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz (FAL), 1997.
- Camera, C., Zomeni, Z., Noller, J. S., Zissimos, A. M., Christoforou, I. C., und Bruggeman, A.: A high resolution map of soil types and physical properties for Cyprus: A digital soil mapping optimization, *Geoderma*, 285, 35–49, doi:10.1016/j.geoderma.2016.09.019, 2017.
- Carizzoni, M., Cavelti, G., Hurst, T., und Zürcher, M.: Konzept für ein flächendeckendes Bodeninformationssystem, Bericht, BHP – Brugger und Partner AG, BABU GmbH, myx GmbH, https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/boden/externe-studien-berichte/konzept-flaechendeckendes-bodeninformationssystem.pdf.download.pdf/170512_KOBI_Schlussbericht_final.pdf. letzter Zugriff: 15/02/2018, 2017.
- Centre for Ecology and Hydrology: Citizen Science, <https://www.ceh.ac.uk/citizen-science>. letzter Zugriff: 31/01/2018, 2018.
- Chapman, J. und Gould, P.: Rothamsted Insect Survey Light-Trap Network – Trap Network, Rothamsted Research, <http://www.birds.cornell.edu/citscitoolkit/projects/rothamsted/insectsurvey/>. letzter Zugriff: 31/01/2018, 2018.
- Ciampalini, R., Martin, M. P., Saby, N., Richer De Forges, A. C., Arrouays, D., Nehlig, P., und Martelet, G.: Soil texture GlobalSoilMap products for the french region centre, *GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System - Proceedings of the 1st GlobalSoilMap Conference*, S. 121–126, 2014.
- CNCP: Carta dei Suoli d'Italia 1:250.000, Presentazione, Centro Nazionale Cartografia Pedologica, <http://soilmaps.entecra.it/ita/cartadeisuoli1.html>. letzter Zugriff: 14/02/2018, 2004.
- CNCP: Sampled Soil Profiles, Centro Nazionale Cartografia Pedologica, <http://soilmaps.entecra.it/webgis/geosample/map.html>. letzter Zugriff: 14/02/2018, 2015.
- Cranfield University: LandIS - Land Information System , National Soil Map of England and Walse NATMAP, <http://www.landis.org.uk/data/nmvector.cfm>. letzter Zugriff: 23/01/2018, 2018a.
- Cranfield University: LandIS - Land Information System - UK Soils Observatory, Cranfield University, <http://www.landis.org.uk/services/ukso.cfm>. letzter Zugriff: 22/02/2018, 2018b.
- de Vries, F.: Bodemkaart 1 : 50 000, Wageningen University & Research, <https://www.wur.nl/nl/show/Bodemkaart-1-50-000.htm#>. letzter Zugriff: 14/02/2018, 2018.

- de Vries, F., Brus, D. J., Kempen, B., Brouwer, F., und Heidema, A. H.: Actualisatie bodemkaart veengebieden, Deelgebied 1 en 2 in Noord-Nederland, Bericht 2556, Alterra Wageningen University and Research, Wageningen, 2014.
- Djodjic, F.: New soil map, Swedish University of Agricultural Sciences, <https://www.slu.se/en/departments/aquatic-sciences-assessment/new-from-the-department-of-aquatic-sciences-and-assessment/2014/4/new-soil-map/>. letzter Zugriff: 15/03/2018, 2014.
- Djodjic, F.: Jordartsfördelning och växtnäringstillstånd i svensk åkermark: Sammanställning av resultat från Jordbruksverkets nationella jordartskartering, Bericht 11, Swedish University of Agricultural Sciences, https://www.slu.se/contentassets/d7c2e86d663c4c7a88124adfd444c488/slu_ivm_rapport_11_2015.pdf. letzter Zugriff: 15/03/2018, 2015.
- Eberhardt, E. und Stegger, U.: Informationsgrundlagen im Fachinformationssystem Bodenkunde, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Informationsgrundlagen/informationsgrundlagen_node.html. letzter Zugriff: 11/02/2018, 2018.
- Eilers, R., Benne, I., Gehrt, E., Krüger, K., und Langner, S.: Böden verstehen – Böden nutzen – Böden fit machen. letzter Zugriff: 15/03/2018, 2011.
- Emmett, B. A., Frogbrook, Z. L., Chamberlain, P. M., Griffiths, R., Pickup, R., Poskitt, J., Reynolds, B., Rowe, E., Rowland, P., Spurgeon, D., Wilson, J., und Wood, C. M.: Countryside Survey, Technical Report No 3/07, Soils Manual, Bericht, Centre for Ecology and Hydrology, [http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/5201/1/CS_UK_2007_TR3\[1\].pdf](http://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/5201/1/CS_UK_2007_TR3[1].pdf). letzter Zugriff: 06/03/2018, 2008.
- Emmett, B. A., Reynolds, B., Chamberlain, P. M., Rowe, E., Spurgeon, D., Brittain, S. A., Frogbrook, Z., Hughes, S., Lawlor, A. J., Poskitt, J., Potter, E., Robinson, D. A., Scott, A., Wood, C., und Woods, C.: Countryside Survey, Soil Report from 2007, Bericht, Centre for Ecology & Hydrology, http://www.countrysidesurvey.org.uk/sites/www.countrysidesurvey.org.uk/files/CS_UK_2007_TR9-revised%20-%20Soils%20Report.pdf. letzter Zugriff: 06/03/2018, 2010.
- EPA: ISIS - Irish Soil Information System, About, Environmental Protection Agency (EPA), Ireland, <http://gis.teagasc.ie/soils/about.php>. letzter Zugriff: 07/02/2018, 2018.
- Eriksson, J., Andersson, A., und Andersson, R.: Åkermarkens matjordstyper, Bericht 4955, Naturvårdsverket, Stockholm, <http://www-jordbruksmark.slu.se/AkerWebb/Content/StaticDocs/Matjordstyper.pdf>. letzter Zugriff: 27/09/2017, 1999.
- ESTV: Jahresmittelkurse 2017, Bericht, Eidgenössische Steuerverwaltung, <https://www.estv.admin.ch/dam/estv/de/dokumente/wpe/Jahresmittelkurse/Jahresmittelkurse2017.pdf.download.pdf/Kurse2017d.pdf>. letzter Zugriff: 16/03/2018, 2018.
- FAO: Status of the World ' s Soil Resources, Bericht, FAO, 2015.
- Farewell, T. und Hallett, S.: Mapping and understanding soil types across England and Wales, Cranfield University, <https://www.cranfield.ac.uk/case-studies/research-case-studies/national-soil-map>. letzter Zugriff: 23/01/2018, 2017.
- Fischer, G., Nachtergaele, F., Prieler, S., van Velthuizen, H. T., Verelst, L., und Wiberg, D.: Harmonized World Soil Database, FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria, S. 1–50, http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HWSD_Documentation.pdf. letzter Zugriff: 15/02/2018, 2012.
- Food and Agricultural Organization of the United Nations: Information system brings hope for soils in The former Yugoslav Republic of Macedonia: News, FAO Regional Office for Europe and Central Asia, <http://www.fao.org/europe/news/detail-news/en/c/344998/>. letzter Zugriff: 02/02/2018, 2015.
- FSO: Swiss soil suitability map. BFS GEOSTAT. Swiss Federal Statistical Office, 2000.
- Gassert, H., Laux, C., Golliez, A., und Aschwanden, C.: Open Government Data für die Schweiz, ein Manifest, Bericht, <https://opendata.ch/organisation/manifest/>. letzter Zugriff: 08/05/2018, 2011.
- GD NRW: Richtlinien für die großmaßstäbige Bodenkartierung (Kartierrichtlinien 2011), Bericht, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Krefeld, 2011.
- GD NRW: Anleitung zur Erfassung bodenkundlicher Daten (Datenschlüssel Bodenkunde 2012), Bericht, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, Krefeld, 2012.
- GD NRW: Geologischer Dienst NRW – Onlinedienste, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, https://www.gd.nrw.de/pr_od.htm. letzter Zugriff: 21/02/2018, 2015a.
- GD NRW: Geologischer Dienst NRW – Informationssystem Bodenkarte zur Standorterkundung 1 : 5 000, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, https://www.gd.nrw.de/pr_shop_informationssysteme_bk5d.htm. letzter Zugriff: 16/03/2018, 2015b.
- GD NRW: Digitale Bodenkarten im Maßstab 1 : 5 000: Flyer, Bericht, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, https://www.gd.nrw.de/gd_fbn_broflypos.htm. letzter Zugriff: 16/03/2018, 2015c.

- Gehrt, E.: Status BK50, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover, Niedersachsen. letzter Zugriff: 15/03/2018, 2017.
- GIS-Centras: Dirv_DR10LT – Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10 000 dirvožemio erdvinių duomenų rinkinys Dirv_DR10LT – spatial data set of soil of the territory of the Republic of Lithuania at scale 1:10 000, GIS-Centras, <https://www.geoportal.lt/metadata-catalog/catalog/search/resource/details.page?uuid={449450A9-AD8C-6E9E-6FCB-06A0584BF88C}>. letzter Zugriff: 04/02/2018, 2017.
- Granec, M. und Surina, B.: Atlas pôd SR, Bericht, Forschungsinstitute für Bodenkunde und Bodenschutz, Bratislava, http://www.podnemapy.sk/portal/prave_menu/atlas_pod_sr/Atlas_pod_SR.pdf. letzter Zugriff: 05.02.2018, 1999.
- Grčman, H., Vidic, N., Zupan, M., Jones, A., Montanarella, L., Lobnik, F., PRUS, T., LISEC, A., Kpalj, T., Vrščaj, B., Ruprecht, J., Špoar, M., Suhadolc, M., und Mihelic, R.: Soils of Slovenia: with soil map 1:250000 / Tla Slovenije: s pedološko karto v merilu 1: 250000, Publications Office of the European Union, doi:10.2788/88750, 2015.
- Greiner, L., Keller, A., Grêt-Regamey, A., und Papritz, A.: Soil function assessment methods for quantifying the contributions of soils to ecosystems services, Land Use Policy, 68, doi:10.1016/j.landusepol.2017.06.025, 2017.
- Groß-Dohme, B. und Kamp, G.: GD Report, Bericht 1, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, 2012.
- GTK: Profilipiste EERA-2011-45, Bericht, Geological Survey of Finland, http://tupa.gtk.fi/havaintolomake/happamat_sulfaattimaat_250k/EERA-2011-45.pdf. letzter Zugriff: 15/02/2018, 2011.
- GTK: Happamat sulfaattimaat 1:250 000 / Acid sulfate soils 1:250 000, Geological Survey of Finland, http://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/happamat_sulfaattimaat_250k.html. letzter Zugriff: 15/02/2018, 2017.
- GTK: Acid sulphate soils, Geological Survey of Finland, http://en.gtk.fi/informationsservices/service_descriptions/acid_sulphate_soils.html. letzter Zugriff: 15/02/2018, 2018a.
- GTK: Airborne geophysical surveys, Geological Survey of Finland, <http://newprojects.gtk.fi/aerogeo/>. letzter Zugriff: 21/02/2018, 2018b.
- GTK: Peat resource accounting, Geological Survey of Finland, http://en.gtk.fi/informationsservices/service_descriptions/peat_resource_accounting.html. letzter Zugriff: 21/02/2018, 2018c.
- Hadžiabdić, A., Kupusović, E., und Silajdžić, F. e. a.: State of Environment Report of Bosnia and Herzegovina, Bericht, Ministry of Foreign Trade and Economic Relations of Bosnia and Herzegovina, http://www.ba.undp.org/content/bosnia_and_herzegovina/en/home/library/environment_energy/state-of-environment-report.html. letzter Zugriff: 05/02/2018, 2012.
- Hartemink, A. E. und Minasny, B.: Towards digital soil morphometrics, Geoderma, 230, 305–317, doi:10.1016/j.geoderma.2014.03.008, 2014.
- Hartemink, A. E. und Minasny, B., Eds.: Digital Soil Morphometrics, Springer International Publishing, Cham, 2016.
- Hartemink, A. E., Krasilnikov, P., und Bockheim, J. G.: Soil maps of the world, Geoderma, 207–208, 256–267, doi:10.1016/j.geoderma.2013.05.003, 2013.
- Hedstein, A.: Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) opprettes 1. juli 2015, regjeringen.no, <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/norsk-institutt-for-bioekonomi-nibio-opprettets-1.-juli-2015/id2394764/>. letzter Zugriff: 19/02/2018, 2015.
- Hengl, T., de Jesus, J. M., MacMillan, R. A., Batjes, N. H., Heuvelink, G. B. M., Ribeiro, E., und Samuel-Rosa, A.: SoilGrids1km – Global Soil Information Based on Automated Mapping, PLOS ONE, 9, doi:10.1371/journal.pone.0105992, 2014.
- Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G. B. M., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., Shangquan, W., Wright, M. N., Geng, X., Bauer-Marschallinger, B., Guevara, M. A., Vargas, R., MacMillan, R. A., Batjes, N. H., Leenaars, J. G. B., Ribeiro, E., Wheeler, I., Mantel, S., und Kempen, B.: SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning, PLOS ONE, 12, 1–40, doi:10.1371/journal.pone.0169748, 2017.
- Hot, E., Popović-Bugarin, V., Topalović, A., und Knežević, M.: Generating thematic pedologic maps by using data mining and interpolations, Faculty of Electrical Engineering Podgorica, University of Montenegro, https://www.researchgate.net/publication/305481005_Generating_thematic_pedologic_maps_by_using_data_mining_and_interpolations. letzter Zugriff: 03/02/2018, 2016.
- IUSS Working Group WRB: World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, Bericht, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 2014.

