



29. März 2023

# Konzept schweizweite Bodenkartierung

Aktenzeichen: BAFU-434.21-59684/2/4

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Ausgangslage</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Gründe für eine Bodenkartierung und Nutzen</b> .....	<b>2</b>
	2.1 Bestehender gesetzlicher Auftrag .....	2
	2.2 Nutzen einer landesweiten Bodenkartierung .....	4
	2.3 Bodeninformation in der Schweiz .....	6
<b>3</b>	<b>Methodik der schweizweiten Bodenkartierung</b> .....	<b>7</b>
	3.1 Kartieransatz .....	7
	3.2 Vorgehensschritte der Bodenkartierung .....	8
	3.3 Effiziente Methoden für Feldarbeiten und Labor .....	10
	3.4 Synergien und Effizienz der Vorgehensschritte und Methoden.....	12
<b>4</b>	<b>Finanziell-organisatorische Umsetzung</b> .....	<b>12</b>
	4.1 Mögliche Varianten zur Organisation und Finanzierung.....	12
	4.2 Bodenkartierung als gemeinsame Umsetzung und Finanzierung .....	13
	4.2.1 Variante gemeinsame Umsetzung und Finanzierung via «Joint Venture» .....	14
	4.2.2 Variante gemeinsame Umsetzung und Finanzierung via «Programmvereinbarungen» .	16
	4.3 Referenzvarianten .....	17
	4.3.1 Referenzvariante «Bundesaufgabe» .....	17
	4.3.2 Referenzvariante «Kantonsaufgabe» (bisher).....	17
	4.4 Kostenschätzungen .....	18
	4.5 Finanzierung .....	20
	4.6 Rechtsanpassungen .....	21
	4.7 Vorbereitungsphase .....	22
<b>5</b>	<b>Fazit und Beurteilung der Varianten</b> .....	<b>23</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>26</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>27</b>
	Anhang 1: Übersicht Bodenkartierungen in der Schweiz .....	27
	Anhang 2: Nutzungsinteressen an Bodeninformationen .....	29
	Anhang 3: Kostentabelle .....	30



## 1 Ausgangslage

Der Boden in der Schweiz wird vielseitig beansprucht, zunehmend überbaut und belastet. Eine Voraussetzung für einen nachhaltigen Umgang mit der Ressource Boden ist, dass verlässliche Bodeninformationen verfügbar sind. In der Schweiz ist dies jedoch nur für einen geringen Teil der Böden der Fall. Der Bundesrat hat im Mai 2020 die Bodenstrategie Schweiz sowie ein Massnahmenpaket zur nachhaltigen Sicherung der Ressource Boden verabschiedet. Mit seinem **Beschluss vom 8. Mai 2020** erteilte der Bundesrat den folgenden Auftrag: «**Das UVEK (BAFU, ARE) unterbreitet dem Bundesrat in Zusammenarbeit mit dem WBF (BLW) bis Ende 2021 ein Konzept für eine schweizweite Bodenkartierung sowie einen diesbezüglichen Finanzierungsvorschlag**». Das Konzept soll eine Analyse der aktuellen Situation sowie Vorschläge für das Vorgehen und die Finanzierung einer schweizweiten Bodenkartierung enthalten. Die IST-Analyse soll die laufenden Arbeiten und Zuständigkeiten der verschiedenen Akteure, die aktuellen Rechtsgrundlagen und die Defizite der heutigen Bodenkartierung aufzeigen. Im Vorgehensvorschlag sollen die notwendigen Schritte für eine schweizweite Kartierung dargelegt, die Aufgabenteilung und Zuständigkeiten von Bund und Kantonen geklärt sowie allenfalls erforderliche Anpassungen der rechtlichen Grundlagen aufgezeigt werden. Der Finanzierungsvorschlag soll beinhalten, wie viele Ressourcen über welchen Zeitraum wofür gebraucht werden (inkl. Aufteilung zwischen Bund und Kantonen und Nutzung allfälliger Synergien zu bestehenden Arbeiten).

Zur Entwicklung des vorliegenden Konzeptes wurde eine Projektleitung aus Fachmitarbeiterinnen und Fachmitarbeitern des BAFU, des ARE und des BLW eingesetzt. Die Steuerung lag beim Projektausschuss Boden, welcher durch Direktionsmitglieder des BAFU, ARE und BLW besetzt ist. Als Grundlage für die Konzeptentwicklung dienten Fachberichte für die folgenden drei Module:

- Modul 1: Fachliche-operative Aspekte, insbesondere betreffend Durchführung der Bodenkartierung nach einer neuen Methode; erarbeitet durch die Soilution GbR und das Kompetenzzentrum Boden KOBO.
- Modul 2: Organisatorisch-finanzielle Aspekte, insbesondere betreffend Aufgabenteilung und Aufteilung der Finanzierung zwischen Bund und Kantonen; erarbeitet durch Ecoplan AG.
- Modul 3: Wirkungsanalyse: Auslegeordnung der Erfahrungen der Kantone und daraus abgeleitet Erkenntnisse für die Konzeption einer schweizweiten Bodenkartierung; erarbeitet durch Interface Politikstudien GmbH.

Der Entwurf des Konzepts wurde den Kantonen von Oktober 2021 bis Januar 2022 zur Konsultation vorgelegt und anschliessend überarbeitet.

## 2 Gründe für eine Bodenkartierung und Nutzen

### 2.1 Bestehender gesetzlicher Auftrag

Boden ist eine knappe, nicht erneuerbare Ressource; es braucht rund hundert Jahre, um 1 cm funktionsfähigen Boden zu bilden. Für Menschen, Tiere und Pflanzen ist er eine der wichtigsten Lebensgrundlagen. Er bildet die Basis für die Nahrungsmittel- und Holzproduktion, er filtert Wasser und gewährleistet so eine kostengünstige Trinkwasserversorgung, er speichert Wasser und Kohlenstoff, vermindert Hochwasserrisiken und spielt eine bedeutende Rolle für das Klima und die Anpassung an den Klimawandel. Neben diesen vielfältigen Ökosystemleistungen die der Boden erbringt ist er zudem ein oft unterschätzter Lebensraum für Flora und Fauna. Die Bodenorganismen sind für die Nährstoffkreisläufe, den Schadstoffabbau, die Humifizierung und für den Wasserhaushalt zentral.

Bodeninformationen<sup>1</sup> sind unerlässlich für die Erfüllung zahlreicher Aufträge aus der Verfassung. Da Boden eine nicht erneuerbare Ressource ist, kann die in Artikel 73 Bundesverfassung (BV) geforderte Nachhaltigkeit nur erreicht werden, wenn entsprechende Kenntnisse über den Boden vorhanden sind und diese bei Entscheidungen einbezogen werden.

<sup>1</sup> Bodeninformationen beschreiben Lage, Aufbau und die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften der Böden, ihre Qualität und Nutzungseignung. Sie können nur durch Bodenkartierungen einheitlich erhoben und bereitgestellt werden.

Auch Artikel 102 BV (Landesversorgung), Artikel 104 BV (Landwirtschaft) und Artikel 104a BV (Ernährungssicherheit) betreffen den Boden direkt: Die Versorgung der Schweizer Bevölkerung mit gesunden Nahrungsmitteln ist ohne intakte, leistungsfähige Böden nicht möglich. Dies ist insbesondere in Zeiten gestörter Versorgung wie auch in schweren Mangellagen von grosser Bedeutung. Um diese Böden wirkungsvoll zu schützen und standortgerecht und schonend zu bewirtschaften, muss bekannt sein, wo die geeigneten Böden liegen und auf welche Einwirkungen sie empfindlich reagieren.

Wenn man den Verfassungsaufträgen aus den Bereichen Umweltschutz (Art. 74 BV), Raumplanung (Art. 75 BV), Wasser (Art. 76 BV), Wald (Art. 77 BV) sowie Natur- und Heimatschutz (Art. 78 BV) gerecht werden und die darauf basierenden Gesetze wirkungsvoll vollziehen will, sind verlässliche Bodeninformationen unverzichtbar: Detaillierte Bodeninformationen werden beispielsweise benötigt, um Naturgefahren wie Hochwasser oder Hangrutsche vorherzusagen und darauf basierend präventive Massnahmen vorzusehen (Art. 13 des Bundesgesetzes vom 21. Juni 1991 über den Wasserbau [SR 721.100]) oder die Baumartenwahl im Wirtschafts- oder Schutzwald zu treffen (Art. 20 und 33 des Waldgesetzes vom 4. Oktober 1991 [WaG; SR 921.0]). Der Wasserhaushalt von Mooren ist entscheidend für den Erhalt der Moore; diese tragen auch für die Festsetzung von Treibhausgasen bei. Bei vielen dieser Aufgaben gilt: Bei sorgfältiger und standorttypischer Nutzung erbringt der Boden wertvolle Ökosystemleistungen. Andererseits hat ein falscher Umgang mit Boden langfristig schwerwiegende ökologische und wirtschaftliche Folgen.

Gestützt auf Artikel 43a Absätze 2 und 3 BV i.V.m. Artikel 74 BV (Umweltschutz), Artikel 75 BV (Raumplanung), Artikel 104 BV (Landwirtschaft), Artikel 76 BV (Gewässerschutz), Artikel 77 BV (Wald) sowie Artikel 78 BV (Natur- und Heimatschutz) ist eine schweizweite Bodenkartierung von Bund und Kantonen gemeinsam zu finanzieren (siehe Kapitel 4): Nutzniesser sind neben den staatlichen Behörden auf Bundes- und Kantonsstufe auch alle Privatpersonen, die in den genannten Sachgebieten tätig sind. Der Aufgabenbereich lässt sich verfassungsrechtlich weder eindeutig dem Bund noch den Kantonen zuweisen.

Das Umweltschutzgesetz vom 7. Oktober 1983 (USG; SR 814.01) bildet in den Artikeln 33 – 35 eine Rechtsgrundlage für die Massnahmen zum Bodenschutz und für die Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo; SR 814.12). Das Bereitstellen von Bodeninformationen wird zwar nicht explizit aufgeführt, ist aber eine der für den Vollzug benötigten fachlichen Grundlagen. Artikel 4 Absatz 2 VBBo besagt: «Das BAFU sorgt in Zusammenarbeit mit dem BLW für die Beschaffung der fachlichen Grundlagen, die für die Überwachung der Bodenbelastung nötig sind, und berät die Kantone». Ausserdem muss der Bund gemäss Artikel 10f USG alle vier Jahre den Zustand der Umwelt in der Schweiz beurteilen und Bericht erstatten sowie gemäss Artikel 10e USG die Umweltinformationen möglichst als offene, digitale Datensätze zur Verfügung stellen. Um Bodenbelastungen erkennen, beurteilen und vermeiden zu können, ist die Kenntnis der lokalen Eigenschaften und Empfindlichkeiten der Böden eine wichtige Grundlage.

Auch der Vollzug weiterer Gesetze - namentlich des Raumplanungsgesetzes vom 22. Juni 1979 (RPG; SR 700, Art. 3, Art. 15 und 16), des WaG, des Gewässerschutzgesetzes vom 24. Januar 1991 (GSchG; SR 814.20, Art. 27) und des Landwirtschaftsgesetzes vom 29. April 1998 (LwG; SR 910.1) - ist auf das Vorhandensein präziser Bodeninformationen angewiesen. Rechtlich bereits explizit geregelt ist insbesondere die Erhebung der Fruchtfolgeflächen (FFF). Gemäss Artikel 28 der Raumplanungsverordnung vom 28. Juni 2000 (RPV; SR 700.1) sind die Kantone verpflichtet, Lage und Qualität dieser Flächen kartografisch zu erheben. Vorgaben zur Sicherung dieser Flächen sind im Sachplan Fruchtfolgeflächen festgehalten. Laut Sachplan sind für die Bezeichnung von FFF verlässliche Bodeninformationen, die mittels Bodenkartierungen erhoben werden, eine wichtige Grundlage. Im Sachplan wird daher gefordert, dass die kantonalen FFF-Inventare auf der Basis von verlässlichen Bodendaten erstellt werden müssen; definiert werden sowohl Vorgaben für die Bodenkarten als auch die qualitativen Mindestanforderungen (Qualitätskriterien), die bei einer Neuerhebung von FFF sowie bei Rekultivierungen und Aufwertungen zu einer FFF erfüllt sein müssen (Sachplan FFF, 2020, Grundsätze G5 und G6). Die Geschäftsprüfungskommission des Nationalrates (GPK-N) hat sich 2021 erneut mit dem Stand des Kul-

turlandschutzes befasst.<sup>2</sup> Dabei stellte sie u.a. fest, dass der Bund immer noch nicht über verlässliche Daten zur tatsächlichen Qualität der FFF in den Kantonen verfüge. Die GPK-N bedauert, dass Verbesserungen in diesem Bereich nicht schon früher ergriffen wurden. Deshalb fordert sie den Bundesrat auf, seine diesbezüglichen Bemühungen zu verstärken.

## 2.2 Nutzen einer landesweiten Bodenkartierung

Der Boden kann nur nachhaltig genutzt werden, wenn Bodeninformationen vorhanden sind, d. h., wenn er systematisch untersucht, sein Zustand, seine Empfindlichkeiten und Funktionen dokumentiert sowie darauf aufbauend zielgruppengerechte kartographische Produkte erstellt und zur Verfügung gestellt werden. Eine zentrale und dringende Voraussetzung dafür sind harmonisierte und schweizweit verfügbare Bodeninformationen, mit welchen verschiedenste Themen verständlich aufgezeigt werden können. Diese Karten umfassen Bodenparameter (z. B. pH), Bodentypen (z. B. Braunerde), Bodenfunktionen (z. B. Lebensraumfunktion) und viele spezifische Themen wie Verdichtungsempfindlichkeit, Wasserspeicherkapazität, etc. Davon profitiert eine Vielzahl verschiedener Akteure, wie die Erkenntnisse aus der Evaluation kantonaler Bodenkartierungen (Interface 2021) belegen.

**Landwirtschaft:** Eine detaillierte Bodenkarte hilft der Landwirtschaft sich den standörtlichen Gegebenheiten anzupassen und damit nachhaltiger zu produzieren und Produktionseinbussen zu verhindern. Basierend auf Bodendaten können beispielsweise Kulturen dort angepflanzt werden, wo für ihr Wachstum die geeignetsten Nährstoffe verfügbar sind. Gleichzeitig kann die Düngung individuell an die Bedürfnisse und Aufnahmefähigkeit des Bodens angepasst werden und so dazu beitragen, dass insgesamt weniger Dünger ausgebracht wird und somit Umweltbelastungen reduziert und Kosten eingespart werden können. Mit Karten zur Verdichtungsempfindlichkeit, wie sie beispielsweise der Kanton Solothurn erstellt hat, können Landwirten konkrete Empfehlungen gemacht werden, wie Gebiete standortangepasst bewirtschaftet und inwieweit diese mit schwerem Gerät befahren werden können. Damit lässt sich die Produktionsfähigkeit des Bodens langfristig erhalten. Eine Bodenkarte trägt auch dazu bei, die Landwirtschaft gegen den Klimawandel zu rüsten. Durch die prognostizierte vermehrte Sommertrockenheit wird die Bedeutung einer effizienten Nutzung der knappen Ressource Wasser bei der Bewässerung deutlich zunehmen. Detaillierte Informationen zur Wasserspeicher- und -aufnahmefähigkeit der Böden tragen massgeblich dazu bei, dieses Ziel zu erreichen. Andererseits helfen Bodendaten auch beim Umgang mit starken Niederschlägen. Darüber hinaus kann die Sanierung von Drainage-Systemen zur Entwässerung deutlich günstiger realisiert werden, wenn der durch die Bodenkarte bekannte Wasserhaushalt des Bodens berücksichtigt wird.

**Raumplanung:** Mit einer Bodenfunktionskarte könnten Bauten oder Bauzonen gezielter auf Gebiete mit weniger wertvollen Bodenfunktionen<sup>3</sup> gelenkt werden. Damit liessen sich negative Effekte der Bodenversiegelung vermindern und wichtige Bodenfunktionen langfristig erhalten. Instrumente im Bereich Raumplanung könnten in Zukunft auf Bodendaten basieren, um damit zusätzliche Anreize für bodenschonendes Bauen zu setzen. Im Kanton Zürich, der bereits über grossflächige Bodenkarten verfügt, fliessen schon heute Bodeninformationen in raumplanerische Entscheide ein. Ganz spezifisch zeigt sich die Wichtigkeit von Bodendaten beim Schutz von FFF. Ein effektiver Schutz der fruchtbarsten Landwirtschaftsböden – wie im Sachplan FFF vorgesehen – ist nur möglich, wenn Informationen über Bodenfunktionen verfügbar sind. Ein zielführender Schutz der tatsächlich wertvollsten Landwirtschaftsflächen des Landes ist nur mit einer schweizweit einheitlichen Bodenkarte möglich und stärkt langfristig die Ernährungssicherheit der Schweiz. Die monetäre Grösse dieses Effekts lässt sich zwar kaum abschätzen, das Interesse scheint aber gross: Bei einer Befragung unter acht Kantonen wurde die FFF-Erhebung und deren Kompensation als wichtiges Argument für die Durchführung einer Bodenkartierung genannt.

