



Executive Stakeholder Summary

Projektnummer

406840_143096

Titel

Kartierung von Bodeneigenschaften zur Beurteilung von Bodenfunktionen auf regionaler Skala

Projektleiter

Andreas Papritz, ETH Zürich

Weitere
Projektverantwortliche

Andri Baltensweiler, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
Marco Carizzoni, BABU GmbH
Armin Keller, Agroscope
Michael E. Schaepman, Universität Zürich
Lorenz Walthert, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
Stephan Zimmermann, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Beitrag zur thematische(n) Synthese(n):

Boden und
Nahrungsmittel-
produktion

Boden und
Umwelt

Raumentwicklung

Bodendaten, Methoden
und Instrumente

Bodenpolitik

Ort, Datum: Zürich, 11. September 2017

Hintergrund

Böden erbringen wichtige Leistungen für den Menschen, beispielsweise durch den Rückhalt von Wasser bei Regenfällen oder die Filterung von Wasser, das später als Trinkwasser verwendet wird. Böden sind zudem mit Abstand die wichtigste Grundlage für die Futter- und Nahrungsmittelproduktion. Diese Funktionen hängen von den Eigenschaften der Böden ab. Um sie langfristig zu sichern, sind detaillierte Kenntnisse über Aufbau, Eigenschaften, Qualität und Nutzungseignung von Böden und ihre räumliche Verteilung notwendig. Die Bodenkartierung liefert diese Information. Bisher sind rund ein Drittel der landwirtschaftlich genutzten Flächen der Schweiz und etwas mehr als ein Zehntel der produktiven Waldfläche des Schweizerischen Mittellandes bodenkundlich erfasst. Für einen Grossteil der Schweiz fehlen jedoch die Informationen, die für eine nachhaltige Bodennutzung zentral sind.

Für viele Gebiete der Schweiz sind jedoch meist Daten über Böden irgendwelcher Art verfügbar. Ausser aus Kartierungen stammen sie aus Bodenüberwachungsprogrammen, Studien über Bodenbelastungen usw. und lassen sich für die Herstellung von Karten von Bodeneigenschaften nutzen. Dafür werden die verfügbaren Bodendaten mittels statistischer Analysen (digitale Bodenkartierung) mit ausgewählten Umweltvariablen verknüpft. Die Umweltvariablen charakterisieren die Standortsfaktoren (Klima, Topographie, Geologie, Landnutzung), die die Bodenbildung prägen. Sofern die Angaben über die Standortsfaktoren überall verfügbar, können in einem nächsten Schritt aus den statistischen Beziehungen zwischen Bodendaten und Umweltvariablen Bodeneigenschaften für einen beliebigen Punkt prognostiziert werden. Aus den dadurch gewonnenen Bodeneigenschaftskarten lassen sich anschliessend mit Hilfe von Bewertungsregeln Karten von Bodenfunktionen ableiten (digitale Bodenbewertung). Diese zeigen, wo Böden ihre Funktionen in welcher Art zu erfüllen vermögen. Sie stellen eine wichtige Grundlage dar, für die um Böden nachhaltig zu nutzen und mit angepasster Raumplanung vor der Zerstörung durch Überbauung zu schützen.

Ziel

Das NFP 68-Projekt BODENKARTEN hatte das übergeordnete Ziel, Methoden weiterzuentwickeln, um mit Hilfe digitaler Bodenkartierung und -bewertung Karten von Bodeneigenschaften und -funktionen zu erstellen. Die entwickelten Werkzeuge sollten mit Fallstudien getestet werden. Im Einzelnen verfolgte das Projekt folgende Ziele:

- *Harmonisierung von Bodendaten:* Verfahren entwickeln, um Bodendaten abzugleichen, die aus einer Vielzahl von Quellen.
- *Umweltvariablen:* Digitale Geländeinformation aufbereiten, um den Einfluss der Topographie auf die Eigenschaften der Böden zu charakterisieren. Räumlich und spektral hochaufgelöste Bilder der Fallstudiengebiete aufnehmen mit dem Ziel, einerseits direkt Informationen über brachliegende Böden zu gewinnen, andererseits indirekt durch die von der Vegetation reflektierte Strahlung von bewachsenen Böden.
- *Statistische Modellierung:* Modelle entwickeln, die Bodeneigenschaften auf Basis möglichst weniger Umweltvariablen prognostizieren und deren Plausibilität mit bodenkundlichem Wissen überprüft werden kann. Die entwickelten Modelle in den Studiengebieten anwenden, um Karten von Bodeneigenschaften zu erzeugen.
- *Bodenfunktionsbewertung:* Eine thematisch breite Auswahl von Bodenfunktionen für einen nationalen Katalog von Bodenfunktion erstellen und die ausgewählten Funktionen, basierend auf den erzeugten Bodeneigenschaftskarten in den Studiengebieten kartieren.

Resultate

Im Projekt BODNEKARTEN wurden für drei Studiengebiete in den Kantonen Bern und Zürich Bodendaten von insgesamt 16 000 Standorten zusammengetragen und harmonisiert. Es handelte sich um Daten aus Bodenkartierungen und Untersuchungsprogrammen von Wald- und Landwirtschaftsböden, der kantonalen Bodenüberwachung und von Schadstoffuntersuchungen. Die entsprechenden Daten waren über mehrere Jahrzehnte erhoben und vor Beginn des Projekts digital erfasst worden. Insgesamt wurden 265 000 Labormesswerte und 200 000 im Feld gewonnene Schätzwerte von Bodeneigenschaften in einer Datenbank abgelegt. Zur Harmonisierung der Daten wurde ein zehnstufiges Schema erarbeitet. Wichtige Schritte der Harmonisierung waren das Sammeln von Metainformation, die Speicherung der Daten in einheitlicher Form, Plausibilitätsprüfung, Abstimmung von Feldschätzwerten und Labormessungen und die Abschätzung fehlender Messwerte aus verfügbaren Daten. Die Bodendaten wurden nach diesem Schema harmonisiert und für die statistischen Analysen vorbereitet.

Für die Fallstudiengebiete berechnete das Projektteam auf Basis digitaler Höhendaten ein umfassendes Set von Geländeattributen wie Hangneigung, Exposition, Krümmung, Bodennässeindex usw. Im Voraus war unklar, welche räumliche Skala sich als optimal erweisen würde. Die Geländeattribute wurden deshalb mit variabler Glättung für mehrere räumliche Auflösungen der Höhendaten berechnet. Bei der statistischen Datenanalyse zeigte sich, dass Geländeattribute, die von räumlich hochaufgelösten Höhendaten mit stärkerer Glättung berechnet worden waren, sich für die Prognose der Bodeneigenschaften im Mittel etwas besser eignen.

Für zwei der drei Studiengebiete wurden zu drei Terminen räumlich und spektral hochaufgelöste Luftbilder aus einem Flugzeug aufgenommen. Das eingesetzte Spektrometer erfasste die Lichtreflexion der Landoberfläche im sichtbaren und nahen Infrarot-Bereich. Für beide Studiengebiete wurden die Luftbilder aller Zeitpunkte kombiniert. Dazu wurde ein Verfahren entwickelt, um unterschiedliche Feuchtigkeit und Oberflächenbeschaffenheit der Böden auszugleichen. Die Kombination der Bilder erlaubt die Fläche, für die spektrale Information über brachliegende Böden verfügbar ist, im Vergleich zu einem einzelnen Bild etwa zu verdoppeln. Die spektrale Information aus den Luftbildern wurde anschliessend mit chemischen und physikalischen Analysedaten aus Bodenproben brachliegender Flächen verknüpft und daraus Eigenschaftskarten für brachliegende Böden berechnet. Das gleiche Verfahren wurde verwendet, um mit Landsat-Satellitenbildern Bodeneigenschaftskarten für brachliegenden Böden im Schweizerischen Mittelland zu berechnen.