- Jäggli, F., Peyer, K., Pazeller, A., und Schwab, P.: Grundlagenbericht zur Bodenkartierung des Kantons Zürich, Bericht, Volkswirtschaftsdirektion des Kantons Zürich und Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau Zürich Reckenholz FAL, 1998.
- Jakobsen, P. R., Hermansen, B., und Tourgaard, L.: Danmarks digitale jordartskort 1:25000: Version 4.0, Bericht 30, Geological Survey of Denmark and Greenland, http://www.geus.dk/DK/nature-climate/land/PublishingImages/dk_digitale_jordartskort_v_3_1.pdf. letzter Zugriff: 07/02/2018, 2015.
- Jones, R. J. A., Houšková, B., Bullock, P., und Montanarella, L.: Soil Resources of Europe, second edition, Bericht, Institute for Environment & Sustainability, JRC Ispra, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2005.
- Jordbruksverket: Jordart och växtnäringstillstånd i åkermarken, Jordbruksverket, <http://www.jordbruksverket.se/amnesomraden/miljoklimat/miljoutvarderingarforsokochutveckling/jordartiakermark.4.23f3563314184096e0d2b77.html>. letzter Zugriff: 15/03/2018, 2017.
- Juilleret, J., Hissler, C., Marx, S., Domagalski, B., Hitzelberger, P., und Pfister, L.: Nécessité et difficultés de l'implémentation d'une base de données pédologiques au Grand-Duché de Luxembourg, Département Environnement et Agro-Biotechnologies, 2009.
- Keay, C.: LandIS - Land Information System, Soilscales Viewer, Cranfield University, <http://www.landis.org.uk/services/soilscales.cfm>. letzter Zugriff: 23/01/2018, 2018.
- Keller, A.: National Soil Information Systems to Support Spatial Planning Procedures, *disP – The Planning Review*, 49, 68–71, doi:10.1080/02513625.2013.799872, <http://dx.doi.org/10.1080/02513625.2013.799872>, 2013.
- Keller, A., Franzen, J., Knüsel, P., Papritz, A., und Zürrer, Z.: Bodeninformations-Plattform Schweiz (BIP-CH): Bodeninformationen, Methoden und Instrumente für eine nachhaltige Nutzung der Ressource Boden: Thematische Synthese 4 des Nationalen Forschungsprogramms «Nachhaltige Nutzung der Ressource Boden» (NFP 68), Bern, 1 Edn., http://www.nfp68.ch/SiteCollectionDocuments/NFP68_TS4_Bodeninformationsplattform_DE.pdf, 2018.
- Kempen, B.: Updating soil information with digital soil mapping, Doktorarbeit, Wageningen University, 2011.
- Kempen, B., Brus, D. J., Stoorvogel, J. J., Heuvelink, G. B., und de Vries, F.: Efficiency Comparison of Conventional and Digital Soil Mapping for Updating Soil Maps, *Soil Science Society of America Journal*, 6, 2097–2115, doi:10.2136/sssaj2011.0424, 2012.
- Kempen, B., Brus, D. J., und de Vries, F.: Operationalizing digital soil mapping for nationwide updating of the 1:50,000 soil map of the Netherlands, *Geoderma*, 241–242, 313–329, doi:10.1016/j.geoderma.2014.11.030, 2015.
- Knecht, M., Lüscher, C., und Borer, F.: Bedürfnisabklärungen Bodeninformationen: Schlussbericht Forschungsauftrag Nr. 14.0015.PJ / O453-1313, Schlussfassung Version B, Bericht, AMBIO GmbH Arbeitsgemeinschaft in angewandten Umweltwissenschaften, Zürich, [https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/boden/externe-studien-berichte/Bed%C3%BCrfnisabkl%C3%A4rungen%20Bodeninformationen.pdf.download.pdf/ambio__Bed%C3%BCrfnisabkl%C3%A4rungen_Bodeninformationen_\(2016\)_.pdf](https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/boden/externe-studien-berichte/Bed%C3%BCrfnisabkl%C3%A4rungen%20Bodeninformationen.pdf.download.pdf/ambio__Bed%C3%BCrfnisabkl%C3%A4rungen_Bodeninformationen_(2016)_.pdf). letzter Zugriff: 15.02.2018, 2017.
- Knotters, M., van Egmond, F. M., Bakker, G., Walvoort, D. J. J., und Brouwer, F.: A selection of sensing techniques for mapping soil hydraulic properties, Bericht 2612, Wageningen University and Research Alterra, Wageningen Environmental Research, Wageningen, doi:10.18174/429204, 2016.
- Konen, L. und Rückamp, D.: BGR - Bodenkundliche Karten und Datenbanken - Die Labor- und Profildatenbank des FISBo BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, https://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Informationsgrundlagen/Bodenkundliche_Karten_Datenbanken/labor_profildatenbank.html?nn=1958174. letzter Zugriff: 11/02/2018, 2018.
- Kozák, J. und Borůvka, L.: Aplikace GIS pro zemědělské účely - Agris.cz: Application of GIS in Agriculture, <http://www.agris.cz/clanek/118253>. letzter Zugriff: 05/02/2018, 2000.
- Kyllmar, K.: Metodik, Swedish University of Agricultural Sciences, <https://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/miljoanalys/akermarksinventeringen/metodik/>. letzter Zugriff: 15/03/2018, 2018.
- Lacoste, M., Minasny, B., McBratney, A., Michot, D., Viaud, V., und Walter, C.: High resolution 3D mapping of soil organic carbon in a heterogeneous agricultural landscape, *Geoderma*, 213, 296–311, doi:10.1016/j.geoderma.2013.07.002, 2014.
- Lacoste, M., Mulder, V. L., Richer-de Forges, A. C., Martin, M. P., und Arrouays, D.: Evaluating large-extent spatial modeling approaches: A case study for soil depth for France, *Geoderma Regional*, 7, 137–152, doi:10.1016/j.geodrs.2016.02.006, 2016.
- Landbúnaðarháskóli Íslands: Lýsagagnagátt, Landmælingar Íslands, Jarðvegur, Landwirtschaftliche Universität von Island, <https://gatt.lmi.is/geonetwork/srv/eng/catalog.search;jsessionid=>

- F81F9A128C7BBD085CCA45BE13BC96F8#/metadata/%7B15D66DAC-A389-4330-94C5-31B2EF12F9B6%7D.
letzter Zugriff: 12/02/2018, 2009.
- Langner, S. und Gehrt, E.: Die BK50 von Niedersachsen – ein Werkstattbericht, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover, Niedersachsen. letzter Zugriff: 15/03/2018, 2013.
- Larman, S.: LandIS - Land Information System - Paper Publications, Cranfield University, <http://www.landis.org.uk/publications/index.cfm>. letzter Zugriff: 22/02/2018, 2018.
- Laustela, M., Martin Zürrer, Markus Egli, Jean-Michel Gobat, Peter Lüscher, Moritz Müller, und Urs Zihlmann: Klassifikation der Böden der Schweiz, Konzept zur Revision, Bericht, Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz, Arbeitsgruppe Klassifikation und Nomenklatur, 2010.
- LBEG: NIBIS Kartenserver, Niedersächsisches Bodeninformationssystem, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover, Niedersachsen, <http://nibis.lbeg.de/cardomap3/>. letzter Zugriff: 06/03/2018, 2018.
- Legrain, X., Demarcin, P., Colinet, G., und Bock, L.: Cartographie des sols en Belgique: Aperçu historique et présentation des travaux actuels de valorisation et de révision de la Carte Numérique des Sols de Wallonie, *Biotechnology, Agronomy and Society and Environment*, 15, 647–656, 2011.
- Legros, J.-P.: Cartographies des sols: De l'analyse spatiale à la gestion des territoires, Vol. 10 von *Collection gérer l'environnement*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 1996.
- LfU: Wir erfassen Bayerns Böden, die bodenkundliche Landesaufnahme, Bericht, Bayerisches Landesamt für Umwelt, [https://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL\(artdt1.htm,APGxNODENR:270650,AARTxNR:lfu_bod_00064,AARTxNODENR:193932,USERxBODYURL:artdt1.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x\)=X](https://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=eshop&DIR=eshop&ACTIONxSETVAL(artdt1.htm,APGxNODENR:270650,AARTxNR:lfu_bod_00064,AARTxNODENR:193932,USERxBODYURL:artdt1.htm,KATALOG:StMUG,AKATxNAME:StMUG,ALLE:x)=X). letzter Zugriff: 16/03/2018, 2010.
- LfU: Umweltatlas Boden, Kartierpunkt Boden, Aufschluss Boden: Beschreibung anzeigen, Bayerisches Landesamt für Umwelt, http://www.umweltatlas.bayern.de/mapapps/resources/apps/lfu_boden_ftz/index.html?lang=de. letzter Zugriff: 16/03/2018, 2016.
- Margreth, M.: Machbarkeitsstudie zur Verknüpfung der feldgestützten Bodenkartierung mit einer GIS-gestützten Bodenmodellierung, Bericht, SoilCom und Umwelt und Energie (uwe) Boden und Abfall, Kanton Luzern, Zürich und Luzern, 2015.
- May, K., Engel, N., und Meyer, K.: Fachprogramm Bodenwasserhaushalt, Bericht, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover, Niedersachsen, [http://nibis.lbeg.de/project/cm3/Apps/Beregnung/\(S\(vxwd2jmgr40azs5krn2sf3ch\)\)/Dokumentation/FachprogrammBodenwasserhaushaltImKartenserver.pdf](http://nibis.lbeg.de/project/cm3/Apps/Beregnung/(S(vxwd2jmgr40azs5krn2sf3ch))/Dokumentation/FachprogrammBodenwasserhaushaltImKartenserver.pdf). letzter Zugriff: 06/03/2018, 2012.
- McBratney, A. B., Mendonça Santos, M. L., und Minasny, B.: On Digital Soil Mapping, *Geoderma*, 117, 3–52, doi:10.1016/S0016-7061(03)00223-4, 2003.
- Minasny, B. und McBratney, A. B.: A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information, *Computers and Geosciences*, 32, 1378–1388, doi:10.1016/j.cageo.2005.12.009, 2006.
- Mrvic, V., Antonović, G., Čakmak, D., Perović, V., Maksimović, S., Saljnikov, E., und Nikoloski, M.: Pedological and pedogeochemical map of Serbia, Proceedings, the 1st International Congress on Soil Science, XIII National Congress in Soil Science, Soil - Water - Plant, Belgrade, Serbia, 23-26th September, 2013, S. 93–104, <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20143128114>. letzter Zugriff: 12/02/2018, 2013.
- Muceniece, D.: Ģeoportālā publiski pieejama vēsturisko augšņu karšu digitālā datubāze, Zemkopības ministrija, <https://www.zm.gov.lv/zemkopibas-ministrija/presei/geoportala-publiski-pieejama-vesturisko-augsnu-karsu-digitala-datubaze?id=8631>. letzter Zugriff: 04/02/2018, 2017.
- Mukaetov, D.: Development of the Macedonian Soil Information System (MASIS), UKIM Agricultural Institute, http://www.seeita.org/?4.%20Dushko%20Mukaetov%20-%20MASIS_zaGDI.pdf. letzter Zugriff: 02/02/2018, 2015.
- Mulder, V. L., Lacoste, M., Richer-de Forges, A. C., und Arrouays, D.: GlobalSoilMap France: High-resolution spatial modelling the soils of France up to two meter depth, *Science of the Total Environment*, 573, 1352–1369, doi:10.1016/j.scitotenv.2016.07.066, 2016a.
- Mulder, V. L., Lacoste, M., Richer-de Forges, A. C., Martin, M. P., und Arrouays, D.: National versus global modelling the 3D distribution of soil organic carbon in mainland France, *Geoderma*, 263, 16–34, doi:10.1016/j.geoderma.2015.08.035, <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.08.035>, 2016b.
- Müller, U. und Waldeck, A.: Auswertungsmethoden im Bodenschutz Dokumentation zur Methodenbank des Niedersächsischen Bodeninformationssystems (NIBIS), Bericht 19, Landesamt für Bergbau, Ener-