**Naturschutz:** Für den Aufbau der Ökologischen Infrastruktur und den Erhalt der Artenvielfalt können Bodendaten ebenfalls einen wichtigen Beitrag leisten. Sie ermöglichen, Gebiete zu identifizieren (z. B. ehemalige Moorböden, sehr skelettreiche Böden), welche mit einer hohen Priorität dem Erhalt der Artenvielfalt gewidmet werden könnten. Zudem können Bodendaten hinzugezogen werden um ökolo-

<sup>2</sup> Bericht der Geschäftsprüfungskommission des Nationalrates vom 10. September 2021: Nachkontrolle zur Inspektion «Sicherung landwirtschaftlichen Kulturlandes». Siehe: <https://www.parlament.ch/centers/documents/de/bericht-gpk-n-10-09-2021-d.pdf>

<sup>3</sup> Der Begriff Bodenfunktionen umschreibt die Fähigkeiten des Bodens, Leistungen für Mensch und Umwelt zu erbringen.

gisch ausreichende Pufferzonen auszuscheiden, indem sie wichtige Hinweise liefern, wie stark der Boden zum Beispiel als Nährstoffpuffer dienen kann.

**Klimawandel:** Auch bei der Bekämpfung des Klimawandels können Bodendaten eine wichtige Rolle spielen: Da der genaue Kohlenstoffgehalt je nach Gebiet unterschiedlich ist, liessen sich Standorte mit sehr hohen und empfindlichen Kohlenstoffvorräten identifizieren. Durch eine daran angepasste Nutzung könnte der CO<sub>2</sub>-Ausstoss deutlich reduziert werden. Weiter erlauben detaillierte Informationen zu den physikalischen und chemischen Bodeneigenschaften von Waldböden eine bessere Anpassung der Wälder an den Klimawandel, insbesondere durch eine standortgerechte Förderung von Baumarten, die besser mit Trockenheit und hohen Temperaturen umgehen können. Weiterer Nutzen dieser Daten ergibt sich durch die Prävention von Naturgefahren und Vorhersagen im Ereignisfall. Je nach Beschaffenheit und Nutzung der Böden können diese beispielsweise unterschiedlich viel Wasser aufnehmen. Dieses Wissen ist entscheidend für die hydrologische Modellierung und somit den Hochwasserschutz und die Vermeidung von Rutschungen und Murgängen. Mit einer schweizweiten Bodenkarte könnten entsprechende Gefahrengelände genauer definiert und Sicherungsmassnahmen zielgerichteter erstellt werden. Gleichzeitig könnten sehr leistungsfähige Wasserspeicher besser vor Versiegelung oder Verdichtung geschützt werden und so Ausgaben für teure Schutzmassnahmen sogar ganz vermieden werden.

**Gewässerschutz und Trinkwasserversorgung:** Der Boden ist ein sehr effizienter und wirksamer Filter. In der Schweiz soll Grund- und Quellwasser ohne weitere Behandlung ins Trinkwassernetz eingespiessen werden können (Art. 27 GSchG). Das bedingt eine Bodennutzung, welche die Gewässer nicht beeinträchtigt, sodass der Boden Schadstoffe zum grossen Teil herausfiltern kann. Eine schweizweite Bodenkartierung liefert eine wichtige Grundlage, um die natürliche Filterleistung des Bodens langfristig zu erhalten und standortspezifisch zu nutzen. Aus den erhobenen Bodendaten können beispielsweise Karten zu Filter- und Pufferfunktionen der jeweiligen Gebiete generiert und beispielsweise der Einsatz von Pestiziden in der Landwirtschaft besser auf die natürliche Filterleistung des Bodens abgestimmt werden. Gemäss einer Schätzung liessen sich dadurch die Einträge von Nähr- und Schadstoffen ins Grund- und Quellwasser um mindestens 10-15 % senken. Damit liessen sich jedes Jahr 7-10 Mio. Franken für die Trinkwasseraufbereitung sparen.

**Wald:** Der Waldboden hat sehr wichtige Bodenfunktionen, die für Hochwasserprävention, Klimaanpassung, Treibhausgasspeicherung und Erosionsschutz relevant sind. Waldböden sind teilweise anderen Gefährdungen ausgesetzt als Landwirtschaftsböden. Die Bodenverdichtung wird auf einem kleineren Flächenanteil erwartet, da die Befahrung mit schweren Maschinen zur Holzernte teilweise im Winter, bei gefrorenen und damit tragfähigeren Böden stattfindet. Die Bodenkartierung kann verdichtungsempfindliche Waldböden identifizieren und damit eine Kartengrundlage für die Forstdienste liefern. Hingegen sind 95 % der Waldböden durch erhöhte Stickstoffeinträge belastet. Dadurch wird die natürlich auftretende Bodenversauerung deutlich verstärkt. Die Versauerung reduziert die Verfügbarkeit von Nährstoffen, setzt Aluminium-Ionen frei, die für Pflanzenwurzeln toxisch sind und verschlechtert die Lebensbedingungen für Bodenorganismen, wie z. B. Regenwürmer. Die Bodenkartierung verbessert die Datengrundlage zur Gefährdung der terrestrischen Biodiversität. Zudem erlauben detaillierte Informationen zur Bodenbeschaffenheit von Waldgebieten eine zielgerichtete Artenauswahl bei neu gepflanzten Bäumen und helfen so mit, dass Wälder – ebenfalls wichtige CO<sub>2</sub>-Speicher – besser an den Klimawandel angepasst werden können.

Eine konkrete, **quantitative Abschätzung des Nutzens** einer schweizweiten Bodenkartierung wurde im Rahmen des NFP-68 «Nachhaltige Ressource Boden» (Teilsynthese 4) durchgeführt. Der Mehrwert von Bodeninformationen wurde in zehn verschiedenen Anwendungsbeispielen abgeschätzt. Analysiert wurden beispielsweise geringere Baukosten für Drainagen, Ersparnisse beim Düngereinsatz und der Ertragsverlust bei Getreide aufgrund verdichteter Böden. Je nach Bewertungsansätzen ergab sich daraus ein berechneter Mehrwert aus Bodeninformationen von 55 bis 132 Mio. CHF pro Jahr. Es gilt jedoch zu beachten, dass ein grosser Anteil des Nutzens der Bodenkartierung indirekt erfolgt, beispielsweise durch einen Beitrag zum Erhalt der Artenvielfalt und der Ernährungssicherheit. Obwohl diese Elemente zentral für den Wohlstand zukünftiger Generationen sind, ist es schwierig, ihnen einen direkten monetären Wert zuzuordnen. Stellt man nun dem aus einer Auswahl von Anwendungsbeispielen

len errechneten Mehrwert die Kosten einer schweizweiten Bodenkartierung gegenüber, ergibt sich ein sehr gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis (siehe Kapitel 4.4 sowie Anhang 2). Bezieht man zusätzlich die zahlreichen indirekten positiven Effekte mit ein, steigt der langfristige Nutzen nochmals erheblich. Die verschiedenen Analysen zeigen deutlich, dass jeder für die Bodenkartierung eingesetzte Franken sich langfristig um ein Vielfaches auszahlen wird.

### 2.3 Bodeninformation in der Schweiz

Bodeninformationen beschreiben Lage, Aufbau und die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften der Böden, ihre Qualität und Nutzungseignung und somit ihre Vielfältigkeit. Sie können nur durch Bodenkartierungen einheitlich erhoben und bereitgestellt werden. Valide und flächendeckende Bodeninformationen sind für Bund, Kantone und Gemeinden unerlässlich, um Nutzungsansprüche effizient zu steuern. Für die FFF werden gemäss Artikel 28 Absatz 2 RPV solche Informationen verlangt.

Ab 1953 kümmerte sich der Bund mit dem Bodenkartierdienst an der Agroscope um die Kartierung der Böden der Schweiz. Nach dessen Aufhebung aufgrund von Sparmassnahmen im Jahre 1996 fuhr jedoch nur eine Minderheit der Kantone fort, ihre Böden zu kartieren und dies zum Teil mit unterschiedlichen Methoden. In der Schweiz fehlen deshalb flächendeckende Bodeninformationen bisher weitestgehend (Borer und Knecht, 2014, Nussbaum et al. 2018, Rehbein et al. 2019). Mit der Studie von Rehbein et al. (2019) wurde ein umfassender Wissensstand über vorhandene Bodenkarten der Schweiz erarbeitet. Grossflächige Detail-Bodenkartierungen wurden vor allem in den Kantonen BL, BS, LU, SO, VD, ZG und ZH durchgeführt. Diese Erhebungen und Erfahrungen sind für die gesamtschweizerische Kartierung sehr wertvoll. Im Weiteren wurden einige Flächen der Kantone AG, AI, BE, GL und JU im Rahmen von Projekten zur Ausweisung der FFF und zu Meliorationsprojekten kartiert (Übersicht kantonale Kartierungen im Anhang 1).

Qualitativ weisen die existierenden Bodenkarten, aufgrund des langen Entstehungszeitraumes von 1950 bis heute, grosse Unterschiede hinsichtlich Methode, Detaillierungsgrad und Aufnahmemassstab auf. Insgesamt liegen nach Rehbein et al. (2019) nur für rund 13 % (127'000 ha) der landwirtschaftlichen Nutzfläche der Schweiz (1.05 Mio. ha) Bodenkarten in guter Qualität und Auflösung vor, und nur für 4.1 % der gesamten Schweizer Bodenfläche von 30'600 km<sup>2</sup>. Bezüglich der noch zu kartierenden Fläche verweisen die Autoren auf den kleinen Kartierumfang der letzten zwei Jahrzehnte von lediglich 2'400 ha pro Jahr, was weniger als 1 Promille der verbleibenden Fläche entspricht. Bei gleichbleibender Kartiergeschwindigkeit würde es mehrere Hundert Jahre dauern, bis eine flächendeckende Bodenkarte der Schweiz vorliegen würde. Für eine vollständige Kartierung der Böden der Schweiz mit der gegenwärtigen Kartiermethodik und dem Zielmassstab 1:5 000 beliefen sich die Gesamtkosten auf über 1.4 Milliarden CHF (Borer und Knecht 2014, Carrizoni et al. 2017). Mit der Anwendung neuer Kartiermethoden können die Kosten stark und die Zeitdauer auf ca. 2-3 Dekaden reduziert werden (vgl. Kapitel 3 und 4.4).

Verglichen mit anderen Ländern mit ähnlicher Fläche hat die Schweiz grosse Lücken in der detaillierten Bodeninformation. Landesweit liegt aktuell nur eine Übersichtsbodeneignungskarte im Massstab 1:200 000 vor (Nussbaum et al. 2018), während in anderen Ländern detailliertere Karten zur Verfügung stehen. In Osteuropa wurden mehrheitlich in den Jahren 1950–1990 Bodenkarten im Massstab 1:5 000–1:10 000 aufgenommen. In Westeuropa führten Belgien und Österreich flächendeckende Kartierungen im Massstab 1:20 000 bzw. 1:25 000, sowie Deutschland und die Niederlande im Massstab 1:50 000 (EU Soil Atlas, 2005) durch. Während ungefähr der letzten zehn Jahre wurden in 16 der 38 betrachteten Länder Bodenkarten neu erstellt oder bestehende Kartenwerke aktualisiert. In einem Drittel der Länder wurden statistische Methoden (Bodenmodellierung, Digital Soil Mapping) zur Erstellung der Karten verwendet – diese neuen und günstigeren Methoden werden auch im vorliegenden Konzept zur Verwendung empfohlen.

### 3 Methodik der schweizweiten Bodenkartierung

#### 3.1 Kartieransatz

Das Kompetenzzentrum Boden (KOBO) hat in Zusammenarbeit mit Experten einen Kartieransatz für eine flächendeckende Bodenkartierung der Schweiz entwickelt (Behrens et al. 2021). Der vorgeschlagene Ansatz zielt auf eine einheitliche Erhebung von Bodeneigenschaften für fast alle Böden der Schweiz ab. Diese Böden entsprechen einer Gesamtfläche von 30'600 km<sup>2</sup> und umfassen alle Landwirtschafts- und Waldböden, Böden von Naturschutzgebieten sowie ungenutzte Böden (ausgenommen Permafrost- und Felsböden). Siedlungsböden (z.B. Privatgärten, Pärke, Grünanlagen, Verkehrsinfrastrukturböden) werden im Konzept als eine mögliche Erweiterung berücksichtigt. Für diese ist eine angepasste Vorgehensweise für die Kartierung erforderlich. Unter Boden wird der A- und B-Horizont sowie Teile des C-Horizontes verstanden (gemäss Abbildung 2 «Systemgrenze der Bodenstrategie» in der Bodenstrategie Schweiz). Die Bodenkartierung grenzt sich deshalb klar von der geologischen Kartierung ab.

Der vorgesehene Ansatz fokussiert auf eine grossflächige, standardisierte Kartierung der Schweizer Böden mithilfe eines ganzheitlichen Vorgehens. Dabei werden bewährte Elemente der heutigen Feldkartierung mit neuen technischen und digitalen Methoden kombiniert. Der neue Kartieransatz ergänzt die heutige feldbodenkundliche Aufnahme mit geophysikalischen Naherkundungsmethoden, neuen Analysemethoden im Labor und Feld, Zeitreihenanalysen von Fernerkundungsdaten und dem Einsatz von datenwissenschaftlichen Methoden aus dem Bereich des maschinellen Lernens (McBratney et al. 2003; Behrens 2018c; Ma et al. 2019). Die feldbodenkundliche Kartierung mit der Beschreibung von Bodenprofilen und Feldbohrungen bleibt erhalten, jedoch kann aufgrund von Skalierungseffekten die Anzahl der aufwändigen Bodenprofile und Feldbohrungen reduziert werden. Gegenüber der gegenwärtigen Bodenkartierung, die primär auf landwirtschaftliche Fragestellungen abzielt, wird das Spektrum an Produkten auch für die in Kapitel 2.2 genannten Themengebiete und Nutzergruppen erweitert. Im Ergebnis liefert der vorgeschlagene Kartieransatz somit neben einer Bodenkarte eine Fülle an flächendeckenden und unklassifizierten Bodeneigenschaftsinformationen und anwendungsbezogenen Grundlagenkarten. Diese stehen mit grosser Genauigkeit für nutzerspezifische Auswertungen und Produkte, zum Beispiel Karten zu Wasserspeicherkapazität, Bodenverdichtungsempfindlichkeit etc., zur Verfügung und können im Sinne einer Versionierung regelmässig aktualisiert werden. Die horizontale räumliche Auflösung soll durchschnittlich dem Massstab 1:5 000 der bisherigen Bodenkartierungen im Mittelland entsprechen, wobei für Waldböden und schwieriger zugängliche Böden (z. B. alpine Böden) eine weniger genaue Auflösung möglich sein soll. Die vertikale Tiefeninformation wird gegenüber dem heutigen Zweischichtmodell (nur Ober- und Unterboden) detaillierter sein. Damit können die vielfältigen gesetzlichen und praktischen Anforderungen gemäss Kapitel 2 effizient erfüllt werden, insbesondere die Bewertung der vielfältigen Bodenfunktionen.

Die zukünftige standardisierte schweizweite Bodenkartierung baut auf dem gegenwärtigen nationalen Standard für die Erhebung am Profil und an Bohrungen auf. Kantone, die über aktuelle Bodenkarten verfügen und solche, die zurzeit Böden kartieren, können ihre Bodenkartierungen gemäss dem aktuellen Standard fortsetzen. Methodische Anpassungen bei kantonalen Kartierungen, die den neuen Kartieransatz berücksichtigen, sollten in Absprache mit dem Bund erfolgen. Damit wird die Kontinuität der laufenden Bodenkartierungen in den Kantonen gewährleistet.