Zusätzlich zu den Geländeattributen und den hyperspektralen Luftbildern wurden zahlreiche weitere Umweltvariablen über Klima, Geologie, Landnutzung und Böden zusammengetragen. Je nach Studiengebiet resultierten auf diese Weise zwischen 330 bis 480 Umweltvariablen. Das Projektteam entwickelte ein neues statistisches Verfahren, um aus zahlreichen Umweltvariablen automatisch einfache Vorhersagemodelle für Bodeneigenschaften zu erstellen. Der Ansatz erlaubt eine bodenkundliche Interpretation der modellierten Beziehungen. Für die Fallstudiengebiete wurden mit der neuen Methode Karten wichtiger Basisbodeneigenschaften (Humus-, Stein-, Schluff- und Tongehalt, pH-Wert und weitere Bodenversauerungsmerkmale, Bodennässe, Mächtigkeit des Wurzelraums usw.) berechnet. Da sich Bodeneigenschaften mit der Tiefe teilweise stark verändern, wurden für jede Bodeneigenschaft Karten für vier Tiefenschichten erstellt. Dies erlaubt, die Veränderung der Bodeneigenschaften mit der Tiefe genauer zu erfassen und Bodenfunktionen besser abzuschätzen. Die Genauigkeit der berechneten Bodeneigenschaftskarten wurde quantitativ überprüft. Dazu wurden prognostizierten Bodeneigenschaften mit Messwerten verglichen, die eigens für diesen Zweck beiseitegestellt

worden waren. Das neue Verfahren wurde mit fünf etablierten Modellierungsansätzen aus Geostatistik und maschineller Lerntechnik verglichen. Die Unterschiede in der Güte der Vorhersagen der sechs Methoden waren meist klein. Die Methode Random Forest, die auf Entscheidungsbäumen basiert, ergab aber insgesamt die genauesten Vorhersagen. Random Forest ist leicht anzuwenden und erlaubt auch, Karten über die Genauigkeit der vorhergesagten Bodeneigenschaften zu erstellen.

Auf Basis einer Literaturreview erstellte das Projektteam einen Katalog von Methoden zur Bewertung von Bodenfunktionen zu den Themen «Regulation von Wasser- und Stoffflüssen», «Biomasseproduktion» und «Lebensraum». Der Fokus lag dabei auf statischen Bewertungsmethoden, die sich wegen ihres geringen Datenbedarfs anbieten, das Konzept der Bodenfunktionen operationell in die Raum- und Ressourcenplanung sowie in Boden- und Umweltschutz einzubringen. Für die Fallstudienregionen wurden zehn Bewertungsmethoden ausgewählt. Dadurch waren die Bodeneigenschaften definiert, für die Karten zu erstellen waren. Für einzelne benötigte Bodeneigenschaften (z. B. Wasserleitfähigkeit und -speicherkapazität, Bodendichte usw.) waren in den Studiengebieten keine oder nur wenige Daten verfügbar. Die fehlenden Karten wurden deshalb mittels Ableitungsregeln, so genannten Pedotransferfunktionen, aus vorhandenen Karten (siehe oben) generiert. Das Projektteam erstellte einen Teil der selbst und übernahm andere aus der Literatur. Die berechneten Bodenfunktionskarten zeigten mit einer Rangskala, in welchen Teilen der Fallstudiengebiete Bodenfunktionen unterschiedlich gut erfüllt werden. Für ausgewählte Bodenfunktionen wurde zudem die Unsicherheit der Bewertung quantifiziert. Der Vergleich der berechneten Erfüllungsgrade mit Daten, die anhand von Bodenprofilen erhoben worden waren, zeigte, dass die Bewertung der Bodenfunktionen im Allgemeinen plausibel war. Es wurde weiter untersucht, ob die Information der zehn Bodenfunktionskarten in Form eines Bodenqualitätsindex in einer einzigen Karte zusammengefasst werden kann, was sich als schwierig herausstellte. Die Karten der Erfüllungsgrade der Bodenfunktionen wurden für eine Fallstudienregion vom NFP 68-Projekt ENTSCHEIDUNGSPLATTFORM verwendet, um räumliche Information über Böden in der Raumplanung besser berücksichtigen zu können.

