

BULLETIN

27

Jahrestagung vom 20. bis 22. März 2003 in Bern

WIE VIELE BODENDATEN BRAUCHT DER MENSCH?

Referate, Texte zu den Postern

Jahrestagung vom 25. und 26. März 2004 in Lausanne

DÉGRADATION ET RESTAURATION DES SOLS EN SUISSE ET À L'ÉTRANGER

Referate, Texte zu den Postern

BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ

SOCIÉTÉ SUISSE DE PÉDOLOGIE

Adresse: Geographisches Institut der Universität Zürich (GIUZ)
Winterthurerstrasse 190
CH-8057 Zürich

Telefon 01 635 51 22 oder 01 635 51 21 (Sekretariat) **Fax** 01 635 59 06

E-Mail fitze@geo.unizh.ch

Internet http://www.soil.ch

Postcheck-Konto: BGS Bern 30-22131-0 Bern

Vorstand / Comité 2004

Präsident / Président:	M. Achermann, Luzern	041 228 64 58	matthias.achermann@lu.ch
Vizepräsidentin / Vice-présidente:	S. Tobias, Birmensdorf	01 739 2349	silvia.tobias@wsl.ch
Beisitzerin / Assesseuse:	C. Strehler, Yverdon	024 425 18 88	c.strehler@grande-caricaie.ch
Sekretär / Secrétaire:	P. Fitze, Zürich	01 635 51 22	fitze@geo.unizh.ch
Rechnungsführer / Comptable:	M. Jozic, Root	041 450 26 57	mj@agrolab.ch
Redaktor / Rédacteur	M. Müller, Zollikofen	031 910 21 24	moritz.mueller@shl.bfh.ch

Geschäftsstelle / Bureau exécutif

Leiterin / Responsable Nicole Näf
BABU GmbH, Rautstrasse 13, 8047 Zürich

Telefon 043 311 10 47 Fax 043 311 10 41 E-Mail nicole.naef@babu.ch

Dokumentationsstelle / Service des documents

Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale LmZ, Länggasse 79, 3052 Zollikofen

Telefon 031 911 06 68 Fax 031 911 49 25

E-Mail lmz@edition-lmz.ch Internet http://www.edition-lmz.ch

Vorsitzende der Arbeitsgruppen / Président(e)s des groupes de travail

Klassifikation und Nomenklatur:	J. Presler, Zürich	01 388 20 42	j.presler@babu.ch
Bodenschutz und Werthaltung:	M. Kaufmann, Zürich	01 632 79 35	manfred.kaufmann@agrl.ethz.ch
Bodenkartierung:	M. Knecht, Zürich	01 383 70 71	ambio@bluewin.ch
Reflexion/Strategie	P. Germann, Bern	031 631 38 54	germann@giub.unibe.ch

Redaktion / Rédaction

M. Müller
Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft, 3052 Zollikofen

Telefon 031 910 21 24/11 Fax 031 910 22 99/96 E-Mail moritz.mueller@shl.bfh.ch

Redaktionskomitee / Comité de rédaction

M. Egli, Zürich	megli@geo.unizh.ch
C. Keller, Lausanne	catherine.keller@epfl.ch
J.-A. Neyroud, Nyon	jean-auguste.neyroud@rac.admin.ch
H. Sticher, Zug	hans.sticher@bluewin.ch
S. Zimmermann, Birmensdorf	stefan.zimmermann@wsl.ch

**BODENKUNDLICHE GESELLSCHAFT DER SCHWEIZ
SOCIÉTÉ SUISSE DE PÉDOLOGIE**

Bulletin 27

2004

**Jahrestagung vom
20. bis 22. März 2003
in Bern**

WIE VIELE BODENDATEN BRAUCHT DER MENSCH?

**Jahrestagung vom
25. und 26. März 2004
in Lausanne**

**DÉGRADATION ET RESTAURATION DES SOLS
EN SUISSE ET À L'ÉTRANGER**

Referate, Texte zu den Postern

Schriftleitung: Moritz Müller, Zollikofen

ISSN 1420-6773

ISBN 3-03888-075-2

Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale
Zollikofen 2004

Druck und Verlag: LmZ, Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale, 3052 Zollikofen

ISSN 1420-6773

ISBN 3-03888-075-2

Copyright: 2004 Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz

Referate und Posterbeiträge der Jahrestagung vom 20. bis 22. März 2003 "Wie viele Bodendaten braucht der Mensch?"

M. WÜRSTEN	
"Wie viele Bodendaten braucht der Mensch?", am Beispiel des Gewässerschutzes	5
S. ZIMMERMANN, F. HAGEDORN & L. WALTHERT	
Erfassung des Kohlenstoffvorrats in Schweizer Waldböden: Wunschdenken und Realität	11
C. LÜSCHER	
Raumentwicklung und Boden	17
V. HENNINGS & W. ECKELMANN	
Das Fachinformationssystem Bodenkunde der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (FISBo BGR): Strategie und Status 2003	19
D. BAIZE & J.M. GOBAT	
Le Référentiel Pédologique : un outil pour nommer et décrire les sols	27
U. VÖKT & A. PAZELLER	
Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 - Qualität und Aussagekraft der Archivadokumente	33
M. ZÜRRER	
Ansätze zur Aufarbeitung von alten Bodenkarten	39
G. VON ROHR	
Bodenkartierung Kanton Solothurn: von Felddaten übers GIS zu kartografischen und thematischen Auswertungen	41
M. EGLI, S. HÄFLIGER & M. ACHERMANN	
Modellierung von Bodenkarten: Ansätze zur Verbesserung der bestehenden Grundlagen	45
G. TOGNINA	
Hilfsmittel Bodeninformationssystem und Bodenkarte: Methodik, Realisierbarkeit, Anwendungspotential am Beispiel eines Gebirgskantons	49
A. DESAULES & K. REHBEIN	
Nationale Bodenbeobachtung (NABO) – Beiträge und Bedarf raumbezogener Daten	53
B. REUTTER & M. WÜEST	
Umweltbeobachtung: Netzwerk Umweltdaten Schweiz NUD-CH	57
S. BRAUN & W. FLÜCKIGER	
Bodenversauerung in Waldbeobachtungsflächen der Schweiz	59
D. BAIZE & T. STERCKEMAN	
Importance de la détermination du fond pédogéochimique pour évaluer la pollution des sols par des métaux. L'exemple du site de Dornach	63
A. DESAULES	
Die Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen in Böden: Konsequenzen für die Klassifizierung und Abgrenzung von Belastungsflächen an einem Fallbeispiel bei Dornach (SO)	69

M. RÜTTIMANN, T. MOSIMANN & N. EMCH Wahrscheinlichkeitsbasierte Hinweiskarte als Grundlage für den Erosionsschutz in der Landwirtschaft	73
---	----

Beiträge der Jahrestagung vom 25. und 26. März 2004 "*Dégradation et restauration des sols en Suisse et à l'étranger*"

V. PRASUHN Kartierung aktueller Erosionsschäden im Berner Mittelland	79
S. SCIACCA, H. FLÜHLER, K. SEELAND & P. LÜSCHER Systèmes d'utilisation des sols et techniques culturelles de paysans haïtiens et leurs conséquences sur le milieu physique	85
P. FRY «Von Bauern - für Bauern»: Ein neuer Ansatz fördert den mechanischen Bodenschutz in der Landwirtschaft	91

Der folgende Beitrag wurde bereits im Bulletin 26 (2002) publiziert. Leider ging beim Druck der letzte Teil von Tabelle 1 (Division 4 mit den Kommissionen 4.1 bis 4.5) verloren, weshalb der vollständige Artikel hier nochmals erscheint.

E. FROSSARD Le 17ème congrès mondial de sciences du sol donne une nouvelle structure scientifique à l'Union Internationale des Sciences du Sol.	97
---	----

"Wieviele Bodendaten braucht der Mensch?", am Beispiel des Gewässerschutzes

Martin Würsten

Amt für Umwelt des Kantons Solothurn, Abteilung Wasser, Werkhofstrasse 9, CH-4509 Solothurn

Zusammenfassung

Anhand von Beispielen aus der Grundwasserbewirtschaftung, der Siedlungsentwässerung und dem Hochwasserschutz wird aufgezeigt, dass Bodenschutz und Gewässerschutz eng miteinander verflochten sind. Die Beispiele zeigen auf, welche Bodendaten in erster Linie vorliegen sollten, damit zahlreiche Fragen im Gewässerschutz mit der notwendigen Qualität beantwortet werden können. Es ist dabei von entscheidender Bedeutung, dass die benötigten Bodendaten themenspezifisch und flächenhaft vorliegen, wie es neue moderne Bodenkartierungen heute ermöglichen. Es wird dagegen in der Regel nicht möglich sein, alle erwünschten Daten der Wasserwirtschaft direkt vor Ort zu erheben. Zum Teil können sie genügend genau aus anderen, einfacher zu erhebenden Daten abgeleitet werden.

Abstract

The close connection of soil conservation and water protection is pointed out by examples of groundwater management, sanitary engineering and stormwater protection. The examples show the most important data concerning soil conservation to answer numerous questions of water management with appropriated quality. The required data must be presented related to the different topics and from the whole area, what is guaranteed by modern soil mapping. However, it will not be possible to collect all of the require data right in place. Instead they will have to be derived from other data, which are more easily collected.

1. Einleitung

Es gibt im Bereich Gewässerschutz und allgemein in der Wasserwirtschaft zahlreiche Beispiele, die zeigen, dass dringend Bodendaten für die verschiedensten Problemlösungen benötigt werden. So ist beim Schutz und bei der Bewirtschaftung der Grundwasservorkommen die sogenannte echte Grundwasserneubildung, d.h. die Niederschlagsversickerung direkt über den Grundwasservorkommen, eine zentrale Grösse, welche ohne Kenntnisse des belebten Bodens nicht oder zumindest nicht genau genug ermittelt werden kann.

Massnahmen zur Verminderung der Nitratgehalte im Grundwasser setzen voraus, dass der Mechanismus der Nitratauswaschung von den landwirtschaftlich oder forstwirtschaftlich genutzten Böden verstanden wird. Der belebte Boden spielt auch hier als biochemischer Reaktor eine entscheidende Rolle.

Mit dem Gewässerschutzgesetz von 1991, welches neu bei der Liegenschaftsentwässerung und teilweise auch bei der Entwässerung von Verkehrswegen in erster Priorität das Versickern des von den versiegelten Flächen anfallenden Regenwassers vorsieht, rückte die Filtereigenschaft des Bodens für den Gewässerschutz in den Vor-

dergrund. Da das Regenwasser in der Regel mit verschiedenen Stoffen belastet ist, die (auch) im Wasser unerwünscht sind, muss solches Wasser vorgängig gereinigt werden. Als mögliche Lösung präsentierte sich hier scheinbar eine vorgängige Filterung über den belebten Boden, mit all den damit verbundenen Vor- und Nachteilen.

Beim Hochwasserschutz kommt dem Boden in vielfacher Hinsicht grosse Bedeutung zu. Entscheidend bei den Hochwassern sind bis heute die Abflüsse aus den land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen, und nicht diejenigen aus den Siedlungsgebieten. Sicker- und Saugfähigkeit der Böden haben grossen Einfluss auf die Hochwasserspitzen und -mengen. Dies gilt sowohl für Prognoseberechnungen aus physikalischen Niederschlags-Abflussmodellen, als auch beim konkreten Eintreten der Ereignisse.

Diese Beispiele zeigen bereits deutlich, dass zahlreiche Fragen in der Wasserwirtschaft nur zusammen mit bodenkundlichem Wissen und in der Zusammenarbeit mit Bodenschutzfachleuten gelöst werden können. Eine Zusammenarbeit, die im Kanton Solothurn Tradition hat und gut eingespielt ist!

2. Grundwasserbewirtschaftung und Bodendaten

2.1 Grundwasserneubildung aus Niederschlagsversickerung

Der Anteil des Niederschlags, welcher versickert und unterirdisch ein Grundwasservorkommen erreicht, bildet das sogenannte echte Grundwasser. Dieser Anteil ist bei vielen wichtigen und grossen Grundwasservorkommen der bedeutendste der gesamten Grundwasserneubildung.