Die Bodenkartierung soll in drei Phasen operativ umgesetzt werden (Behrens et al. 2021). In der **Phase 0 (Vorbereitungsphase)** sind verschiedene Vorbereitungsarbeiten vorgesehen, insbesondere die Anpassung der Rechtsgrundlagen, die Finanzierungsbeschlüsse sowie fachliche Vorabklärungen zur Proben- und Datenlogistik, zu technischen Operationalisierungen, zum Aufbau der Laborkapazitäten und zu den WTO-Ausschreibungen für die Feldbodenkartierung. Diese Vorarbeiten dauern etwa 5 Jahre (2024 - 2028, siehe Kapitel 4.7). Mit den Parlamentsbeschlüssen zu den Rechtsanpassungen und den notwendigen Mitteln kann mit der **Phase 1 (Ausführung)** die eigentliche Kartierarbeit beginnen. **Phase 2 (Nachbereitung)** ist der Nachbearbeitung und Validierung gewidmet sowie der Erstellung weiterer Auswertungsprodukte, wie z. B. Anwendungskarten. Die Phasen 1 und 2 können regional unterschiedlich lange dauern. Die flächendeckende Kartierung der Schweizer Böden (Phase 1 und 2) wird etwa 20 Jahre dauern, wobei Bodenkarten laufend zur Verfügung stehen werden. Eine zeitli-

che Priorisierung ist möglich, d. h. Karten von Gebieten mit hohem Nutzungsdruck (z. B. im Mittelland) können früher zur Verfügung stehen. In Absprache mit den Kantonen wird in der Vorbereitungsphase eine solche Priorisierung erarbeitet. Gegen Ende der Phase 1 (Ausführung) wird ein stufenweises Zurückfahren der Erhebungsaktivitäten eingeleitet. Damit reduziert sich der projektbezogene Personalaufwand laufend. Je nach Bedürfnissen der unterschiedlichen Nutzergruppen können die Daten anschliessend noch unterschiedlich aufbereitet und zur Verfügung gestellt werden. Für die Nachführung der Karten- und Datenprodukte müssen nach Beendigung des Projekts jedoch weiterhin Ressourcen zur Verfügung stehen.

### **3.2 Vorgehensschritte der Bodenkartierung**

Die Bodenkartierung läuft in sechs Schritten ab (Abbildung 1):

1. Aufarbeitung von Umwelt- und Geodaten
2. Erstellen der Konzeptkarte inkl. Beprobungsplan
3. Feldbodenkartierung und Sensormessungen
4. Labormessungen
5. Kartenerstellung
6. Auswertung und Produkterstellung

Nachfolgend werden diese sechs Schritte kurz beschrieben.



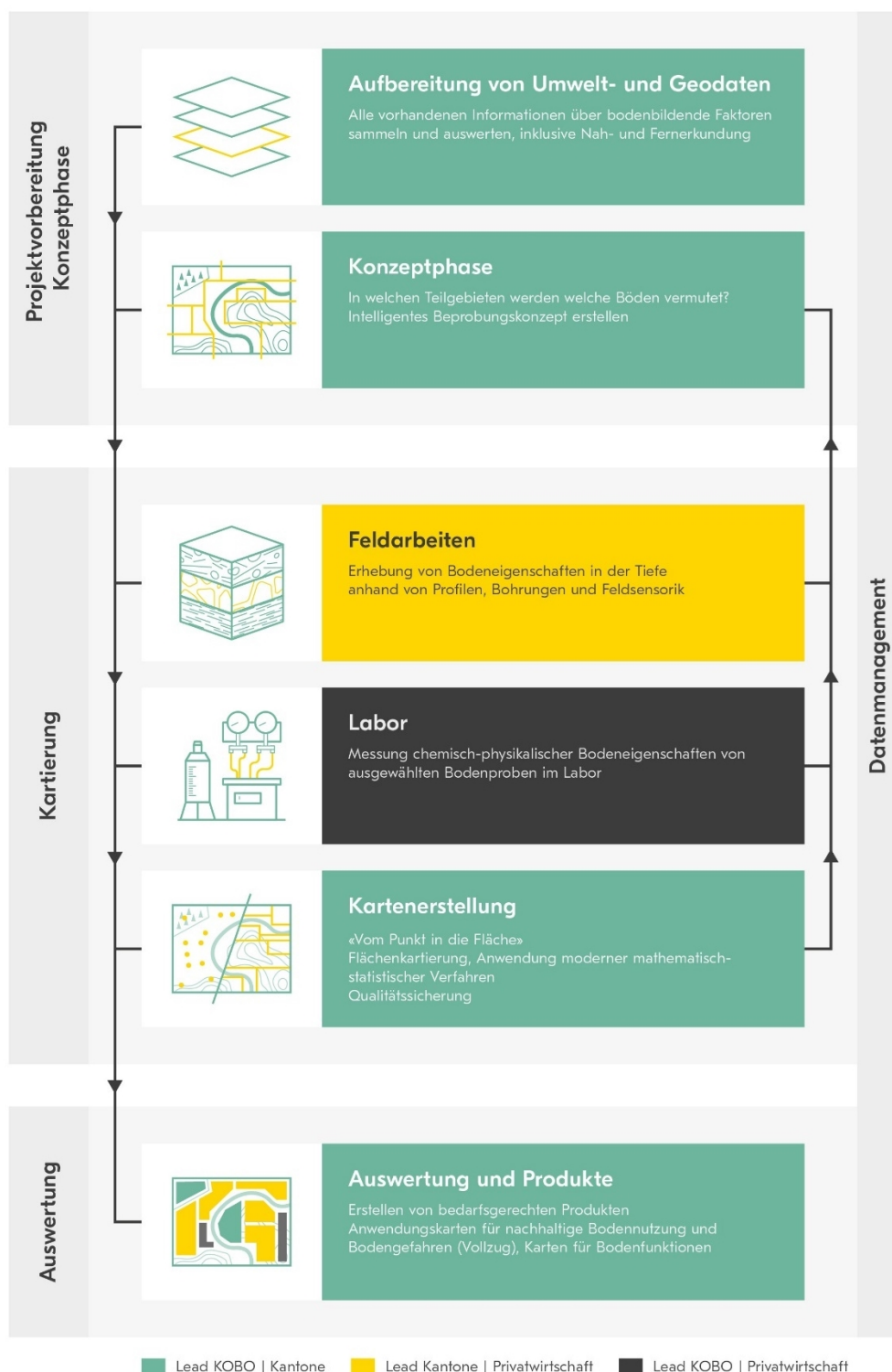


Abbildung 1: Grundsätzlicher Ablauf und Arbeitsschritte der schweizweiten Bodenkartierung (vereinfachte Darstellung). Das Vorgehen von der Konzeptphase bis zur Kartenerstellung kann angepasst an die Region iterativ und flexibel gestaltet werden.

In **Schritt 1** werden **alle verfügbaren Umwelt- und Geodaten zusammengetragen**, die einen Bezug zur Bodenbildung und zu den Bodeneigenschaften haben. In der Schweiz bestehen dazu sehr gute Datensätze, insbesondere das Höhenmodell der Swisstopo sowie Datensätze der Landsat- und Sentinel-Satelliten. Klima-, Vegetations- und geologische Datensätze und viele weitere Grundlagedaten werden zusammengetragen, wie auch die bestehenden Bodendaten von Bund und Kantonen (siehe Anhang 1). Zusammen mit den Kenntnissen zur aktuellen Nutzung der Böden werden in **Schritt 2** die Daten aus Schritt 1 zu einer Hypothesen- oder **Konzeptkarte** verarbeitet. Diese Karte weist kan-

tonsübergreifende Bodenzonen mit vermuteter ähnlicher Bodenbildung auf. Daher soll aus Effizienzgründen die Kartierung nicht an der Kantonsgrenzen aufhören, sondern ganze Bodenzonen umfassen, die kantonsübergreifend sein können. Aus dieser erstellten Konzeptkarte wird ein Beprobungsplan für die **Feldbodenkartierung** in *Schritt 3* erstellt. Die schätzungsweise 16 bis 18 gleichzeitig arbeitenden Feldkartierteams werden, gemäss der Konzeptkarte und dem Beprobungsplan, an den identifizierten Stellen Bodenproben ziehen (für die anschliessende Messung im Labor) oder direkt vor Ort bestimmte Bodeneigenschaften messen (siehe Abbildung 2). Die Feldkartierteams sollten nach Möglichkeit die im Beprobungsplan aufgeführten Standorte beproben, können aber aufgrund der lokalen Gegebenheiten und aufgrund ihrer fachlichen Beurteilung auch eigene Probenahmepunkte bestimmen. Dabei wird ein durchschnittliches Verhältnis von 2:1 angestrebt (Anzahl der von der Modellierung vorgegebenen Punkte zur Anzahl der durch das Kartierteam wählbaren Punkte). Wie im nächsten Kapitel ausgeführt, werden je nach Bodennutzung unterschiedlich viele Standorte beprobt. Die gezogenen Bodenproben und die gemessenen Daten werden ins Labor übermittelt. Dort werden in *Schritt 4* bestimmte **Laboranalysen** sofort durchgeführt, damit eine umgehende Rückmeldung ans Kartierteam vor Ort erfolgen kann. Diese schnelle Rückmeldung ist essentiell für die Qualitätssicherung und für die Möglichkeit, flexibel auf Unvorhergesehenes reagieren zu können. Vertiefte Laboranalysen werden erst später vorgenommen, insbesondere während der Winterzeit, da aufgrund der gefrorenen Böden weniger Feldarbeiten stattfinden können. Dies garantiert eine optimale Ausschöpfung der Ressourcen während eines ganzen Jahres. Ausgehend von den Resultaten des Labors und der Feldkartierung wird in *Schritt 5*, die digitale **Bodenkarte** erstellt. Darin sind Polygone mit gleichen Bodeneigenschaften dargestellt. Diese Bodenkarte sowie der dahinterstehende Bodendatensatz bilden die Grundlage, damit in *Schritt 6* weitere **Auswertungen**, z. B. die Beurteilung der Bodenfunktionen, sowie **Anwendungskarten** erstellt werden können. Anwendungskarten können z. B. die Bodenverdichtungsempfindlichkeit darstellen, welche den Landwirten und landwirtschaftlichen Beratungsdiensten wertvolle Hinweise geben, wie die Bodenfruchtbarkeit erhalten werden kann. Für alle in Kapitel 2.2 aufgeführten Bereiche sind Produkte und Anwendungskarten konzipiert, um einen grösstmöglichen Nutzen aus der Bodenkartierung ziehen zu können. Diese Anwendungskarten sollen, zusammen mit der Bodenkarte und dem Bodendatensatz, entsprechend der Regelungen zum Zugang zu Umweltinformationen (Art. 10e USG), der Open Government Data Strategie des Bundes<sup>4</sup> und der ratifizierten Aarhus-Konvention<sup>5</sup> frei zugänglich sein.

### 3.3 Effiziente Methoden für Feldarbeiten und Labor

Mit der neuen Bodenkartierungsmethode wird eine Vielzahl von Fernerkundungsinformationen genutzt. Fortschritte in der Digitalisierung, der Bodenmodellierung, der Verfügbarkeit digitaler Grundlagen (u.a. hoch aufgelöste Höhenmodelle) und international etablierte, aber bisher in der Schweiz noch nicht benutzte Messmethoden, sowie eine enge Verzahnung aller in Kapitel 3.2 erwähnten Prozessschritte führen zu grossen Effizienzsteigerungen gegenüber den heute durchgeführten Bodenkartierungen.

Bevor im Feld Bodenproben gezogen werden können, muss, wie im Kapitel 3.2 aufgeführt, eine Konzeptkarte und ein Beprobungsplan erstellt werden. Aufgrund Auswertungen der Landsat-Datenreihen seit 1985 können Bodenzonen identifiziert werden, die gleiche oder ähnliche Mineralogie aufweisen und somit eine ähnliche Bodenbildung durchliefen. Die Satellitendaten sind für direkte bodenkundliche Ableitungen aber nur nutzbar, wenn der Boden keine Pflanzendecke hat, was nur bei Ackerflächen zwischenzeitlich der Fall ist. Die Landsat-Daten sind trotz einer Auflösung von nur 30 x 30 m, für die Bodenkartierung bereits nützlich. Das Potential der neuen Sentinel-Satelliten des Copernicus-Programms wird geprüft – die Problematik des Pflanzenbewuchses kann aber nicht aufgehoben werden. Phänologische und bodenkundliche relevante Ableitungen aus Satellitendaten sind jedoch auch für Grünland möglich.

Mit einem vorliegenden Beprobungsplan können die Feldteams die Feldbodenkartierung starten. Für eine neue schweizweite Kartierung in der Schweiz sind folgende fünf Messnetze der Feldbeprobung vorgesehen:

<sup>4</sup> OGD-Strategie des Bundes: <https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2019/125/de>

<sup>5</sup> Aarhus-Konvention: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/recht/fachinformationen/aarhus-konvention.html>

1. Feldsensorik I: gammaspektroskopische Feldmessungen<sup>6</sup>
2. Feldsensorik II: vis-NIR spektroskopische Messungen<sup>7</sup>
3. Bohrungen I: Labormessungen
4. Bohrungen II: pedologische Beschreibung
5. Profil: Bodenkundliche Beschreibungen des Profils

Die Messnetze unterscheiden sich nach Aufwand und räumlicher Dichte: Die aufwändige Profilbeschreibung<sup>8</sup> wird nur für ca. 4-7 Punkte pro 100 ha gemacht, während die einfach durchzuführende Feldsensorik viel engmaschiger und somit an viel mehr Punkten angewendet wird. Die fünf Messnetze sind ausserdem hierarchisch organisiert, d. h., dass bei den aufwändigeren Erhebungen gleichzeitig auch die weniger aufwändigen durchgeführt werden. Somit werden zum Beispiel bei einem Probenahmestandort des Typs «Bohrungen I» auch die beiden spektroskopischen Erhebungen Feldsensorik I und II durchgeführt. Bei einer Profilbeschreibung werden ebenfalls alle vier anderen Messungen durchgeführt. Abbildung 2 zeigt diese Messnetzhierarchie am Beispiel eines Ausschnitts einer Schweizer Gemeinde.

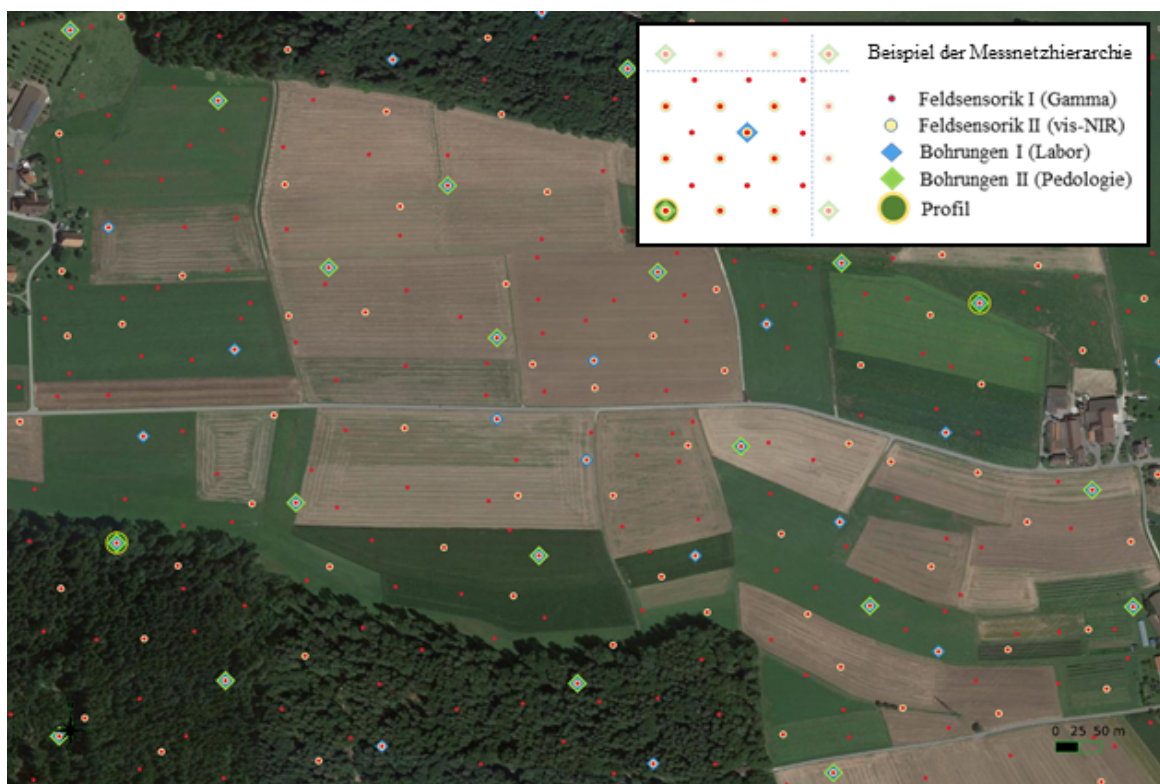


Abbildung 2: Schema und Beispiel für den vorgeschlagenen hierarchischen Kartier- und Messansatz für eine schweizweite Kartierung. Profile und Bohrungen (heutiger Standard) werden um Laborproben aus Bohrungen und mit Feldsensorik erweitert. Die Standortkoordinaten werden im Beprobungsplan als Resultat der Konzeptkarte festgehalten oder durch das Kartierteam aufgrund der lokalen Verhältnisse bestimmt.