Bedeutung für die Forschung

Im NFP 68-Projekt BODENKARTEN wurde die Methodik der digitalen Bodenkartierung und -bewertung in verschiedener Hinsicht weiterentwickelt:

Harmonisierung von Bodendaten: Das entwickelte Ablaufschema erlaubt, Bodendaten aus früheren Untersuchungen zu harmonisieren und für die digitale Bodenkartierung nutzbar zu machen. Durch die Harmonisierung konnte die Datenbasis für die digitale Kartierung der Bodeneigenschaften in den Fallstudiengebieten wesentlich erweitert werden. Es wurde gezeigt, wie zeitliche Schwankungen der Messwerte, die bei der Harmonisierung mangels geeigneter Metainformation nicht korrigiert werden konnten, sich später bei der räumlichen statistischen Modellierung ausgleichen lassen. Für die Kartierung vieler Bodeneigenschaften ist diese Korrektur wichtig.

Umweltvariablen: Die Resultate zeigen, dass es wichtig ist, Geländeattribute für verschiedene räumliche Skalen zu berechnen und die optimale Skala durch die statistische Datenanalyse zu bestimmen. Wird die räumliche Skala a priori gewählt, besteht die Gefahr, dass der Einfluss der Topographie auf die Bodeneigenschaften nicht optimal abgebildet wird.

Anders als in Studien aus ariden Gebieten – wo Böden kaum vegetationsbedeckt sind – lieferten die hyperspektralen Luftbilder in den Fallstudiengebieten kaum nützliche Information für die

Kartierung der Bodeneigenschaften. Im Rahmen des Projekts wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem Luftbilder kombiniert werden können, die zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen wurden. Dadurch liess sich die Fläche mit spektraler Information brachliegender Böden im Vergleich zu einer einzelnen Luftaufnahme vergrössern

Statistische Modellierung: Die neu entwickelte statistische Methode erlaubt, Karten von Bodeneigenschaften automatisch zu berechnen. Für alle Typen von Bodendaten (metrische Messgrössen, kategoriale und Rangmerkmale) kann der gleiche Modellierungsansatz verwendet werden. Obwohl sehr viele Umweltvariablen zur Verfügung standen, wurden nur wenige Variablen in die statistischen Modelle eingebaut. Die Modelle konnten deshalb einfach auf ihre bodenkundliche Plausibilität überprüft werden. Für die Fallstudiengebiete wurden mit dem neuen Verfahren mit geringem Aufwand zahlreiche Bodeneigenschaftskarten berechnet. Es werden zudem innovative, aussagekräftige Kriterien vorgeschlagen (und in den Fallstudien angewendet), um die Qualität von digitalen Bodeneigenschaftskarten zu beurteilen.

Bodenfunktionsbewertung: Im Rahmen des Projekts wurde zum ersten Mal ein thematisch breiter, digitaler Bodenbewertungsansatz auf regionaler Skala umgesetzt. In den Fallstudiengebieten wurden zehn Bodenfunktionen aus den Themenkreisen «Produktion», «Regulation von Stoffkreisläufen» und «Lebensraum» räumlich bewertet. Die Plausibilität der Bewertung wurde mit Bodendaten überprüft. Zudem wurde nicht nur die Eignung der Böden für bestimmte Funktionen untersucht, sondern auch die Unsicherheit der Bewertung quantifiziert.