Kenntnisse über den belebten Boden, der oft auch als obere Bodenwasserzone bezeichnet wird, sind für die Berechnung des echten Grundwassers von grosser Bedeutung. Das eindringende Niederschlagswasser kann versickern,

durch Evapotranspiration wieder an die Atmosphäre abgegeben oder von der Vegetation gebunden werden. In der anschliessenden unteren Bodenwasserzone wird ein in der Regel ausschliesslich nach unten gerichteter Wassertransport angenommen.

Als bewährtes Verfahren zur Berechnung des Sickerwassers hat sich bis heute die klimatische Bodenwasserbilanz erwiesen (BLAU et al., 1983). Der einzige und entscheidende Bodenparameter für die Anwendung dieser Bilanz ist der Bodenwasserspeicher, welcher der nutzbaren Feldkapazität n_{FK} entspricht. Dieser Parameter eignet sich auch, um mit Hilfe der potentiellen Verdunstung, z.B. berechnet nach *Penman*, die aktuelle (effektive) Verdunstung zu berechnen.

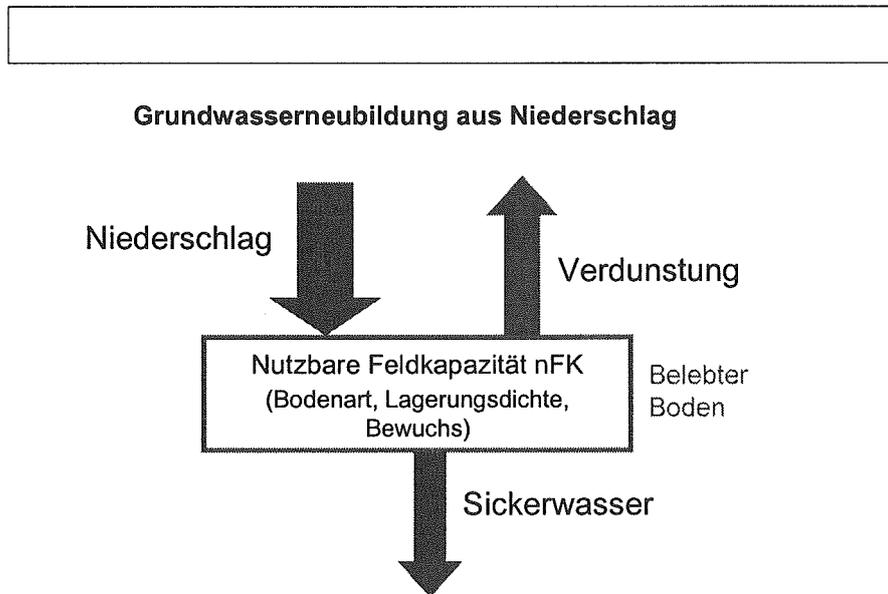


Abb. 1: Berechnung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag; die nutzbare Feldkapazität n_{FK} ist der entscheidende Bodenparameter für die Anwendung der klimatischen Bodenwasserbilanz.

2.2 Grundwasserschutz und Bodendaten

Für den Grundwasserschutz kommt den Bodendaten bei verschiedenen Fragestellungen grosse Bedeutung zu. Das ist naheliegend, bildet doch der unverletzte belebte Boden einen hervorragenden Schutzschild gegenüber vielen, grundsätzlich grundwassergefährdenden Aktivitäten auf der Erdoberfläche.

Im Grundwasserschutz wird die Empfindlichkeit eines Grundwasservorkommens in Bezug auf qualitative Gefährdungen durch Oberflächenein-

flüsse als Vulnerabilität bezeichnet. Bestimmt wird diese vor allem durch die Mächtigkeit, Beschaffenheit und Mächtigkeit des Bodens (A- und B-Horizont) und des nicht wassergesättigten Untergrunds.

Grundwasserschutzzonen

Bei der Ausscheidung von Grundwasserschutzzonen im Karstgebiet wird die Vulnerabilität als Dimensionierungsgrösse bei der gängigsten Methode EPIK mit verwendet. P steht dabei für Protektion durch die Deckschicht und nicht etwa für Pedologie. Die in der Praxis verwendeten Daten

beschränken sich dabei allerdings in den meisten Fällen lediglich auf die Gründigkeit des Bodens und der darunter liegenden Deckschichten.

Bei Grundwasserschutzzonen von Lockergesteins-Grundwasserleitern rückte die Vulnerabilität bei der Beurteilung, ob Ausnahmebewilligungen zum grundsätzlichen Gülleverbot in der engeren Grundwasserschutzzone S2 erteilt werden können, in den Vordergrund. Im Kanton Solothurn wurden allerdings nur ganz wenige Ausnahmesuche eingereicht, so dass sich keine vertiefte Praxis bei der Beurteilung der „Keimdurchlässigkeit“ von Böden etabliert hat. Vielmehr wurden analoge Überlegungen, wie im Kapitel 3 beschrieben, angestellt.

Zuströmbereich

Zuströmbereiche müssen dann ausgeschieden werden, wenn Fliessgewässer oder Grundwasser wegen der Abschwemmung und Auswaschung von Stoffen wie Pflanzenschutzmittel oder Dünger verunreinigt werden können.

Der Zuströmbereich von Grundwasserfassungen, auf den an dieser Stelle eingetreten werden soll, wird, zumindest bei Lockergesteins-Grundwasserleitern, hydraulisch festgelegt. Der Gesetzgeber sieht vor, dass in diesem Zuströmbereich mittels Bodenkartierungen drei bezüglich der Auswaschung von Stoffen unterschiedliche Empfindlichkeitsstufen ausgeschieden werden. Dabei soll zwischen „wenig empfindlichen“, „empfindlichen“ und „sehr empfindlichen“ Flächen unterschieden werden.

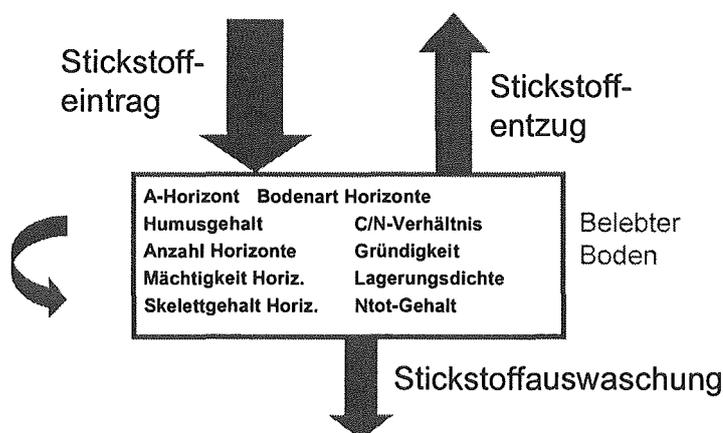


Abb. 2: Generelles Schema zum Stickstoffeintrag ins Grundwasser. Im Gegensatz zur Berechnung der Grundwasserneubildung (vgl. Abb. 1) müssen bedeutend mehr Bodenparameter bekannt sein.

Die Einteilung nach Empfindlichkeit dient in erster Linie dazu, die wirkungsvollsten Massnahmen (v.a. Stilllegung von Ackerland) bevorzugt auf den empfindlichsten Flächen umzusetzen.

Als sehr empfindliche Gebiete werden bezeichnet:

- Gebiete, welche sich aufgrund ihres geringen Wasserspeichervermögens oder beschränkten Wurzelraums nicht für ackerbauliche Nutzung eignen.

- Gebiete mit geringem Flurabstand (Grundwasserspiegel im Bereich des Wurzelraums)
- Gebiete mit starker Hangwasserprägung, die die Nährstoffe nur ungenügend zurückhalten.
- Gebiete, die aufgrund ihres hohen Anteils an organischer Substanz (z.B. Moorböden) bei ackerbaulicher Nutzung, insbesondere als Folge der damit verbundenen Bodenbearbeitung, grosse Mengen an Stickstoff mineralisieren und somit eine erhöhte Auswaschgefahr aufweisen.

Die bei uns mit dem Programm NSIM – ein Stickstoffhaushaltsmodell zur Simulation der Nitratbelastung des Grundwassers (Dissertation BALMER, 2001) - durchgeführten Modellberechnungen zeigen, dass die Nitratauswaschung doch komplexer sein könnte, und dass die vorhandenen Instrumente den gestellten Anforderungen zum Teil immer noch nicht genügen. So zeigte sich mit den Modellberechnungen beispielsweise, dass deutlich unterschiedliche Raten an nutzbarer Feldkapazität (zwischen 50 mm und 250 mm) nur sehr wenig Einfluss auf das Auswaschverhalten der Böden haben, hingegen andere Parameter, wie der Humusgehalt oder die Mächtigkeit des A-Horizontes, bedeutend wichtiger sein sollen (GEO7, 1999).

Um die für unsere Fragestellung relevanten Bodeneigenschaften besser berücksichtigen zu können, wurden die Böden im Zuströmbereich Gäu-Olten (AfU Kanton Solothurn, 2000 und 2003) zu 7 charakteristischen Bodeneinheiten zusammengefasst. In einer 8. Gruppe wurden jene Bodentypen eingeteilt, welche den 7 Haupttypen nicht zuteilbar waren. Auffällig ist, dass auch diese Karte – ähnlich wie die Karte der nutzbaren Feldkapazität – ein sehr heterogenes, aber doch plausibles Gebilde darstellt.

2.3 Geothermie

Der Vollständigkeit halber sei daran erinnert, dass auch bei Fragen der Wärmenutzung von Böden Bodenkennziffern benötigt werden. Der entscheidende Bodenparameter für die Berechnung des Bodenwärmestroms ist die vertikale Dispersivität.

3. Siedlungsentwässerung und Bodendaten

Nicht verschmutztes Niederschlagswasser ist gemäss den Vorgaben der Gewässerschutzgesetzgebung in erster Priorität versickern zu lassen. Über dieses Thema könnte tagungsfüllend referiert und diskutiert werden.

Bis vor kurzem wurde der Boden bei Versickerungsfragen funktionell auf seine reinigende Wirkung als Filterschicht reduziert. Wenn immer möglich, sollte das zu versickernde Niederschlagswasser durch eine flächenhafte Versickerung über belebten Boden gereinigt werden. Aus der Sicht des Grundwasserschutzes ist dies, zumindest kurzfristig, scheinbar eine ideale Lösung. Dieser Praxis liegt zu Grunde, dass aus der Sicht der Gewässerschutzgesetzgebung erst unmittelbar oberhalb des Grundwasserspiegels beurteilt wird, ob infiltrierendes Niederschlagswasser als verschmutzt oder als nicht verschmutzt gilt. Damit kann auch ursprünglich verschmutztes Niederschlagswasser gesetzeskonform versickert werden, wenn es auf seinem Weg zum Grundwasserspiegel nur genügend gereinigt wird.

Verständlich, dass Bodenschützer/innen, aber auch fortschrittliche Gewässerschützer/innen, wenig Freude an der Vorstellung hatten, den Boden alleine als Reinigungsfilter zu betrachten. Diese wenig erfreuliche Situation hat dazu geführt, dass bei der Erarbeitung der seit November 2002 vorliegenden und abschliessenden 'Richtlinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten' die Aspekte des Bodenschutzes mitberücksichtigt wurden (VSA, 2002). Dies gilt auch für die im gleichen Jahr herausgegebene BUWAL-Wegleitung 'Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen' (BUWAL, 2002).

Die Versickerung über den Boden ist zwar nach wie vor möglich oder wird sogar angestrebt, der Boden muss in diesem Fall aber in der Regel als Anlage bezeichnet werden. Er muss entsprechend angelegt, überwacht und später auch rückgebaut werden. Gegebenenfalls ist zusätzlich ein Nutzungsverbot des Pflanzenmaterials zu Nahrungs- oder Futterzwecken zu erlassen.