Die Feldsensorik dient der indirekten Messung wichtiger Bodeneigenschaften welche im Labor unter höherem Aufwand gemessen werden müssten. Daraus ergibt sich eine deutliche Effizienzsteigerung gegenüber der bisherigen Kartierungsmethode. Effiziente und methodisch einheitliche Laboranalysen über die gesamte Projektdauer sind entscheidend für die Erstellung einer harmonisierten schweizweiten Bodenkarte. Daher sind standardisierte Verfahren und Gerätetypen für die Bodenanalysen unabdingbar. Für die Validierung der Feldarbeiten muss zudem eine zeitnahe Koordination von Probenahme und Laboranalytik erfolgen. Idealerweise ist dazu ein spezifisches Labor für die Dauer der Bo-

<sup>6</sup> Die Gammaskopie erlaubt die indirekte Messung von Bodeneigenschaften wie z.B. Tongehalt und Mineralogie.

<sup>7</sup> Die Vis-/Near-Infrarotspektroskopie erlaubt die indirekte Messung von Bodeneigenschaften wie z.B. Kohlenstoffgehalt, pH-Wert, Textur.

<sup>8</sup> Bodenprofile beschreiben die Bodeneigenschaften (u. a. Humusgehalt, Säuregehalt, Körnung etc) in den obersten 1 – 2 m. Weitere Informationen sind u. a. auf <https://www.nabodat.ch/index.php/de/service/kartieranleitungen> verfügbar. Siehe auch [https://www.agroscope.admin.ch/dam/agroscope/de/dokumente/themen/umwelt-ressourcen/boden-gewaesser-naehrstoffe/faszination-boden.pdf.download.pdf/Praesentation\\_Bodenkalender.pdf](https://www.agroscope.admin.ch/dam/agroscope/de/dokumente/themen/umwelt-ressourcen/boden-gewaesser-naehrstoffe/faszination-boden.pdf.download.pdf/Praesentation_Bodenkalender.pdf)

denkartierung zuständig. Ob dieses zentral durch den Bund oder durch private Anbieter betrieben werden soll, ist noch Gegenstand weiterer Abklärungen.

### 3.4 Synergien und Effizienz der Vorgehensschritte und Methoden

Die in Kap. 3.2 und 3.3 beschriebenen Vorgehensschritte und Methoden erlauben eine effiziente Kartierung der Schweizer Böden. International etablierte, aber heute in der Schweiz noch nicht angewendete feldsensorische Methoden ermöglichen eine kostengünstigere und schnellere Bestimmung wichtiger Bodeneigenschaften und das hierarchische Messnetz mit unterschiedlicher räumlicher Dichte erlaubt eine effizientere Feldbodenkartierung. Durch konsequente Digitalisierung aller Schritte ist die Nachvollziehbarkeit, die Qualitätskontrolle und die Verfügbarmachung für alle Nutzer einfacher realisierbar als bisher. Die Digitalisierung vereinfacht auch die spätere Aktualisierung und Ergänzung der Bodeninformationen durch neue Daten. So können in Zukunft Daten, welche z. B. aufgrund eines Renaturierungs-, Forschungs-, Kartierungs- oder Bauprojekts erhoben werden, leicht in die schweizweite Bodenkartierung integriert werden. Damit behalten die Bodenkarte und der dahinterliegende Bodendatensatz langfristig ihren Wert und die Anwendungskarten können 'automatisch' aktualisiert werden.

Um die beschriebene Effizienz tatsächlich zu erreichen, ist ein kantonsübergreifendes Vorgehen unabdingbar. Die Feldkartierteams müssen über Kantonsgrenzen hinweg gleichartige Bodenzonen kartieren können, damit die grösstmögliche Kostenersparnis realisiert werden kann. Die dafür nötigen organisatorischen und rechtlichen Rahmenbedingungen sind entsprechend zu gestalten, siehe Kapitel 4. Für die Validierung der Feldarbeiten muss zudem eine zeitnahe Koordination von Probennahme und Labordanalytik erfolgen. Daher ist es sinnvoll, ein spezifisches Labor zu erstellen oder zu mandatieren, welches über die gesamte Projektdauer die Proben mit harmonisierten Methoden analysiert und in einem permanenten Austausch mit den Feldteams und der datenwissenschaftlichen Auswertung im KOBO steht.

Durch das effiziente Zusammenspiel aller Vorgehensschritte gemäss Abbildung 1 kann rasch und flexibel auf Schwierigkeiten und Probleme reagiert werden. Damit wird ein hoher Standard für die Qualitätssicherung der erhobenen Bodendaten erzielt. Operativ wird die Qualitätssicherung auf verschiedenen Ebenen realisiert, einerseits auf der fachlich-methodischen Ebene und andererseits durch ein permanentes Projektcontrolling und Risikomanagement. Die Resultate der Bodenkartierung sind schnell digital verfügbar, ebenso wie die Anwendungskarten. Letztere tragen dazu bei, dass unsere Böden nachhaltig genutzt werden können und die Bodenfunktionen und die Bodenfruchtbarkeit auch für kommende Generationen verfügbar sind. Alle Interessengruppen können daher einen Nutzen aus der Schweizer Bodenkartierung ziehen.

## 4 Finanziell-organisatorische Umsetzung

### 4.1 Mögliche Varianten zur Organisation und Finanzierung

Basierend auf dem in Kapitel 3 beschriebenen Kartieransatz wurden verschiedene Varianten zur Organisation und Finanzierung einer schweizweiten Bodenkartierung erarbeitet (Ecoplan 2020):

- **Variante 1: Projekt des Bundes:** Im Sinne einer reinen Bundesaufgabe organisiert und finanziert der Bund sämtliche Aufgaben selbst. Die Ausführung erfolgt durch eine Auftragnehmerschaft, welche die Rolle eines «Generalunternehmers» einnimmt.
- **Variante 2: Gemeinsame Umsetzung und Finanzierung mit Kostenteiler Bund/Kantone («Joint Venture»):** Bund und Kantone einigen sich im Voraus auf eine zentrale Durchführung der Bodenkartierung und beauftragen gemeinsam eine Auftragnehmerschaft, die Kartierung zentral durchzuführen. Die Finanzierung wird gemeinsam von Bund und Kantonen getragen (z. B. je zur Hälfte).
- **Variante 3: Gemeinsame Umsetzung und Finanzierung mit Programmvereinbarungen:** Analog zu den Varianten 1 und 2 wird das Projekt von einer Auftragnehmerschaft koordiniert und methodisch einheitlich durchgeführt. Im Unterschied zu Variante 2 beauftragen und bezahlen die Kantone die Kartierbüros und übernehmen damit einen bedeutenden Teil der Kosten. Der Bund finanziert die zentralen Arbeitsschritte und beteiligt sich an den Kartierkosten via Programmvereinbarungen. Die

Vorgaben des Bundes sind sehr umfassend, damit das methodische Konzept einheitlich und effizient umgesetzt werden kann.

- **Variante 4: Kantonsaufgabe – Bund gibt nur Empfehlungen ab:** Die Kartierung bleibt primär Aufgabe der Kantone. Der Bund macht Empfehlungen zur Methodik und das KOBO berät die Kantone in methodischen und organisatorischen Fragen.

Die Varianten 1, 2 und 3 basieren auf dem methodischen Konzept einer neuen schweizweiten Bodenkartierung (vgl. Kapitel 3). Die Varianten enthalten allerdings unterschiedliche Finanzierungssysteme und unterschiedliche Aufgabenzuteilungen an die Kantone, was die standardisierte und effiziente Umsetzung der Methodik beeinflusst. Die Variante 4 («weiter wie bisher») würde voraussichtlich nicht dazu führen, dass eine einheitliche und schweizweite Bodenkartierung durchgeführt würde.

Wie in Kap. 2.1 ausgeführt, ist es rechtlich begründet, dass die schweizweite Bodenkartierung gemeinsam durch Bund und Kantone umgesetzt wird. Auf die beiden möglichen gemeinsamen Varianten 2 und 3 wird anschliessend im Detail eingegangen, während die beiden Bundes- und Kantonslösungen als Referenzvarianten betrachtet werden und nicht Gegenstand der Konsultation waren. Hier ist anzumerken, dass das Konzept der schweizweiten Bodenkartierung nur funktioniert, wenn der Bund bzw. das KOBO den Kantonen methodisch und auch organisatorisch sehr enge Vorgaben machen kann und gewisse Arbeitsschritte zentral durchgeführt werden (siehe Kapitel 3).

#### 4.2 Bodenkartierung als gemeinsame Umsetzung und Finanzierung

In den folgenden Abschnitten wird aufgezeigt, wie die Bodenkartierung gemeinsam umgesetzt werden kann und wie die Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen geregelt werden könnte.

**Gemeinsame Finanzierung:** Bund und Kantone finanzieren die Bodenkartierung gemeinsam. Der genaue Abgeltungsmechanismus und die Höhe der Bundesbeteiligung werden zwischen Bund und Kantonen vereinbart. Der Bund knüpft seine finanzielle Beteiligung an:

- die Teilnahme am gemeinsamen Projekt (Joint Venture oder Programmvereinbarungen),
- die Umsetzung der methodischen Vorgaben und
- die Einigung auf eine Zeitplanung, welche die zweckmässige und kostengünstige zentrale Durchführung erlaubt.

In Bezug auf Vorleistungen der Kantone ist davon auszugehen, dass die Feldkartierung ggf. effizienter durchgeführt werden kann. Bereits bestehende Bodenkarten und Profilbeschreibungen vereinfachen voraussichtlich die Kartierung der entsprechenden Böden mit der neuen Methode. Aktuell sind jedoch nur ca. 13 % der Landwirtschaftsflächen in der Schweiz bereits im passenden Massstab und Datenschlüssel kartiert. Inwiefern diese Kartierungen finanziell angerechnet werden können, ist noch Gegenstand weiterführender Abklärungen. Flächen, deren Kartierung bereits mit Bundessubventionen unterstützt wurde, sind hingegen nicht anrechenbar (bspw. Kartierungen auf Grund von landwirtschaftlichen Meliorationen).

**Koordiniertes Gesamtprojekt:** Es ist vorgesehen, die Kartierung schweizweit zu koordinieren, wobei Bund und Kantone die Steuerung übernehmen und für die operative Umsetzung eine Auftragnehmerschaft mandatiert wird (siehe nächster Abschnitt).

In der Vorbereitungsphase muss die gemeinsame Auftraggeberschaft, inkl. Projektorganisation, von Bund und Kantonen aufgebaut werden. Mit der Projektorganisation soll die Gesamtkoordination sichergestellt werden. Die Projektorganisation umfasst alle Schritte des Projekts; von der Vorbereitung der Rechtsgrundlagen, der Erstellung der Zusammenarbeitsvereinbarung zwischen dem Bund und den Kantonen, der Budgetierung und Planung der Finanzierungsabläufe sowohl auf Bundes- als auch auf Kantonsebene bis zur Bestimmung der Auftragnehmerschaft sowie der Klärung der Rolle des KOBO. Zudem wird in Zusammenarbeit mit der Auftragnehmerschaft die operative Umsetzung durch den Aufbau der Projektinfrastruktur vorangetrieben.

Für die Phase 1 (Ausführung) wird die Steuerung gemeinsam von Bund und Kantonen wahrgenommen und die Auftragnehmerschaft koordiniert die operative Abwicklung. Dabei müssen alle Stakeholder einbezogen werden. Zusätzlich ist auf der Fachebene eine Konsultationsgruppe zweckmässig (z. B. Vertretung der Fachämter und der wichtigsten Fachverbände).

**Organisation und zentrale Aufgaben der Auftragnehmerschaft:** Ein reibungsloser Ablauf der Bodenkartierung über einen Zeitraum von rund zwei Jahrzehnten erfordert ein hohes Mass an Organisation und zuverlässiger Planung. Damit die schweizweit einheitliche Methodik umgesetzt wird und die privaten Kartierbüros wie auch das Labor gleichmässig ausgelastet werden, soll eine zentrale Auftragnehmerschaft das Gesamtprojekt koordinieren und die Teilprojekte planen. Ebenfalls übernimmt die Auftragnehmerschaft weitere Arbeitsschritte, wie z. B. die Bestimmung der meisten Erhebungspunkte, die Qualitätssicherung sowie die Erstellung der eigentlichen Bodenkarten. Zu diesem Zweck baut die Auftragnehmerschaft die entsprechende Logistik und die IT-Infrastrukturen auf. Ebenso beschafft sie gewisse Geräte zur Datenerhebung (z. B. spezialisierte Fahrzeuge zur Entnahme von Bodenproben).

**Methodische Vorgaben:** Um das Ziel einer schweizweit einheitlichen und effizienten Kartierung zu erreichen, ist es notwendig, dass der Bund den Kantonen detaillierte Vorgaben zur anzuwendenden Methodik macht. Diese Vorgaben werden durch das KOBO erarbeitet und in den Eckpunkten in einer Verordnung des Bundes, die nötige formell-gesetzliche Grundlage vorausgesetzt, festhalten. Die Pflichtenhefte für die mit der Datenerhebung beauftragten Kartierbüros werden inhaltlich ebenfalls stark durch die Auftragnehmerschaft in Zusammenarbeit mit dem KOBO geprägt.

**Kartierpflicht und zeitliche Fristvorgabe:** Damit die Kantone zur Durchführung einer Bodenkartierung verpflichtet werden können (Kartierpflicht), braucht es rechtliche Anpassungen. Zudem muss eine realistische Frist bis zur Fertigstellung (Fristvorgabe) verankert werden. (Siehe Kapitel 4.6).

**Flexibilität:** Die Kantone können im Vorhinein allfällige besondere Bedürfnisse (z. B. Erhebung zusätzlicher Bodenindikatoren oder eine dichtere Beprobung) anmelden. Diese Wünsche werden berücksichtigt, soweit es das methodische Konzept der schweizweiten Bodenkartierung zulässt und die Mehrkosten durch die Kantone übernommen werden. Im Konfliktfall hat aber die rasche Umsetzung der schweizweiten Bodenkartierung nach harmonisierter Methodik Vorrang.

**Einbezug Stakeholder:** Die schweizweite Bodenkartierung bezieht alle Stakeholder (z. B. Kantone, Gemeinden, Land- und Forstwirtschaft, Umwelt, Raumplanung) mit ein und beachtet Sprachunterschiede, lokale und regionale Unterschiede, lokale Kompetenzen, Austausch mit Grundeigentümerinnen und Grundeigentümern, regionalen Verbänden und nationalen Fachverbänden.

#### **4.2.1 Variante gemeinsame Umsetzung und Finanzierung via «Joint Venture»**

Variante 2 «Joint Venture» sieht vor, dass sich der Bund und die Kantone im Voraus auf eine zentrale Durchführung der Bodenkartierung einigen und diese gemeinsam finanzieren (50 : 50). Bund und Kantone formulieren einen gemeinsamen Auftrag an die Auftragnehmerschaft, welche die Arbeiten plant und organisiert.

Das zentralisierte Vorgehen von Variante 2 bietet die Möglichkeit, von wesentlichen Skaleneffekte zu profitieren und die Bodenkartierung für Bund und Kantone kosteneffizienter zu realisieren. Ein Hauptvorteil der Variante 2 ist die deutlich einfachere administrative Abwicklung des Gesamtprojekts im Vergleich zu 26 einzelnen Kantonsprojekten in Variante 3 (Programmvereinbarungen, siehe Kapitel 4.2.2): Statt 26 unabhängig organisierte und umgesetzte Kantonsprojekte wird eine zentral geführte Bodenkartierung realisiert. Zudem entsteht in Variante 2 'automatisch' ein schweizweit harmonisiertes Bodenkartenwerk, wohingegen in der Variante 3 einzelne kantonale Bodenkarten zusammengesetzt werden müssen und ggf. auftretende Kartenrandverwerfungen an den Kantonsgrenzen nachträglich bereinigt werden müssten.