- gie und Geologie (LBEG), Hannover, Niedersachsen, Hannover, https://www.lbeg.niedersachsen.de/download/61889/GeoBerichte_19.pdf. letzter Zugriff: 15/03/2018, 2011.
- NERC: UK Soil Observatory, Natural Environment Research Council, British Geological Survey, <http://www.ukso.org/about.html>. letzter Zugriff: 23/01/2018, 2017.
- NIBIO: Klassifikasjonsnøkkel for forenklet kartlegging - etter WRB14, Bericht, Norwegian Institute of Bioeconomy Research, 2017.
- NIBIO: Gårdskart - NIBIO, Norwegian Institute of Bioeconomy Research, <http://gardskart.skogoglandskap.no/>. letzter Zugriff: 21/02/2018, 2018.
- NPPC-VUPOP: Ovládacie prvky aplikácie - YouTube, Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy NPPC, <https://www.youtube.com/watch?v=wCufaEhJVFY>. letzter Zugriff: 16/02/2018, 2017a.
- NPPC-VUPOP: BPEJ - Bonitované Pôdno-Ekologické Jednotky, Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy NPPC, <http://www.podnemapy.sk/portal/verejnost/bpej/bpej.aspx>. letzter Zugriff: 08/03/2018, 2017b.
- NPPC-VUPOP: Potenciálna veterná erózia, MAXIMÁLNA PRÍPUSTNÁ HODNOTA FAKTORU OCHRANNÉHO VPLYVU VEGETÁCIE., Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy NPPC, http://www.podnemapy.sk/portal/verejnost/erozia/ochr_veg/ochr_veg.aspx. letzter Zugriff: 09/03/2018, 2017c.
- NPPC-VUPOP: Primárny, sekundárny a ostatný pôdny fond, Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy NPPC, http://www.podnemapy.sk/portal/verejnost/multifunkcne/prim_ost.aspx. letzter Zugriff: 09/03/2018, 2017d.
- NPPC-VUPOP: Nitrátová direktíva - NDIR, Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy NPPC, <http://portal.vupop.sk/portal/apps/webappviewer/index.html?id=75d6cf2d953f42bc9e36050b9e3f7035>. letzter Zugriff: 09/03/2018, 2017e.
- Nussbaum, M.: Digital Soil Mapping for Switzerland, Evaluation of Statistical Approaches and Mapping of Soil Properties, Doktorarbeit, ETH Zurich, Switzerland, doi:10.3929/ethz-b-000193154, 2017.
- Nussbaum, M. und Papritz, A.: Validierung von konventionellen Bodenkarten mit unabhängigen Bodendaten – Methodik mit Fallstudie, Bericht, ETH Zürich, 2017.
- Nussbaum, M., Papritz, A., Baltensweiler, A., und Walthert, L.: Estimating soil organic carbon stocks of Swiss forest soils by robust external-drift kriging, *Geoscientific Model Development*, 7, 1197–1210, doi:10.5194/gmd-7-1197-2014, <http://www.geosci-model-dev.net/7/1197/2014/>, 2014.
- Nussbaum, M., Spiess, K., Baltensweiler, A., Grob, U., Keller, A., Greiner, L., Schaepman, M. E., und Papritz, A.: Evaluation of digital soil mapping approaches with large sets of environmental covariates, *SOIL*, S. 1–22, doi:10.5194/soil-4-1-2018, <https://www.soil-discuss.net/soil-2017-14/>, 2018.
- Nyborg, Å. und Olsen, H.: Soil classification and user-friendly soilmaps, NIBIO POP, 2, <http://hdl.handle.net/11250/2379324>. letzter Zugriff: 02/02/2018, 2016.
- ÖBG: Bodenaufnahmesysteme in Österreich: Bodeninformationen für Land- Forst-, Wasser- und Abfallwirtschaft, Naturschutz-, Landschafts-, Landes- und Raumplanung, Agrarstrukturelle Planung, Bodensanierung und -regeneration sowie Universitäten, Schulen und Bürger, Bericht, Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, 2001a.
- ÖBG: Sechster Umweltkontrollbericht, Bericht, Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, 2001b.
- ÖBG: Siebter Umweltkontrollbericht, Bericht, Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, 2004.
- Omuto, C. und Nachtergaele, F. a. V. R. R.: State of the Art Report on Global and Regional Soil Information: Where are we? Where to go?, Bericht, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2013.
- Özkalaycı, G. Ö., Özden, D., Keskin, S., und Bayat, M.: TÜRKİYE TOPRAKLARI BİLGİ SİSTEMİ, <http://www.dursumuratozden.net/dokumanlar/turkiyetopraklaribilgisistemi.pdf>. letzter Zugriff: 13/02/2018, 2015.
- Padarian, J., Minasny, B., und McBratney, A. B.: Chile and the Chilean soil grid: A contribution to Global SoilMap, *Geoderma Regional*, 9, 17–28, doi:10.1016/j.geodrs.2016.12.001, 2017.
- Panagos, P., van Liedekerke, M., Jones, A., und Montanarella, L.: European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements, *Land Use Policy*, 29, 329–338, doi:10.1016/j.landusepol.2011.07.003, <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2011.07.003>, 2012.
- Pásztor, L., Szabó, J., und Bakacsi, Z.: Digital processing and upgrading of legacy data collected during the 1:25 000 scale Kreybig soil survey, *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*, 45, 127–136, doi:10.1556/AGeod.45.2010.1.18, 2010.

- Pásztor, L., Szabó, J., Bakacsi, Z., Matus, J., und Laborczi, A.: Compilation of 1: 50,000 scale digital soil maps for Hungary based on the digital Kreybig soil information system, *Journal of Maps*, 8, 215–219, doi:10.1080/17445647.2012.705517, 2012.
- Pásztor, L., Szabó, J., Bakacsi, Z., Laborczi, A., Dobos, E., Illés, G., und Szatmári, G.: Elaboration of novel, countrywide maps for the satisfaction of recent demands on spatial, soil related information in Hungary, *GlobalSoilMap: Basis of the Global Spatial Soil Information System - Proceedings of the 1st GlobalSoilMap Conference*, S. 207–212, 2014.
- Pásztor, L., Laborczi, A., Szatmári, G., Takács, K., Illés, G., Bakacsi, Z., und Szabó, J.: Renewal of the Hungarian Soil Spatial Data Infrastructure by goal oriented digital soil mapping, https://www.agile-online.org/images/conference_2017/Proceedings2017/posters/111_PosterAbstract_in_PDF.pdf. letzter Zugriff: 01/02/2018, 2017.
- Pásztor, L., Laborczi, A., Bakacsi, Z., Szabó, J., und Illés, G.: Compilation of a national soil-type map for Hungary by sequential classification methods, *Geoderma*, 311, 93–108, doi:10.1016/j.geoderma.2017.04.018, 2018.
- Paulsson, R., Djodjic, F., Carlsson Ross, C., und Hjerpe, K.: Nationell jordartskartering: Matjordens egenskaper i åkermarken, Bericht 19, Jordbruksverket, http://www2.jordbruksverket.se/download/18.4288f19214fb7ec78849af18/1441973777932/ra15_19.pdf. letzter Zugriff: 15/03/2018, 2015.
- Pavlović, P., Kostić, N., Karadžić, B., und Mitrović, M.: *The soils of Serbia*, World soils book series, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2017.
- Piikki, K. und Söderström, M.: The new digital soil map of Sweden – For free use in precision agriculture, 2016.
- Piikki, K. und Söderström, M.: Nya möjligheter i Markdata-appen (<http://markdata.se>), Swedish University of Agricultural Sciences, <https://www.slu.se/ew-nyheter/2018/2/markdataappen/>. letzter Zugriff: 15/03/2018, 2018.
- Pleijter, M. und Woltjer, I.: Gegevens verzamelen en verwerken met VeldGIS: BIS Nederland Symposium 9 februari 2012, 2012.
- Poggio, L. und Gimona, A.: National scale 3D modelling of soil organic carbon stocks with uncertainty propagation – An example from Scotland, *Geoderma*, 232–234, 284–299, doi:10.1016/j.geoderma.2014.05.004, 2014.
- Robinson, D., Bell, P., Emmett, B., Lawley, R., Shelley, und Wayne: The UK Soil Observatory (UKSO) and mySoil app: crowdsourcing and disseminating soil information, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK. letzter Zugriff: 31/01/2018, 2017a.
- Robinson, D., Bell, P., Emmett, B., Lawley, R., Shelley, und Wayne: The UK Soil Observatory and mySoil App, How Can We Improve Digital Soil Data Tools?, Centre for Ecology and Hydrology, Bangor, UK. letzter Zugriff: 31/01/2018, 2017b.
- Rossiter, D. G., Liu, J., Carlisle, S., und Zhu, A. X.: Can citizen science assist digital soil mapping?, *Geoderma*, 259–260, 71–80, doi:10.1016/j.geoderma.2015.05.006, 2015.
- Roy, H. E., Pocock, M., Preston, C. D., Roy, D. B., Savage, J., Tweddle, J. C., und Robinson, L. D.: Understanding Citizen Science and Environmental Monitoring, Bericht, NERC Centre for Ecology and Hydrology and Natural History Museum, <http://www.ukEOF.org.uk/our-work/citizen-science>. letzter Zugriff: 15/02/2018, 2012.
- Rystedt, L.: Den Danske Jordklassificering, Aarhus University, <http://dca.au.dk/forskning/den-danske-jordklassificering/>. letzter Zugriff: 21/02/2018, 2016.
- Sánchez-Marañón, M., Huertas, R., und Melgosa, M.: Colour variation in standard soil-colour charts, *Australian Journal of Soil Research*, 43, 827, doi:10.1071/SR04169, 2005.
- Scotland's soils: Peatland Action - peat depth, Scotland's soils part of Scotland's environment, <http://soils.environment.gov.scot/maps/peatland-action-peat-depth/>. letzter Zugriff: 21/02/2018, 2017.
- Scottish Natural Heritage: Peat Depth Survey Guidance, Peatland ACTION, Bericht, Scottish Natural Heritage, <https://www.nature.scot/sites/default/files/2017-10/Guidance-Peatland-Action-Peat-depth-survey-2017-18-A2210297.pdf>. letzter Zugriff: 21/02/2018, 2017.
- SDFE: Jordbundskort2014 (Dataset), 1:20\,000, Agency for Data Supply and Efficiency, <https://www.geodata-info.dk/srv/eng/catalog.search#/metadata/cb28018e-de07-4c3e-a03c-012a34567734>. letzter Zugriff: 07/02/2018, 2015.
- Shelley, W., Lawley, R., und Robinson, D. A.: Crowd — sourced soil data for Europe, *Nature*, S. 300, 2013.
- Sládková, J.: Integration of Soil Information Systems. BIS and SOTER Perspectives – a Review, *Soil & Water Res.*, 4, 183–198, 2008.

