

Zeitschrift: Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement =
Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire =
Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio

Herausgeber: geosuisse : Schweizerischer Verband für Geomatik und
Landmanagement

Band: 103 (2005)

Heft: 8

Artikel: Bodenmodellierung mit GIS im hochalpinen Raum

Autor: Egli, M. / Margreth, M. / Vökt, U.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-236253>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 16.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Bodenmodellierung mit GIS im hochalpinen Raum

Detaillierte Bodenkarten im Schweizerischen Alpenraum existieren praktisch nicht. Die einzige Grundlage für solche Gebiete ist die Bodeneignungskarte im Massstab 1:200 000. Mit der GIS-Datenbasis des Kantons Graubünden wurden für das Oberengadin folgende Bodeneigenschaften nach der FAL-Nomenklatur modelliert: Bodentyp, Gründigkeit, Wasserhaushalt, Geländeform, pH-Wert, organischer C-Gehalt, Skelettgehalt und Körnung. Die Auflösung des digitalen Höhenmodells war für eine Modellierung in der Talebene zu grob, weshalb die relevanten Bodeneigenschaften mit einer Luftbildkartierung erfasst wurden. Die erzielten Resultate stimmen zuverlässig und widerspiegeln einen auch für die Praxis relevanten Massstab von ca. 1:50 000.

Il n'existe quasiment pas de cartes pédologiques pour l'espace alpin suisse. La seule base pour de telles régions est la carte d'aptitude des sols à l'échelle 1:200 000. Avec la base de données du canton des Grisons, les propriétés suivantes des sols ont été modélisées conformément à la nomenclature FAL: type de sols, profondeur, régime hydrique, forme du terrain, valeur PH, teneur organique en C, squelette et granulométrie. Pour une modélisation en plaine, la résolution du modèle digital des altitudes est trop grossier, si bien que les propriétés importantes du sol ont été saisies par une cartographie d'images aériennes. Les résultats obtenus permettent d'être optimiste, grâce aussi à l'échelle 1:50 000 qui convient particulièrement bien pour les applications pratiques.

Non si dispone praticamente di nessuna carta dettagliata del suolo delle Alpi svizzere. L'unica base esistente per questa regione è la carta sull'idoneità del suolo in scala 1:200 000. Con la base dati SIG del Canton Grigioni, in Engadina Alta si è provveduto a modellare le seguenti caratteristiche del suolo: tipo di suolo, profondità, tenore idrico, morfologia, valore pH, tenore organico e granulazione. La risoluzione del modello altimetrico digitale era troppo grossolana per una modellazione del fondovalle, motivo per cui le caratteristiche determinanti del suolo sono state rilevate con una cartografia basata su riprese aeree. I risultati raggiunti sono affidabili e sono restituiti in una scala 1:50 000, idonea per la pratica.

M. Egli, M. Margreth, U. Vökt, F. Keller

Eine kartografische Erfassung und detaillierte Datengrundlage von Bodeneigenschaften im alpinen Raum ist praktisch inexistent. Um einen ersten räumlichen Eindruck zu erhalten, muss auf die Bodeneignungskarte der Schweiz, welche im Massstab 1:200 000 angefertigt worden ist, zurückgegriffen werden (Frei et al., 1980). Der Nutzen und die Aussagekraft dieser Karte für die Praxis und den Vollzug ist aber nicht zuletzt bedingt durch die hohe Massstabszahl und die spezifische landwirtschaftliche Ausrichtung ein-

geschränkt. Die Polygone sind ausschliesslich als Komplexe, welche mehrere Ausprägungen pro Merkmal umfassen, dargestellt. Eine zeitaufwändige und durch die Topographie erschwerte Bodenkartierung (hohe Variabilität der Geländeformen auf engstem Raum) im Feld ist mit hohen Kosten verbunden. Da Kantone oder Regionen für Bodenkartierungen im alpinen Raum zur Zeit sowie auch in nächster Zukunft kaum die nötigen finanziellen Hilfsmittel bereit stellen können, von der Gesetzgebung für den Vollzug genau solche Grundlagendaten notwendig sind, sind alternative Methoden bei der Datenerhebung gefragt