Kostensparnisse ergeben sich beispielsweise dadurch, dass Ausschreibungen für Kartierarbeiten (den finanziell weitaus grössten Teil des Projekts) zentral durch die Auftragnehmerschaft erfolgen können, die Kantone dafür keine eigenen fachlichen und administrativen Ressourcen aufbauen und sich nicht um Verfahrensfragen und Rekurse etc. kümmern müssen. Die Arbeit der Kartierbüros kann besser zeitlich abgestimmt und koordiniert werden, wodurch zwischen den Kantonen keine Konkurrenz um die wenigen verfügbaren Kartierfachleute entsteht. Zudem hat das zentrale Vorgehen auch methodische Vorteile: Die Kartierlose können direkt auf die Bodenregionen der Schweiz und unabhängig der Kantonsgrenzen abgestimmt werden, was sich positiv auf die Qualität des Endprodukts auswirkt

und die Effizienz der Kartierung steigert. Die Laufzeit der landesweiten Kartierung ist im Vergleich zur Variante 3 Programmvereinbarungen zudem etwas kürzer. Bedingung für das Gelingen dieser Variante 2 ist jedoch, dass Bund und Kantone bereit sind, sich auf ein grosses gemeinsames Kartierprojekt einzulassen.

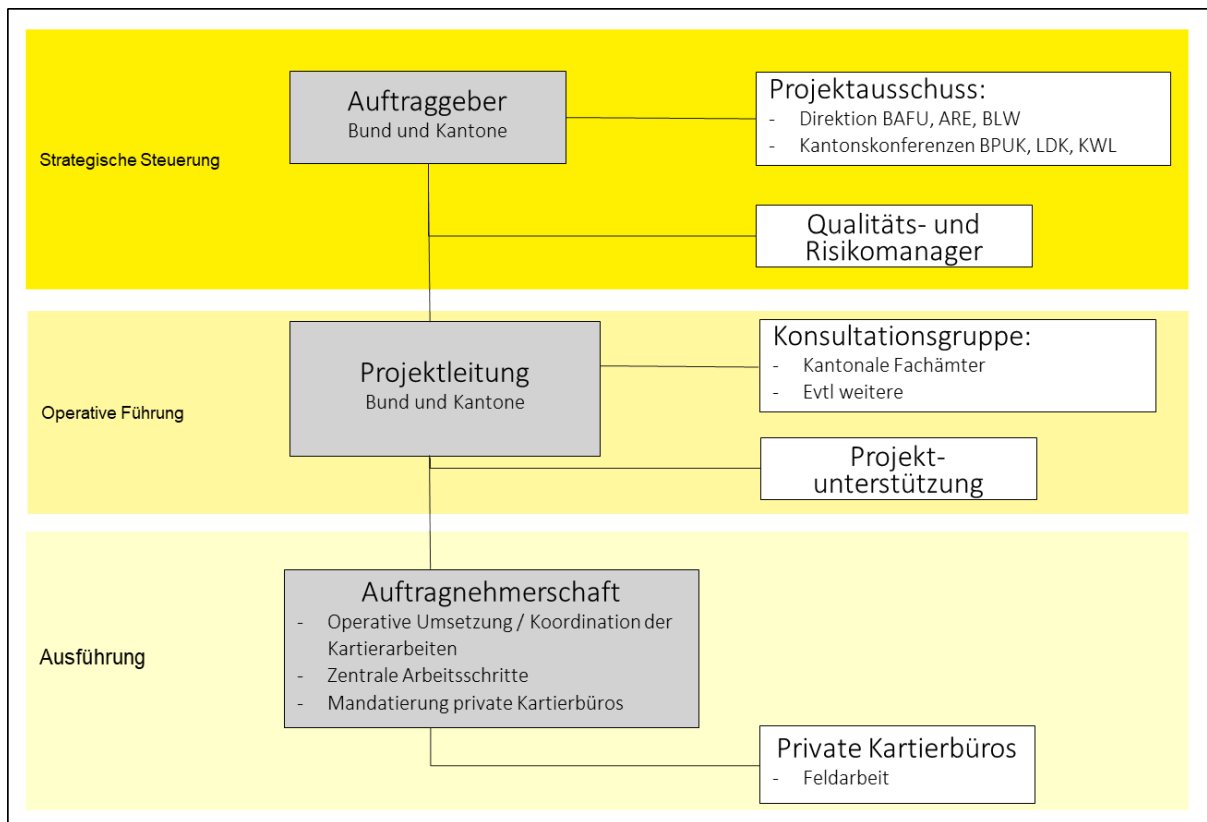


Abbildung 3: Steuerung der Variante 2 «Joint Venture»

Die Steuerung der Variante 2 «Joint Venture» wird gemeinsam von Bund und Kantonen wahrgenommen. Bund und Kantone sind Auftraggeber auf strategischer Ebene. Die Bodenkartierung und die Zusammenarbeit werden mit einer gemeinsamen Rahmenvereinbarung<sup>9</sup> geregelt. Die operative Führung der gesamten Kartierung wird durch eine Projektleitung wahrgenommen, die die Auftragnehmerschaft mit der Ausführung mandatiert. Der Bund schliesst mit der Auftragnehmerschaft wie auch mit dem KOBO für die jeweiligen Arbeiten im Zusammenhang mit der schweizweiten Bodenkartierung einen Leistungsvertrag ab. Die Auftragnehmerschaft ist für die operative Umsetzung und Koordination verantwortlich, beauftragt die Kartierbüros durch Werkverträge und führt zentrale Arbeitsschritte selbst durch. Das KOBO ist für die Kartiermethodik zuständig und unterstützt die Auftragnehmerschaft in methodischen und fachlichen Fragen.

Mit der neu zu schaffenden gesetzlichen Grundlage kann auch die Finanzierungslösung des Joint Venture im Gesetz verankert werden (siehe Kapitel 4.6). Die Details werden anschliessend, gestützt auf dieser gesetzlichen Grundlage, z. B. in einer Verordnung und/oder einer Vereinbarung geregelt. Dabei ist vorgesehen, dass das Geld für die Bodenkartierungen von den Kantonen via Bund an die Auftragnehmerschaft und das KOBO fliesst. Der Bund kann so einen stetigen Finanzfluss an die Auftragnehmerschaft und das KOBO sicherstellen und das Qualitäts- und Risikomanagement, inkl. der Finanzkontrolle der Arbeiten kann an einer einzigen, zentralen Stelle erfolgen. Als Nachteile sind zu nennen, dass die Zusammenarbeit zwischen Bund und Kantonen in der Form Joint Venture bisher selten ist, und dass daher der organisatorische Aufbau einen relativ hohen Initialaufwand erfordert, der aber voraussichtlich durch operative Effizienzgewinne in der Umsetzungsphase wieder kompensiert wird.

<sup>9</sup> oder mehreren, wenn Vereinbarungen mit einzelnen Kantonen gewünscht sind

#### 4.2.2 Variante gemeinsame Umsetzung und Finanzierung via «Programmvereinbarungen»

In der Variante 3 «Programmvereinbarungen» wird die Bodenkartierung mit dem Instrument der Programmvereinbarungen (PV) umgesetzt. Im Unterschied zu Variante 2 verpflichten und bezahlen die Kantone die Kartierbüros und erhalten hierfür vom Bund Subventionen. Für zentral auszuführende Arbeitsschritte fliesst der Hauptanteil der Bundesgelder direkt an die Auftragnehmerschaft. z. B. für die Erstellung des Kartierkonzepts, Auswertung und Erstellung von Bodenkarten und die Qualitätssicherung. Für diese Arbeiten schliesst der Bund mit der Auftragnehmerschaft wie auch mit dem KOBO einen Leistungsvertrag ab.

Im Unterschied zu den bestehenden PV im Umweltbereich, die umfangreiche Verhandlungen zwischen Bund und Kantonen erfordern und bei denen die Kantone einen grossen Gestaltungsfreiraum in der Umsetzung haben, handelt es sich bei den vorgeschlagenen PV für die Bodenkartierung um standardisierte Vereinbarungen, die im Wesentlichen den Zeitraum der Kartierung und den Bundesbeitrag festlegen und ansonsten die einheitlichen methodischen Vorgaben (z. B. Pflichtenhefte für Kartierbüros) enthalten. Am ehesten vergleichbar sind die vorgesehenen PV mit den Vereinbarungen aus dem Bereich der Geoinformation, konkret der amtlichen Vermessung. Dort existieren ebenfalls enge methodische Vorgaben, die in einer Verordnung enthalten sind. Insbesondere bei der interkantonalen Koordination der Arbeiten geht Variante 3 aber noch einen Schritt weiter: Sämtliche Aktivitäten der Kantone müssen zeitlich und inhaltlich eng mit der Auftragnehmerschaft abgestimmt werden, damit möglichst nach Kantonsgrenzen überschreitenden Bodenregionen kartiert werden kann und die Kartierbüros und das Labor sinnvoll ausgelastet bzw. nicht überlastet werden. Die zeitliche Planung der einzelnen kantonalen Kartierprojekte bleibt jedoch in dieser Variante schwierig, da sie von den kantonalen Finanzierungen und Prioritäten abhängen. Die enge Abstimmung mit der und die Übertragung von zentralen Aufgaben auf die Auftragnehmerschaft sind nötig, da das Ziel ein schweizweites, harmonisiertes Bodenkartenwerk ist, welches Nutzen für die Kantone und den Bund hat.

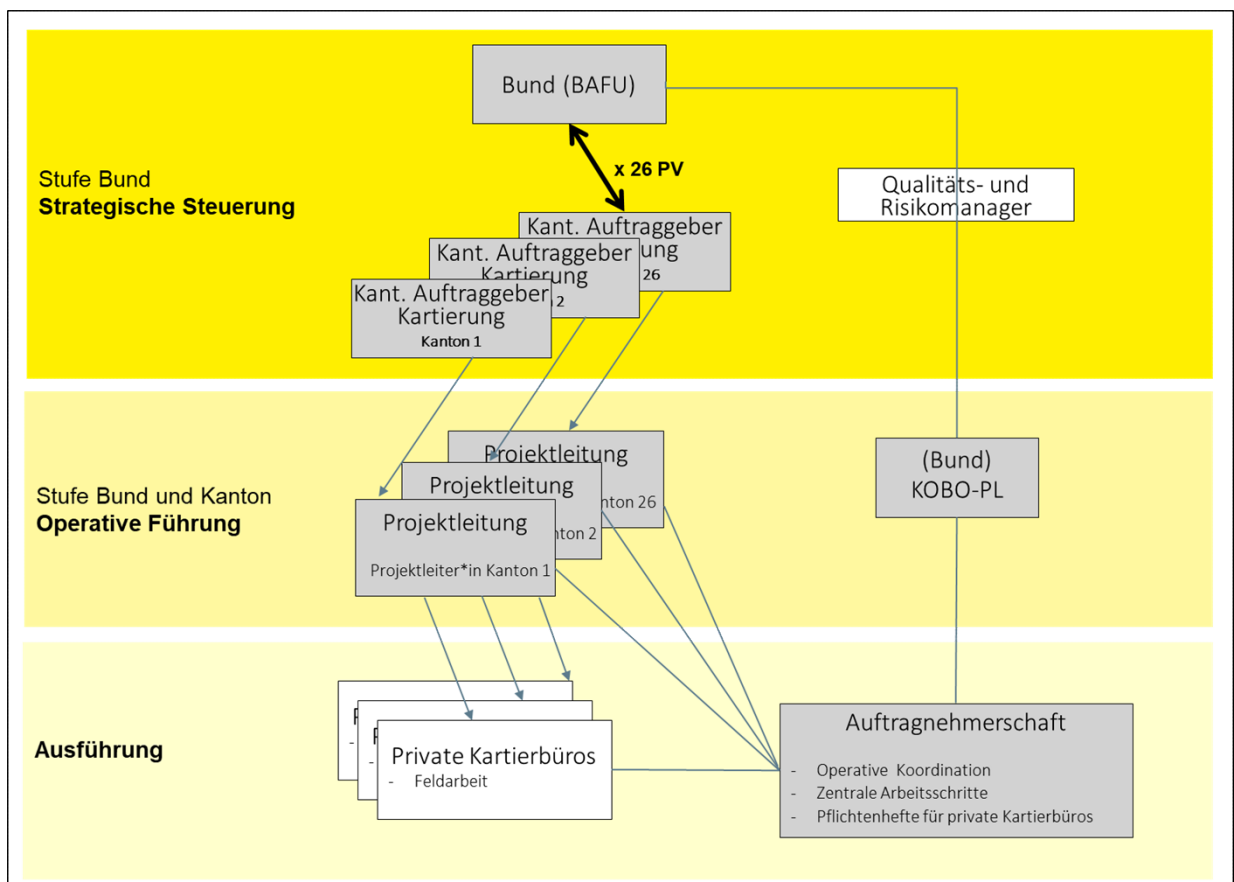


Abbildung 4: Steuerung der Variante 3 «Programmvereinbarungen»



Analog zur Variante «Joint Venture» wird das Projekt von einer Auftragnehmerschaft geleitet und methodisch einheitlich durchgeführt. Jedoch organisiert und leitet der Kanton die Kartierarbeiten. Im Unterschied zur Variante «Joint Venture» ist somit bei dieser Variante der Kanton verantwortlich für die WTO-Ausschreibung, die Vergabe und die Feldarbeiten der Kartierbüros. Die Kantone übernehmen ebenfalls die Kartierkosten und entgelten die Kartierbüros für deren Leistungen direkt.

Angesichts der speziellen Ausgangslage der Bodenkartierung sind zudem die zwei folgenden zusätzlichen Spezialregelungen für die PV vorgesehen:

- Die Vereinbarungen werden auf die gesamte Laufzeit der Kartierung eines Kantons (i.e. ca. 4-8 Jahre je nach Grösse der zu kartierenden Fläche) ausgelegt, statt wie bei anderen PV auf vier Jahre. Der Grund für die Abweichung: Um den administrativen Aufwand gering zu halten, soll möglichst nur eine PV pro Kanton abgeschlossen werden. Eine Etappierung mittels zweier oder dreier PV macht methodisch keinen Sinn. Die geplante Laufzeit orientiert sich am vorgesehenen zeitlichen Aufwand zum Abschluss der Datenerhebung im jeweiligen Kanton.
- Es wird die gesetzliche Möglichkeit geschaffen, dass die Kantone ihre Aufgaben in der Mandatierung und Überwachung der privaten Kartierbüros, sofern sinnvoll, an die Auftragnehmerschaft delegieren können. Dadurch soll insbesondere den kleinen Kantonen die Möglichkeit gegeben werden, ihren administrativen Aufwand so gering wie möglich zu halten. Bei der amtlichen Vermessung hat sich eine analoge Lösung bewährt.

Gegenüber der Variante 2 können bei der Variante 3 mit PV weniger Skaleneffekte realisiert werden. Beispielsweise müssen die Kantone eigene personelle Ressourcen zur Ausschreibung, Vergabe und Überwachung der Kartieraufträge bereitstellen. Zudem ergibt sich ein zusätzlicher Aufwand zur Abstimmung aller Tätigkeiten zwischen der Auftragnehmerschaft und den Kantonen. Demgegenüber steht der Vorteil, dass die Kantone in dieser Variante etwas mehr Verantwortung erhalten und ein etabliertes Finanzierungsinstrument zum Einsatz kommt. Die Kantone setzen die Bodenkartierung unter Einhaltung des standardisierten Verfahrens auf ihrem Gebiet selbstständig um und erhalten daher operative Flexibilität. Alle Kantone müssten in ihren Behörden zumindest temporär entsprechende Kompetenzen aufbauen, dies könnte zu Zusatznutzen, z. B. in Bezug auf eine Stärkung des kantonalen Vollzugs, führen. Einige Kantone gehen davon aus, dass die Kantone direkter mit den Grundeigentümerinnen und Grundeigentümern kommunizieren können als bei der Joint-Venture-Variante.

### **4.3 Referenzvarianten**

#### **4.3.1 Referenzvariante «Bundesaufgabe»**

In Variante 1 wird die schweizweite Bodenkartierung als Projekt des Bundes organisiert. Dies bedeutet, dass eine Auftragnehmerschaft, als vom Bund beauftragte «Generalunternehmerschaft», die Bodenkartierung zentral plant und koordiniert sowie Kartieraufträge an private Büros vergibt. Die Auftragnehmerschaft führt zudem gewisse zentrale Arbeitsschritte durch, baut dazu die nötige Infrastruktur auf und produziert auf Basis der gesammelten Daten die finalisierten Bodenkarten. All diese Aktivitäten werden vollständig durch den Bund finanziert. Die Kantone unterstützen dabei die Kartierung, indem sie dem Bund die bereits vorhandenen Bodendaten zur Verfügung stellen, die Auftragnehmerschaft bei der Kommunikation an die Gemeinden und Landbesitzerinnen und Landbesitzer unterstützen und mit ihren lokalen Bodenkenntnissen zur Qualitätssicherung des Prozesses und der Produkte beitragen.