Die Reinigungswirkung des Bodens wie auch die Vulnerabilität des darunter liegenden Grundwassers wird weitgehend mit den Bodenparametern Tongehalt im Ober- und Unterboden, Humusgehalt im Oberboden, Mächtigkeit des Ober- und Unterbodens und dem pH-Wert im Oberboden bewertet. Die gleichen Parameter sind ausschlaggebend, wenn ein zur Versickerung dienender Boden künstlich aufgebaut werden soll.

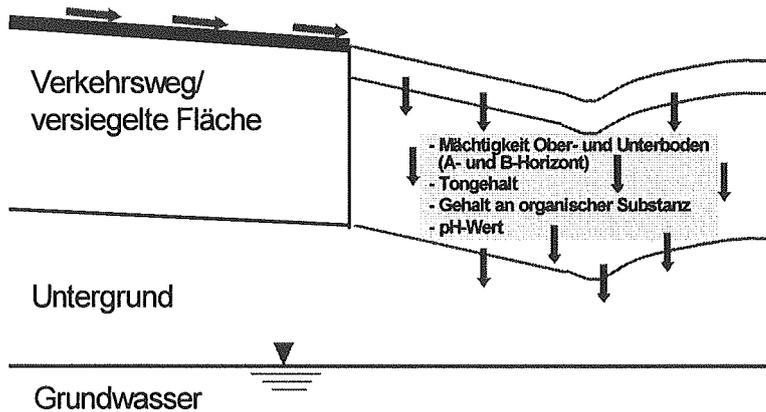


Abb. 3: Siedlungsentwässerung und Bodendaten: Bei der Entwässerung von und Liegenschaften und Verkehrswegen wird der Boden – bewusst oder unbewusst – oft als Reinigungsfilter benutzt.

Ob künftig technische Behandlungen des verschmutzten Niederschlagswassers mit künstlichen Adsorbentmaterialien allenfalls zu einer Entspannung des Konflikts Niederschlagsversickerung und Bodenschutz führen können, muss sich in der Zukunft weisen.

Künstliche Adsorber können als speziell definierte Schicht in Schächten, Mulden und Retentionsfiltern eingebaut werden. Sie können aber auch dort eingesetzt werden, wo das Wasser über eine belebte Bodenschicht versickert wird, diese aber vor übermässigen Belastungen geschützt werden soll. Unter den möglichen Materialien wie Metallhydroxide, Aktivkohle und Zeolithe weisen die auf Eisen- oder Aluminium-Basis hergestellten Granulate die beste Wirksamkeit auf. Im Idealfall können langfristig Wirkungsgrade für den Rückhalt von Schwermetallen von über 95% erzielt werden.

4. Hochwasserschutz und Bodendaten

Es sei an dieser Stelle einzig erwähnt, dass auch bei der Berechnung von Hochwasserabflüssen bei allen Modellen, welche die Abflussvorgänge im Einzugsgebiet physikalisch nachvollziehen wollen, Bodendaten unerlässlich sind. Die benötigten Bodenparameter sind die Gründigkeit sowie die Mächtigkeit des Bodenkörpers, die k -Werte, die nutzbare Feldkapazität und die Porosität der einzelnen Horizonte.

Es gibt auch andere Methoden, wie statistische Auswertungen von langen Abfluss-Messreihen oder sogenannte Black-Box-Modelle, welche ohne Bodendaten auskommen und nicht den Anspruch stellen, die Abflussvorgänge nachzuvollziehen.

5. Schlusswort

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass aus der Sicht des Gewässerschutzes zahlreiche und unterschiedliche Bodendaten benötigt werden. Auf der Liste in Abbildung 4 sind 16 Parameter aufgeführt, welche alleine für den A-Horizont oder gar für beide Horizonte bekannt sein sollten. Auch wenn eine gewisse Redundanz vorliegen mag, doch eine eindrücklich grosse Liste.

Von den Bodenkartierer/innen wird nicht erwartet, dass all diese Parameter direkt vor Ort erhoben werden. Am Beispiel der nutzbaren Feldkapazität ist dargestellt, dass einige dieser Parameter mit Ableitungen von anderen Parametern genügend genau berechnet werden können.

Aus der Liste geht weiter hervor, dass der/die Gewässerschützer/in themenspezifische Bodenkarten, zum Beispiel eine Isolinienkarte der nutzbaren Feldkapazität, bevorzugt. Herkömmlichen Bodeneignungskarten, aus denen die benötigten Bodenparameter nur indirekt abgeleitet werden können, sind für ihn oder sie schwierig zu lesen.

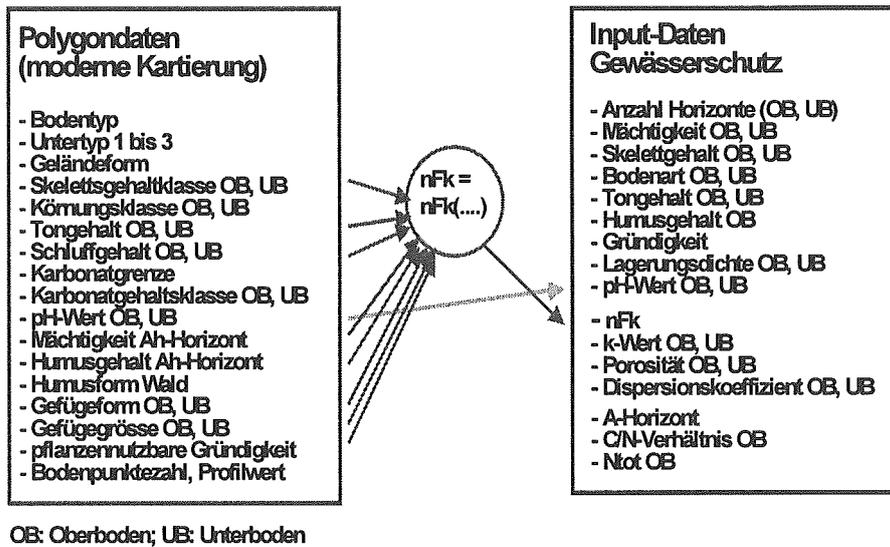


Abb. 4 Bodenparameter, welche aus der Sicht der Wasserwirtschaft mit einer modernen Bodenkartierung direkt oder indirekt, wie am Beispiel der nutzbaren Feldkapazität aufgeführt, ermittelt werden sollten. In der linken Tabelle sind die Ausgangsdaten aus der Bodenkartierung dargestellt, in der rechten Tabelle die aus Sicht der Wasserwirtschaft benötigten Bodenparameter.

Abschliessend muss betont werden, dass immer auch zu überlegen ist, ob der Aufwand für die Erhebung eines speziellen Bodenparameters, der nur für eine einzige Anwendung verwendet werden kann, gerechtfertigt ist. Fehlertheoretische Überlegungen können hier bei der Entscheidungsfindung helfen. Beeinflusst nämlich der gewünschte exakte Bodenparameter die Genauigkeit des gesuchten Resultats nur marginal, lässt sich seine aufwändige Erhebung kaum rechtfertigen.

Es bleibt aber festzuhalten, dass ein effektiver moderner Gewässerschutz in vielen Bereichen ohne Bodendaten nicht möglich ist. Sinnvollerweise wird der Gewässerschutz, wie übrigens auch andere Fachgebiete, welche Bodendaten benötigen, deshalb bereits von Beginn an in die Bodenkartierung einbezogen. So wird Gewähr, geboten, dass für die gestellten Fragen die richtigen Daten erhoben werden.

6. Literatur

BLAU, R.V. et al., 1983: Ermittlung der Grundwasserneubildung aus Niederschlag. Gas Wasser Abwasser 1983/1, Sonderdruck Nr. 1009.

BALMER, W.W., 2001: NISIM – Ein Stickstoffhaushaltsmodell zur Simulation der Nitratbelastung des Grundwassers. Inauguraldissertation der Philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern.

GEO7, GEOWISSENSCHAFTLICHES BÜRO BERN, 1999: Ermittlung von empfindlichen Gebieten innerhalb des Zuströmbereichs.

AMT FÜR UMWELT DES KANTONS SOLOTHURN, 2000: Verminderung der Nitratbelastung in der Region Gäu-Olten. Teil 1: Projektgebiet Neufeld/Neuendorf. AfU Solothurn.

AMT FÜR UMWELT DES KANTONS SOLOTHURN, 2003: Verminderung der Nitratbelastung in der Region Gäu-Olten. Teil 2: Projektgebiet Gheid und Kappel. AfU Solothurn.

VERBAND SCHWEIZER ABWASSER- UND GEWÄSSERSCHUTZFACHLEUTE (VSA), 2002: Regenwasserentsorgung. Richtlinie zur Versickerung, Retention und Ableitung von Niederschlagswasser in Siedlungsgebieten. VSA Zürich.

BUNDESAMT FÜR UMWELT, WALD UND LANDSCHAFT (BUWAL), 2002: Wegleitung Gewässerschutz bei der Entwässerung von Verkehrswegen. BUWAL Bern.

Erfassung des Kohlenstoffvorrats in Schweizer Waldböden: Wunschdenken und Realität

Stephan Zimmermann, Frank Hagedorn und Lorenz Walthert

Eidg. Forschungsanst. für Wald, Schnee und Landschaft, WSL, 8903 Birmensdorf

Zusammenfassung

Gemäss dem Kyoto-Protokoll sind zur Erfüllung der CO₂-Reduktionsverpflichtungen auch Massnahmen verrechenbar, die zu einer Erhöhung ökosystemarer Senken für CO₂ führen. Daher müssen ober- wie auch unterirdische C-Pools und deren Veränderungen möglichst zuverlässig abgeschätzt werden. Anhand der kritischen Diskussion von zwei früher publizierten Arbeiten (Paulsen, 1995 und Perruchoud et al., 2000) wird ersichtlich, dass die vorhandene Datenbasis zur Abschätzung der C-Vorräte in Waldböden nicht optimal ist. Wir schlagen deshalb für zukünftige Waldbodeninventuren vor:

- Das Aufnahmenetz zu verdichten
- Bodendichte und Skelettgehalt in Zukunft zu messen
- Veränderungen des C-Vorrates auf Intensivflächen an mindestens fünf Bodenprofilen zu verfolgen

Keywords: soil organic C-pool, forest soils, C-sink

Abstract: Survey of the C-stock in Swiss forest soils: wishful thinking and reality

According to the Kyoto protocol, increases in ecosystem sinks for CO₂ can be taken as credit for the fulfillment of the CO₂-reduction requirements. Therefore, carbon pools have to be acquired very accurately. On the basis of two published articles on carbon pools in soils (Paulsen, 1995 and Perruchoud et al., 2000) one can see that the present data base for the assessment of carbon pools is poor. For future soil inventories we suggest

- to use a denser sampling net
- to measure, and not only to estimate, parameters such as soil density and rock content
- to evaluate changes in soil C-pools on the basis of at least five soil profiles on intensive monitoring plots

1. Einführung

Die Schweiz ist im Begriff das Kyoto-Protokoll zu ratifizieren. Die vorangehenden Verhandlungen haben ergeben, dass zur Erfüllung der Reduktionsverpflichtungen auch Massnahmen verrechenbar werden, die zu einer Erhöhung ökosystemarer Senken für CO₂ führen. Für die Anrechnung der Senken hat die Schweiz gemäss Art. 3.3 des Kyoto-Protokolls Aufforstungen, Wiederaufforstungen und Rodungen zu berücksichtigen. Nach Art. 3.4 kann sie in schon bestehenden Wäldern, Wiesen und Äckern für die erste Verpflichtungsperiode wählen, welche Aktivitäten (Wiederbegrünung, Waldbewirtschaftung, Ackerbau, Graslandbewirtschaftung) sie sich anrechnen lassen will. Die Waldbewirtschaftung ("forest management") dürfte dabei der Sektor sein, der quantitativ am stärksten ins Gewicht fällt. Nach dem Kyoto-Protokoll ist aber nur der Teil dieser Senkenleistungen anrechenbar, der vom Menschen verursacht ist und durch Massnahmen zustande kam, die nach 1990 getroffen wurden.