(Tognina, 2004). Eine prozess-orientierte Modellierung mittels GIS für das Gebiet Geisenfeld (Bayern) unternahm Huber (1994), wobei die Modellierung der Bodeneigenschaften mit Hilfe von Gelände-eigenschaften, vergleichenden Betrach-tungen mit bestehenden Bodenkarten und der Formulierung geoökologischer Zusammenhänge durchgeführt wurde. Weitere Möglichkeiten bestehen über die Fernerkundung (beispielsweise denudati-ve Prozessbereiche, Akkumulationsgebie-te etc. und daraus ableitbare Bodentypen; vgl. Gauthier & Tabbagh, 1994). Sofern genügend Punktdaten vorhanden sind, lassen sich auch mittels geostatistischen Methoden Bodentypen und -eigenschaf-ten räumlich vorhersagen (z.B. Lark, 2003). Für das Oberengadin stellte sich die Frage, inwieweit mit bestehenden Raumdaten, welche in digitaler Form vorliegen, und mit welcher Methodik ein höherer Detaillierungsgrad der Bodeneignungskarte 1:200 000 erzielt werden kann.

Methoden, Vorgehen

Generelles Vorgehen

Bedingt durch die vorhandenen Daten, basiert die Bodenhypothesenkarte Oberengadin auf einer methodischen Misch-form aus GIS-Modellierung, Luftbildkar-tierung und Fernerkundung. Erster Aus-gangspunkt für die Berechnung der Bodeneigenschaften war die Bodeneignungskarte (Frei et al., 1980). Der Einbe-zug von GIS-Datensätzen, Reliefanalysen (ausgehend vom digitalen Höhenmodell DHM25 der Eidg. Landestopografie) und die Auswertung von Satelliten-gestützten Daten bezweckte eine Verfeinerung der Einheiten der Bodeneignungskarte (vgl. Tab. 1). In einem iterativen Verfahren wur-de die daraus resultierende Hypothesen-karte mit gezielten Feldbegehung und Stichprobenkontrollen verglichen und angepasst. Als Grundlage für die Modellie-rung dienten 52 Bodenprofildaten aus ei-genden Untersuchungen (z.B. Fitze, 1982; Margreth, 2004) sowie aus der Literatur (z.B. Walther et al., 2003). Die Bodeneigenschaften der Talebene des Ober-