Aufgrund des organisatorischen Ansatzes von Variante 1 kann die Einheitlichkeit des Vorgehens, sowohl zeitlich als auch gebiets- oder kantonsübergreifend, am einfachsten gewährleistet werden. Die administrativen und koordinativen Aufwände sind gering. Die Verantwortlichkeiten können genau bezeichnet werden und die Umsetzung wird zentral kontrolliert. Wie in Kapiteln 2.1 und 4.1 erläutert, ist für die schweizweite Bodenkartierung von einer gemeinsamen Umsetzung und Finanzierung auszugehen.

#### **4.3.2 Referenzvariante «Kantonsaufgabe» (bisher)**

Die vierte Variante der Organisation und Finanzierung der Bodenkartierung ist ebenfalls eine Referenzvariante («weiter wie bisher»). Angesichts der Erfahrungen der letzten 20 Jahre ist es mit diesem

Vorgehen nicht realistisch, dass das Ziel einer schweizweiten harmonisierten Bodenkartierung innerhalb einer nützlichen Frist erreicht werden kann.

Die finanzielle und organisatorische Hauptverantwortung bliebe unverändert bei den Kantonen. Im Vergleich zum Status quo könnte das KOBO zwar – ähnlich wie bei den anderen drei Varianten – ein Detailkonzept für die schweizweite Bodenkartierung erarbeiten. Dessen Anwendung wird vom Bund aber nur empfohlen und einzig mit dem Anreiz verbunden, dass das KOBO den Kantonen bei der Methodik und zentralen Arbeitsschritten wie der Datenmodellierung und der Produkteerstellung beratend zur Seite steht. Entsprechender Aufwand beim KOBO wird durch den Bund finanziert. Zusätzliche Anreize von Seiten des Bundes sind nicht vorgesehen. Die Kantone können frei entscheiden, ob sie in ihrem Kanton die neue Methodik anwenden wollen und ob sie überhaupt ihre Böden kartieren, da weder eine Kartierpflicht noch eine Terminvorgabe existieren. Es ist von einem methodischen Flickenteppich mit hohen Gesamtkosten auszugehen, da die Aktivitäten der Kantone nur ungenügend aufeinander abgestimmt sind und sich keine Skaleneffekte nützen lassen (z. B. bezüglich chemischer Analytik).

#### 4.4 Kostenschätzungen

Die nachfolgenden Kostenkalkulationen beinhalten alle Personal-, Verwaltungs-, Geräte-, Material-, IT- und Analysekosten für die Durchführung des Projekts. Für die Vorbereitungsphase der landesweiten Bodenkartierung fallen weitere Kosten und Personalaufwände an, die im Konzept nicht berücksichtigt sind. Hierbei handelt es sich um Kosten zur Ausbildung von Kartierfachpersonal im Vorfeld des Projekts, für die Vorbereitung zur Vergabe und Standortsuche für Labor und IT-Infrastruktur sowie um die administrativen Kosten für die Verhandlungen zwischen Bund und Kantonen und den Vertragswerken (siehe Kapitel 4.7). Alle Beträge sind Schätzungen, welche so realistisch wie heute möglich gemacht wurden. Im Rahmen der Operationalisierung während der Vorbereitungsphase werden intensive Geräte-, Zeit- und Ablauftests erfolgen, was sich gegebenenfalls auf die Messnetzdicke, die Kosten und die Laufzeit auswirkt. So können sich bei gleichen Kosten unter Umständen die Messnetzdicke verringern oder erhöhen, oder sich bei gleicher Messnetzdicke die Kosten und die Laufzeit verändern. Weiter basieren die Kostenschätzungen auf einer neuen, in Entwicklung stehenden Kartiermethodik. Die Kostenschätzungen können sich aufgrund der Erfahrungen bei der Anwendung in der Praxis daher noch verändern. In der Vorbereitungsphase werden alle Kostenabschätzungen detaillierter geplant.

Tabelle 1 zeigt die geschätzten und gerundeten Kosten für die Varianten 1, 2 und 3 verteilt auf die relevanten Kategorien (Kartierung, Labor, Modellierung und Koordination, IT und Logistik). Die detaillierteren Personal- und Kostenschätzungen sind im Anhang 3) dargestellt. Die Schätzungen der Kosten für Varianten 2 und 3 erfolgten auf Basis der Variante 1, da diese die am besten planbare Variante darstellt. So ist im Vergleich zu Variante 1 für die Varianten 2 und 3 mit jeweils leicht erhöhtem Personalaufwand und geringfügigen Verlängerungen der Laufzeit zu rechnen. Die Erhöhungen im Personalbedarf ergeben sich durch Mehraufwand in Administration, Koordination und Datenbearbeitung der ersten Projektphase. Die Berechnungen stellen dabei eine möglichst realistische Schätzung dar und kein «worst-case» Szenario.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Varianten nach finanziellen Merkmalen: Laufzeit, Personal- und Gesamtkosten. Für die Personalkosten wurden einerseits die heute geltenden Ansätze der HAFL<sup>10</sup> verwendet und andererseits die heute üblichen Ansätze in der Privatwirtschaft.

---

<sup>10</sup> Die Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL dient als Host für das KOBO.

		Variante		
		1	2	3
Laufzeit (in Jahren)		18	20	22
Personal- und Materialkosten (Mio CHF)	Kartierung (Feldarbeiten)	232	256	278
	Labor	62	67	72
	Modellierung	26	43	53
	Koordination, IT und Logistik	50	64	72
<b>Gesamtkosten</b>		<b>370</b>	<b>430</b>	<b>475</b>

Stellen (VZA)	Verwaltung Bund	1.5	2	1 - 2
	Verwaltung Kantone	0	2	10

In Tabelle 1 wird deutlich, dass rund zwei Drittel der Personalkosten für die Kartierung im Feld anfallen. Mit der Kartierung werden Kartierbüros beauftragt, mit entsprechendem Nutzen für die Privatwirtschaft.

Die nicht in der Tabelle dargestellte Variante 4 entspricht der gegenwärtigen Kartierung gemäss heutigen Rahmenbedingungen. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen lassen sich die Dauer auf 80 - 450 Jahre und die Kosten auf rund 1450 Mio. CHF schätzen (Carrizoni et al., 2017).

Stellt man dem aus einer Auswahl von Anwendungsbeispielen errechneten Mehrwert (siehe Kapitel 2.2) die Kosten einer schweizweiten Bodenkartierung gegenüber (je nach Variante zwischen 370-475 Mio. CHF über ca. 20 Jahre, also 18-24 Mio. CHF pro Jahr), ergibt sich bereits ein gutes Nutzen-Kosten-Verhältnis (nämlich mindestens 2.3). Noch positiver wird die Bilanz, wenn man berücksichtigt, dass die Bodenkartierung über mehrere Generationen einen Nutzen bringen wird, da Bodeninformationen kaum veralten. Grundsätzlich kann ausgesagt werden, dass das voraussichtliche Kosten-Nutzen-Verhältnis der geplanten Bodenkarte sehr gut sein wird.

Auch wenn die Kosten für sich allein betrachtet hoch erscheinen, relativiert sich ihre Höhe, wenn man sie beispielsweise ins Verhältnis zum monetären Gewinn der Bodennutzung setzt. Die Nettowertschöpfung pro Quadratmeter landwirtschaftlicher Nutzfläche beträgt rund 20 Rappen pro Jahr, und jährlich werden pro Quadratmeter etwa 11 Rappen an Versorgungssicherheitsbeiträgen für die Bewirtschaftung dieser Flächen ausbezahlt<sup>11</sup>. Die Bodenkartierung kostet einmalig durchschnittlich unter 2 Rappen pro Quadratmeter, liefert aber eine exzellente Datengrundlage für eine nachhaltige Bewirtschaftung und für Nutzungs- und Anpassungsentscheide angesichts der heutigen und künftigen Herausforderungen, wie z. B. des Klimawandels oder der Versorgungssicherheit mit Nahrungsmitteln (adaptiert aus Borer und Knecht 2014).

Der Vergleich der Kosten für die Bodenkartierung mit dem prognostizierten Aufwand für die Waldpflege über rund 100 Jahre Waldbestand ist ebenfalls aufschlussreich: Bei geschätztem Aufwand von 3'000 CHF pro Hektare für die Waldpflege und einem Zinssatz von 3% kommt die Endwertpflegekostenberechnung auf rund 27'800 CHF pro Hektare für die 100 Jahre (mündl. Mitteilung Prof. Moog, Forstökonomie, TU München), also ca. 2.78 Rappen pro Jahr und m<sup>2</sup>. Verfügbare Waldbodendaten erlauben eine kostengünstigere Pflege, da anhand der Bodendaten effizientere Entscheidungen in der Waldbewirtschaftung getroffen werden können. Dies betrifft die Baumartenwahl sowie den Maschineneinsatz für Pflege und Holzernte. Informationen zur Nährstoffausstattung sind zunehmend für die Waldplanung von Bedeutung. Die Bodenkartierung kostet also einmalig etwas weniger als die jährliche Waldpflege, liefert aber exzellente Grundlagen für die nachhaltige und kostengünstigere Waldbewirtschaftung, die Beurteilung der Schutzwaldstabilität, die Vermeidung von Bodenverdichtung, die Beurteilung des Nährstoffhaushalts und die Baumartenwahl für die Verjüngung angesichts des erwarteten Klimawandels.

<sup>11</sup> Agrarbericht 2021: <https://www.agrarbericht.ch>

Der Stellenbedarf wird wie folgt abgeschätzt: Für die Variante 2 «Joint Venture» ist eine Projektleitung mit 200 Stellenprozenten vorgesehen, während bei den Kantonen über die gesamte Laufzeit insgesamt - für alle Kantone zusammen - weitere 200 Stellenprocente notwendig sind, um die Arbeiten vor Ort zu koordinieren (Kontakte zur Grundeigentümerschaft, lokale Infrastruktur, etc.). Für die Variante 3 «Programmvereinbarungen» sind beim Bund 100-200 Stellenprocente nötig, welche für die PV und deren Umsetzung zuständig sind. Bei den Kantonen ist der Aufwand in dieser Variante viel grösser. So müssen diese die WTO-Ausschreibungen an die Kartierbüros vorbereiten, wozu im Schnitt 200 Stellenprocente pro Kanton und pro Kartierjahr benötigt werden. Rechnet man mit fünf Kantonen, die gleichzeitig kartieren und mit fünf Jahren Kartierzeit pro Kanton, ergibt dies im Durchschnitt zehn Stellen.

#### 4.5 Finanzierung

Im Zusammenhang mit der Finanzierung der schweizweiten Bodenkartierung stellt sich nicht nur die zentrale Frage, wie sich Bund und Kantone die anfallenden Kosten teilen und wer diese finanziert. Es braucht ebenfalls darauf zugeschnittene Finanzierungsinstrumente.

Tabelle 2: Kostenteilung gemäss Varianten 1-3

Variante	1 Projekt des Bundes	2 Joint Venture	3 Programmvereinbarungen
<b>Gesamtkosten (Mio. CHF)</b>	<b>370</b>	<b>430</b>	<b>475</b>
<b>Laufzeit</b>	<b>18 Jahre</b>	<b>20 Jahre</b>	<b>22 Jahre</b>
<b>Kosten pro ha</b>	<b>121 CHF/ha</b>	<b>141 CHF/ha</b>	<b>155 CHF/ha</b>
<b>Kosten pro Jahr (Mio. CHF)</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>22</b>
<b>Finanz.-Anteil</b>		50 %: 11 Mio. CHF/a (davon 9 Mio. CHF/a an Labor und KOBO)	
- Bund	100 %	50 %: 11 Mio. CHF/a	
- Kantone	-		
<b>Kosten Bund (Mio. CHF)</b>	<b>370</b>	<b>215</b>	<b>238</b>
<b>Kosten Kantone (Mio. CHF)</b>	<b>0</b>	<b>215</b>	<b>238</b>

Tabelle 2 zeigt eine mögliche Kostenteilung für die drei Varianten. Die jährlichen Kosten sind bei allen drei Varianten fast identisch, jedoch sind die Laufzeiten unterschiedlich und somit auch die Gesamtkosten. Aus Tabelle 2 ist auch ersichtlich, welche Kosten für den Bund und die Kantone bei einer hälftigen Aufteilung in Variante 2 und Variante 3 und über die gesamte Laufzeit gerechnet, entstehen. So würden die 215 Mio. CHF bei Variante 2 nur noch knapp 11 Mio. CHF pro Jahr betragen, welche unter den 26 Kantonen aufgeteilt werden müssen. Von den 11 Mio. CHF pro Jahr, welche der Bund beisteuert, würden rund 9 Mio. CHF direkt in zentrale Arbeiten von Auftragnehmerschaft und KOBO fliessen und nicht via die PV an die Kantone verteilt.

Über die 20 Jahre Kartierung kann in Variante 2 von einer weitgehend konstanten Mittelvergabe pro Jahr ausgegangen werden, während in Variante 3 grössere Schwankungen der jährlichen Mittelvergaben zu erwarten sind, da die Kantone den Zeitpunkt ihrer Kartierung selber bestimmen und dies entsprechend Einfluss auf die Mittel haben wird. Zudem ist davon auszugehen, dass sich die gesamtschweizerische Kartierungsdauer bei Variante 3 hinauszögern wird.

Aus ökonomischer Perspektive ist eine staatliche finanzpolitische Massnahme (oder ganz generell staatliches Handeln) dann angezeigt, wenn bei der Bereitstellung eines Gutes Marktversagen auftritt. Bei den Produkten der Bodenkartierung handelt es sich um Güter, bei denen zumindest teilweise ein Marktversagen zu beobachten ist (M. Gmünder, IWSB, 2016).

Die Produkte der Bodenkartierung sind Hilfsmittel für Behörden, Bodenbesitzer, -bewirtschafter, Datenjournalisten, Ingenieurbüros und Forschungsgruppen und fördern den nachhaltigen Umgang mit dem beschränkten Gut Boden. Je breiter die Produkte der Bodenkartierung benutzt werden, desto höher ist die Wirkung der Bodenkartierung und die standortangepasste optimale Nutzung. Im Interesse des nachhaltigen Umgangs mit dem Boden sollten daher die Informationen aus der Bodenkartierung allen Personen zugänglich sein – dies entspricht auch den Grundsätzen der Open Governmental Data Strategy des Bundes. Für die Nutzung der Bodenkartierung ist entsprechend keine Erhebung von kostendeckenden Benutzergebühren vorgesehen.

**Finanzierungsquellen:** Grundsätzlich können Aufgaben und entsprechend deren Kosten nach dem Verursacher-, dem Nutzer- oder dem Gemeinlastprinzip finanziert werden:

- Das Verursacherprinzip eignet sich vorliegend sehr beschränkt, da es bei der Kartierung nicht um die Beseitigung von Schäden geht. Im weitesten Sinn und sehr indirekt könnten alle Verursacher von quantitativem und qualitativem Bodenverlust als Verursacher betrachtet werden. Insofern kämen Abgaben, die beim Bodenverbrauch ansetzen (z. B. Versiegelung) in Frage.
- Das Nutzerprinzip kommt bei klar definierbaren Nutzergruppen in Frage. Bei der Bodenkartierung zählt gemäss Zusammenstellung in der thematischen Synthese «Bodeninformations-Plattform Schweiz (BIP-CH)» des NFP 68 insbesondere die Verwaltung zur weitaus grössten Nutzergruppe, die die Bodendaten für den Vollzug benötigt. Weitere Nutzer sind Ingenieure und Planungsbüros, Forscher, Landwirte (bei Meliorationen), landwirtschaftliche Beratungsstellen, Forstwirte (für Waldwirtschaft) etc. Der heterogenen Nutzergruppe könnten höchstens die Bodendaten verkauft werden. Die Tendenz im Bereich (Geo-) Daten geht aber in die Gegenrichtung: Möglichst freie Nutzung zur Maximierung des Nutzens. So stehen z. B. die digitalen Standardprodukte von swisstopo seit dem 1. März 2021 online kostenlos zur Verfügung.
- Somit bleibt das Gemeinlastprinzip, also die Finanzierung aus Steuergeldern.