- SLU: Markdata.se, Swedish University of Agricultural Sciences, <http://markdata.se/>. letzter Zugriff: 17/03/2018, 2016.
- Söderström, M. und Piikki, K.: Digitala åkermarkskartan – detaljerad kartering av textur i åkermarkens matjord, Bericht, Swedish University of Agricultural Sciences, <https://www.sgu.se/globalassets/om-sgu/nyheter/2016/digitala-akermarkskartan.pdf>. letzter Zugriff: 15/03/2018, 2016.
- Söderström, M., Sohlenius, G., Rodhe, L., und Piikki, K.: Adaptation of regional digital soil mapping for precision agriculture, *Precision Agriculture*, 17, 588–607, doi:10.1007/s11119-016-9439-8, 2016.
- Solbakken, E.: Punching av data fra forenklet profilbeskrivelse på felt-PC. letzter Zugriff: 20/02/2018, 2017.
- Solbakken, E.: Soil Survey in Norway: Email-Anhang, 2018.
- Sponagel, H., Benne, I., Boess, J., Capelle, A., Gehrt, E., und Langner, S.: Die BK50 im NIBIS – Ein neuer Standard, Bericht, Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Hannover, Niedersachsen. letzter Zugriff: 15/03/2018, 2003.
- SSDI: Peatland ACTION - Peat depth: Metadaten, Scottish Spatial Data Infrastructure, <https://www.spatialdata.gov.scot/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/metadata/82e2ad6e-b97e-4f4c-80b7-679e15c55d25>. letzter Zugriff: 21/02/2018, 2017.
- Svendgård-Stokke, S.: Agricultural Soil Survey - Nibio, Norwegian Institute of Bioeconomy Research, <https://www.nibio.no/en/about-eng/our-divisions/division-for-geography-and-statistics/agricultural-soil-survey>. letzter Zugriff: 03/02/2018, 2018.
- TAGEM: Ülkesel Toprak Bilgi Sistemi, General Directorate of Agricultural Research and Policies, <https://www.tarim.gov.tr/TAGEM/Haber/344/Ulkesel-Toprak-Bilgi-Sistemi>. letzter Zugriff: 13/02/2018, 2017.
- Teagasc: Series Ballincurra (1150BC), representative profile description, Agriculture and Food Development Authority (Teagasc), Ireland, http://gis.teagasc.ie/isis/rep_profile_sheet.php?series_code=1150BC. letzter Zugriff: 07/02/2018, 2014.
- The James Hutton Institute: ESMART: web tools and apps for the Scottish environment, <http://www.hutton.ac.uk/research/groups/information-and-computational-sciences/esmart>. letzter Zugriff: 31/01/2018, 2018a.
- The James Hutton Institute: Soil Information For Scottish Soils (SIFSS), <http://sifss.hutton.ac.uk/>. letzter Zugriff: 22/02/2018, 2018b.
- Tobias, S.: Brainstorming “Zukunft Bodeninformation Schweiz”, Bericht, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 2012.
- U. S. Soil Survey Division Staff, Ed.: Soil survey manual, Vol. 18 von *U.S. Department of Agriculture Handbook*, Soil Conservation Service, https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/ref/?cid=nrcs142p2_054262, 1993.
- UBA: Bodendaten in Deutschland - Übersicht über die wichtigsten Mess- und Erhebungsaktivitäten für Böden, Bericht, Umweltbundesamt, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/4291.pdf>. letzter Zugriff: 11/02/2018, 2012.
- van den Borne, J.: van den Borne Aardappelen, Precisie landbouw, <https://www.vandenborneaardappelen.com/nl/374/precisie-landbouw-1>. letzter Zugriff: 08/05/2018, 2018.
- Vaysse, K., Arrouays, D., McKenzie, N. J., Coste, S., und Lagacherie, P.: Estimation of GlobalSoilMap.net grids cells from legacy soil data at the regional scale in Southern France, in: *GlobalSoilMap Basis of the global spatial soil information system*, S. 133–138, CRC Press, doi:10.1201/b16500-27, 2014.
- Veron, P., Bah, B., Bracke, C., Lejeune, P., Rondeux, J., Bock, L., und Mokadem, A.: Digital Soil Map of Wallonia (presentation), 2005a.
- Veron, P., Bah, B., Bracke, C., Lejeune, P., Rondeux, J., Mokadem, A. I., und Bock, L.: The digital soil map of wallonia, in: *XXII International Cartographic Conference (ICC2005)*, A Coruña, Spain, 11-16 July 2005, Vol. 1995, 2005b.
- Vidojevic, D.: Serbia, Serbian Environmental Protection Agency, http://www.sepa.gov.rs/download/prezentacije/2015/SEPA_06022015.pdf. letzter Zugriff: 31/01/2018, 2015.
- Viscarra Rossel, R. A., Chen, C., Grundy, M. J., Searle, R., Clifford, D., und Campbell, P. H.: The Australian three-dimensional soil grid: Australia’s contribution to the GlobalSoilMap project, *Soil Research*, 53, 845–864, doi:10.1071/SR14366, 2015.
- Vrščaj, B., Poggio, L., und Muaketov, Duško, Varga, Ronald: Utilizing the Legacy Soil Data of Macedonia: The Creation of the Macedonian Soil Information System and its use for digital soil mapping and assessment

- applications, in: Abstract Book Pedometrics 2017, editiert von Wageningen University & Research, Vol. 1, S. 255, Wageningen, The Netherlands, 2017a.
- Vrščaj, B., Repe, B., und Simončič, P.: The soils of Slovenia, World soils book series, Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2017b.
- VŮMOP: WAKPP - Webový archiv Komplexního průzkumu půd: Základní půdní mapy KPP, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VŮMOP), Ministerstvo zemědělství, http://wakpp.vumop.cz/?core=aplikace&action=showMap&kodKUH0=667251&kodKraj=LI&kodOkres=JAN&cesta=LI/JAN/turn_15. letzter Zugriff: 13/03/2018, 2014a.
- VŮMOP: WAKPP - Webový archiv Komplexního průzkumu půd, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VŮMOP), Ministerstvo zemědělství, <http://wakpp.vumop.cz/>. letzter Zugriff: 13/03/2018, 2014b.
- VŮMOP: Limity využití půdy, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VŮMOP), Ministerstvo zemědělství, <http://limitypudy.vumop.cz/?core=app&zoom=1¢er=-700000,-1060000>. letzter Zugriff: 12/03/2018, 2016a.
- VŮMOP: Vláhová kalkulačka potřeby, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VŮMOP), Ministerstvo zemědělství, <https://kalkulacka.vumop.cz/introVlaha/>. letzter Zugriff: 12/03/2018, 2016b.
- VŮMOP: ISMS - Informační systém melioračních staveb, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VŮMOP), Ministerstvo zemědělství, <http://meliorace.vumop.cz/?core=account>. letzter Zugriff: 13/03/2018, 2016c.
- VŮMOP: Protierozní kalkulačka, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VŮMOP), Ministerstvo zemědělství, <https://kalkulacka.vumop.cz/?core=account>. letzter Zugriff: 12/03/2018, 2017a.
- VŮMOP: eKatalog BPEJ, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VŮMOP), Ministerstvo zemědělství, <https://bpej.vumop.cz/>. letzter Zugriff: 13/03/2018, 2017b.
- VŮMOP: KPP Komplexní průzkum půd, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy (VŮMOP), Ministerstvo zemědělství, <http://kpp.vumop.cz/?core=account>. letzter Zugriff: 13/03/2018, 2017c.
- Walvoort, D. J. J., Brus, D. J., und de Gruijter, J. J.: An R package for spatial coverage sampling and random sampling from compact geographical strata by k-means, *Computers & Geosciences*, 36, 1261–1267, doi:10.1016/j.cageo.2010.04.005, 2010.
- Weisskopf, P. und Zihlmann, U.: Revision der Klassifikation der Böden der Schweiz (KLABS) und der Bodenkartierungsanleitung (KA) (RevKLABSKA): BAFU-Vorprojekt, Bericht, Agroscope, FG Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, 2017.
- Zomeni, Z., Camera, C., Bruggeman, A., Zissimos, A., Christoforou, I., und Noller, J. S.: Digital soil map of Cyprus (1:25'000): AGWATER Options for sustainable agricultural production and water use in Cyprus under global change, Scientific Report 6, Deliverable D15, D16, Bericht, Geological Survey Department of Cyprus, Energy, Environment and Water Research Center, The Cyprus Institute, Department of Crop and Soil Science, Oregon State University, https://www.cyi.ac.cy/images/AGWATER_Scientific_Reports/AGWATER_ScientificReport6_WP3_Soils_def.pdf. letzter Zugriff: 01/02/2018, 2014.
- Zorba, P., Salillari, I., und Çela, F.: Areas with Natural Constraints (ANC), Albania, Department of Climate and Environment, UPT - IGEWE, Tirana, Albania, <http://seerural.org/wp-content/uploads/2016/07/Albania-report.pdf>. letzter Zugriff: 01/02/2018, 2016.

Anhang

A.1: Übersicht aktuelle Kartierungsaktivitäten in Europa	100
A.2: Übersicht nationale räumliche Bodeninformationssysteme in Europa	106
A.3: Übersicht ausgewählte regionale räumliche Bodeninformationssysteme in Europa	117

Tabelle A1: Übersicht Kartierungsaktivitäten in Europa während der letzten zehn Jahre mit kurzer Beschreibung der Methode der Kartierung und weiterer interessanter Aspekte.

Land	Massstab	Beschreibung
Albanien	1:10 000	Konventionelle Kartierung Landwirtschaftsfläche (Abschnitt 4.6)
Belgien	1:20 000	Harmonisierung und Aktualisierung der Bodenkarte 1:20 000 für Wallonien (~16 000 km ² , erhoben 1947–1991, digitalisiert 2000–2003, Aktualisierung 2004–2007), da Karte auf landwirtschaftliche Produktion fokussiert und heute nicht mehr den Ansprüchen genügt (neue Umweltfragen, Gesetzgebung EU), zudem Anpassung an wissenschaftliche Entwicklungen. Harmonisierung Blattschnitt, Neuinterpretation Bodeneinheiten, Revision der Wasserhaushaltsklassen in Hinblick auf aktuellen Wasserhaushalt und mögl. Massnahmen, Abschätzung Bodenverluste durch Erosion, Charakterisierung skelettreiche Böden. Feldaufnahmen mit Handbohrer bis 1.2 m, zudem Profile mit Analysen, Datenerfassung mittels elektronischem Formular auf mobilem Gerät mit GPS (beschleunigte Eingabe, einfacherer Transfer in Büro, erste Datenvalidierung bei der Eingabe, Veron et al., 2005b,a; Legrain et al., 2011).
Dänemark	1:20 000	Bodenmodellierung Textur (4 Grössenklassen) in 6 Tiefenstufen mit 55 000 Bodenpunktbeobachtungen und einer Vielzahl von Umweltgeodaten (SDFE, 2015). Bodenkarte 1:50 000 deckt nur Landwirtschaftsfläche ab, deshalb wurde Textur für ganz Dänemark (ca. 43 000 km ²) in den 6 Standardtiefen der GlobalSoilMap durch die Aarhus Universität modelliert. Umweltgeodaten: Ableitungen von Lidar-Höhenmodell, Landsat7, geol. Karten, Landschaftstypen, Landnutzung, Bodentypen, Feuchtgebiete. Modellierungsansatz: Kombination Cubist (regelbasierte Regressionen) mit Geostatistik, statistische Vorhersage auf 30 m-Raster, Validierung mit 20 % zufällig gewählten Punkten: r^2 0.26–0.55 (Adhikari et al., 2012). Veröffentlichte Karte Bodenart (Klassen) für Pflugschicht erstellt in 2014 im BIS (Tabelle A2). Gemäss Metadaten als 1:20 000 eingestuft (SDFE, 2015). Weitere Bodenmodellierung von pH, Dichte, Bodentypen nach FAO, C _{org} -Gehalt und -Vorrat (Adhikari et al., 2014a,b,c; ?), jedoch kein Hinweis, dass die erstellten Karten ausserhalb Forschung publiziert und verwendet werden. Weitere Bodenmodellierungsarbeiten basierend auf neuen Erhebungen bei Aarhus Universität geplant: Erhebung an 500 neuen Standorten verteilt über ganz Dänemark gewählt mit Latin Hypercube-Design (Minasny und McBratney, 2006) und Wiederbeprobung 7-km-Raster (Beucher, pers. Mitt. 2017). Fokus eher Forschung.
Deutschland	1:5 000	Konventionelle Bodenkartierung Nordrhein-Westfalen (Abschnitt 4.1)
	1:25 000	Konventionelle Bodenkartierung Bayern (Abschnitt 4.2)

Tabelle A1: Übersicht Kartierungsaktivitäten der letzten zehn Jahre (Forts.)

Land	Massstab	Beschreibung
	1:50 000	<p>Ableitung konventionelle Bodenkarte 1:50 000 (BK50n) für ganz Niedersachsen (47 619 km², Acker-, Gründland und Wald) durch Experteninterpretation zahlreicher Datengrundlagen und Verifizierung durch Feldarbeit. Resultat hat höhere inhaltliche Auflösung als bereits vorhandene Bodenübersichtskarte 1:50 000 (BÜK50, Darstellung Bodenlandschaften), bearbeitet nach 133 Grundkartenblättern von ca. 510 km², Endprodukt blattschnittfrei mit 193 000 Polygonen basierend auf 13 700 grösstenteils bereits vorhandenen Profilen (Gehrt, 2017).</p> <p>Kartenerstellung durch vordefiniertes festes Regelwerk (Sponagel et al., 2003):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Zusammenstellung von ”Konzeptkarten” als Sammlung vorhandener Informationen (teilw. höher aufgelösten Daten wie Bodenschätzung, vorhanden für 80 % der landw. Fläche, anthropogen veränderte Flächen, forstliche Standortkartierung, Höhenmodelle mit Relieffklassifikation, direkt vorher erhobene geologische Karte [GK50], BÜK50, Satellitenbilder, Profildatenbank NIBIS, Langner und Gehrt 2013); 2) Manuskriptkarte (=Grundlage für Digitalisierung) durch schrittweises Einarbeiten des Konzeptkartenmaterials auf Plotterpapier unter Bewertung/Gewichtung und Generalisierung der Einzelinformation, Polygonabgrenzung grösstenteils von GK50 übernommen mit Differenzierung durch Bodenschätzung oder anderer ”Konzeptkarten”, Konfliktfälle/Unklarheiten werden durch Feldarbeit geklärt (ca. 3 Tage Feldarbeit pro Kartenblatt). <p>Neubearbeitung der Marschen (3 900 km²), da allgemeines Konzept nicht anwendbar war. Einsatz von studentischen Arbeiten zur Unterstützung beim Füllen von Wissenslücken (Gehrt, pers. Mitt. 2017, Eilers et al., 2011; Gehrt, 2017). Nachbearbeitung und Randabgleich durch 2 interne Personen (letzte 2 Projektjahre), Anpassung an Landnutzung/Nutzungsdifferenzierung Inhalte (Acker, Grünland, Laub-/Nadelwald, Siedlung) durch 2 Personen (1 Jahr).</p> <p>Digitale Publikation im NIBIS (Tabelle A2), Hauptanwendung sind Auswertungen für Landschaftsrahmenplanung, weiter für kommunale Raumordnungsplanung, die Bodennutzung und den Bodenschutz (Sponagel et al., 2003).</p> <p>Verantwortlich: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) mit 30 % eigenem Personal und 70 % Vergaben an private Ingenieurbüros nach einheitlichem Regelwerk, 14 verschiedene Werkvertragsnehmer (Langner und Gehrt, 2013), im Mittel 4 interne und 4 externe Kartierpersonen und zahlreiche Praktikanten/Hilfskräfte (Gehrt, 2017). Manuskriptkartenerstellung pro Kartenblatt € 10 000 (Gehrt, pers. Mitt. 2017).</p> <p>Projektdauer: 15 Jahre (2002–2017).</p>

Tabelle A1: Übersicht Kartierungsaktivitäten der letzten zehn Jahre (Forts.)