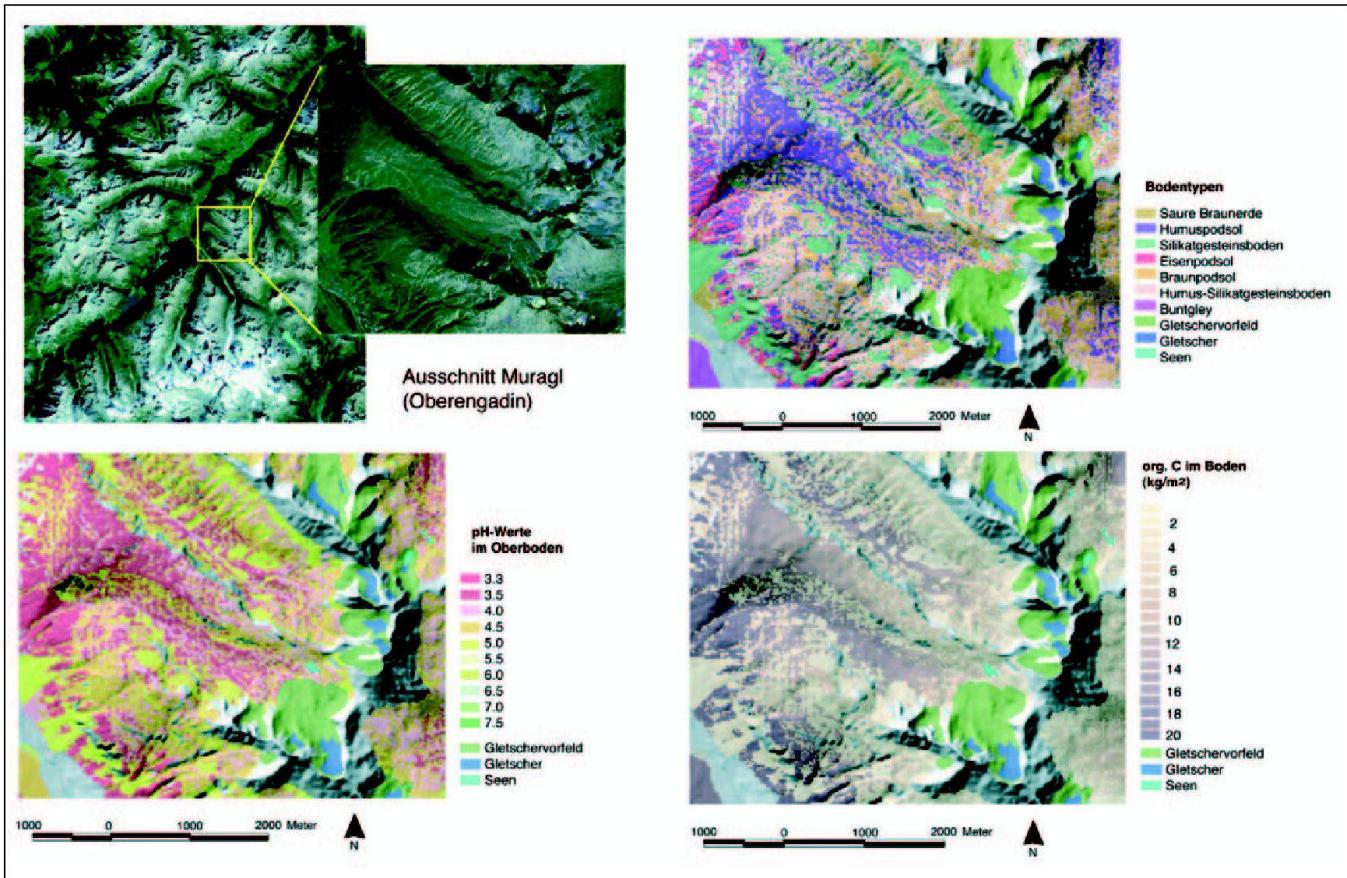


Abb. 1: Modellierte Bodentypen, pH-Werte im Oberboden und org. C Gehalt (kg/m^2) im Ausschnitt Muragl (Oberengadin).

engadiner Haupttales wurden mit einer Luftbildkartierung erfasst und danach in die GIS- gestützte Modellierung integriert. Das digitale Höhenmodell gab die geringen Reliefänderungen in der Ebene zu ungenau wieder.

Legende der Bodenkartierung

Die meisten Bodenkarten der Schweiz haben nebst Polygonen mit eindeutigen Zuweisungen auch solche mit mehrfacher Zuweisung (Komplexe). Komplexe Polygon-Zuweisungen sind aus datenbanktechnischer Hinsicht sowie im Hinblick auf weitere Verwendungen und Modellierungen problematisch und müssen künftig weitestgehend vermieden werden. Die Nomenklatur der Bodeneinheiten und -eigenschaften richtet sich in unserem Fall nach den Vorgaben von Brunner et al. (1997) (= FAL Nomenklatur). Ein Polygon beinhaltet bspw. folgenden Code: cb1s, mit

- Wasserhaushalt, pflanzennutzbare Gründigkeit (c: senkrecht durchwachsen, normal durchlässig, mässig tiefgründig)
- Bodentyp (B: Braunerde)
- Laufende Nummer (für Ausgangsmaterial, Untertyp, Skelettgehalt, Feinerdekörnung, pH,...) sowie die
- Geländeform (s: gleichmässig geneigt, 35–50%).

Modellierung

Die Modellierung der Bodeneigenschaften richtet sich nach den bodenbildenden Faktoren. Gemäss Jenny (1980) sind die Bodeneigenschaften eine Funktion des Ausgangsmaterials, des Klimas, der Topographie, der Zeit und von Organismen (oder Vegetation). Die Böden ausserhalb des Gletschervorfeldes haben ein Bodenalter zwischen rund 10 000 und 15 000 Jahren (Fitze, 1982). Der Faktor Zeit tritt deshalb gegenüber den anderen Fakto-

ren (im Speziellen Topographie, Klima und Geologie) in den Hintergrund.