Trotzdem wurden für die Finanzierung der Bodenkartierung auch verschiedene Instrumente geprüft, deren Einsatz im entferntesten Sinne mit dem Verursacher- oder Nutzerprinzip begründet werden könnte. Konkret wurden folgende (bestehende) Instrumente geprüft: Altlastenfonds, Abwasserabgabe, Liegenschaftssteuer (auch Grund- oder Grundstücksteuer), Planungsmehrwertabgabe, Mehrwertabschöpfung sowie Parkplatzerersatzabgabe. Zusätzlich wurden folgende mögliche neue Instrumente geprüft: Bodenversiegelungsabgabe, kombinierte Flächennutzungsabgabe, verursachergerechte Erschliessungsabgabe und Wohnflächenabgabe. Diese Analyse zeigt

- Langfristig und mit Blick auf die Zielerreichung der Bodenstrategie könnten neue Lenkungsabgaben im Bodenbereich geprüft werden, und eine (teilweise) Zweckbindung ihrer Einnahmen für die Bodenkartierung wäre denkbar. Die Abgaben erfordern jedoch meist einen hohen Erhebungsaufwand, insbesondere im Verhältnis zu dem relativ geringen Finanzbedarf der Bodenkartierung. Sie eignen sich deshalb nicht.
- Die bereits bestehenden Steuern und Abgaben (und die entsprechenden Fonds) haben alle einen sehr geringen Bezug zur Bodenkartierung, und deren Anpassung wäre mit hohen rechtlichen und politischen Hürden verbunden.

Anders als zum Beispiel in den Bereichen Altlasten und Mikroverunreinigung geht es bei der Bodenkartierung zudem auch um wesentlich tiefere Beiträge, die einen derartigen speziellen Finanzierungskanal über eine Abgabe und ihren Erhebungsaufwand nicht rechtfertigen. Bei der Bodenkartierung geht es um jährlich rund 10 bis 18 Mio. CHF für den Bund während ca. 20 Jahren.

#### 4.6 Rechtsanpassungen

Aus der Dimension des Kartierungsvorhabens, der gemeinsamen Umsetzung und Finanzierung zwischen Bund und Kantonen, der Verpflichtung der Kantone zur Kartierung und den Vorgaben zur einheitlichen Kartierungsmethode ergibt sich, dass es einer Regelung auf gesetzlicher Stufe für die schweizweite Bodenkartierung bedarf.

Für die regulatorische Ausgestaltung der Variante 2 **gemeinsame Umsetzung und Finanzierung «Joint-Venture»** kommen grundsätzlich verschiedene Erlasse in Betracht, in welche die notwendigen Vorgaben integriert werden könnten, insbesondere USG und RPG.

Folgende Aspekte müssten auf Gesetzesstufe geregelt werden:

- Kartierungspflicht
- Finanzierungspflichten
- Fristvorgabe für Abschluss Bodenkartierung
- Datenzugriff (open data)
- Delegation an den Bundesrat, die näheren Einzelheiten zur Bodenkartierung auf Verordnungsstufe zu regeln
- Abgrenzungen zum GeolG.

Eine Frist auf Gesetzesstufe, bis wann die Bodenkartierung zu erfolgen hat, würde verdeutlichen, dass es sich um eine befristete Aufgabe, vorbehaltlich späterer Aktualisierungen, handelt. Zeitliche Vorgaben für mögliche Etappierungen könnten auf Verordnungsstufe erlassen werden (falls im Gesetz etwas steht wie «Der Bundesrat legt die mittel- und langfristige Planung der Bodenkartierung fest»). Der Bund würde die Auftragnehmerschaft mit der Planung und Organisation der Bodenkartierung beauftragen. Dies bedarf keiner speziellen Regelung auf Gesetzesstufe, ebenso wenig wie die Ermächtigung der Auftragnehmerschaft, Aufträge zur Bodenkartierung an private Dritte vergeben zu können. Es lässt sich derzeit aber noch nicht ausschliessen, dass sich im Fortgang der Arbeiten im Falle der Übertragung weiterer Aufgaben hier zusätzlicher regulatorischer Bedarf ergeben könnte. Bislang ist aus fachlicher Sicht vorgesehen, dass in sog. Verwaltungsvereinbarungen neben dem Kostenteiler zwischen Bund und Kantonen festgehalten würde, dass sie eine gemeinsame Trägerschaft zur Durchführung der schweizweiten Bodenkartierung bilden und beabsichtigen, die Durchführung der Kartierung einer Auftragnehmerschaft zu übertragen.

Bei Variante 3 **gemeinsame Umsetzung und Finanzierung mit PV** finanziert der Bund im Rahmen von Programmvereinbarungen den Kantonen einen Teil der Kosten für die Bodenkartierung. Um den administrativen Aufwand gering zu halten, wäre zu prüfen, ob für die Bodenkartierung eine reduzierte Anzahl oder gar nur eine einzige Programmvereinbarung pro Kanton abgeschlossen wird.

Folgende Aspekte müssten auf Gesetzesstufe geregelt werden:

- Kartierungspflicht der Kantone
- Subvention Bund durch Programmvereinbarungen
- Datenzugriff (open data)
- Fristvorgabe für Abschluss Bodenkartierung (oder Delegation an den Bundesrat)  
Delegation an für den Bundesrat, die näheren Einzelheiten zur Bodenkartierung auf Verordnungsstufe zu regeln

Bei beiden Varianten ist ausserdem damit zu rechnen, dass auch auf **kantonomer Ebene** teilweise neue gesetzliche Grundlagen geschaffen werden müssen. Zudem müssen voraussichtlich in allen Kantonen Finanzierungsbeschlüsse von den zuständigen Organen gefällt werden.

#### 4.7 Vorbereitungsphase

Zusammen mit der Verabschiedung des Konzepts für die schweizweite Bodenkartierung durch den Bundesrat werden das BAFU, BLW und ARE mit Folgearbeiten beauftragt werden müssen. Die Federführung soll beim BAFU liegen. Die genannten Ämter stellen die regelmässige Kommunikation zu ebenfalls betroffenen Gremien und Bundesstellen sicher, namentlich der Swisstopo, der Raumordnungskonferenz und der IDA FFF. Das Hauptziel der Vorbereitungsphase besteht darin, die rechtlichen, organisatorischen, finanziellen, fachlichen, technisch-operativen, personellen, administrativen und weiteren notwendigen Rahmenbedingungen zu schaffen, damit die Kartierung umgesetzt werden kann. Gleichzeitig soll sichergestellt werden, dass die laufenden Kartierarbeiten bis zum Start der schweizweiten Bodenkartierung weitergeführt werden können sowie die bestehenden fachlichen Kompetenzen sichergestellt werden.

Auf Bundesebene betrifft die Vorbereitungsphase den Zeitraum ab dem Entscheid des Bundesrats zum Konzept, über die Inkraftsetzung der gesetzlichen Grundlage bis zum Beschluss des eidgenössischen Parlaments zur Finanzierung der Bodenkartierung. Neben der Ausarbeitung der rechtlichen Grundlagen und der Finanzierungsbotschaft müssen auch die Zusammenarbeit mit den Kantonen geklärt und eine entsprechende Vereinbarung abgeschlossen werden.

Die Kantone prüfen während der Vorbereitungsphase, ob und ggf. welche Rechtsanpassungen in ihrem Zuständigkeitsbereich nötig sind und wie die entsprechenden nötigen Finanzen genehmigt werden können. Weitere Vorbereitungsarbeiten sind für die Vereinbarungen zwischen Bund und Kantonen, zur Teilnahme an der Auftraggeberschaft und der Projektführung, zur Frage der Finanzaufteilung zwischen den Kantonen und zu weiteren Themen nötig. Diese Vorbereitungsarbeiten müssen zusammen mit den Vorbereitungsarbeiten des Bundes geleistet werden. Organisatorisch kann in dieser Phase bereits eine entsprechende Projektorganisation von Bund und Kantonen konstituiert werden. Eine gute Koordination zwischen den Kantonen untereinander und mit dem Bund ist für einen erfolgreichen Start der schweizweiten Bodenkartierung unerlässlich.

Während der Vorbereitungsphase auf Bundes- und Kantonebene müssen bereits fachliche und organisatorische Vorarbeiten für die anschliessende Bodenkartierung ausgelöst bzw. geleistet werden. Dies beinhaltet die Integration der neuen Kartiermethoden in eine Gesamtmethode sowie deren Validierung und Weiterentwicklung. Generelles Ziel sind der stufenweise Aufbau und die Implementierung der Kartiermethode. Diese Vorarbeiten beinhalten konkret:

- Sukzessiver Aufbau der Infrastruktur;
- Weiterentwicklung und Optimierung der Kartiermethode, dies beinhaltet auch die Berücksichtigung der heute bestehenden und früheren Methoden;
- Vorbereiten des Datenmanagements, der Datenschnittstellen der Auswertung;
- Operationalisierung der Technik im Feld (Pilotprojekte der Kantone);
- Konzeption der Qualitätssicherung.

Verschiedene Kantone kartieren bereits oder haben die Relevanz von Informationen durch Bodenkartierungen für ihre Entscheide erkannt und wollen die Kartierungen starten. Die Aussicht, dass eine gesetzliche Regelung und der Start der schweizweiten Bodenkartierung voraussichtlich erst 2029 erfolgen wird, führt dazu, dass die Kartierungen gestoppt oder zumindest gebremst werden. Während der Vorbereitungsphase sollen die laufenden Kartierarbeiten der Kantone weitergeführt werden. Zur Konkretisierung und Beschleunigung der operativen Umsetzung der Kartierung in der Vorbereitungsphase, wie sie von den Kantonen in der Konsultation gefordert wurde, soll die Methodik in den Kantonen getestet werden. Der Bund wird deshalb Aufträge an die Kantone vergeben. Diese sollen die neuen Technologien im Rahmen ihrer Kartierungsprojekte praxisnah prüfen und validieren. Diese Aufträge

- dienen dazu, das bisherige Engagement der Kantone weiter aufrecht zu erhalten und Kartierabbrüche zu verhindern;
- erlauben es, die sich in Entwicklung befindende Methodik für die schweizweite Kartierung zu prüfen und die fachlich-operativen Grundlagen aufzubauen, so dass diese pünktlich zum definitiven Kartierungsstart zur Verfügung stehen;
- erlauben es, die Kosten der schweizweiten Bodenkartierung präziser abzuschätzen;
- ermöglichen die Erhaltung der Bodenkartier-Kompetenzen.

Nach Abschluss der Vorbereitungsphase folgt die effektive Bodenkartierung mit einer Laufzeit von rund zwei Jahrzehnten.

## **5 Fazit und Beurteilung der Varianten**

Die geschätzten Gesamtkosten sowie der benötigte Zeitbedarf für die Bodenkartierung sind zentrale und wichtige Kriterien für den Vergleich der Varianten. Daneben existieren weitere Kriterien, welche für die Variantenevaluation, Umsetzbarkeits- und Risikobeurteilung relevant sind. Zu erwähnen ist insbesondere der Umsetzungsaufwand für die kantonalen und nationalen Fachämter. Während in Varianten 1 und 2 viele administrative und fachliche Arbeiten von der Auftragnehmerschaft zentral einmal

ausgeführt werden, müssen diese Arbeiten in den Varianten 3 und 4 dezentral mit Mehraufwand durch alle 26 Kantone erledigt werden (z. B. WTO-Beschaffung der Feldkartierteams; operative Projektleitung). Je dezentraler das Projekt durchgeführt wird, desto höher der Koordinationsaufwand zwischen Bund, Kantonen, Auftragnehmerschaft, KOBO und Feldteams.

Variante 1 ist dank einheitlichem Vorgehen, abgestimmten zeitlichen Abläufen und einer stringenten Organisation die risikoärmste Variante. Gleichzeitig ist Variante 1 aus bodenkundlicher Perspektive optimal, da höchste Qualität und Nutzbarkeit sowie der nachhaltigste volkswirtschaftliche Gesamtnutzen gewährleistet werden kann. Vorteile der Variante 1 wären, dass der Bund die Steuerungsleistung optimal wahrnehmen kann und die Aufgaben rasch angegangen und ausgeführt werden können, bei vergleichsweise geringem administrativem Zusatzaufwand und Personalbedarf. Nachteile der Variante 1 wären, dass es sich um eine zentralisierte Lösung handelt und für den Bund sehr hohe Kosten anfallen, obwohl insgesamt über alle vier Varianten die finanzielle Belastung für die öffentliche Hand am tiefsten ist. Dagegen entspricht Variante 4 der heutigen Organisationsform im kleinen Rahmen mit der klassischen heterogenen Bodenkartierung, der längsten Zeitdauer und den höchsten Gesamtkosten.

Für Varianten 2 und 3 führt eine verstärkte kantonale Beteiligung zu komplexeren organisatorischen Abläufen und somit zu einer Erhöhung des Bedarfs an Finanz- und Personalressourcen, sowie der zeitlichen Dauer. Mit der heutigen Vorgehensweise, entlang von kantonalen Grenzen zu kartieren, anstatt in zusammenhängenden pedogenetischen Zonen, können Skalierungseffekte nur begrenzt realisiert werden. Dies gilt insbesondere für eine Reihe von Kantonen, deren Grenzen geographisch eng miteinander verwoben sind. Neben Planungsunsicherheiten beim Infrastrukturaufbau, würden auch Synergiegewinne verhindert oder reduziert.

Vorteile der Variante 2 gegenüber der Variante 3 sind, dass der Bund die Steuerungsleistung wahrnehmen (zentrale Durchführung durch eine Auftragnehmerschaft), methodische Vorgaben zur Bodenkartierung machen kann, die Finanzierungsmodalitäten für Bund und Kantone in einer Vereinbarung festgelegt sind, zeitlich besser planbar und unter optimaler Nutzung einer Auftragnehmerschaft und des KOBO die Aufgaben zusammen mit den Kantonen effizient angegangen und ausgeführt werden können. Die Kosten sind gegenüber den Referenzvarianten 1 tiefer für den Bund und gegenüber der Referenzvariante 4 tiefer für die Kantone. Nachteil der Variante 2 ist, dass die Gesamtkosten gegenüber der Variante 1 erhöht sind und die organisatorische Abwicklung komplexer, personalaufwändiger und damit risikoreicher ist.

Vorteile der Variante 3 wären, dass das BAFU jahrelange Erfahrungen mit den PV hat (System ist etabliert) und der Bund nur die Ziele und Methoden für die Kartierungen vorgibt, die Kantone verpflichten und bezahlen die Kartierbüros selbst. Nachteile der Variante 3 wären, dass die PV im Wesentlichen nur den Zeitraum und Umfang der Kartierung sowie den Bundesbeitrag beinhalten wird (methodische Vorgaben des Bundes werden detailliert sein), die Kantone höhere personelle Ressourcen einsetzen müssen und die Umsetzung kantonsspezifisch funktioniert, d. h. Synergien bei der Erhebung verloren gehen können. Gerade kleinere Kantone könnten aber mit der aufwändigeren Abwicklung administrativ und personell überfordert sein. Es besteht zudem das Risiko, dass es zu einer kantonalen Konkurrenz um Bodenkartierfachpersonen kommt. Auch ist die Planbarkeit der Laborressourcen eingeschränkt, was ebenfalls zu Mehrkosten führen kann.



Beurteilungskriterien		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
++ = gut erfüllt, wesentlicher Vorteil + = ausreichend erfüllt, Vorteil 0 = neutral - = nur bedingt erfüllt, Nachteil -- = nicht erfüllt, wesentlicher Nachteil		Projekt des Bundes	Verbundaufgabe mit Kostenteiler Bund/Kantone («Joint Venture»)	Verbundaufgabe mit Programmvereinbarungen	Kantonsaufgabe - Bund gibt nur Empfehlungen ab («Kantonsaufgabe»)
Endprodukt Bodenkarte	1 Kartierung erfolgt <b>schweizweit</b>	++	+	+	--
	2 Kartierung erfolgt <b>harmonisiert</b>	++	+	+	--
	3 <b>Priorisierung</b> einzelner Flächen und geografischer Gebiete ist möglich	++	+	+	--
	4 <b>Anforderungen</b> der wichtigsten Nutzer/innen werden erfüllt	++	+	+	--
Prozess der Kartierung	5 Umsetzung erfolgt <b>kostengünstig</b>				
	5a Operativ: Erhebung/Kartierung	++	+	0	--
	5b Administrativ: Abwicklung/Begleitung	++	+	-	--
	5c Gesamtkosten	++	+	-	--
	5d Finanzbedarf Bund	-	0	0	++
	5e Finanzbedarf Kantone	++	0	0	--
	6 Umsetzung erfolgt <b>rasch</b> , bzw. Bodenkarte ist rasch verfügbar	+	0	-	--
	7 Einfache <b>Abwicklung</b> des Projektes (fachlich, administrativ)	++	0	-	-
8 <b>Finanzierung</b> ist stabil und ausreichend	+	0	0	--	
Staatspolitische Perspektive	9 <b>Rechtsgrundlagen</b> sind vorhanden oder einfach und rasch zu schaffen/anzupassen	0	-	-	+
	10 <b>Governanceaspekte</b> wie Subsidiaritätsprinzip, fiskalische Äquivalenz, Accountability, Vollzugsföderalismus sind erfüllt	--	+	+	0

Abbildung 5: Beurteilung der Varianten

Aus fachlichen Gründen, Qualitäts- und Risikomanagementüberlegungen, aus Kosten- und Personalbedarfsüberlegungen und hinsichtlich des zu erwartenden administrativen Umsetzungs- und Koordinationsaufwandes soll die schweizweite Erhebung der Bodendaten mit Variante 2 («Joint Venture») umgesetzt werden.