Land	Massstab	Beschreibung
Finnland	1:250 000	<p>Konventionelle Kartierung Auftreten von sulfatsauren Böden seit 2010, finales Produkt (ca. 2020) wird ganzes Küstengebiet unterhalb der ehemaligen Littorina-Küste abdecken. Planungsgrundlage für Wassermanagement oder Landnutzung, Vollzugsrichtlinien, Monitoring von Oberflächengewässern und Reduktion von Versauerung und Schwermetalleinträgen, allenfalls Planung für detaillierte Erhebungen in Problemgebieten, keine Datengrundlage auf Betriebsebene.</p> <p>Mittlere Bohrdichte 1 Bohrung / km² im Gebiet, wo diese Böden potentiell auftreten können, davon jeder 10 oder 20 Punkt detailliertes Profil (je nach Gebiet) mit Fühlproben, Messung pH im Feld und nach Inkubation sowie weitere Laboranalysen. Speziell auf diese Problematik zugeschnittene Ansprache/Klassifikation (Aufretensklassen, Tiefe des reduzierten Sulfidhorizonts, Grad Oxidation dieses Horizonts, Lithostratigraphie). Minimale darzustellende Fläche 6 ha. Kartiermassstab 1:20 000–1:50 000. Zusätzliche Verwendung von Bodenkarten 1:20 000 und 1:200 000, geophysikalische Daten (elektromagnetisches Feld, Gamma-Strahlung, komplette Befliegung in geringer Höhe von ganz Finnland 1972–2007, GTK, 2018b), Resultate Torfbodenuntersuchungen und Höhenmodell.</p> <p>Zusätzlich zur laufenden 1:250 000-Kartierung wurde eine Übersichtskarte 1:1 Mio als „Vorschau“ mit multivariater Analyse in ArcGIS mit Höhenmodell und geophysikalischen Daten erstellt. Gewisse Gebiete jedoch ohne Beobachtungen (GTK, 2017, 2018a).</p>
		<p>Erhebung der Moore grösser als 20 ha. Anlage von Transekten, seit 2011 Triangulationsnetzwerke pro Moorgebiet. Keine eigentliche Karte, sondern Punktinformationen, die pro Moorgebiet oder politische Einheit zusammengefasst werden können (Tabelle A2). Fokus der Erhebung vermutlich hauptsächlich Torfabbau / regionale Vorratsberechnungen. Abdeckung z. Z. Provinz Südösterbotten (13 400 km²), jährliche Erweiterung der Fläche (GTK, 2018c).</p>

Tabelle A1: Übersicht Kartierungsaktivitäten der letzten zehn Jahre (Forts.)

Land	Massstab	Beschreibung
Frankreich	1:250 000	<p>Flächendeckende konventionelle Übersichtskartierung mit Polygonabgrenzung (643 800 km²). Ziel: Entscheidungsgrundlage für regionale Administrationen. Begonnen mit Kartierung im Massstab 1:100 000, da Kartierfortschritt zu langsam Wechsel zu 1:250 000 (Baritz et al., 2008).</p> <p>Hauptverantwortung: INRA (Institut national de la recherche agronomique) unter Dominique Arrouays, Vergabe an lokale Partner pro Département oder Provinz, meist Universitäten mit technischem Personal. Kartierung bald flächendeckend abgeschlossen, einzig in Normandie konnte kein Partner gefunden werden. Kartierung nun direkt durch INRA.</p> <p>Festlegung Profilstandorte gutachtlich nach Repräsentativität. Hilfsmittel im Feld je nach bearbeitender Institution, z. B. in Bordeaux Verwendung von Trimble-Feldcomputer mit zentraler Donesol-Eingabemaske (Offline-Erfassung mit späterer Synchronisierung), aus Sicherheitsgründen immer 2 Personen im Feld, wobei eine Person die Daten eingibt (Lacoste, pers. Mitt. 2017), Datenvalidierungsprozess auf Seite Donesol (Baritz et al., 2008).</p> <p>Weiterverarbeitung der Daten durch div. Bodenmodellierungen, teilweise Erhebung Daten nach statistischem Design für kleine Gebiete, z. B. regionale Karten für Textur, C_{org}, pH, Gründigkeit oder Wasserrückhaltevermögen (Vaysse et al., 2014; Lacoste et al., 2014; Ciampalini et al., 2014; Lacoste et al., 2016), C_{org}-Karte für ganz Frankreich (Mulder et al., 2016b), alle grobe Auflösung ca. 90 m-Raster, Übersichtskarten-Charakter. Akademische Arbeiten, Relevanz für Praxis unklar (Lacoste, pers. Mitt. 2017)</p>
Grossbritannien		<p>Erhebung Torfmächtigkeit in Mooren für <i>Peatland Action Restoration Program</i> mit dem Ziel Kohlenstoffspeicherung in Mooren zu erhöhen durch Renaturierung, 17 800 Messungen mit Stangen in 168 Mooren zwischen 2012–2016. Aufnahme im 100 m-Raster. Maximale gefundene Mächtigkeit 18.8 m. Keine Kartenerstellung (weshalb nicht, unklar). Feldarbeit teilw. durch Freiwillige, durch versch. Organisationen, Ämter und NGOs. Fortlaufende Ergänzung im Rahmen des <i>Action Program</i> (SS-DI, 2017; Scotland's soils, 2017; Scottish Natural Heritage, 2017).</p>
Island	1:250 000	<p>Übersichtskartierung für gesamte Landesfläche (102 775 km²), ca. 80 Profilsprachen zusammen mit einer Auswertung der vorhandenen Bodendatenbank (Umfang unklar), eigene Klassifikation entwickelt für vorliegende Kartierung basierend auf WRB, da viele der vulkanisch-organisch-kryogenen Böden praktisch endemisch, zusätzliche Abgrenzung der Wüstenböden (Arnalds, 2015, Kap. 6.8).</p> <p>Abgrenzung von mehrheitlich komplexen Polygonen grösstenteils aufgrund von Oberflächenmerkmalen (Vegetationsveränderungen, Feuchtgebiete, Topographie, Arnalds und Óskarsson 2009)</p>

Tabelle A1: Übersicht Kartierungsaktivitäten der letzten zehn Jahre (Forts.)

Land	Massstab	Beschreibung
Mazedonien	1:50 000	<p>Digitalisierung von Archivdaten (Vorhanden 15 000 Bodenprofile auf Papier, wobei aufgrund fehlender Qualität/Harmonisierung nur 4 300 und 11 300 Horizonte digitalisiert und verwendet wurden, Mukaetov, pers. Mitt. 2018).</p> <p>Neue konventionelle Kartierung für Flächen ohne Bodenkarten-Abdeckung (~5 % der Landesfläche von 25 710 km², Mukaetov, 2015; Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2015). Vorbereitung Konzeptkarte durch Aufarbeitung vorhandener Geodaten (früher in Papierform, heute digital, geolog. Karten, Klimadaten, Vegetationskarten, Höhenmodell) und Archivbodendaten, Planung mind. 1 Referenzprofil mit Laboranalysen pro 400 ha, teilw. zusätzliche Profile, wenn höhere Variabilität erwartet wird. Referenzmethoden stammen aus Richtlinien ehem. Jugoslawien, mazedonische Klassifikation entspricht leicht veränderter jugoslawischer Klassifikation, mit Übersetzungsschlüssel nach WRB (Mukaetov, pers. Mitt. 2018).</p> <p>Georeferenzierung und Digitalisierung von mehr als 140 Bodenkarten (Massstäbe 1:50 000 und 1:2 500 bis 1:10 000), Harmonisierung der Bodentypen nach nationaler Klassierung, FAO und WRB 2006 von insgesamt 4 300 Profilen, Harmonisierung Polygone an Kartenrändern (Vrščaj et al., 2017a, Vrščaj, pers. Mitt. 2018), Herleitung von Bodeneigenschaftskarten mit additiven Modellen kombiniert mit Geostatistik (Mukaetov, 2015), DSM-Methodik basierend auf Poggio und Gimona (2014). Gesamtprojektdauer: 2 Jahre (Food and Agricultural Organization of the United Nations, 2015).</p>
Niederlande	1:50 000	Bodenmodellierung zur Aktualisierung Torfböden (Abschnitt 4.4)
Norwegen	~1:20 000	Konventionelle Bodenkartierung Landwirtschaftsfläche (Abschnitt 4.3).
Schweden	50 m-Raster	Bodenmodellierung Textur Oberboden für Ackerfläche (Abschnitt 4.5)
Schweiz	1:2 500–1:7 500 100 m-Raster	Konventionelle Kartierungen nach FAL24 ⁺ (z. B. AfUSO, 2014, teilw. leicht angepasste Methodik) in den Kantonen Aargau, Genf, Luzern, Solothurn, Zürich. Waldbodenkarte Kanton Baselland durch Modellierung, Kohlenstoffvorräte Waldboden durch Modellierung (Faktenblatt 2, Borer und Knecht, 2014; Nussbaum et al., 2014).
Serbien	1:50 000	Konventionelle Bodenkartierung im Südosten Serbiens (700 000 ha), 2007–2011, Klassierung mit lokalem System, mit Übertragung nach WRB (Pavlović et al., 2017), Bodeneigenschaften nach 2-Schichtmodell, Zuweisung von mehr als 3 000 nicht georeferenzierten Profilen aufgrund von Ortsbeschreibungen (Vidojevic, 2015), finanziert durch <i>Ministry of Agriculture, Forestry and Water Management</i> (Mrvić et al., 2013). Weiter Legendenharmomisierung der 1:50 000-Kartenblätter für ganz Serbien, Reduktion auf 20 Einheiten (Mrvić et al., 2013).

Tabelle A1: Übersicht Kartierungsaktivitäten der letzten zehn Jahre (Forts.)

Land	Massstab	Beschreibung
Slowenien	1:250 000	Generalisierung der Karte 1:25 000 zum Massstab 1:250 000 durch Umgliederung Legendeneinheiten durch Zuweisung des vorherrschenden Bodentyps. 63 neu gebildete generalisierte Legendeneinheiten mit Angaben zu Profilaufbau mit diagnostischen Horizonten, mittlerer Texturklasse, pH-Bereich, Ausgangsmaterial und typische Landnutzung und Zuweisung Bodenpunktzahl (Produktionspotential). Aggregation benachbarter kleiner Polygone. Gesamte Landesfläche (20 273 km ²), ohne Stadtböden (Grčman et al., 2015).
Ungarn	1:25 000– 1:50 000	Digitalisierung aller bisherigen Karten (1:25 000–1:50 000) sowie rund 250 000 Bohrungen und Profile (Pásztor et al., 2012), Harmonisierung der Archivdaten aus unterschiedlichen Klassifikationen von Wald- und Landwirtschaftsfläche (Pásztor et al., 2018). Ableitung von Bodeneigenschaften und -funktionen durch Bodenmodellierung zur Erstellung von nutzerorientierten Karten, basierend auf der flächendeckenden konventionellen Kartierung von 1935–1951, da diese die Nutzerbedürfnisse nicht vollständig abdeckte. Keine neuen Feldaufnahmen als Input für Karte, jedoch Validierungen im Feld (Pásztor et al., 2014, 2017). Erstellung einer homogenen Bodentypenkarte für Wald- und Landwirtschaftsfläche (93 040 km ²) mit einem schrittweisen Ensemble-Klassifikationsansatz. Aufgrund fehlender Ansprachen nach WRB oder erneuerter ungarischer Klassifikation wurde die traditionelle ungarische Klassifikation verwendet (Pásztor et al., 2018).
Zypern	1:25 000	Erstellung einer 1:25 000-Karte (Bodengesellschaften, Textur, Bodentiefe) für griechischen Teil von Zypern (5 979 km ²) durch Bodenmodellierung (Random Forest) basierend auf Archiv-Bodendaten der nicht flächendeckenden konventionellen 1:25 000-Karten (10 Kartenblätter, Erhebungen von 1967–1985, ca. 1 600 km ²), Modellüberprüfung mit 200 im Jahr 2004 erhobenen Profilen. Keine Felderhebungen für vorliegendes Projekt. Als erklärende Grössen wurden im Modell neben Klima und Relief Ableitungen aus einer kürzlich fertiggestellten geochemischen Karte für das Modell verwendet (Camera et al., 2017; Zomeni et al., 2014).