Geländeformen

Die Hanggeometrie (z.B. Mulden, Hangrücken, Talformen etc.) wurde auf der Grundlage des DGM mit dem Modul GRID (ARC/INFO) und dort mit der Funktion CURVATURE bestimmt. Aus den Höhenangaben des DGM kann für jede Zelle relativ zu ihren acht Nachbarzellen ein Krümmungskoeffizient errechnet werden. Die Krümmung kann sowohl in Richtung des grössten Gefälles (profile curvature) als auch parallel zu den Höhenlinien (plan curvature) bestimmt werden. Eine weitere Differenzierung der Topographie erfolgte durch die Ausscheidung von Nord- und Südlagen.

Bodentypen

Ein zentrales Augenmerk wurde der Modellierung von Bodentypen gewidmet.

Inhalt	Massstab
Klima/Wasserhaushalt/Gelände	
Geländemodell	
(20 m Auflösung)	1:25000
Fluviatiler Prozessbereich	1:25 000
Glaziofluviatiler Prozessbereich	1:25000
Periglazialer Prozessbereich	1:25 000
Glazialer Prozessbereich	1:25 000
Galziologische Karte	1:25 000
Ausaperungsmuster (Spot)	20 m
Geologie/Geomorphologie	
Geotechnische Karte	1:200 000
Geologie in vier Klassen (Gletscher/Seen, Silikat, Karbonat, Mischgestein)	1:200 000
Rutschungen	1:200 000
Lawinenzüge	1:25 000
Organogener Prozessbereich	1:25 000
Gravitativer Prozessbereich	1:25 000
Murgang Anrissgebiete	1:25 000
Murgang Ablagerungsgebiete	1:25000
Murgang Transportgebiet	1:25 000
Bodeneignungskarte	1:200 000
Im Feld erhobene	
Bodenprofildaten	Punktdaten
Feldkartierung Boden im Tal	1:50 000
Vegetation/Nutzung	
Flachmoorinventar	1:10 000
Hochmoorinventar	1:10 000
Biotoptdetailkartierungen	1:10 000
Aueninventar	1:25 000
Alpine Auen	1:25 000
Trockenwiesen und -weiden	1:25 000
Wald	1:25 000
Sonstiges	
Siedlungsgebiete	1:5000
Golfanlagen (aus Nutzungsplanung)	1:5000
Seen	1:25 000
Fliessgewässer	1:25 000

Tab. 1: GIS-Datengrundlage, aufgegliedert nach den bodenbildenden Faktoren.

Der Modellierung weiterer chemisch-physikalischer Aspekte lag die Annahme zugrunde, dass Bodentypen bedingt durch ihre Evolution, diese Aspekte in ihrer Summe widerspiegeln. Charakteristika wie beispielsweise der pH-Wert konnten direkt davon abgeleitet werden. Andere Eigenschaften, wie z.B. der organische Kohlenstoffgehalt im Boden, sind eine Kom-

bination von Bodentransferfunktionen und Bodentypen. Die Verknüpfung der Datenebenen erfolgte mit Bedingungsausdrücken (Boole'sche Operatoren), in welchen die verschiedenen Kombinationen der Einflussfaktoren aus der GIS-Analyse, der Luftbildkartierung und Fernerkundung den entsprechenden Bodentypen zugeordnet wurden. Die Modellierung der Bodeneigenschaften erfolgte zellenbasiert. In Abhängigkeit des Untergrundmaterials, der Geländeform, Geländeneigung, Höhe, Wald (bzw. Vegetation), Schneeausaperungsmuster (erhalten aus Satellitendaten), Geomorphologie und Exposition erfolgte die Zuweisung der Bodentypen. Die Luftbildkartierung der Talebene umfasst die Bodeneigenschaften Bodentypen, Geländeformen und Wasserhaushalt. Die übrigen Bodeneigenschaften wie Gehalt an org. C, Körnung, Skelettgehalt, Gründigkeit und pH wurden mit Hilfe des Modells berechnet. Die Zuweisung von Böden und Bodeneigenschaften in hanginstabilen Gebieten oder im Periglazial erfolgte über die geomorphologische Karte.