Bei der Abschätzung der Senkenleistungen fällt dem ober- und unterirdischen Kohlenstoffvorrat eines Ökosystems (C-Gehalt) eine entscheidende Rolle zu, denn ein Ökosystem vermag Kohlenstoff mit der Atmosphäre sowohl über das Kohlendioxid auszutauschen als auch, je nach Situation, über das Methan. Zur Anrechnung von C-Senken müssen daher ober- wie auch unterirdische C-Pools und

deren Veränderungen möglichst zuverlässig abgeschätzt werden.

In diesem Beitrag stellen wir uns in einem ersten Teil anhand der kritischen Diskussion von zwei früher publizierten Arbeiten (Paulsen, 1995 und Perruchoud et al., 2000) die Frage, wie gut die Datenbasis für die Abschätzung des C-Vorrates im Schweizer Boden ist. In einem zweiten Teil machen wir uns Gedanken zur Erfassung von C-Vorrats-Veränderungen und entsprechende Ansprüche an die Genauigkeit der zugrundeliegenden C-Vorratsschätzungen.

2. Der globale C-Kreislauf

Der globale Kohlenstoffkreislauf kann als ein System zusammenhängender Kompartimente betrachtet werden (Abb. 1). Jedes Kompartiment entspricht einem Kohlenstoffvorrat, der auch in CO₂-Äquivalenten ausgedrückt werden kann (C + O₂ = CO₂; Massenverhältnis C : CO₂ = 1 : 3.66). Die wichtigsten Kompartimente sind die terrestrische Biomasse und gelöstes CO₂ im Ozean, die Pedosphäre (inkl. Streu), die Lithosphäre sowie die Atmosphäre. Die Vorräte betragen in der Atmosphäre ca. 760 Gt C. Werden Böden und Vegetation addiert, belaufen sich deren Vorräte auf 2500 Gt C, also rund dreimal so viel wie in der Atmosphäre. In den Weltmeeren ist die gespeicherte Kohlenstoffmenge noch viel grösser, nämlich 39'000 Gt C (Schimel et al., 1995; IPCC, 2001).

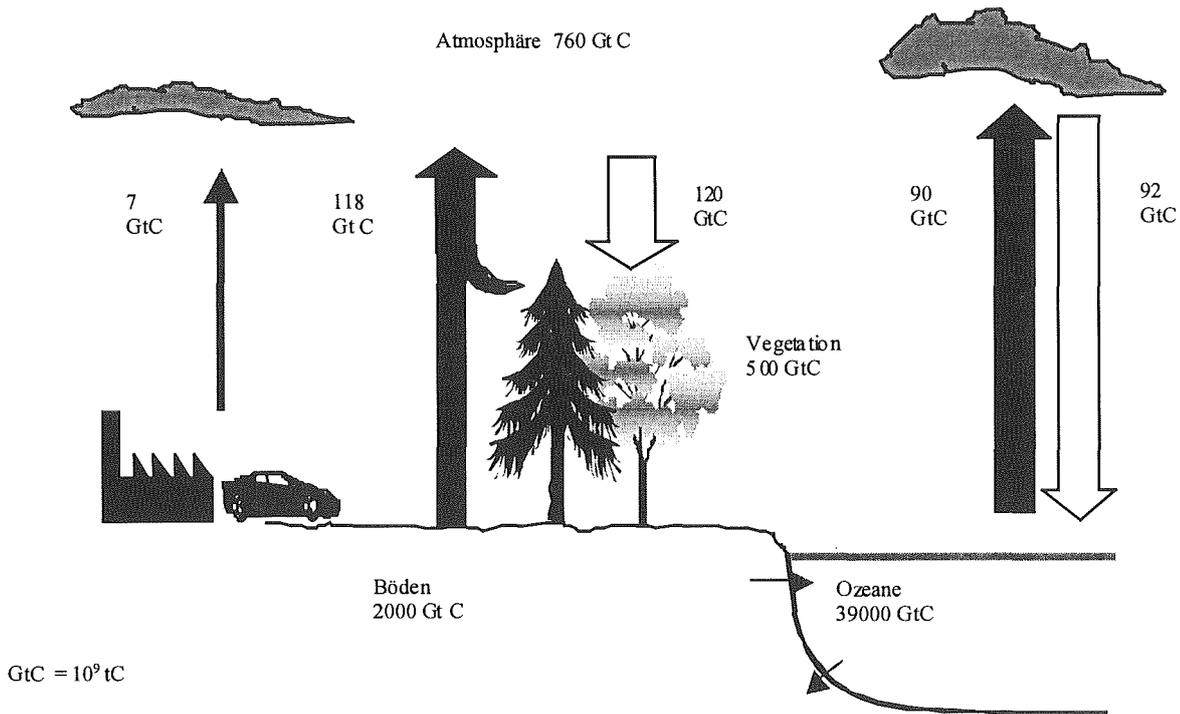


Abb. 1 Der globale Kohlenstoffkreislauf. Die Zahlen bei den Pfeilen stehen für jährliche Kohlenstoffflüsse, die Zahlen bei den benannten Kompartimenten für die geschätzten Kohlenstoffvorräte. Daten von Schimel et al. (1995), IPCC (2001).

Zwischen diesen Kompartimenten findet ein ständiger Austausch von Kohlenstoff statt, wobei die Verweilzeiten in den einzelnen Kompartimenten sehr unterschiedlich sind (Abb. 1). Dies erfolgt durch die gegenläufigen Prozesse der Primärproduktion (v.a. Photosynthese) und der Respiration (Atmung). Auf diese Weise werden zwischen dem Festland und der Atmosphäre ca. 120 Gt C pro Jahr ausgetauscht, während es über den Ozeanen etwas weniger, nämlich ca. 90 Gt C pro Jahr sind. Dabei sind die natürlich bedingten Austauschprozesse im Gleichgewicht und alle Kompartimente sind über die Atmosphäre miteinander verbunden. Weil dort oxidative Verhältnisse herrschen, liegt der Kohlenstoff hauptsächlich in Form von CO₂ vor. Durch menschliche Aktivitäten werden nun aber zusätzlich ca. 7 Gt C pro Jahr an die Atmosphäre abgegeben, was zu einem CO₂-Konzentrationsanstieg in der Atmosphäre führt. Aus Bohrkernen des antarktischen Eisschildes konnte eruiert werden, dass in den letzten 400'000 Jahren der Konzentrationswert von 290 ppm_v CO₂ nie überschritten wurde, erst um ca. 1900 war dies der Fall (Friedli et al., 1986). 1957 wurde auf dem Mauna Loa (Hawaii) eine CO₂-Konzentration von 315 ppm_v gemessen (Keeling and Whorf, 2000) und im Jahr 2000 betrug sie bereits 368 ppm_v (Watson et al., 2000). Diese Entwicklung rechtfertigt die Forderung nach einer Reduktion der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre, die gemäss Kyoto-Protokoll auch über eine Förderung der

C-Senken (für die Schweiz in der Grössenordnung von 0.5 Mio t C/a) erreicht werden kann.

3. Erfassung der C-Pools

Da unter den Aktivitäten von Art. 3.4 des Kyoto-Protokolls mit der Waldbewirtschaftung die grösste Senkenwirkung erzielt werden dürfte, konzentrieren wir uns hier auf die Erfassung von C-Pools in Waldböden. Paulsen hat in seiner Dissertation aus dem Jahr 1995 den C-Vorrat für potentiell landwirtschaftlich nutzbare Böden, zu denen auch die Waldböden gezählt werden, mit Hilfe der Bodeneignungskarte geschätzt. Weil Landwirtschaftsböden in der Regel weniger Humus enthalten als Waldböden, dürfte er mit einem gesamtschweizerischen Durchschnittsvorrat im Boden die effektiven Werte in Waldböden deshalb eher unterschätzen.

Paulsen (1995) hat den C-Vorrat für jede der 146 Kartierungseinheiten der Bodeneignungskarte der Schweiz berechnet und danach diesen Vorrat pro Fläche mit der entsprechenden Fläche der Kartierungseinheit multipliziert. Die Summe der C-Vorräte aller Kartierungseinheiten ergab den C-Vorrat aller potentiell landwirtschaftlich nutzbarer Böden. Der Kohlenstoffvorrat im Boden errechnet sich aus der Mächtigkeit des Bodenprofils (Gründigkeit), dem Skelettgehalt, der Lagerungsdichte und dem C-Gehalt. Grundlagedaten bildeten die in

der Legende der Bodeneignungskarte publizierten Bodendaten, die jedoch bei weitem nicht vollständig waren.

- Gründigkeit und Skelettgehalt sind in der Legende der Bodeneignungskarte in 7 bzw. 5 Klassen aufgeteilt, wobei jede Klasse einem quantitativ definierten Bereich zugeordnet ist (z.B. "skelettreich" entspricht 20-50 Vol.% Skelettanteil; Gründigkeit "extrem flach" bedeutet, dass der Wurzelraum bzw. das Profil weniger als 10 cm tief ist). Gerechnet wurde jeweils mit dem Mittel der Klassengrenzen (z.B. "skelettreich" = 35%; "extrem flach" = 5 cm Profilmächtigkeit).

- Die Bodeneignungskarte weist keine Messwerte von Lagerungsdichten aus. Deshalb wurden die Lagerungsdichten als Funktion der Tiefe bodentypenspezifisch anhand von Literaturdaten ermittelt. Aus den gemessenen Werten von möglichst vielen publizierten Bodenprofilen wurden empirische Tiefenfunktionen abgeleitet und daraus empirische Mittelwerte für die Kartierungseinheiten erzeugt.

- Auf ähnliche Weise wurden die C-Gehalte abgeschätzt, wobei für diese Grösse gemessene Oberbodenwerte aus ca. 200 Profilen zur Verfügung standen, die im Rahmen der Kartierungsarbeiten für die Bodeneignungskarte angelegt und untersucht wurden.

In Tabelle 1 sind die C-Vorräte von 4 Kartierungseinheiten beispielhaft aufgelistet. Auffallend ist der hohe C-Vorrat in Böden im Tessin und die relativ niedrigen Vorräte in den Rendzinen des Jura. Im Jura werden vermutlich die hohen C-Gehalte der Feinerde durch eine begrenzte Gründigkeit und hohe Skelettgehalte relativiert. Eine Mittelstellung nehmen die Braunerden und Gleye im Mittelland und den Voralpen ein.

Tab. 1 C-Vorräte in ausgewählten Kartierungseinheiten

Kartierungseinheit	Bodentyp	Region	C-Vorrat [kg C m ⁻²]
A2	Rendzina	Jura	6.2
M2	Braunerde	Mittelland	16
S3	Gley	Voralpen	15
X1	s. Braunerde / Podzol	Tessin	27

Werden die Vorräte über alle Kartierungseinheiten aufaddiert, erhält Paulsen (1995) einen C-Vorrat im Boden von ca. 440 Mio t C, was einem durchschnittlichen Vorrat von 13.6 kg C m⁻² ohne Streuauflage oder 14.8 kg C m⁻² mit Streuauflage entspricht. In der gleichen Arbeit errechnet er einen biologischen Kohlenstoff-

vorrat für die Schweiz von 600 Mio t C (Boden + Vegetation + C in Gewässern und Gebäuden etc.), d.h. ca. 3/4 des Vorrates sind in den Böden gespeichert.

Eine etwas breitere Datenbasis stand Perruchoud et al. (2000) mit der Waldschadeninventur im 8*8 km Netz zur Verfügung. Aber auch hier war der Datensatz nicht komplett, so dass die C-Vorräte nicht direkt berechnet werden konnten. So wurde die Bodendichte ebenfalls über Tiefenfunktionen, unter Einbezug der Kohlenstoffgehalte der entsprechenden Horizonte, geschätzt (Grigal et al., 1989). Abb. 2 zeigt für jeden Stichprobenpunkt des 8*8 km Netzes den berechneten Vorrat als Kreis dargestellt. Auffallend sind die grossen Vorräte auf der Alpensüdseite sowie an einzelnen Stichprobenpunkten in den Voralpen und im Jura. Die kleinsten Vorräte sind in Rohböden und in Podsolen zu finden, die sehr skelettreich und flachgründig sind.