Tabelle A2: Übersicht der **nationalen** räumlichen Bodeninformationssysteme (BIS) in Europa. Sofern nicht anders angegeben, handelt es sich um digitalisierte Polygonkarten von konventionellen Bodenkartierungen und ist der Zugang öffentlich. Die BIS sind meist in der Landessprache und nur selten zusätzlich auf Englisch verfügbar (WMS, WFS, WCS siehe Glossar).

Land	Institution ¹	Applikation ²	Inhalt ³
Belgien			Flächendeckende Karten in regionalen BIS von Flandern und Wallonien (Tabelle A3)
Bulgarien	The Institute of Soil Science, Agro-Technology and Plant Protection "Nikola Pushkarov"(ISSAP)	Geographic Soil Information System (GSIS) (kein Online-Zugriff)	Bodenkarte 1:10 000 fast der gesamten Landwirtschaftsfläche, Gebiete mit bestimmten Problemen im Massstab 1:1 000 oder 1:5 000 (Jones et al., 2005), Textur, Grün-digkeit, pH, Ausgangsgestein, Vernässung/Grundwasserspiegel, Skelett Oberboden, Versalzung, Erosions-/Akkumulationsgrad (je 4 Klassen), Eignung für 22 Hauptkul-turen (0–100 Punkte), Nutzungseignung abgeleitet auf Parzellenebene (10 Klassen). Profilbeschreibungen. Seit 1991 bis heute fast alle Daten digital erfasst, kein Web-portal oder Endbenutzerdatenbank, digitale Bodendaten und -karten werden durch ISSAP auf Anfrage für Forschungsprojekte, Gesetzgebung, Richtlinien, Planung der landwirtschaftlichen Produktion oder für Pflanzenbautechnologien kontrolliert ver-teilt (Georgiev, pers. Mitt. 2018).
Dänemark	Geological Survey of Denmark and Green-land (De Nationale Geologiske Undersø-gelser for Danmark og Grønland, GEUS)	Maps of Denmark http://www.geus.dk →Water and soil →Data and maps →Surface Geology Map of Denmark 1:25 000 →Interactive map	Keine eigentliche Bodenkarte im engeren Sinne, Karten der Oberflächengeologie 1:200 000 (11 Substrattypen) und 1:25 000 (82 Substrattypen, 88 % der Landes-fläche), beschreibt Substrat unterhalb Pflug-/Kulturschicht (1-Meter-Handbohrer, Jakobsen et al., 2015), Download als Shapefile, PDF und Bestellung Papierkarte (gegen Gebühr).
	Ministerium für Um-welt und Ernährung, Landwirtschaftsbe-hörde (Miljø- og Fø-devareministeriet, Landbrugsstyrelsen)	Jordbrugsanalyser http://www.jordbrugsanalyser.dk →Jordbundskort	Kein umfassendes BIS, sondern landwirtschaftliche Analyseapplikation mit einer Bodenebene: Flächendeckende Karte Textur in Pflugschicht 1:20 000 (11 Klassen) erstellt durch Bodenmodellierung (Tabelle A1). Die Applikation bietet weiter Da-tensätze wie landwirtschaftliche Bewirtschaftungseinheiten, angebaute Kulturen, Viehhalteregister oder Betriebsstrukturen. Die Bodenkarte im Massstab 1:50 000 (Oberboden-Erhebung Mitte 70er-Jahre) kann bei Rystedt (2016) kostenlos herun-tergeladen werden, ist aber nicht in einem räumlichen BIS dargestellt.

Tabelle A2: Übersicht **nationale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Land	Institution ¹	Applikation ²	Inhalt ³
Deutschland	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)	Bodenatlas Deutschland https://www.bodenatlas.de →zum Kartenviewer	48 Übersichtskarten (meist im Massstab 1:3 Mio), die Bodenthemen umfassend abdecken. Abgeleitet aus Flächendaten und Auswertungsmethoden im Fachinformationssystem Boden (FISBo). Bodenbildungsfaktoren (Relief, Klima, Ausgangsgestein, etc.), Leitbodenassoziationen, Oberbodentextur, C _{org} , Gründigkeit, Durchwurzelungstiefe, pflanzenverfügbares Wasser, Sickerwasser, Vernässung, Hintergrundwerte von Spurenstoffen (Kupfer, Blei, Chrom, etc.), KAK, Gefärdungskarten (Erosion, Verdichtung), Ertragspotential. Abgeleitet aus den Legendeneinheiten zugewiesenen Leitprofilen. Auch als Buch publiziert.
	Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)	FachInformationssystem Bodenkunde der BGR (FISBo BGR) https://www.bgr.bund.de/ →Unser Service →Geoviewer →Zum Geoviewer →Themen „Boden“	Bodenübersichtskarten 1:200 000, 1:1Mio, 1:2 Mio, 1:3 Mio und 1:5 Mio mit Leitbodenassoziationen bzw. Gliederung nach Ausgangssubstrat, Bodengrosslandschaften, Bodenhaupttypen und Ausgangssubstrat in Europa, Bodeneigenschaften und Themenkarten wie im Bodenatlas (UBA, 2012, Massstab 1:1 Mio), alle Karten Download, WMS. FisBo BGR: Flächendatenbank, Labor- und Profildatenbank und Methodenverzeichnis für Bodendatenauswertung (Eberhardt und Stegger, 2018), Teilzugriff auf Anfrage (Konen und Rückamp, 2018).
Estland	Estonian Land Board (Maa-amet)	Geoportal http://geoportaal.maaamet.ee →Andmed ja kaardid →Mullastiku kaart →Ava mullakaardi rakendus	Flächendeckende Karte 1:10'000 (43 300 km ² , 2045 Kartenblätter, nur Stadtböden nicht kartiert), 1:5'000-Karte zu 1:10 000 generalisiert, Bodentypen, Bodenpunktzahl/Nutzungseignung, weiter über Polygone abrufbar: zu erreichende Bodenpunktzahl nach Aufwertung, Humus- und Skelettgehalt Oberboden. WMS, Download versch. Formate.

Tabelle A2: Übersicht **nationale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Land	Institution ¹	Applikation ²	Inhalt ³
Finnland	Geological Survey of Finland (Geologian tutkimuskeskus, GTK)	en.gtk.fi →INFORMATION SERVICES →Map services →Acid sulfate soils / →Peat resource accounting	Kein allgemeines BIS, 2 Kartenviewer mit ausgewählten Bodentypen: sulfatsaure Böden: Übersichtskarten 1:250 000 und 1:1 Mio, Auftretenswahrscheinlichkeit, Bohrpunkte klassiert, Profile klassiert und mit Profilblättern (Grafiken in Abbildung 7, teilw. inkl. Bohrstockfotos), Karte geol. Substrat 1:100 000. Torfböden: Bohrpunkte mit Beschreibung (Torfmächtigkeit, -abbaugrad, Torfproduktion, pH etc.), teilw. Fotos Gelände, Lokalisierung Beprobungstransecte, mittlere Werte aggregiert für administrative Gebiete verschiedener Stufen, keine Torfkarten. Grundwassergebiete, Naturschutzgebiete. WMS.
Frankreich	Groupement d'Intérêt Scientifique Sol (Gis Sol)	www.gissol.fr →OUTILS →Donesol Web / Übersichtskarten: →DONNÉES →Webservices oder →OUTILS →Geosol / Indicasol	Webservices, Geosol, Indicasol (3 versch. Applikationen mit unterschiedlicher Benutzerführung, aber ähnlichem Inhalt): Grobe Übersichtskarten und Statistiken mit Bodeneigenschaften aggregiert mit Mittelwerten nach Bezirk, Landwirtschaftsregionen, Departementen oder Grossregionen (Kohlenstoff, KAK, Schwermetalle), Karten Punktraster (Schwermetalle), diverse aufbereitete Karten als Grafiken 1:1 Mio (PDF, JPG), WMS, Verweise zu Webshop der Kartenblattbeschreibungen 1:250 000. DonesolWeb: Zugriff passwortgeschützt, zentrale Punkt- und Flächenbodendatenbank für verschiedene Erhebungsprogramme inkl. Kartierung und Monitoring. 15 000 Profile, 45 000 Bohrungen, Karten 1:5 000–1:250 000 (Baritz et al., 2008). Verwendung Bodendaten nach Zustimmung Dateneigner (abgestufte Rechtevergabe), Datenbankstruktur öffentlich als PDF. Übersichtskarte 1:250 000 vermutl. im passwortgeschützten Bereich.
Grossbritannien	Natural Environment Research Council (NERC)	UK Soil Observatory (UKSO) http://www.ukso.org →Map viewer →Go to the map viewer	Zentraler Datenzugriff für England, Wales, Schottland, Nordirland: Bodenübersichtskarte 1:250 000, teilw. 1:50 000 (Textur, gewisse Gebiete), über 100 Kartenebenen teilw. nicht flächendeckend, Bodentypen WRB, Bodenbelastungen, Gründigkeit, Bodendichte, C _{org} , Crowd Sourced Data. Zweistufiger Zugriff: frei verfügbare Karten herunterladbar oder Angaben zur Bestellung gegen Entgelt (Abschnitt 4.7.1).

Tabelle A2: Übersicht **nationale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Land	Institution ¹	Applikation ²	Inhalt ³
Irland	Environmental Protection Agency (epa)	Irish Soil Information System (ISIS) http://gis.teagasc.ie/isis →MAPS	Bodenübersichtskarte 1:250 000, Bodengesellschaften, Textur, Ausgangssubstrat, für die meisten Bodengesellschaften vollständig beschriebenes und analysiertes Referenzprofil mit Landschafts- und Profildaten und WRB-Ansprache (Abbildung 6), historische Karten für einige Bezirke als PDF. Download. Geplant ist Aufnahme von abgeleiteten Bodeneigenschaftskarten (EPA, 2018).
Island	Landwirtschaftliche Universität von Island (Landbúnadarháskóli Íslands)	http://lbhi.maps.arcgis.com →Gallery →Jardvegskort (z. Z. techn. nicht funktional)	Übersichtsbodenkarte 1:500 000 (Landbúnaðarháskóli Íslands, 2009), Bodentypen erweitert nach WRB, Textur, pH, Wasserrückhaltevermögen, KAK, C _{org} , Bodendichte (Arnalds und Óskarsson, 2009). Verfügbarkeit der 1:250 000-Karte unklar.
Italien	aginfra Science Gateway	Italian Soil Information System (SISI) http://aginfra-sg.ct.infn.it →Applications →WebGIS →SISI (z. Z. techn. nicht funktional)	Übersichtsbodenkarten 1:500 000–1:250 000, Bodengesellschaften, (CNCP, 2004), Profilstandorte in separater Applikation (CNCP, 2015). Abgestufter Zugriff, reduzierte Version frei, Profil-Datenbankabfragen nach kostenloser Registrierung mit Institutionsidentitätsüberprüfung (Passwort auch für andere Services), Herunterladen in zahlreichen Formaten, WMS, WCS, WFS (vollständiger Umfang BIS insb., ob lokale Bodenkarten enthalten unklar).
Lettland	State Regional development agency (Valsts Reģionālās attīstības aģentūra)	Augšņu digitāla datubāze (digitale Bodendatenbank) https://geolatvija.lv →Search: augsne →Augsnes digitāla datubāze →Atvērt kartes pārlūkā	Digitalisierte Karten 1:10'000 der Landwirtschaftsfläche (Erhoben 1960-1991), Bodentyp und -untertyp, Gründigkeit, Textur Ober- und Unterboden, Kalkgehalt, Bodenpunktzahl (Muceniece, 2017), WMS, WFS.