Organischer Kohlenstoff

Die Menge an org. C im Boden kann als Funktion der Höhe dargestellt werden (Hitz, 2002). Die von Hitz (2002) für das Vereinatal abgeleitete Pedotransfer-Funktion wurde für das Oberengadin adaptiert und an vorhandene Profil-Daten angepasst.

pH-Wert

Die Modellierung des pH-Wertes und des Skelettgehaltes wurde auf der Basis der Bodentypen, der Topographie und der Gesteinsunterlage durchgeführt.

Gründigkeit und Wasserhaushalt

Für einen Teil der Gebiete gab es Grundlagen über die Bodeneignungskarte (Frei et al., 1980). Die vorgegebenen Bedingungen wurden mit dem Geländemodell überprüft und korrigiert. Die Bestimmung der Gründigkeit von Böden ausserhalb des kartenierten Bereichs der Bodeneignungskarte basierte auf den Bodentypen und dem Geländemodell.

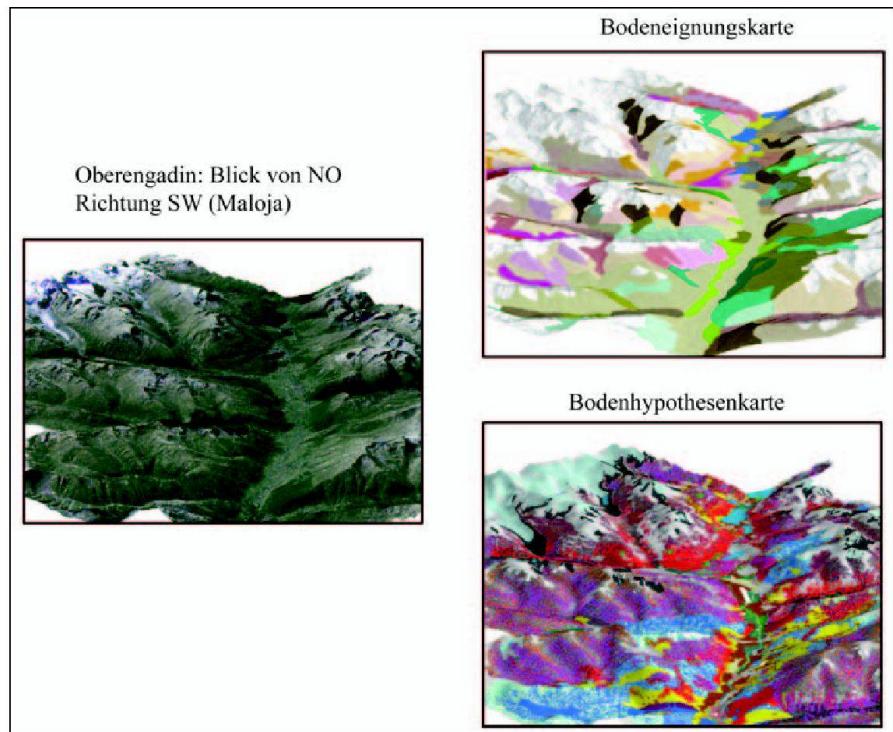


Abb. 2: Optischer Vergleich (Auflösung) zwischen der Bodeneignungskarte und den modellierten Bodentypen.

Eigenschaft	Items	Spezifikationen	Übereinstimmung Modell/Feld in %
Bodentypen		allgemein	65
		Podsole	75
Bodeneigenschaften			
Gründigkeit		exaktes Zutreffen	28
		Abweichung 1	
		Gründigkeitsklasse	50
		Summe ¹⁾	78
pH (Oberboden)		exaktes Zutreffen	6
		Abweichung <0.2 pH Einheit	28
		Abweichung ≥0.2 und <0.5 pH Einheit	28
		Summe	62
pH (Unterboden)		exaktes Zutreffen	6
		Abweichung <0.2 pH Einheit	17
		Abweichung ≥0.2 und <0.5 pH Einheit	44
		Summe	67
Skelettgehalt (Oberboden)		exaktes Zutreffen	12
		Abweichung <10%	71
		Abweichung ≥10 und <20%	6
		Summe	89
Skelettgehalt (Unterboden)		exaktes Zutreffen	0
		Abweichung <10%	39
		Abweichung ≥10 und <20%	39
		Summe	78
Körnung (Oberboden)		exaktes Zutreffen	25
		Abweichung 1 Körnungsklasse	44
		Summe	69
Körnung (Unterboden)		exaktes Zutreffen	47
		Abweichung 1 Körnungsklasse	33
		Summe	80