Für die Extrapolation auf die Fläche versuchten Perruchoud et al. (2000) den geostatistischen Ansatz. Dies war aber nicht erfolgreich, da das 8*8 km Netz zu weitmaschig ist und die einzelnen Stichprobenpunkte keine räumliche Abhängigkeit mehr aufweisen. Deshalb musste für die Extrapolation auf die Gesamtwaldfläche einerseits mit dem klassischen Ansatz über Straten und andererseits mit einer Modellierung verfahren werden. Stratifizierungskriterien waren die Waldtypen ("Waldtyp" in Tab.2) nach Stierlin und Ulmer (1999) sowie die LFI-Produktionsregionen ("Region" in Tab.2) nach Strobel (1988). Dabei wurde der Gesamtvorrat mit Hilfe der Formeln von Cochran (1977) für den Mittelwert und die Varianz einer stratifizierten Population berechnet. Bei der Modellierung ("Modellierung" in Tab.2) wurden die C-Vorräte punktweise mittels Regressionen unter Verwendung standortspezifischer kontinuierlicher und kategorialer Variablen geschätzt. Zusätzlich wurde der Gesamtvorrat unter der Annahme geschätzt, dass jeder Stichprobenpunkt eine genau gleich grosse Fläche repräsentiert ("Alle" in Tab.2). Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der verschiedenen Vorratsschätzungen und stellt sie dem Ergebnis von Paulsen (1995) gegenüber.

Tab. 2 Vergleich der C-Vorratsschätzungen in Böden

Autoren	Schätzmethode	Vorrat o. Streu	Vorrat mit Streu
		[kg C m ⁻²]	
Perruchoud et al.(2000)	Alle	9.82±0.5	11.02
	Waldtyp	9.75±0.5	10.95
	Region	9.85±0.5	11.05
	Modellierung	10.08	11.28
Paulsen (1995)	Bodeneignungskarte	13.6	14.8

Die in der Arbeit von Perruchoud et al. (2000) geschätzten gesamtschweizerischen Vorräte schwanken zwischen 9.75 und $10.08 \text{ kg C m}^{-2}$ ohne Streu bzw. 10.95 und $11.28 \text{ kg C m}^{-2}$ mit Streu, d.h. sie variieren innerhalb einer Spannweite von 0.33 kg C m^{-2} . Rechnet man diese

Werte auf die ganze Waldfläche der Schweiz hoch, so entspricht der Schwankungsbereich einer Gesamtmenge von 3.7 Mio t Kohlenstoff, oder anders ausgedrückt, ca. 3% des Kohlenstoffes, der in der Waldvegetation gespeichert ist.

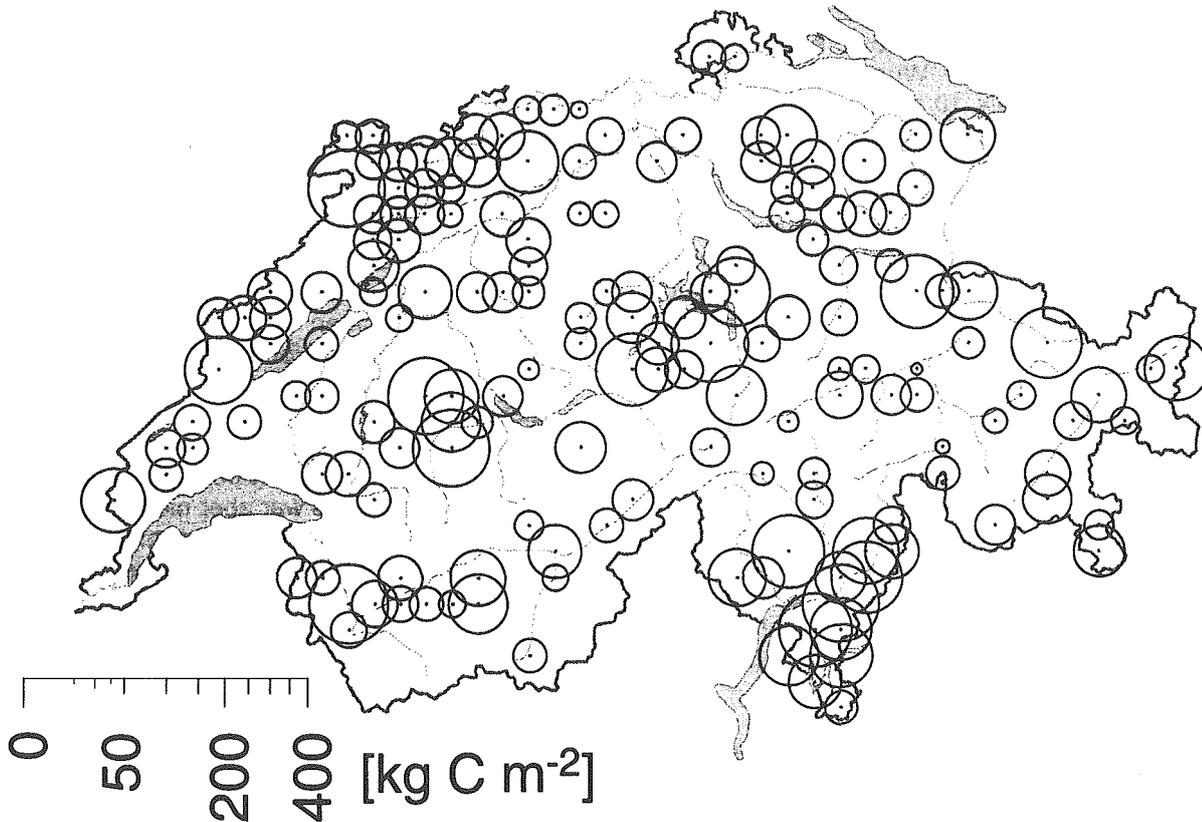


Abb. 2 Lage und berechnete C-Vorräte der Waldstichprobenpunkte im $8 \times 8 \text{ km}$ Netz. Die berechneten C-Vorräte sind proportional der Kreisfläche.

4. Genauigkeit der C-Pool-Schätzung

Für die Wirkung des Waldes als CO_2 -Senke ist jedoch nicht der Vorrat an Kohlenstoff entscheidend, sondern die Änderung des Vorrats innerhalb eines gewissen Zeitraumes, d.h., bezogen auf den Boden, die Netto-Zunahme an Kohlenstoff im Waldboden. Um solche Veränderungen zuverlässig feststellen zu können, müssen die Zustandserfassungen jedoch möglichst genau erfolgen. Tabelle 2 stellt die beschriebenen Vorratsschätzungen einander gegenüber. Streuen die Werte der verschiedenen Schätzmethode in der Arbeit von Perruchoud et al. (2000) noch in einem relativ engen Bereich, so beträgt die Differenz zwischen Perruchoud et al. (2000) und Paulsen (1995) bereits 3.5 kg C m^{-2} . Hochgerechnet auf die gesamte Waldfläche der Schweiz sind dies ca. 40 Mio t C, d.h. ca. ein Drittel der in der Waldvegetation gespeicherten Kohlenstoffmenge. Nun sind die beiden Arbeiten nur schwer miteinander vergleichbar, da

die verwendete Datenbasis auf der einen Seite vor allem aus geschätzten und abgeleiteten Größen von Kartierungseinheiten bestand (Paulsen, 1995) und auf der anderen Seite konkrete Profilaufnahmen mit Mess- und Schätzgrößen vorlagen (Perruchoud et al., 2000). Es kann deshalb angenommen werden, dass mit letzterer Arbeit für Waldböden die realistischeren Werte erhalten werden. Für die österreichischen Waldböden haben Englisch et al. (2001) aufgrund der Daten aus ihrer Waldbodeninventur einen C-Vorrat von $11.9 \pm 4.8 \text{ kg C m}^{-2}$ hergeleitet, also eine vergleichbare Größenordnung wie sie Perruchoud et al. (2000) erhalten haben. Im Weiteren haben Englisch et al. (2001) unter Annahme gleicher Varianzen der Beobachtungskollektive zu allen Zeitpunkten prognostiziert, dass mit Bodenzustandsinventuren Veränderungen im Bodenkohlenstoffvorrat mit zumindest 10% Irrtumswahrscheinlichkeit nach einer Beobachtungsperiode von 20 Jahren abgesichert werden können. Diese Periode kann umso stärker verkürzt werden, je genauer die C-Vorrats-

schätzungen gemacht werden können. Perruchoud et al. (2000) geben einen Fehler ihrer Schätzungen von ca. 0.5 kg C m^{-2} an. Dies erscheint verglichen mit dem Fehler, den Englisch et al. (2001) angeben eher unrealistisch klein zu sein.

Es ist eine bekannte Tatsache, dass die räumliche Variabilität von Bodenparametern sehr gross sein kann. Um eine zeitliche Variabilität nachweisen zu können, muss die durch die räumliche Variabilität bedingte Unsicherheit möglichst klein gehalten werden. Dies wird durch eine Erhöhung der Stichprobenzahl erreicht, was durch die Ergebnisse der C-Vorratsschätzungen auf LWF-Flächen bestätigt wird (Abb. 3). Diese Flächen wurden gemäss pflanzensoziologischen Kriterien als homogen beurteilt. Zur Erfassung des C-Vorrates wurden jeweils an 20 Stellen auf einem vorgegebenen Raster Bohrungen gemacht, die Bodenproben aus jeweils 4 Bohrungen zu

Mischproben vereinigt und der C-Gehalt dieser Mischproben gemessen. Mit Hilfe von Dichtewerten und Skelettgehalten aus nahegelegenen Bodenprofilen wurden die C-Vorräte berechnet. Somit liegen C-Vorratsschätzungen an 5 Punkten pro LWF-Fläche vor. Nun wurden Mittelwerte von allen möglichen 2-er Kombinationen berechnet und der maximale Fehler dieser Berechnungen in Prozent des Mittelwertes ausgedrückt. Dies wurde mit allen 3-er, 4-er und 5-er Kombinationen wiederholt. Aus Abb. 3 geht hervor, dass erst unter Berücksichtigung der C-Vorräte aller 5 Punkte in Vordemwald der maximale Fehler unterhalb von 10% zu liegen kommt. Dies obwohl die LWF-Flächen als pflanzensoziologisch homogen beurteilt wurden und die Messungen an den 5 Punkten an Mischproben von jeweils 4 Bohrungen gemacht wurden, also bereits ein gewisser Anteil der räumlichen Variabilität reduziert wurde.