Tabelle A2: Übersicht **nationale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Land	Institution ¹	Applikation ²	Inhalt ³
Litauen	National Land Service under the ministry of Agriculture (Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos)	Geoportal https://www.geoportal.lt →Dirvožemiai	Karte Teil der Landwirtschaftsfläche 1:10'000 (GIS-Centras, 2017), Bodenpunktzahl / Bodenfruchtbarkeit, pro Polygon weitere Informationen (litauische Klassifikation, physikalische und chemische Eigenschaften) abrufbar.
Luxembourg	Ministère de l'Agriculture, de la Viticulture et de la Protection des consommateurs, Service de pédologie	Geoportail http://map.geoportail.lu/ →Environnement, Biologie et Géologie →Sols	Bodengesellschaften 1:100 000, Kohlenstoffgehalt Oberboden, pH Landwirtschaftfläche, Bodentypen 1:25 000 (7 Kartenblätter, nicht landesweit), Profildatenbank gem. Juilleret et al. (2009).
Mazedonien	Ministry of agriculture forestry and water economy (Министерство за земјоделство, шумарство и водостопанство)	Macedonian soil information system (MASIS) www.maksoil.ukim.mk	Bodeneigenschaftskarten 1:50 000 (Textur, pH, C _{org} , Kalkgehalt), Gründigkeit, Bodentypen nationale Klassifikation und WRB, Erosionsrisiko jeweils für Wald- und Landwirtschaftsland, landwirtschaftliche Nutzungseignung, Profilstandorte (Mukae-tov, 2015).

Tabelle A2: Übersicht **nationale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Land	Institution ¹	Applikation ²	Inhalt ³
Niederlande	Wageningen University & Research	Bodemdata http://maps.bodemdata.nl	Karte 1:50 000 (1958–1999), Bodeneinheiten, Polygone mit Texturklassen, Bodenaufbau, Grundwasserstandsklasse, Aufnahmen bis 1.5 m Tiefe. Eignung für Grasland und Ackerbau, mittlerer höchster/tiefster Grundwasserspiegel (historisch, 1952), Kalkgehalt, C _{org} und pH Oberboden, Risiko Bodenverdichtung, Bohrpunkte, Beschreibung pro Kartenblatt als PDF, Umrisse lokaler Detailkartierungen 1:10 000 und 1:25 000. Bezug Originaldaten 1:50 000 (Vektordatei, Rasterdatei, PDFs, Druck) gegen Gebühr (2000 €, de Vries, 2018). WMS, WTS und Ansicht derselben 1:50 000-Bodeneinheitenkarte (ohne interpretierte Karten, mit besserer Legendenanzeige) bei <i>Publieke Dienstverlening op de Kaart</i> (http://pdokviewer.pdok.nl).
Norwegen	Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO)	NIBIO Kilden Jordsmoon https://kilden.nibio.no →Jordsmoon →Jord	Übersicht kartierte Blätter / Stand Kartierung (Tabelle A1), Basisbodeneigenschaften (Oberbodentextur, grobe Klassen organische/mineralische Böden, Wasserspeichervermögen, Ausgangsmaterial), Bodentyp angepasst nach WRB, Bodenfunktionskarten mit Fokus auf landwirtschaftliche Bewirtschaftung: Bodenqualitätsklassen, Nutzungseignung, Erosionsrisiko, Kategorien von nutzungslimitierenden Bodeneigenschaften kombiniert mit weiteren Standorteigenschaften (z. B. Hangneigung), Gründe für Vernässung, Trockenheitsrisiko. WMS, Download.
		Gårdskart http://gardskart.skogoglandskap.no	Informationssystem Ebene Landwirtschaftsbetriebe: gleiche Boden-Anwendungskarten aus NIBIO Kilden, Selektion pro Betrieb mit Statistiken pro Parzelle.
Österreich	Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus (BM-NT)	eBOD http://gis.lebensministerium.at/eBOD ; http://bodenkarte.at →eBOD; https://www.bmnt.gv.at →Service →Geo-Informationssystem →eBOD	Bodenkarte 1:25 000 BFW (Arbeitsmasstab 1:10 000, 1958-2004, Landwirtschaftsfläche, 2007, 2015), Bodentyp, Basiseigenschaften (Gründigkeit, Wasserhaushalt, Humusform + -gehalt, pH, Kalkgehalt, Textur, Ausgangsmaterial), Erosionsrisiko, nutzbare Feldkapazität, Wertigkeit Acker-/Gründland, generalisierte Karten im 1×1 km-Raster herunterladbar (BFW, 2016).

Tabelle A2: Übersicht **nationale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Land	Institution ¹	Applikation ²	Inhalt ³
	Umweltbundesamt	Boden-Informations-System des Bundes und der Bundesländer (BODen: Rechnergestütztes Informations-System , BORIS) http://www.umweltbundesamt.at →Umweltsituation →Boden →Daten →BORIS Datenzugang	BIS mit zweistufigem Zugriff (BORIS PUBLIC, BORIS EXPERT), öffentlich verfügbar sind: Bodenübersichtskarte 1:750 000 (ÖBG, 2001a) mit Bodentypen nach österreich. Klassifikation und FAO, Bodenkarte 1:25 000 mit WRB-Bodentypen und Texturklassen (nur Landwirtschaftsfläche), Profilstandorte mit ungenauen Koordinaten, (räumliche) Profildatenbankabfrage mit Feldansprache und mit Angabe, ob Messwert vorhanden (Abfragewerkzeug für BORIS EXPERT). Zahlreiche Karten der Bodenzustandsinventur als PDF mit BORIS-Standorten eingefärbt nach Themen (Schwermetalle, Humus, pH, Karbonat, Textur, etc.). Bodenpunktdaten auf Anfrage und gegen eine Bearbeitungsgebühr (nach Zustimmung der Dateneigner). BORIS EXPERT als passwortgeschützter Zugriff für Datengeber aus gesamter Datenbank mit 10 000 Standorten aus über 30 Projekten (ÖBG, 2001b, 2004).
Portugal	Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food (LEAF)	LEAF EPIC Web-GIS Portugal http://epic-webgis-portugal.isa.ulisboa.pt →EPIC WebGIS →Solo e Subsolo	Basiseigenschaften pH, Textur, Gründigkeit, Vorhandensein physischer Barrieren (Kiesbänke, anstehender Fels), ökologischer Wert (ökologisches Potential und Produktionspotential), Durchlässigkeit, Erosionsrisiko, Massstab 1:250 000.
Schweden	Swedish University of Agricultural Sciences (Sveriges lantbruksuniversitet, SLU)	Lerhalt i matjord, Digitala åkermarkskartan	Kein eigentliches BIS, Webkartenapplikation mit einer Ebene: Tongehalt Oberboden (Abschnitt 4.5).

Tabelle A2: Übersicht **nationale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Land	Institution ¹	Applikation ²	Inhalt ³
Schweiz	Bundesamt für Landestopographie (swisstopo), Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bundesamt für Landwirtschaft (BLW)	Kartenviewer https://map.geo.admin.ch →Geokatalog →Natur und Umwelt →Boden	Bodeneigung, Erosionsrisiko, Gründigkeit, Nährstoffspeichervermögen, Skelettgehalt, Wasserhaushalt, Permafrost, landesweit Massstab 1:200 000, Profildatenbank NABODAT (https://nabodat.ch).
Serbien	Ministerium für Umweltschutz, Agentur für Umweltschutz (Ministarstvo zaštite životne sredine, Agencija za zaštitu životne sredine, SEPA)	http://www.sepa.gov.rs →Zemljište →Zemljište-podaci (z. Z. techn. nicht funktional)	Kartenapplikation, BIS gem. Vidojevic (2015) vorhanden, Inhalt unklar.
Slowakei	National Agricultural and Food Centre (Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, NPPC), Soil Science and Conservation Research Institute (Výskumný ústav pôdoznalectva a ochrany pôdy, VUPOP)	Pôdny Portál, Info Servis VÚPOP http://www.podnemapy.sk →Pôdna mapa SR 1:400'000 →MAPOVÁ SLUŽBA / →Applikácie pre verejnosť (alle Menüs in dieser Rubrik)	Übersichtsbodenkarte 1:400 000 (Landwirtschaftsfläche, Wald) mit Hauptbodentypen inkl. sep. Übersetzungsschlüssel WRB (Granec und Surina, 1999), Gründigkeit, pH, Textur, Skelett, Nutzungseignung, nutzungseinschränkende Faktoren, Versauerungsgefährdung, Schadstoffgefährdung, Potential für Naturschutz (z. B. indigene Pflanzen). Bodenkarte 1:10 000 mit umfangreichen anwendungsorientierten Ableitungen (Abschnitt 4.9): Bodenqualitätsindex, geschütztes Ackerland (Schutzklassen, wie FFF), Landbewertung für z. B. Meliorationen, Biomassenproduktionspotential, Humusbilanz, Nitratvollzugswerkzeug, Klärschlammasbringgebiete, Erosionsrisiko, und -schutzmassnahmen, Verdichtungsempfindlichkeit, Auswaschungsrisiko Schadstoffe, Produktionspotential für Bioenergie, Anbaurentabilität. WMS, WFS.

Tabelle A2: Übersicht **nationale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Land	Institution ¹	Applikation ²	Inhalt ³
Slowenien	Agricultural Institute of Slovenia (Kmetijski inštitut Slovenije, KIS)	Portal eTLA / eSoil http://www.kis.si →eTLA - talni informacijski sistem KIS	Übersichtsbodenkarte 1:1 Mio mit Bodengesellschaften nach WRB, flächendeckende Bodenkarte 1: 25 000, Bodentypen nach WRB, Textur, C _{org} , pH Oberboden (0-30 cm), Gründigkeit, Bodenqualitätsindex, Wasserspeicherkapazität, Projektdaten wie parzellenweise Stickstoffbilanz 2013 oder Fallstudie zu Eignung für best. Kulturen. Teilw. detailliertere Bodenkarten, Profilblätter inkl. Nährstoffen (autom. aus Datenbank abgeleitet) und Bericht über Schadstoffbelastungen (Vrščaj et al., 2017b, S. 167ff.). Weiter zu Grundwasserschutzzonen, Hochwasserrisiko, Naturschutzgebieten. Daten von versch. Institutionen in eTLA zentralisiert. Passwortgeschützter Zugang auf Anfrage. Profildatenbank gem. Grčman et al. (2015); Vrščaj et al. (2017b), Mittlerer Zugriff: 3 NutzerInnen pro Tag (Jan.–Feb. 2018), Nutzung v. a. durch Forschungsanstalten und Fakultäten mit Umwelt- oder Landwirtschaftsbezug (KIS, pers. Mitt. 2018)
Spanien	evenor tec	Sistema Español de Información de Suelos (SEISnet) sobre Internet http://evenor-tech.com/banco/seisnet/seisnet.htm →Nivel 2	Übersichtsbodenkarte 1:1 Mio, Hauptbodentyp pro Region, kein eigentliches BIS, da räumliche Verortung (topographische Karte) fehlt, kostenlose Registrierung notwendig.
Tschechien	Research Institute of Soil Improvement and Soil Protection (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy)	Geoportál SOWAC GIS http://geoportal.vumop.cz →Půda v mapách, url http://mapy.vumop.cz	Sehr umfassendes BIS mit diversen Auswertungsmöglichkeiten, Bodenkarte 1:5 000, Bodentypen, Gründigkeit, Skelett, potentielles Erosionsrisiko Wasser und Wind, von Erosion bedrohte Bodentypen, langfristiger mittlerer Bodenabtrag, beobachtete Erosion (Monitoring), Produktionsklassen, Bodenwert/Grundstückpreise nach 2 Systemen, Karten zur Düngegesetzgebung, Ackerflächen mit ungünstigem Wasserhaushalt, Grundwasserneubildung, Durchlässigkeit Grundwasserkörper und weitere hydrogeol. Angaben, Berechnungswerkzeuge (Abschnitt 4.10). teilw. WMS und WFS.

Tabelle A2: Übersicht **nationale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Land	Institution ¹	Applikation ²	Inhalt ³
Türkei	Generaldirektion für Agrarforschung und -politik, Forschungsinstitut für Dünger und Wasserressourcen (Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü)	Ülkesel Toprak Bilgi Sistemi http://85.25.185.76/tgskmae/starter.aspx (nur mit Chrome oder Edge)	Karte Kohlenstoffvorrat (vermutl. DSM) und vermutl. weitere Bodeneigenschaften (Versalzung, P, K, pH, Kalkgehalt, Textur), Übersichtsbodenkarten, Massstab unklar, vermutl. basierend auf 1:200 000-Karte. Registrierung erforderlich, Bedingungen unklar. WMS, WCS, WFS (Özkalaycı et al., 2015; TAGEM, 2017).
	Türkisches Ministerium für Forst- und Wasserwirtschaft (Türkiye Cumhuriyeti Orman ve Su İşleri Bakanlığı, ÇEM)	Toprak Portal http://portal.cem.gov.tr/ ToprakPortal	Sehr kleine regional kartierte Flächen, 61 688 Bodenprofile (auf 3 961 707 ha) mit Basiseigenschaften als Punkte auf Webkarte, Übersichtsbodenkarte 1:200 000 ist in den Geodatenebenen nicht auffindbar. Abgrenzung Portal zu <i>Ülkesel Toprak Bilgi Sistemi</i> unklar.