Bedeutung für die Praxis

Mit dem Projekt BODNEKARTEN wurde erfolgreich demonstriert, dass sich aus flächenhaft vorhandenen Umweltvariablen und Daten früherer Bodenuntersuchungen thematisch vielfältige Karten von Bodeneigenschaften berechnen lassen. Sind die benötigten Daten vorhanden, kann hochaufgelöste räumliche Bodeninformation also auch für Gebiete generiert werden, in denen gute Bodenkarten fehlen. Die Genauigkeit solcher Karten kann rigoros überprüft werden. Zudem lässt sich die statistische Unsicherheit der berechneten Karten bestimmen und ihrerseits in Karten darstellen. Das ist insofern sehr nützlich, als neue Bodendaten gezielt jenen Teilen eines Untersuchungsgebiets erhoben werden können, wo die Prognosen bisher zu ungenau waren. Ein weiterer Vorteil von berechneten Bodenkarten ist ihre leichte Nachführbarkeit: Werden neue Daten – Bodendaten oder Umweltvariablen – verfügbar, können mit geringem Aufwand neue Karten berechnet werden.

Für die drei Fallstudiengebiete wurde die Genauigkeit der berechneten Bodeneigenschaftskarten quantitativ überprüft. Die Qualität der Karten variierte je nach Bodeneigenschaft stark. Diverse Eigenschaften liessen sich nur mit grossen zufälligen Fehlern prognostizieren. Für eigentumsrelevante Entscheide sind derartige Bodenkarten ungeeignet. Viele Fachleute erachten deshalb die digitale Bodenkartierungsmethodik als zu ungenau und ziehen Bodenkarten vor, die mit herkömmlicher Methodik produziert worden sind. Allerdings existieren in der Schweiz bis heute keine aussagekräftige Untersuchung über die Frage, mit welchen Fehlern traditionelle, polygon-basierte grossmassstäbliche Karten Bodeneigenschaften prognostizieren. Die Einschätzung, traditionelle, polygon-basierte Bodenkarten erlaubten genauere Prognosen, lässt sich deshalb empirisch nicht abstützen.

Die digitale Bodenkartierungsmethodik erschöpft sich nicht in der Kartierung von Bodeneigenschaften. Liegt ein Set digital generierter Karten von Basisbodeneigenschaften wie Humus-, Stein-, Schluff- und Tongehalt, pH-Wert Bodennässemerkmalen und Mächtigkeit des

Wurzelsystemen vor, kann mit Bewertungsmethoden flexibel eine thematisch vielfältige Palette von Bodenfunktionen und -gefahren räumlich bewertet werden.

Empfehlungen

Interdisziplinäre Zusammenarbeit

Das Projekt BODENKARTEN deckte inhaltlich mehrere Komponenten des Wertschöpfungszyklus für Bodeninformatoren ab: Von der Aufarbeitung und Harmonisierung von Bodendaten und dem Bereitstellen von Umweltvariablen über die Vorhersage von Bodeneigenschaften bis hin zur Bewertung von Bodenfunktionen für raumplanerische Entscheidungen. Entsprechend waren an diesem Projekt mehrere Fachdisziplinen beteiligt. Erst diese interdisziplinäre Zusammenarbeit hat es ermöglicht, dass die Projektziele erreicht werden konnten.