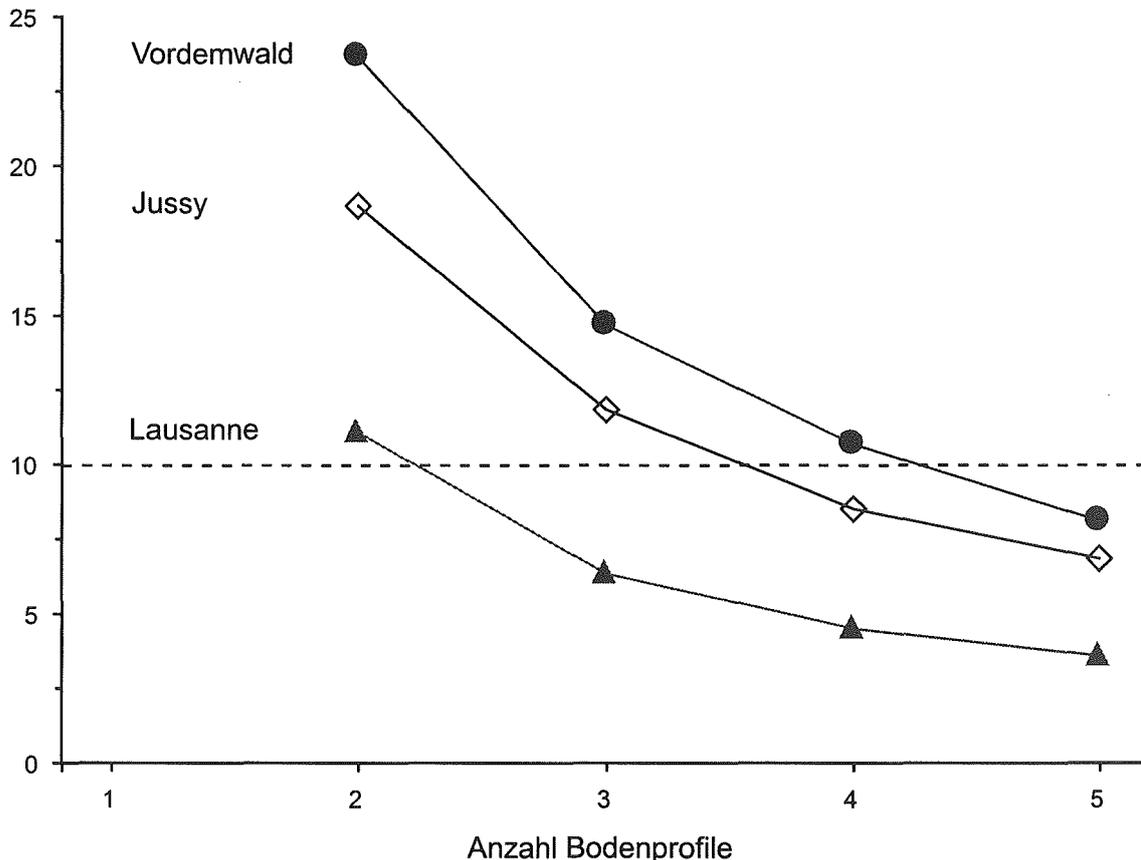


Abb. 3 Abnahme des maximalen Fehlers, ausgedrückt in % vom Mittelwert, der C-Vorratsschätzung auf Untersuchungsflächen der langfristigen Waldökosystemforschung (LWF).

5. Strategien für die Zukunft

Für zukünftige Wald-Bodeninventuren, welche die Schätzung von C-Vorräten als Basis des Nachweises von C-Vorratsveränderungen zum Ziel haben, schlagen wir folgende Strategie vor:

- Das Aufnahmenetz muss gegenüber der letzten Inventur verdichtet werden. Es hat sich herausgestellt, dass Stichprobenpunkte im 8×8 km Netz räumlich voneinander unabhängig sind. Dies verhindert die Anwendung von geostatistischen Methoden zur Extrapolation der Punktdaten auf die Fläche.

- Zur Berechnung der C-Vorräte sind die Bodendichte und der Skelettanteil zentrale Größen, die bisher am Bodenprofil geschätzt wurden. Um die Genauigkeit der C-Vorratsberechnung zu erhöhen ist eine Messung dieser Parameter unabdingbar.
- Aus bisherigen Erfahrungen hat sich gezeigt, dass der Nachweis von Veränderungen in Bodeninventuren auf einem Stichprobenraster erst nach mehreren Jahren möglich wird, da für eine frühere Erkennung von Veränderungen die C-Vorratsschätzungen zu ungenau sind. Diese Schwierigkeit kann vermieden werden, wenn zur Bestimmung von Veränderungen Intensivflächen bezeichnet werden, auf denen mindestens 5 Profile pro Standort untersucht werden. Dadurch erhöht sich die Genauigkeit der Schätzung und die Feststellung von Veränderungen wird eher möglich.
- Zusätzlich wäre es wünschenswert, eine Methode zu entwickeln, mit der die unterirdische Wurzelbiomasse abgeschätzt werden könnte.

Aufgrund dieser Vorschläge wird offensichtlich, dass mit der heutigen Datenbasis noch eine beträchtliche Lücke zwischen Realität und wünschbarer Datengrundlage für eine zuverlässige Berechnung der C-Vorräte und eine Abschätzung ihrer Veränderung liegt.

Literatur

- Cochran, W.G. (1977): Sampling Techniques. John Wiley & Sons, New York.
- Englisch, M., Weiss, P., Hacker, R. und Mutsch, F., 2001: Bodeninformation und das Kyoto-Protokoll: Der Waldboden als Kohlenstoffsенke - Hypothesen und Möglichkeiten der konkreten Messung. Mitt. DBG 96(2), 493-494.
- Friedli, H., Löttscher, H., Öschger, H., Siegenthaler, U. and Stauffer, B., 1986: Ice core record of the C-13/C-12 ratio of atmospheric CO₂ in the past 2 centuries. Nature 324 (6094), 237-238.
- Grigal, D.F., Brovold, S.L., Nord, W.S. and Ohmann, L.F., 1989: Bulk density of surface soils and peat in the North Central United States. Canad. J. Soil Sci. 69, 895-900.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2001): The Scientific Basis - Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). EarthPrint, Stevenage, 944 pp.
- Keeling and Whorf (2000): <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends>
- Paulsen, J., 1995: Der biologische Kohlenstoffvorrat der Schweiz. Verlag Rüegger, Chur/Zürich, 136 S.
- Perruchoud, D., Walthert, L., Zimmermann, S. and Lüscher, P., 2000: Contemporary carbon stocks of mineral forest soils in the Swiss Alps. Biogeochemistry 50, 111-136.
- Schimel, D.S., 1995: Terrestrial ecosystems and the carbon cycle. Global Change Biology 1, 77-91.
- Stierlin, H.R. und Ulmer, U. (1999): Waldaufbau. In: Brassel, P. und Brändli, U.B. (Hrsg.): Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993-1995. Verlag Paul Haupt, Bern, S. 103 - 150.
- Strobel, T. (1988): Regionen. In: EAFV, Eidg. Anst. forstl. Versuchswes. (Hrsg.): Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der Erstaufnahme 1982-1986; Bericht Nr. 305. Kommissionsverlag F. Flück-Wirth, Teufen, S. 27.
- Watson, R.T., Noble, I.R., Bolin, B., Ravindranath, N.H., Verardo, D.J. and Dokken, D.J. (eds.) (2000): Land use, land-use change and forestry. Cambridge University Press, Cambridge, 377 pp.

Raumentwicklung und Boden

Claude Lüscher, Zürich

Zusammenfassung

Zwischen der Bodennutzung im raumplanerischen Sinn und der (pedologischen) Bodenqualität bestehen sehr enge Bezüge. Die Ausführungen gipfeln in der Aufforderung an die Raumplanung, die Bodenqualität endlich in nutzungsplanerische Entscheide einzubeziehen, bzw. in der indirekten Aufforderung an die politischen Kreise sowie an die Verwaltungen von Bund, Kantonen und Gemeinden, falls vorhanden Bodenkarten als Entscheidungsgrundlage ausarbeiten zulassen, bzw. sie zu Rate zu ziehen, bzw. solche erstellen zu lassen. Der Sachplan Fruchtfolgeflächen ist ein konkretes raumplanerisches Instrument, bei dem Bodendaten zur bessern Ausscheidung sehr nützlich wären.

Summary

The following contribution tries to demonstrate, that there are many relations between the quality of the soils and the use of that knowledge in the process of urban planning. It is proposed that urban planning authorities should integrate pedological knowledge in the decision making process of areaplanning and the subsequent delimitation of new building areas. At the same time political authorities and administrations on all levels are prompted to map soils in order to use them as a decision basis in the planning process. The 'swiss national plan of arable soils' is a concrete example of how pedological data could be integrated in the process of delimiting the arable soils in the country.

Zusammenhänge zwischen Bodennutzung und Bodenqualität

Im folgenden wird versucht darzulegen, dass zwischen der Bodennutzung im raumplanerischen Sinn und der pedologischen Bodenqualität sehr enge Zusammenhänge bestehen. Teilt man den ‚Raum Schweiz‘ in ein Siedlungsgebiet und ein Nichtsiedlungsgebiet auf, erhält man zwei sehr ungleiche Kompartimente:

- Das Siedlungsgebiet mit einem Flächenanteil von rund 6%, mit etwa 94% der Einwohner, die 99% des Volkseinkommens generieren.
- Das Nichtsiedlungsgebiet mit einem Flächenanteil von rund 94%, mit nur 6% der Bevölkerung und vielleicht 1% des Volkseinkommens.

Die Gegenüberstellung zeigt, dass auf kleinstem Raum der grösste Teil der Schweizer Bevölkerung wohnt, arbeitet und dabei fast das gesamte Volkseinkommen generiert. Eine wachsende Wirtschaft und eine zurzeit ziemlich wachsende Bevölkerung erzeugen einen grossen Einzonungsdruck auf das Nichtsiedlungsgebiet, speziell in unmittelbarer Nähe zum aktuellen Siedlungsgebiet. Damit ist dieses relativ schmale ‚Band‘ entlang der bestehenden Bauzone ein Gebiet, für welches raumplanerische Entscheide von grosser Tragweite gefällt werden. Hier läuft nämlich ein Grossteil der Dynamik in der Siedlungsentwicklung ab, hier wächst das Siedlungsgebiet um 1m² pro Sekunde oder um etwa 3000 Hektaren pro Jahr! Nebenbei sei erwähnt, dass die Landwirtschaft inkl. Maisensässe und Alpweiden rund 38 % der Fläche der Schweiz beansprucht, wobei etwa die Hälfte zu den letzteren,

raumnutzungsmässig weniger interessanten Bereichen gehören.

Das künftige Siedlungsgebiet dehnt sich vorwiegend im Talgebiet, im Mittelland und dort auf den bodenkundlich wichtigen Böden aus. Dieser Befund lässt sich erhärten durch Erfahrungen und durch die Fachliteratur. Die Siedlungen konzentrieren sich - historisch gesehen - um die jeweils besten Böden einer Ortschaft, eines Weilers oder eines Dorfes. Diese besten Böden wurden seit je her geschont und geschützt. Sie warfen die besten Erträge ab, mussten einfach bewirtschaftbar und erreichbar sein und wurden deshalb über Jahrhunderte gesichert und gepflegt: das Motto hiess quasi: ‚je näher, desto besser‘. Genau diese besten Böden sind nun das „Opfer“ der Ausdehnung jedes Siedlungsgebietes. Dies dank dem (unglücklichen) Umstand, dass Baugebiets-erweiterungen grundsätzlich am Rande des bestehenden Baugebietes zu erfolgen haben. Die Dörfer und Städte wuchsen deshalb in einer Art konzentrischer Ringe rund um den Kern der jeweiligen Ortschaft. Das ist heute noch so, die Raumplanungspraxis verhinderte bis anhin die Gründungen von Siedlungen abseits bestehender Baugebiete.

Die Koinzidenz dieser beiden Tatsachen – beste Böden rund um das Dorf und bauliches Wachstum des Dorfes rund um den Dorfkern – ergibt ein sinnwidriges Muster. Die Raumplanung hat bisher die Bodenqualität oder das Potenzial der Böden kaum oder nie als Ausschlussgrund für Bauzonenerweiterungen betrachtet. Einzonungsgründe gab es viele, die Bodenqualität hat aber dabei keine Rolle gespielt. Das rächt sich nun insofern,

als bei jedem m², der überbaut wird, der jeweils beste m² Boden zubetoniert wird. Somit wird nicht nur eine Fläche natürlichen Bodens ökologisch entwertet, es ist auch jeweils die relativ Beste! Das Ertragspotenzial der verbleibenden Restfläche vermindert sich somit überproportional zur Fläche.

Dieser Befund ist stossend und muss zu denken geben. Vorderhand und auf absehbare Zeit sind die Menschen - ‚Hors sol‘-Anlagen hin oder her - auf genügend Flächen guten Bodens angewiesen, um sich ernähren zu können. Dies gilt auch für die Schweiz. Es kann niemandem gleich sein, wenn sich die Siedlungsfläche jährlich um 3000 ha auf Kosten der jeweils besten Böden ausdehnt, resp. die landwirtschaftliche Nutzfläche nicht nur um diese Fläche abnimmt, sondern des darauf realisierbaren Potenzials verlustig geht. Angesichts der dramatisch abnehmenden Weltgetreidevorräte muss eine solche Entwicklung sehr nachdenklich stimmen.