## Literaturverzeichnis

- Borer F. und Knecht M., 2014. Bodenkartierung Schweiz. Entwicklung und Ausblick. Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz (BGS), Zugang via [https://soil.ch/cms/fileadmin/Medien/Arbeitsgruppen/Bodenkartierung/Bericht\\_Bodenkartierung\\_2014\\_de.pdf](https://soil.ch/cms/fileadmin/Medien/Arbeitsgruppen/Bodenkartierung/Bericht_Bodenkartierung_2014_de.pdf) (Stand: 9.4.2021)
- Behrens T., Steinbrücken U., Schmidt K., Stumpf F., Keller A. 2021. Konzept für eine moderne landesweite Bodenkartierung Modul 1: Fachliche und operative Fragen. Kompetenzzentrum Boden (KOBO), Berner Fachhochschule BFH-HAFL; Firma Soilution GbR, Heusweiler, Deutschland.
- Behrens, T., Schmidt, K., MacMillan, R.A., Viscarra Rossel, R. 2018. Multi-scale Digital Soil Mapping with deep learning. Scientific Reports 8:15244
- McBratney, A.B., Mendonca Santos, M.L., Minasny, B. 2003. On digital soil mapping. Geoderma 117, 3–52. Zugang via [https://www.researchgate.net/publication/224840001\\_On\\_Digital\\_Soil\\_Mapping](https://www.researchgate.net/publication/224840001_On_Digital_Soil_Mapping)
- Carrizoni M., Cavelti G., Hurst T., Zürrer M. 2017. Konzept für ein flächendeckendes Bodeninformationssystem. BABU GmbH, BHP Brügger und Partner AG, myx. Zugang via <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/publikationen-studien/studien.html> (Stand 9.4.2021)
- Ecoplan. 2020. Konzept schweizweite Bodenkartierung - Modul 2: Organisatorische und finanzielle Fragen. Bundesamt für Umwelt Bern. 21.12.2020.
- EU Soil Atlas of Europe, European Soil Bureau Network/European Commission, 2005. Zugang via <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-atlas-europe> (Stand 9.4.2021)
- Gmünder M., 2016, Arbeitspapier 2. Task Force Sitzung KOBO, Institut für Wirtschaftsstudien Basel.
- Interface. 2021. Kantonale Erfahrungen mit Bodenkartierungen. Eine Erhebung im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Schlussbericht 9.9.21.
- Keller A., Franzen J., Knüsel P., Papritz A., Zürrer M. 2018. Bodeninformations-Plattform Schweiz (BIP-CH), Thematische Synthese 4 des Nationalen Forschungsprogramms Boden (NFP 68). Zugang via [http://www.nfp68.ch/SiteCollectionDocuments/NFP68\\_TS4\\_Bodeninformationsplattform\\_DE.pdf](http://www.nfp68.ch/SiteCollectionDocuments/NFP68_TS4_Bodeninformationsplattform_DE.pdf) (Stand 9.4.2021)
- Ma Y., Minasny B., Malone B.P., McBratney A.B. 2019. Pedology and digital soil mapping (DSM) – Russell Review. European Journal of Soil Science, March 2019 (70) 216-235
- Nussbaum M., Burgos S., Keller A., Carrizoni M., Papritz A. 2018. Bodeninformationssysteme und (digitale) Bodenkartierung in Europa – Was kann die Schweiz davon lernen? Bericht Fokusstudie Nationales Forschungsprogramm Boden (NFP68). Zugang via [http://www.nfp68.ch/SiteCollectionDocuments/Fachbericht\\_Bodeninformationssysteme.pdf](http://www.nfp68.ch/SiteCollectionDocuments/Fachbericht_Bodeninformationssysteme.pdf) (Stand 9.4.2021)
- Rehbein K., Sprecher Ch., Keller A. 2019. Übersicht Stand Bodenkartierung in der Schweiz - Ergänzung des Bodenkartierungskataloges Schweiz um Bodeninformationen aus Meliorationsprojekten. Bericht der Servicestelle NABODAT. Zugang via <https://www.are.admin.ch/are/de/home/raumentwicklung-und-raumplanung/strategie-und-planung/konzepte-und-sachplaene/sachplaene-des-bundes/sachplan-fruchtfootgeflaechen-sp-fff.html> (Stand 9.4.2021)

## Anhang

### Anhang 1: Übersicht Bodenkartierungen in der Schweiz

Die Servicestelle NABODAT hat 2019 im Auftrag von ARE und BLW eine Übersicht über die in der Schweiz vorliegenden Bodenkartierungen erstellt (Rehbein et al. 2019). Die in der Originalpublikation in Tabelle 3 zusammengezogenen Zahlen wurden aktualisiert (Stand: Ende 2021). Durch den langen Entstehungszeitraum von 1953 bis heute weisen die Bodenkarten in der Schweiz grosse qualitative Unterschiede in Bezug auf die erhobenen Bodeninformationen auf. Inwieweit z. B. Bodendaten aus Kartierungen vor 1980 und damit vor Einführung des Datenschlüssel 1 (DS1, Einführung 1982) den heutigen Ansprüchen genügen ist fraglich.

Mit Aufhebung des Bodenkartierdienstes an der früheren FAP/FAL ist die Bodenkartierung 1996 an die Kantone übertragen worden. Wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht, konnte diese Aufgabe in den letzten 20 Jahren nur im bescheidenen Rahmen weiterverfolgt werden, v. a. aufgrund von bescheidenen finanziellen Ressourcen der Kantone und dem fehlenden expliziten gesetzlichen Auftrag (Interface 2021). Lediglich in 8 Kantonen konnte mehr als 1 Kartierprojekt in diesem Zeitraum realisiert werden. Insgesamt wurden von 1996 bis Ende 2017 knapp 50'000 ha im Massstab 1:5'000 kartiert, dies entspricht einer Kartierleistung von rund 2'400 ha pro Jahr. Diese bescheidene jährliche Kartierleistung entspricht nur 0.25 % der Landwirtschaftsfläche. Dies ist angesichts des fehlenden expliziten gesetzlichen Auftrags und der geringen finanziellen Mittel wenig erstaunlich.

Der Bodenkartierungskatalog, der unter der URL <https://www.nabodat.ch/index.php/de/service/bodenkartierungskatalog> aufgerufen werden kann, stellt die Umrisspolygone der bestehenden Bodenkarten visuell dar, enthält wichtige Metainformationen zur jeweiligen Bodenkarte und verlinkt zu den kantonalen GIS-Portalen.

Es ist möglich, dass die dem Bund vorliegenden Informationen unvollständig sind – entsprechende Hinweise nehmen die Servicestelle NABODAT und die Sektion Boden des BAFU sehr gerne entgegen.

In der folgenden Tabelle sind die der Servicestelle NABODAT aktuell bekannten Bodenkartierungen mit Massstab 1:5'000 bis 1:10'000 im Datenschlüssel 5 oder neuer aufgeführt (d. h. seit ca. 1990). Wir gehen davon aus, dass die hier zusammengefassten Karten einen Nutzen für die vorgeschlagene schweizweite Bodenkartierung haben (Vorleistung). Einige Kantone haben Bodenkarten, die hier nicht aufgelistet wurden, weil ihr Massstab entweder zu klein ist oder die Bodenkartierung zu lange zurückliegt.

Der prozentuale Anteil an der Kantonsfläche lässt keine Vergleiche zwischen den Kantonen zu, da z. B. die Kantone GR, VS oder TI sehr grosse Gesamtflächen haben, aber eine vergleichsweise geringe Bodenfläche, auf denen Pflanzen wachsen können. Andere Kantone haben grosse Gewässer- oder Siedlungsflächen. Die Situation jedes Kantons muss individuell abgeklärt und berücksichtigt werden. Insgesamt sind etwas weniger als 8.5% der Fläche der Schweiz in genügend genauem Massstab mit aktuelleren Datenschlüsseln kartiert.

Tabelle 2: Übersicht Bodenkartierungen in der Schweiz

Kanton	Bodenkarten (seit ca. 1990)		Summe ha	Flächenanteil %	Kantonsfläche ha
	in ha; 1:5000	in ha; 1:10'000			
AG	3'836		3'836	2.73%	140380
AI	424		424	2.46%	17248
AR			0	0.00%	24'288
BE	3'918	881	4'799	0.81%	595'951
BL	21'412		21'412	41.36%	51'767
BS	380		380	10.28%	3'695
FR	4'775		4'775	2.86%	167'142
GL	1'076		1'076	1.57%	68'531
GR	2'295	3'532	5'827	0.82%	710'530
JU	9'095		9'095	10.85%	83'851
LU	19'076	6'954	26'030	17.43%	149'352
NE			0	0.00%	80'216
NW	160		160	0.58%	27'585
OW			0	0.00%	49'058
SG	50'688		50'688	24.99%	202'820
SH	770		770	2.58%	29'842
SO	22'457		22'457	28.41%	79'046
SZ	1'099		1'099	1.21%	90'788
TG	380		380	0.38%	99'433
TI			0	0.00%	281'215
UR			0	0.00%	107'653
VD	43'975	53'531	97'506	30.36%	321'202
VS	221	6'769	6'990	1.34%	522'463
ZG	10'974		10'974	45.97%	23'873
ZH	76'122		76'122	44.03%	172'894
<b>Summen</b>	<b>273'133</b>	<b>71'667</b>	<b>344'800</b>	<b>8.41%</b>	<b>4'100'823</b>

## Anhang 2: Nutzungsinteressen an Bodeninformationen

Nutzungsinteressen	Informationsbedarf, Fragestellungen (Bsp.) in Bezug auf Bodeninformationen
Gesellschaft	Ernährungssicherheit
Landwirtschaft	Umsetzung Umweltziele Landwirtschaft (uZL), nachhaltige Bewirtschaftung der Böden, Düngung, Bodenbearbeitung, Wahl der Kulturen, standortangepasster Einsatz von Hilfsstoffen, Direktzahlungssystem und ökologischer Leistungsnachweis (öLN), Umsetzung Grundlagen der Düngung (GRUD)
Raumplanung	Erhaltung der fruchtbaren Ackerböden, einheitliche Planungsgrundlagen für den SP FFF, Berücksichtigung der Bodenqualität in der Raumplanung, Landschaftsentwicklungskonzepte (LEK)
Bodenschutzvollzug	Schutz des Bodens gemäss VBo <sup>18</sup> : Vermeidung von Bodenbelastungen, Bodenüberwachung, Bodenfeuchtemessnetz, Kompensation von FFF, Verwertungspflicht für Bodenaushub beim Bauen, Bodenschutz beim Bauen, Deponien und Auffüllungen, Rekultivierungen, Meliorationen, anthropogene Böden
Naturschutz/ Biodiversität	Ausscheidung von Flächen für den Naturschutz und von Pufferzonen, Erhaltung vielfältiger Flora und Fauna
Gewässerschutz/ Trinkwasserversorgung	Schutz Grundwasser: Ausweisung von Flächen und Einzugsgebieten mit Böden, die Nähr- und Schadstoffe genügend filtern und abbauen
Klimaschutz- Treibhausgasinventar	Boden als Senke und Quelle für Kohlenstoff und klimawirksame Gase, Reportingpflichten gemäss Kyoto-Protokoll, Massnahmen im Bereich der Forstwirtschaft und der Landnutzung (LULUCF: Land Use, Land-Use Change and Forestry)
Naturgefahren/ Hochwasserschutz	Ausscheidung von Gefahrenzonen bezüglich Hochwasser, Rutschungen, Murgängen u.a., Infiltration von Wasser in Böden, Erhaltung natürlicher Mulden, Vermeiden von Rutschungen
Waldwirtschaft	Baumartenwahl, Bestandsplanung, waldbauliche Massnahmen, Schutz vor Bodenbelastungen wie Verdichtung oder Versauerung
Meliorationen und Drainagen	Optimierung der Produktionsfunktion von Böden: Wasserhaushalt und Bodenstruktur verbessern, Wiederherstellung und Unterhalt Drainagesysteme, Kulturtechnik, Landumlegung und Bonitierung
Hydrologie	Wasserhaushalt: Boden im Kontext Niederschlag, Schnee und Gletscher, Verdunstung, Fliessgewässer und Seen, Grundwasser, Bodenwasserhaushalt und Modellierung Abflussprozesse, hydrologische Messnetze
Wasserbau	Renaturierung der Gewässer, Schutz vor Überschwemmungen, Rückhaltebecken für Starkregenereignisse, Staudämme und Klimawandel, Bewässerung von Kulturen in der Landwirtschaft
Wissenschaft und Forschung, Bodenkunde	Boden als Schnittstelle im Ökosystem, zum Beispiel Stoffhaushalt in der Umwelt, Modelle für das System Umwelt, Prognosemodelle, Landnutzungsmodelle, bodenkundliches Wissen
Archäologie	Archiv der Kulturgeschichte: Erhaltung von Fundstätten, Erkenntnisse zu historischen Gegebenheiten und Fundstücken
Umweltbeobachtung	Monitoring, Umweltberichterstattung, internationale Zusammenarbeit, Bodendaten, Bodeninformationssystem, Informationsportal, Nachhaltigkeitsindikatoren, Öffentlichkeitsarbeit

Abbildung 6: Nutzungsinteressen und ausgewählte Fragestellungen betreffend Bodeninformationen (aus Keller et al., 2018)

### Anhang 3: Kostentabelle

Einheit	Kosten Mio. CHF		Variante 1 Laufzeit (Jahre)		Variante 2 Laufzeit (Jahre)		Variante 3 Laufzeit (Jahre)	
	Personal	Zuordnung	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2
			14	4	15	5	16	6
Kartierung	Fachpersonal Fläche	Privat	35	4	37	6	40	7
	Fachpersonal Profil	Privat	22	3	23	4	25	5
	Technik Fläche	Privat	74	3	80	4	85	5
	Technik Profil	Privat	16	2	17	3	18	3
	Technik QS	KOBO	5	0	5	1	5	1
Labor	Technik	Labor	38	5	40	7	43	8
	Leitung	Labor	4	1	4	1	4	2
Modellierung	Spektroskopie	KOBO	3	1	4	1	4	1
	Regionalisierung	KOBO	7	1	9	2	10	2
	Fernerkundung	KOBO	3	0	4	1	4	1
	Transferfunktionen	KOBO	3	1	4	1	4	2
	Sampling / Validation	KOBO	3	0	7	1	8	2
	Datenmanagement	KOBO	3	1	4	1	4	2
	Zusatz Datenanalyse	KOBO/ Kanton-zentral	0	0	7	1	12	3
Koordination	Projekt	KOBO	12	2	13	3	13	3
Administration	Verwaltung	KOBO	10	2	10	2	11	3
	Verwaltung	Kanton-zentral			nicht berücksichtigt <sup>1</sup>			
	Verwaltung	Bund			nicht berücksichtigt <sup>1</sup>			
	Sekretariat	KOBO	5	1	8	1	8	2
Technik, Logistik, IT		KOBO						
	Projekt		8	2	10	3	11	3
	<b>Material</b>		Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2
	Kartierung		53	7	57	9	60	13
	Labor		11	3	11	4	11	4
	PKW		7	1	9	1	9	2
	IT		1	0,2	1	0,3	2	0,6
	Probentransport		2	1	2	1	2	1
	Weitere Ausgaben		4	1	4	1	4	2
	<b>Gesamt</b>		Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2	Phase 1	Phase 2
	Personal		251	29	286	43	309	56
	Material		78	13	85	16	88	23
	Summe		329	42	371	59	397	79
	<b>Summe gesamt (gerundet)</b>		<b>371</b>		<b>430</b>		<b>476</b>	

<sup>1</sup> Verwaltungsstellen für Bund und Kanton wurden in den Projektkosten nicht berücksichtigt.