Tabelle A2: Übersicht **nationale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Land	Institution ¹	Applikation ²	Inhalt ³
Ungarn	Ungarische Akademie der Wissenschaften, Institut für Bodenkunde und Agrochemie, Bodenkartierung und Umweltinformatik (Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Intézet, Talajterképezési és Környezetinformatikai Osztály)	Digital, Optimized, Soil Related Maps and Information in Hungary (DOSoReMI) http://dosoremi.hu → Interaktív térkép	Bodeneigenschaftskarten erstellt durch Bodenmodellierung (Tabelle A1, Textur, pH, C _{org} und Kalkgehalt in 3 Tiefen, Gründigkeit, jeweils mit Unsicherheitskarten), weiter geplant, jedoch noch nicht online, sind Bodenfunktionskarten / Anwenderkarten (Pásztor et al., 2010, 2012), wie Wind- oder Wassererosionsrisikokarten (Pásztor et al., 2018).

¹ Institution, welche die Kartenapplikation betreibt, ist möglicherweise nicht identisch mit dem Dateneigner der Bodeninformation. Sofern auf der Webseite kein offizieller englischer Name der Institution angegeben ist, wurde der Name sinngemäss ins Deutsche übertragen und der Name in Landessprache in Klammer angegeben.

² Da Direktweblinks teilweise komplex waren und deshalb sehr schnell veralten oder kein Direktzugriff gespeichert werden konnte, sind für die Kartenapplikationen Navigationspfade mit ” →” angegeben.

³ Die BIS sind meist nur in der Landessprache verfügbar. Der Inhalt wurde mit Hilfe von Übersetzungsdiensten so gut wie möglich zusammengefasst. Wo nicht WRB (World Reference Base) angegeben, Bodentypen nach lokal verwendeter Klassifikation.

Tabelle A3: Ausgewählte **regionale** räumliche Bodeninformationssysteme (BIS) in Europa mit interessanten Inhalten (WMS, WFS, WCS siehe Glossar).

Region	Institution ¹	Applikation ¹	Inhalt ¹
Flandern (Belgien)	Flämische Informationsagentur (Agent-schap Informatie Vlaanderen)	Geopunt Vlaanderen http://www.geopunt.be →Kaarten en plaatsen →Natur en milieu →Bodem	Bodenkarte 1:20 000 (1947-1991), Bodentypen, pro Polygon abrufbar: Texturklasse, Wasserhaushaltsklasse, Profilentwicklung, Substrattyp. Feldkarten, Bohrpunktkarten 1:5 000 und originales Kartenblatt mit Kartenblattbeschreibung als PDF-Scans herunterladbar. WRB-Bodentypen generalisiert zu 1:40 000. Erosionsrisiko, Lösungsszenarios/Schutzmassnahmen, diverse Karten Erosionsvollzug. Download, WMS, WFS.
Wallonien (Belgien)	Service public de Wallonie (SPW)	Portail SIG DGARNE, Portail environnement de Wallonie http://geoapps.wallonie.be/CigaleInter →Choix du thème →Les sols →Carte des sols	Bodenkarte 1:20 000 (1947-1991, gleiches Kartenprodukt wie Flandern, separat digitalisiert und mit Felddaten aufgearbeitet, Legrain et al., 2011, Tabelle A1), Bodentypen, pro Polygon abrufbar: Texturklasse, Wasserhaushaltsklasse, Profilentwicklung, Substrattyp. Originales Kartenblatt mit Browser-Plugin abrufbar, Kartenblattbeschreibung als PDF-Scans herunterladbar. Download.
Baden-Württemberg (Deutschland)	Regierungspräsidium Freiburg, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau	Kartenviewer http://maps.lgrb-bw.de →Bodenkunde	Bodenübersichtskarte 1:200 000 mit Bodentyp, Textur, Substrat, C _{org} Oberboden, Feldkapazität, KAK, Wasserhaushalt, Nitratauswaschung, hist. Schwermetallbelastung, Hintergrundgehalte Schwermetalle, Bodenversauerung, Eignung Erdbestattung, Erosionsgefährdung. Bodenkarten 1:50 000 mit Bodeneinheit mit Referenzprofil, Feld-/Luftkapazität, Erodierbarkeit, Durchlässigkeit, KAK, Fruchtbarkeit, Standort für naturnahe Vegetation, Wasser-Ausgleich Landwirtschaft + Wald, Filter/Puffer Schadstoffe, Bodenpunktzahl Landw. + Wald, Grabbarkeit. Kohlenstoffvorräte versch. Tiefen und Landnutzungen, mittlerer Bodenabtrag, Abflussbahnen, Bodenhydrologie (Feuchtestufen, Abflussprozesse), Moore: Verbreitung, Torfmächtigkeit, jährliche Höhendifferenz, Weinbauatlas mit Substrattyp. WMS, Bestellung Papierkarten.

Tabelle A3: Ausgewählte **regionale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Region	Institution ¹	Applikation ¹	Inhalt ¹
Bayern (Deutschland)	Bayerisches Landesamt für Umwelt	Umwelt Atlas Boden http://www.umweltatlas.bayern.de →Boden	Übersichtsbodenkarte 1:500 000 mit Feldkapazität, Ausgangsgestein, Hintergrundbelastung. Übersichtskarte 1:200 000 Bodengesellschaften. Übersichtsbodenkarte 1:25 000 mit Bodeneinheit (Komplexe), Ertragsfähigkeit, Sickerwasserrate, Wärmeleitfähigkeit, Säurepuffervermögen, Standortpotential nat. Vegetation, Nitrat-/Schwermetallrückhaltevermögen, Grabbarkeit, Leitfähigkeit, Moorbodenkarte, Kartierpunkte (reduzierte Aufnahmen, z. B. Pürkhauerbohrung) und Profile. WMS, Download.
Hessen (Deutschland)	Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie	BodenViewer Hessen http://bodenviewer.hessen.de	Bodenübersichtskarte 1:500 000 mit Bodengesellschaften, Ertragspotential, Nitratrückhaltevermögen, Filtervermögen, Standorttyp. Bodenkarte 1:50 000 mit Bodenhauptgruppen, Ertragspotential, Nitratrückhaltevermögen, Standorttyp, Nutzflächen Weinbau, Substrat. Bodenschätzungskarte 1:5 000 mit Wasserverhältnissen, Textur, Entstehungsart, Acker-/Gründlandpunktzahl, Feldkapazität, Ertragspotential, Standorttypisierung, Feldhamster-Habitat, Flächen Bodenauftrag. Erosionsrisiko versch. Kulturen, Schlagbewertung Erosion, Bodenfunktionsbewertung für Planung. WMS, Datenbestellung gegen Gebühr.
Niedersachsen (Deutschland)	Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG), Geozentrum Hannover	Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS www.lbeg.niedersachsen.de →Karten, Daten und Publikationen →NIBIS KARTENSERVER →Übersicht →NIBIS KARTENSERVER →Themenkarten →Bodenkunde oder →Fachanwendungen	Umfangreiches BIS mit Bodenkartensystemen in versch. Maßstäben und zahlreichen Anwendungskarten (Abschnitt 4.8): Übersichtskarte 1:500 000 mit Boden(gross)landschaften und Bodengesellschaften. Forstliche Standortkarte 1:25 000. Bodenkarte 1:50 000 mit Bodentypen, Gründigkeit, pflanzenverfügbares Wasser, Bewässerungsbedarf, Ertragspotential, Verdichtungsgefährdung, Erosionsrisiko, Schwermetallbelastungen, Stickstoffemissionsmonitoring, Ausbringverbot für Herbizide, sulfatsaure Böden, pot. schutzwürdige Böden. Bodenschätzungskarte 1:5 000 mit Boden- und Ackerpunktzahl. Bodenversiegelung 1:25 000 in bestimmten Jahren. Bodenbeobachtungsflächen, Standorte Bohrungen mit (vereinfachten) Profilblättern. 2 Boden-Fachanwendungen: Abfragewerkzeug und Bewässerungsplanung (Abschnitt 4.8). WMS, Bestellung Daten gegen Gebühr.

Tabelle A3: Ausgewählte **regionale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Region	Institution ¹	Applikation ¹	Inhalt ¹
Nordrhein-Westfalen (Deutschland)	Geschäftsstelle des IMA GDI / Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen	Geoportal https://www.geoportal.nrw →GEOVIEWER →Boden und Geologie	Bodenkarte 1:50 000 mit Bodeneinheiten, Gründigkeit, Wasserhaushalt, ökolog. Feuchtestufe, Versickerungseignung, Flurabstand, Kapillaraufstieg, Wasserleitfähigkeit, Feld-/Luftkapazität, KAK, Punkte Bodenschätzung, schutzwürdige Böden, Grabbarkeit, Erodierbarkeit Oberboden, kartierte Flächen Bodenkarte 1:5 000 Wald/Landwirtschaft (ohne eigentliche Karte). WMS, teilw. WFS und Download, Datenbestellung Karte 1:5 000 gegen Gebühr (GD NRW, 2015a,b).
England, Wales (Grossbritannien)	Cranfield University, National Soil Resource Institute (NSRI)	Land Information System (LandIS) http://www.landis.org.uk →Soilscapes Viewer: interactive soil map →Soils Site Reporter: site-specific soil reports	Soilscapes Viewer (seit 2005): Bodenübersichtskarte 1:250 000 mit vereinfachten Bodenlandschaften (Zielgruppe ausserhalb Bodenkunde), weiter pro Polygon: Verbreitung, Textur, C _{org} , Wasserhaushalt, Ertragspotential, Nutzungseignung, Landnutzung, pot. natürliche Vegetation, Auswaschungsrisiken/Gewässerschutz (Abbildung 13), frei verfügbar (Keay, 2018). Soils Site Reporter: Erstellung PDF-Bericht für Gebiet nach Wahl, zahlr. thematische Boden- und Naturgefahren-Karten mit Legendenbeschreibungen und Hintergrundinformation (Wasserhaushalt, Auswaschungsrisiko, Grundwasserschutz, Rutschungspotential, etc.), Steckbrief vorhandener Bodengesellschaften mit Referenzprofil/typischen Eigenschaften, mittlere Schwermetallgehalte Monitoringstandorte im Umkreis des gewählten Gebiets (nach Registrierung, gegen Gebühr) Übersichten Verfügbarkeit Bodenkarten 1:25 000–1:100 000, Monitoring-Daten, (Larman, 2018; Baritz et al., 2008). Webshop, wo Karten-Ausschnitte selektiert und gekauft werden können.

Tabelle A3: Ausgewählte **regionale** räumliche Bodeninformationssysteme in Europa (Forts.)

Region	Institution ¹	Applikation ¹	Inhalt ¹
Schottland (Grossbritannien)	Scotland's soils (part of Scotland's environment), The James Hutton Institute	http://soils.environment.gov.scot →MAPS →Soil maps	Bodenübersichtskarte 1:250 000 mit Bodengesellschaften, Nutzungseignung Forst- und Landwirtschaft, C _{org} Oberboden, Feldkapazität. Daraus abgeleitet WRB-Bodengruppen in 1:1 Mio. Bodenkarten 1:25 000 (nicht flächendeckend, fast ganze Ackerflächen, Teil des angrenzenden Hochlands) mit Bodentypen, Nutzungseignung Landwirtschaft, Textur in Zonen mit Nitratauswaschungsgefährdung 1:50 000 (abgeleitet aus Bodendatenbank), Karte vereinfachte Moortypen abgeleitet aus 1:25 000- und 1:250 000-Karten. Vollständige Profilblätter, Blei-/Zinkgehalte Oberboden und Ausgangsmaterial an Erhebungsrasterpunkten. WMS, Download.
Oberösterreich (Österreich)	Digitales Oberösterreichisches Raum-Informationssystem [DORIS]	Digitales Oberösterreichisches Raum-Informationssystem www.doris.at →KARTEN →Boden	Bodenkarte 1:20 000 für Landwirtschaftsfläche mit Bodentypen und -typengruppen, Lebensraum für Bodenorganismen, Standortpotential Pflanzen, nat. Bodenfruchtbarkeit, Wasserabflussregulierung, Filter/Puffer Schadstoffe, Raumwiderstand (Bodenbewertung für Raumplanung). Bodenlehrpfade, Geocaches (Soilcache). Download (Amt der Oö. Landesregierung, 2018).
Salzburg (Österreich)	Amt der Salzburger Landesregierung	SAGISonline https://www.salzburg.gv.at/sagisonline_boden	Bodenkarte 1:20 000 für Landwirtschaftsfläche mit Bodentypengruppen, Bodenfunktionsbewertungen: Lebensraumfunktion, Standortfunktion, nat. Bodenfruchtbarkeit, Wasserabflussregulierung, Pufferfunktion. Geogene Hintergrundgehalte, Bodendauerbeobachtungsflächen und weitere Untersuchungsflächen, Bodenuntersuchungen Hausgärten und Spielplätze mit Profilblättern inkl. Laboranalysen. Kartenviewer gleiche techn. Lösung wie Oberösterreich. Download.

¹ Bemerkungen zur Tabelle siehe Tabelle A2.