¹⁾ Summe = als akzeptables Ergebnis taxiert, bestehend aus der Summe der aufgeführten Übereinstimmung (Eintretenswahrscheinlichkeit)

Tab. 2: Übereinstimmung zwischen Modellergebnissen und Feldaufnahmen (Bodenprofile, n = 52).

Resultate

Durch die definierte Modellstruktur wurde eine bedeutende Verfeinerung der Bodeneignungskarte (1:200 000) erreicht. Der Aufnahme geomorphologischer Merkmale sowie der Modellierung von Geländeformen und -neigungen kommt in besonders stark reliefierten Hochgebirgsregionen eine grosse Bedeutung zu, weil sie in enger Beziehung mit den Bö-

den und ihren Eigenschaften stehen. Die neu erzeugten Polygone der Bodenhypothesenkarte enthalten eine eindeutige Zuweisung für den Bodentyp, die Geländeform, die Bodeneigenschaften organischer C, pH, Skelettgehalt, Körnung der Feinerde und den Wasserhaushalt sowie die Gründigkeit (Abb. 1). Der 3D-Vergleich mit dem ursprünglichen Datensatz zeigt, dass die Auflösung der Teilflächen um ein Vielfaches erhöht wurde (Abb. 2).

Ein quantitativer Vergleich der Modellergebnisse mit den erhobenen Profilen (ausserhalb der Talebene) zeigt, dass absolut exakte Treffer (Vergleich Modell/Feld) je nach Parameter bei ca. 50% der Fälle eintritt. Werden kleinere Abweichungen (z.B. eine Abweichung des pH-Wertes um 0.5 Einheiten oder eine Körnungsklasse) toleriert, so haben die Vorhersagen für Gründigkeit, pH, Skelettgehalt und Körnung eine Genauigkeit im Rahmen von rund 70–80% (Tab. 2). Die quantitative Überprüfung des Modells erfolgte auf der Basis von Punktdaten (Bodenprofilen). Diese widerspiegeln einen ganz kleinräumigen und stark lokalen Bezug. Die Zellgrösse der Modellierung beträgt 20 x 20 m; die Dimensionen einer Profilgrabung ca. 2 x 2 m. Das Mikrorelief und die Bodenbildung kann innerhalb weniger Meter variieren. Die Genauigkeit der Modellierung hängt stark von der räumlichen Auflösung des Geländemodells ab, welches in unserem Fall das Mikrorelief nur in vereinfachter Form wiedergab. Visuelle Vergleiche im Feld zeigten aber, dass die mehr flächenbezogene Genauigkeit besser ist.

Schlussfolgerungen

Die Verarbeitung GIS-basierter Grundlagen führte zu einer starken Verbesserung der Bodeneignungskarte 1:200 000. Die Verbesserungsmöglichkeiten hängen aber vom Datensatz und dem jeweiligen Erfassungsmassstab der Daten ab. Die Modellierung der Bodentypen, des Wasserhaushaltes, der pflanzennutzbaren Gründigkeit und weiterer Eigenschaften erfolgte zufriedenstellend. Der Massstab der resultierenden Karte wurde auf 1:50 000 geschätzt, dürfte aber wahrscheinlich besser sein. Die modellierte Bodenkarte ist eine Hypothesenkarte. GIS-gestützte Modellierung von Bodeneigenschaften und Luftbildkartierung lassen sich gut kombinieren. Die beiden Methoden konnten nach ihren Stärken gezielt und flexibel eingesetzt werden. Im Zusammenhang mit Bauvorhaben und raumplanerischen Fragen können mit dieser Karte erste und recht detaillierte An-

gaben gemacht werden. Zur Klärung rechtlicher Fragen im Hinblick auf spezifische und lokale Probleme sind jedoch Detailkartierungen im Feld nach wie vor unablässig.