Der Raumplanung sind deshalb künftig zusätzliche Instrumente zur besseren Entscheidungsfindung bei Ausdehnungsvorhaben, resp. Bauzonenerweiterungen, zur Verfügung zu stellen. Eine ganz wichtige Grundlage aus der Sicht des Bodenschutzes sind Bodenkarten, resp. Eignungskarten, die an die Bedürfnisse der Raumplaner angepasst sind.

Das Beispiel Fruchtfolgeflächen FFF

Der Sachplan Fruchtfolgeflächen ist eine konkrete Anwendung des oben geschilderten Sachverhalts. Die Schweiz verfügt mit dem Sachplan FFF über ein hervorragendes Instrument, um die besten Ackerflächen längerfristig zu erhalten. Der Sachplan FFF, 1992 mit Bundesbeschluss erlassen, sah vor, eine gesamte FFF von 438'560 ha mit raumplanerischen Mitteln zu sichern.

Die Kantone hatten bestimmte Kontingente an FFF zu bezeichnen und sie im Rahmen der Richtplanung und in der Umsetzung durch die Nutzungsplanung zu schützen. Zehn Jahre Vollzug des Sachplans zeigen in einer Studie des Bundes, dass die Gesamtfläche an FFF zwar noch vorhanden ist, dass aber verschiedene Kantone ihr Kontingent überschritten haben, d.h. zuviel FFF für andere Nutzungen, sprich für Siedlungszwecke, verbraucht haben. Eine Reihe von Kantonen steht kurz davor, ans „Limit“ zu gelangen. Der Spielraum ist gesamtschweizerisch sehr eng geworden und es ist zu befürchten, dass mit einer nächsten "Einzonungswelle" die Gemeinden grossen Druck auf die kant. Behörden ausüben werden. Diese sollten nachgeben und u.a. auch FFF für die bauliche Nutzung freigeben.

Der Bund beabsichtigt nun, den Sachplan zu revidieren. An der gesamtschweizerischen Fläche an FFF soll nicht gerüttelt werden; hingegen wird eine gewisse Öffnung oder Flexibilisierung vorge-

schlagen, indem ein einzelner Kanton nicht allein sein Kontingent erfüllen muss, sondern sich mit andern Kantonen zusammen tun kann, damit diese Gruppen gemeinsam ihr Kontingent erfüllen können. Wie sich die Kantone untereinander einigen, wäre dann deren Sache.

Im weiteren ist eine gewisse Reduktion der Mindestfläche denkbar, wenn ein Kanton im Rahmen der Richtplanung glaubwürdig darlegen kann, dass er alles unternommen hat, um die FFF zu erhalten. Die Revision des Sachplans und die Diskussion werden zeigen, wie das Thema Sicherung einer minimalen Fläche für die Ernährung bei der Bevölkerung und den angesprochenen Kreisen aufgenommen wird.

Die ursprüngliche Argumentation zur Sicherung der FFF basierte im übrigen fast ausschliesslich auf dem Gedanken der ‚Sicherung der Ernährung in Zeiten gestörter Zufuhren‘. Diese Argumentation wirkt heute etwas überholt: die Gefahren einer Verknappung zeigen sich u.a. in anderer Form (z.B. BSE oder ähnliche Seuchen, wie die Schweinepest, etc.). Hingegen hat sich der Bund die Thematik der Nachhaltigkeit zu eigen gemacht und beabsichtigt, seine Politik in wesentlichen Teilen der Nachhaltigkeitsmaxime unter zu ordnen.

Der Umgang mit dem natürlichen Boden ist das Paradebeispiel schlechthin für einen nachhaltigen Umgang mit einer Ressource. Der Verbrauch der besten Böden für Siedlungszwecke ist nicht nachhaltig, denn einmal überbauter Boden ist für mehrere hundert bis 1000 Jahre zerstört und unfruchtbar. In der kommenden Debatte zum Thema Fruchtfolgeflächen werden die bodenkundlichen und bodenschützerischen Kreise deshalb mit Nachdruck auf die Bedeutung natürlicher Böden und deren Fragilität hinweisen müssen. Denn, wie schon anderswo gesagt wurde, wir haben keinen zweiten Boden im Keller!

Literaturhinweise

C. LÜSCHER (2001): Verbesserte Bewirtschaftung des Sachplans Fruchtfolgeflächen (FFF), Eidg. Depart. für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation, Bundesamt für Raumentwicklung, Materialien, Bern

BUNDESAMT FÜR RAUMENTWICKLUNG (ARE) (2003): 10 Jahre Sachplan Fruchtfolgeflächen (FFF); Erfahrungen der Kantone und Erwartungen an den Bund, Bern

MAYOZER MARCEL, ROUDART LAURENCE (1997): Histoire des Agricultures du Monde, Seuil, Paris

RADKAU JOACHIM (2002): Natur und Macht, Beck, München

SIEFERLE ROLF PETER (1997), Rückblick auf die Natur: Eine Geschichte des Menschen und seiner Umwelt, Luchterhand, München

Das Fachinformationssystem Bodenkunde der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (FISBo BGR): Strategie und Status 2003

Volker Hennings und Wolf Eckelmann

Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, D-30655 Hannover

Zusammenfassung

Zur Beratung der Bundesregierung und Umsetzung des Bundesbodenschutzgesetzes (BBodSchG) wird bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) ein bodenkundliches Fachinformationssystem (FISBo BGR) geführt. Es besteht aus einer Flächendatenbank, einer Profil- und Labordatenbank sowie einer Methodenbank. Wichtigste Inhalte der Flächendatenbank sind die Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1:1.000.000 (BÜK 1000) sowie die gemeinsam mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Länder herausgegebene neue Bodenübersichtskarte von Deutschland i. M. 1:200.000 (BÜK 200). Die Inhalte der Profil- und Labordatenbank werden vorrangig dazu genutzt, repräsentative bodenkundliche Leitprofile für die Legendeneinheiten der Bodenkarten bereit zu stellen sowie länderübergreifende Hintergrundwerte ausgewählter Schadstoffe abzuleiten. Inhalte der Methodenbank sind programmierte Pedotransferfunktionen und -regeln, mit deren Hilfe Kennwerte verschiedener Bodenfunktionen über einfache Tabellen oder Regressionsgleichungen aus flächenhaft verfügbaren Basisdaten geschätzt werden können. Für die nahe Zukunft ist die Herausgabe eines Bodenatlas beabsichtigt, der verschiedene Themenkarten zum Bodenschutz in bundesweiten Übersichtsdarstellungen beinhaltet. Im Rahmen begleitender Forschungsvorhaben zum Skalentransfer wird versucht, die Aussagegenauigkeit kleinmaßstäbiger Bodenfunktionskarten zu quantifizieren und ihren praktischen Nutzen durch Angaben zur räumlichen Variabilität der dargestellten Kennwerte zu erhöhen.

Abstract

The Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR) has started to set up a soil information system for Germany ("FISBo BGR") to advise the federal government and to fulfil all demands resulting from the German Soil Protection Act (BBodSchG). It consists of a spatial database, a soil profile database and a method base (pedotransfer rules database). Main contents of the spatial database are the 1:1,000,000 soil map of Germany (BÜK 1000) and the new 1:200,000 soil map of Germany that is compiled in close cooperation with the geological surveys of the German federal states. The information stored in the soil profile database is mainly used to provide typical soil profile descriptions for the legend units of all soil maps and to derive background values for certain contaminants, valid for the whole area of Germany. The pedotransfer rules database contains programmed algorithms such as estimation tables or regression equations in order to derive land qualities from easy available soil characteristics. In the near-term future BGR intends to publish a new soil atlas, showing various soil-related topics at the nationwide scale. Additionally research activities are carried out to quantify the degree of accuracy of small-scale land quality maps and to improve their practical use by adding information about soil spatial variability to the map legend.

Keywords: soil information system, soil protection, soil maps, pedotransfer rules, upscaling

1. Einrichtung eines Fachinformationssystems Bodenkunde (FISBo BGR) für Bundesaufgaben

Zur Wahrnehmung ihres Auftrags als beratende Institution der Bundesregierung für geowissenschaftliche Fragen wird bei der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe ein bodenkundliches Fachinformationssystem geführt, in dem Punkt- und Flächendaten sowie Methoden mit bodenkundlichem Bezug vorgehalten und für länderübergreifende Aussagen zum Boden- und

Umweltschutz ausgewertet werden (ADLER et al. 1998, ECKELMANN 1996, ECKELMANN und HARTWICH 1996). Im Einzelnen verfolgt das FISBo BGR folgende Zielsetzungen:

- Aufbau und Bereitstellung fachlicher Komponenten eines für Bundesaufgaben angemessenen Informationssystems zu Bodennutzung und Bodenschutz (§ 19 BBodSchG),
- Unterstützung von Aufgaben der Bundesregierung und ihrer nachgeordneten Behörden: Auswertung der Datenbasis zur Situations-

darstellung, Prognose, Zuarbeit zu untergesetzlichen Regelwerken, z. B.

- BBodSchG, § 9 "schädliche Bodenveränderungen" und
- BBodSchV, Anh. 2: Vorsorgewerte für organische/anorganische Schadstoffe,
- Unterstützung der EU und internationaler Organisationen auf der europäischen und der globalen Maßstabebene, z. B.
 - im Zusammenhang mit der EU-Wasserrahmenrichtlinie (EU-WRRL) oder
 - für Aufgaben des European Soil Bureau (ESB)-Netzwerkes,
- Nutzung der Datenbasis für Methodenentwicklungen (z. B. Pedotransferfunktionen zur Ableitung bodenchemischer und bodenphysikalischer Kennwerte),
- Nutzung der Datenbasis als Grundlage für nationale und internationale Kooperationen mit Forschungsnehmern und der Wirtschaft.

Nach dem Idealmodell eines Bodeninformationssystems auf Bundesebene ist das FISBo BGR nur eines der für den Bereich der geowissenschaftlichen Grundlagen (Bodenkunde, Geologie, Geomorphologie etc.) in Deutschland aufgebauten Fachinformationssysteme. Daneben gibt es weitere dezentral von den zuständigen Fachbehörden zu entwickelnde Fachinformationssysteme, z. B. für den Bereich der anthropogenen Einwirkungen auf den Boden (Immissionen und Depositionen, Altlasten, Waldschadenserfassung etc.) im Zuständigkeitsbereich des Umweltbundesamtes. Langfristig ist die Verknüpfung aller Komponenten über ein zentral geführtes Kernsystem vorgesehen, das Metainformationen aller Daten und Datenbanken beinhaltet und die Navigation zwischen allen Fachinformationssystemen steuert.

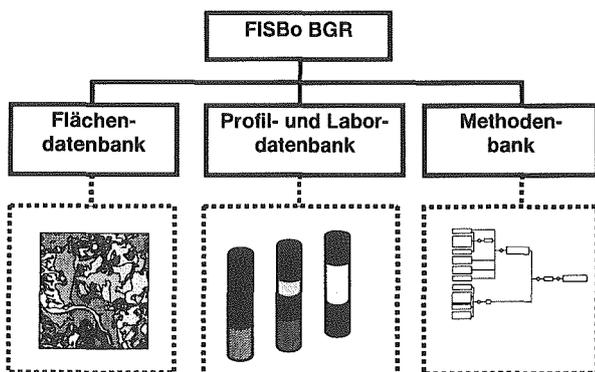


Abbildung 1: Struktur des FISBo BGR

Das FISBo BGR setzt sich aus drei Teilkomponenten zusammen (Abb. 1): Einer Flächendatenbank (zur Aufnahme flächenbezogener Bodeninformationen), einer Profil- und Labordatenbank

(zur Aufnahme standortbezogener Bodeninformationen) sowie einer Methodenbank, die verschiedene Algorithmen zur Ableitung von Bodenkennwerten aus bodenkundlichen Basisdaten beinhaltet.

Beim Aufbau aller dieser Komponenten arbeitet die BGR intensiv mit den Staatlichen Geologischen Diensten (SGD) der Länder zusammen, die vor Ort sowohl für die Datenerfassung und die Beurteilung von Fragen zur Bodennutzung und Bodenschutz als auch für die Führung von Bodeninformationssystemen zuständig sind. Ziel ist es, die Informationssysteme auf Bundes- und Länderebene so zu vernetzen, dass auf allen Maßstabsebenen kongruente Aussagen möglich werden.