Verwendung von Bodendaten aus früheren Untersuchungen

Sollen Bodendaten aus früheren Projekten für digitale Bodenkartierung verwendet werden, ist eine Harmonisierung dieser Daten unabdingbar. Diese Arbeit ist entscheidend für den Erfolg eines digitalen Bodenkartierungsprojekts. Die Harmonisierung ist methodisch anspruchsvoll und muss durch Bodenfachleute in Zusammenarbeit mit Spezialisten und Spezialistinnen durchgeführt werden, die für die digitale Ablage der Bodendaten und die statistischen Analysen zuständig sind. Als Voraussetzung für eine erfolgreiche Harmonisierung muss ein geeignetes Datenmodell verfügbar sein. Mit der nationalen Bodendatenbank NABODAT sind in der Schweiz dafür gute Vorarbeiten geleistet worden. Der Arbeitsablauf für die Aufbereitung von Bodendaten für NABODAT umfasst allerdings noch nicht alle Schritte wie im Projekt BODENKARTEN erarbeitet (z. B. Plausibilitätsprüfungen) und sollte entsprechend erweitert werden. Es gilt weiter einen Trade-off zwischen der Harmonisierung alter Bodendaten und dem Erheben neuer Daten zu beachten: Je nach Datenlage ist der Aufwand für die Harmonisierung zu gross beziehungsweise kann wegen fehlender Metainformationen nicht befriedigend durchgeführt werden. In diesen Fällen empfiehlt es sich, auf die Verwendung alter Daten zu verzichten und neue zu erheben.

Weiterentwicklung der Bodenkartierungsmethodik

Methodische Entwicklungen in digitaler Bodenkartierung und in jüngerer Zeit verfügbar gewordene, räumlich immer besser aufgelöste, georeferenzierte Umweltdaten bieten die Chance, wenn auch nicht die etablierte Bodenkartierungsmethodik ganz zu ersetzen, so doch flächenhafte Bodeninformatoren in Zukunft nachvollziehbarer und kostengünstiger zu generieren.

Aufbereitung von Grundlagendaten, Erstellen der Konzeptbodenkarte: Am Anfang eines Kartierungsprojekts steht die Auswertung aller Umweltdaten, die Informationen über die Bodenbildungsfaktoren im Kartierungsgebiet enthalten. Diese Informationen sind zentral für das Erstellen der Konzeptbodenkarte, die im zweiten Schritt eines Projekts erstellt wird. Bei einer digital unterstützten Kartierung können dazu Fernerkundungsdaten hinzugezogen werden: Neben Geländeattributen, die aus hochaufgelösten Höhenmodellen berechnet werden, und multispektralen Satellitendaten (Landsat, MODIS, Sentinel), die direkt Informationen über die Oberfläche brachliegender Böden (z.B. über Humusgehalt) liefern, kann die flugzeuggestützte Gammasspektrometrie am ehesten nützlichste Information beitragen. Eine Konzeptkarte lässt sich objektiver erstellen, wenn statistische Verfahren verwendet werden, die schon vorliegende Bodendaten mit Umweltvariablen verknüpfen. Bei der heutigen Kartierungsmethode ist dieser Schritt stark von der subjektiven Erfahrung der Kartierungsfachleute abhängig und deshalb anfällig für Verzerrungen.

Statistische Verfahren unterstützen Kartierungsfachleute zudem bei der Wahl der Standorte, an denen Bodenprofile untersucht werden sollen. Sie stellen sicher, dass Profilstandorte nicht nur gleichmässig über das Kartierungsgebiet verteilt werden, sondern die Variationsbreite wichtiger Umweltdaten mit einer möglichst kleinen Anzahl an Untersuchungspunkten möglichst gut abgedeckt wird. Je nach Grösse des Untersuchungsgebiets und der erforderlichen Genauigkeit ist ein iteratives Vorgehen sinnvoll, bei dem nach Bedarf weitere Standorte untersucht werden, bis die räumliche und inhaltliche Abdeckung der Umweltdaten befriedigend ist.