Dank

Diese Arbeit wurde durch finanzielle Beiträge des Kantons Graubünden, des Kreis Oberengadin, der Academia Engiadina und des Schweizerischen Nationalfonds (NFP48 «Landschaften und Lebensräume der Alpen»; Teilprojekt GIS-ALP) ermöglicht.

Literatur:

Brunner, J., Jäggli, F., Nievergelt, J. & Peyer, K. 1997. Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Schriftenreihe der FAL (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau) 24, Zürich-Reckenholz.
Fitze, P.F. 1982. Zur Relativdatierung von Moränen aus der Sicht der Bodenentwicklung in den kristallinen Zentralalpen. *Catena*, 9: 265–306.
Frei, E., Vökt, U., Flückiger, R., Brunner, H. & Schai, F. 1980. Bodeneignungskarte der Schweiz, Massstab 1:200 000. Grundlagen für

die Raumplanung, Bundesämter für Raumplanung, Landwirtschaft und Forstwesen, EDMZ Bern.

Gauthier, F. & Tabbagh, A. 1994. The use of airborne thermal remote sensing for soil mapping: a case study in the Limousin region (France). In: *International-Journal-of-Remote-Sensing* 15: 1981–1989.

Hitz, C. 2002. Inventur und Dynamik der organischen Substanz in Böden der alpinen Stufe. *Schriftenreihe physische Geographie*, 42, Universität Zürich.

Huber, M. 1994. The digital geo-ecological map. Concepts, GIS-methods and case studies. In: *Physio-geographica* 20: 1–144.

Jenny, H. 1980. The soil resource. Springer, New York.

Lark, R.M. 2003. Two robust estimators of the cross-varogramm for multivariate geostatistical analysis of soil properties. In: *European Journal of Soil Science* 54: 187–201.

Margreth, M. 2004. GIS-gestützte Modellierung der Verbreitung der verschiedenen Podsoltypen im Berninagebiet, Diplomarbeit an der Universität Zürich.

Tognina, G. 2004. Hilfsmittel Bodeninformationssystem und Bodenkarte: Methodik, Realisierbarkeit, Anwendungspotenzial am Beispiel

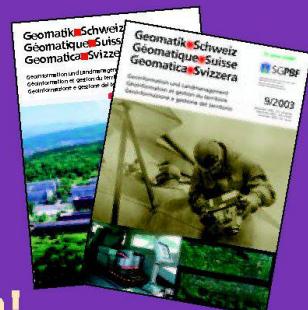
eines Gebirgskantons. *Bulletin BGS*, 27, 49–52.

Walther, L. 2003. Langfristige Waldökosystem-Forschung LWF in der Schweiz, Kernprojekt Bodenmatrix: Ergebnisse der ersten Erhebung 1994–1999, aus <http://e-collection.ethbib.ethz.ch/show?type=bericht&nr=276>.

PD Dr. Markus Egli
Michael Margreth
Geographisches Institut
Universität Zürich-Irchel
Winterthurerstrasse 190
CH-8057 Zürich
megli@geo.unizh.ch

Urs Vökt
SOILCOM GmbH
Hochmatt 26
CH-3053 Münchenbuchsee

Felix Keller
Academia Engiadina
Quadratscha 18
CH-7503 Samedan



Wer abonniert, ist immer informiert!

Geomatik Schweiz vermittelt Fachwissen –
aus der Praxis, für die Praxis.

Jetzt bestellen!

Bestelltalon

Ja, ich **profitiere** von diesem Angebot und bestelle Geomatik Schweiz für:

- 1-Jahres-Abonnement Fr. 96.– Inland (12 Ausgaben)
 1-Jahres-Abonnement Fr. 120.– Ausland (12 Ausgaben)

Name _____

Vorname _____

Firma/Betrieb _____

Strasse/Nr. _____

PLZ/Ort _____

Telefon _____

Fax _____

Unterschrift _____

E-Mail _____

Bestelltalon einsenden/faxen an: SIGImedia AG, Pfaffacherweg 189, Postfach 19, CH-5246 Scherz
Telefon 056 619 52 52, Fax 056 619 52 50, verlag@geomatik.ch