Erhebung von Bodendaten: Angaben über Bodeneigenschaften werden heute entweder als Feldschätz- oder quantitative Labormesswerte erhoben. Feldschätzwerte von Bodenkennwerten wurden bisher meist als Klassenwerte (z.B. «schwach skeletthaltig») und nicht als metrische Werte registriert. Eine derartige Kodierung birgt einen Informationsverlust in sich und erschwert die Auswertung von Zeitreihen, wenn Kodierungsschemata geändert werden. In Zukunft sollten Feldschätzwerte deshalb als metrische Werte kodiert werden. Wichtig ist weiter, dass in Zukunft sämtliche Daten aus der Feldkartierung, also auch Informationen, die mit Bohrungen gewonnen werden, dokumentiert und digital erfasst werden. Konzeptionell sollte also die Datenerhebung klar vom Schritt getrennt gehalten werden, in dem die räumlichen Prognosen erstellt werden, unabhängig davon, ob diese nun durch das subjektive mentale Modell der Kartierungsfachleute oder durch objektive und reproduzierbare statistische Datenanalysen erfolgen.

Seit einiger Zeit werden vermehrt spektroskopische Methoden, die die Reflexion im sichtbaren und Infrarotteil des Lichtspektrums erfassen, zur Messung von Bodeneigenschaften eingesetzt. Einmal über Spektralbibliotheken mit nasschemischen Messungen geeicht, erlauben bodenspektroskopische Methoden eine grosse Anzahl Analysen rasch und kostengünstig auszuführen. Um Laboranalysen kostengünstiger durchzuführen, können neben optischen möglicherweise noch andere Messverfahren (z.B. Röntgenfluoreszenzanalyse XRF) eingesetzt werden. Diese neuen Entwicklungen sollten bei der anstehenden Überarbeitung der Bodenkartierungsrichtlinien aufgegriffen werden. Ein weiteres Problem der aktuell gültigen Richtlinien ist, dass bei der Kodierung von kategoriellen und Rangmerkmalen zu viele Kategorien unterschieden werden. Bei zu detaillierter Unterteilung ist es schwieriger, die Daten korrekt und konsistent zu erheben. Zudem stehen danach für statistische Modellierungen oft zu wenige Daten pro Kategorie zur Verfügung, so dass Stufen ad-hoc zusammengefasst werden müssen.

Validierung der Bodenkartierungsmethodik: Bis heute wurde in der Schweiz die Genauigkeit von Prognosen, die sich aus traditionellen, polygon-basierten Bodenkarten ableiten lassen, nie mit der gleichen Rigorosität überprüft wie sie für digitale Bodenkartierungsstudien üblich sind. Künftige Bodenkartierungsprojekte sollten diesem Mangel Rechnung tragen und Ressourcen für eine Validierung der Güte der Karte mit unabhängigen Daten einplanen, die beim Erstellen der Karten nicht verwendet werden dürfen.

Skaleneffekte bei Bodenkartierungsprojekte ausnützen

Ein weiterer Vorteil des im Projekt BODENKARTEN verfolgten Ansatzes gegenüber der heutigen Vorgehensweise bei Bodenkartierungen liegt in der Zusammenführung und Auswertung umfangreicher Umweltdaten sowie Informationen aus der Nah- und Fernerkundung, die zur Erklärung der räumlichen Muster der Bodeneigenschaften beitragen können. Im Projekt wurden für die Fallstudiengebiete Bern und Zürich über 400 Karten aufbereitet. Der Aufwand für die Zusammenführung und Auswertung einer derart grossen Anzahl von Kartenwerken ist für die relativ kleinen Kartierungsprojekte, wie sie heute typischerweise durchgeführt werden, zu gross. Zudem ist bei den privaten Kartierungsbüros dafür oft das technische Know-how nicht vorhanden. Im Projekt BODENKARTEN hat sich gezeigt, dass es für diesen Arbeitsschritt kaum einen

Mehraufwand darstellt, die Umweltdaten für mehrere oder grössere Gebiete vorzubereiten. Es wäre deshalb sinnvoll, vorbereitende und koordinierende Arbeiten für alle künftigen Bodenkartierungsprojekten in Zusammenarbeit mit den Kantonen durch eine zentrale Stelle durchführen zu lassen, um diese technischen Neuerungen nutzen zu können.