2. Bodenkartierung in Deutschland und Inhalte der Flächendatenbank des FISBo BGR

Die Bodenkartierung im Sinne einer flächendeckenden Landesaufnahme im mittleren Maßstabbereich (1:25.000 und 1:50.000) wird in Deutschland von den Staatlichen Geologischen Diensten der einzelnen Bundesländer durchgeführt. Der Flächendeckungsgrad ist allerdings je nach Maßstab und Bundesland sehr unterschiedlich, so dass die Verfügbarkeit bodenkundlicher Grundlagenkarten auf Bundesebene ein sehr heterogenes Bild bietet (ZITZMANN 1994). Die Landesaufnahme wurde z.B. in Niedersachsen in der Vergangenheit im Maßstab 1:25.000 vorgenommen; landesweit liegt der Flächendeckungsgrad erst bei ca. 35 %, bundesweit in diesem Maßstab sogar nur bei < 10 %. Im Bundesland Nordrhein-Westfalen war der Bearbeitungsmaßstab 1:50.000; nach Abschluss der Erstaufnahme liegen Bodenkarten dieses Maßstabs inzwischen für das gesamte Bundesland vor (GD NRW 2003). Der Flächendeckungsgrad lag zum Zeitpunkt der Bestandsaufnahme von ZITZMANN (1994) auf dieser Maßstabsebene bundesweit bei ca. 15 %, aktuell (2003) bei ca. 30 %.

Als Ergebnis der "Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung" der ehemaligen DDR liegen bodenkundliche Informationen im Maßstab 1:100.000 flächendeckend für die neuen Bundesländer vor, beschränken sich aber auf die landwirtschaftliche Nutzfläche. Vor Beginn der Arbeiten an einem bundesweit einheitlichen Kartenwerk der Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) waren bodenkundliche Grundlagenkarten in diesem Maßstab nur in Niedersachsen und in großen Teilen von Baden-Württemberg fertig gestellt, so dass der Flächendeckungsgrad bundesweit bei ca. 18 % lag.

Diese Situation, verbunden mit begrenzten Kapazitäten für die weitere Kartierung, hat die Geologischen Dienste der Länder zu besonderen Vorgehensweisen veranlasst (HENNING und SPONAGEL 1991). Im Mittelpunkt dieser Strategien stand das Bemühen, alle bodenkundlich interpretationsfähigen Unterlagen digital zu erfassen und mit Hilfe räumlicher Vorhersagemodelle für die rechnergestützte Konstruktion von Bodenkarten zu nutzen (HEINEKE et al. 1987, 1988). In Niedersachsen z.B. wurden für diesen Zweck seit den 80er Jahren die Daten der Bodenschätzung in den Routinebetrieb der bodenkundlichen Landesaufnahme integriert und für die Erstellung einer Konzeptkarte der späteren Bodenkarte 1:25.000 (BK 25) verwendet (ROESCHMANN et al. 1991). Eine solche Vorgehensweise erlaubte, den für die eigentliche Bodenkarte erforderlichen Feldaufwand auf ein Minimum zu reduzieren (ebd.). In Fortsetzung dieser Strategie wurde in den 90er Jahren mit der Bodenübersichtskarte von Niedersachsen 1:50.000 (BÜK 50) für die gesamte Landesfläche ein Kartenwerk erstellt, das komplett unter Nutzung regelbasierter Vorhersagemodelle ohne Geländearbeit "am grünen Tisch" entstanden ist (BOESS et al. 1999). Erst in jüngster Zeit wird versucht, die BÜK 50 durch Geländebefunde zu verifizieren und blattweise durch eine Bodenkarte 1:50.000 (BK 50) zu ersetzen.

Für das FISBo BGR hat die beschriebene Ausgangssituation vor allem zwei Konsequenzen: Der Zuständigkeitsbereich der BGR beginnt erst beim Maßstab 1:200.000, und flächendeckende, kleinmaßstäbige Grundlagenkarten, die einen bundesweiten Überblick über die Gesamtfläche Deutschlands erlauben, sind nicht ohne weiteres durch Generalisierung großmaßstäbiger Kartierbefunde auf induktivem Wege zu erzeugen, sondern sind in der Vergangenheit eher deduktiv als Ergebnis einer bodenkundlichen Interpretation vor allem geologischer Karten entstanden.

Zu den Inhalten der Flächendatenbank des FISBo BGR gehören neben Metainformationen über vorhandene Kartenwerke

- die Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200),
- Bodenübersichtskarten des Maßstabs 1:1.000.000 (BÜK 1000) und kleiner in verschiedenen Ausprägungen,
- die EU Soil Geographical Database 1:1.000.000,
- die FAO World Soil Map 1:5.000.000 (FAO Soil Map) sowie
- Fachdaten aus anderen geowissenschaftlichen Disziplinen (z. B. Geomorphographie), soweit sie für Fragen von Bodennutzung und Bodenschutz relevant sind.

Dazu kommen Karten der Bodengroßlandschaften und Bodenregionen Deutschlands, die nach der Systematik der pedoregionalen Gliederung Deutschlands mit Definition von sieben hierarchischen Aggregierungsstufen bodenkundlicher Areale gemäß 4. Aufl. der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA 4) (AG BODEN 1994) die Aggregierungsstufen 6 und 7 repräsentieren.

Um das Defizit einer bundesweiten bodenkundlichen Datengrundlage auf der mittleren Maßstabsebene zu beseitigen, wurde vor einigen Jahren unter Federführung der BGR in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Länder damit begonnen, mit der neuen Bodenübersichtskarte von Deutschland i. M. 1:200.000 (BÜK 200) das erste flächendeckende Kartenwerk herauszugeben, das bundesweit nach einheitlichen Vorgaben erstellt wurde (KRUG und HARTWICH 2001). Vereinbart wurden

- ein bundesweit einheitliches Datenmodell bzw. ein einheitlicher Datenfeldkatalog je Legendeneinheit entsprechend der Vorlage in der KA 4,
- eine bundesweite Generallegende,
- Regeln der Grenzziehung unter Einpassung in bestehende Grenzen von Bodenregionen und Bodengroßlandschaften sowie
- die Entwicklung eines BÜK 200-spezifischen Zuordnungsregelwerks, das die Nutzung aller vorliegenden Bodenkarten unterschiedlicher Maßstäbe erlaubt.

Nach gegenwärtigem Bearbeitungsstand sind 13 von 55 Blättern abgeschlossen. Die Fertigstellung des gesamten Kartenwerks ist bis zum Jahr 2006 beabsichtigt.

Zweites wichtiges Element der Flächendatenbank des FISBo BGR ist die Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland i. M. 1:1.000.000 (BÜK 1000) (HARTWICH et al. 1995). Sie ist das Ergebnis einer Synthese bestehender kleinmaßstäbiger Bodenübersichtskarten in den alten und neuen Bundesländern und gliedert das Bundesgebiet in insgesamt 72 Legendeneinheiten. Zum Konzept ihrer Flächeninhaltsbeschreibung gehört, jede Leitbodenassoziation durch möglichst flächenrepräsentative Referenzprofile abzubilden. Schrittweise sollen alle Legendeneinheiten der BÜK 1000 bei regionaler Differenzierung auf dem Niveau der Bodenregionen oder Bodengroßlandschaften und zusätzlicher Differenzierung in die Nutzungsarten Acker, Grünland und Forst durch vollständige Bodengesellschaften mit typischen Profilen des Leitbodens und aller Begleitböden charakterisiert werden.

Zu den Inhalten der Flächendatenbank des FIS-Bo BGR gehören neben bodenkundlichen Informationen auch geowissenschaftliche Fachdaten benachbarter Disziplinen. Zum Thema Klima sind dies Daten zum mittleren Jahresniederschlag, zur mittleren potentiellen Evapotranspiration als FAO-Gras-Referenzverdunstung sowie zur mittleren klimatischen Wasserbilanz, die vom Deutschen Wetterdienst aus Daten der Wetterstationen regionalisiert und der BGR im 1 km-Raster zur Verfügung gestellt wurden.

Aus digitalen Höhendaten einer räumlichen Auflösung von ca. 30 m, die mit Hilfe von Länderdaten aktualisiert wurden, wurden mittels digitaler Reliefmodelle verschiedene morphometrische Parameter wie Hangneigung und Wölbungsradien abgeleitet. Im 50 m-Raster dienen sie vornehmlich der Ermittlung des Oberflächenabflusses und der Erosionsgefährdung durch Wasser. Aus den einzelnen Reliefparametern konnte eine Geomorphographische Karte i. M. 1:1.000.000 (GMK 1000) erarbeitet werden, die Deutschland großräumig in 22 Typen morphographischer Einheiten gliedert und eine wichtige Hilfestellung bei der Grenzziehung der BÜK 200 in Gebieten mit geringer Vorinformationsdichte bieten kann. Landnutzungsdaten entstammen dem CORINE Land Cover des Statistischen Bundesamts, einer aus Satellitenbildern erstellten Karte der Bodenbedeckung, die für Anwendungen im Rahmen des FISBo BGR auf die wichtigsten Nutzungsarten inhaltlich aggregiert und räumlich generalisiert wurde.

3. Die Profil- und Labordatenbank des FISBo BGR

Die Profil- und Labordatenbank des FISBo BGR dient folgenden Zielsetzungen:

- der einheitlichen Verwaltung der bei der BGR erhobenen bodenkundlichen Labor- und Profildaten (digitales Archiv zur internen Qualitätssicherung),
- der Bereitstellung repräsentativer bodenkundlicher Leitprofile für alle Bodenkarten bundesweiter Relevanz,
- dem Vorhalten einer Datenbankstruktur zur fallweisen Übernahme von Datenbeständen der Bundesländer, z.B. von länderübergreifenden Schwermetalldaten zur Ableitung der geogenen Hintergrundbelastung ausgewählter Schadstoffe,
- der Sammlung lageunabhängiger bodenchemischer und bodenphysikalischer Analysendaten zur Ableitung von Pedotransferfunktionen, z.B. für die Bodenkundliche Kartieranleitung.

Zu den Inhalten der Profil- und Labordatenbank gehören als Metainformationen ein Verzeichnis aller analysierten und dokumentierten Standorte sowie ein Verzeichnis aller angewendeten Laboruntersuchungen (KRONE und UTERMANN 2002). Der regelbasierten Transformation taxonomischer Einheiten gemäß deutscher Bodensystematik dient ein eigens entwickeltes Übersetzungsprogramm, das die Zuordnung taxonomischer Einheiten nach KA 4 zu anderen Klassifikationssystemen (FAO, World Reference Base (WRB), ...) gestattet. Profildaten aus Geländeerhebungen und Laboruntersuchungen werden nach einem relationalen Datenbankmodell abgelegt, das unter MS Access realisiert ist. Der aktuelle Bestand der Profil- und Labordatenbank des FISBo BGR weist 54.310 Profile mit Lagebezug und Analytik aus, die durch 1.688.105 Analyseergebnisse von 137.482 Proben charakterisiert werden. Hinzu kommt eine Bilddokumentation mit 1.298 Profillfotos.

Das Inventar der Profil- und Labordatenbank wird u. a. dazu genutzt, die Legendeneinheiten der BÜK 1000 in der beschriebenen Weise mit regional- und nutzungsspezifischen Referenzprofilen zu hinterlegen. Eine weitere Anwendung besteht darin, aus einer länderübergreifenden Datenbasis Hintergrundwerte von Schwermetallen in Oberböden abzuleiten und die Ergebnisse zur praktischen Umsetzung der BBodSchV bereit zu stellen.

4. Die Methodenbank des FISBo BGR

Inhalt der Methodenbank des FISBo BGR sind programmierte Algorithmen, die dazu dienen, Kennwerte ausgewählter Bodenfunktionen im Sinne bodenkundlicher Potentiale oder Gefährdungsgrade, die nur mit hohem Zeit- und Kostenaufwand im Gelände oder Labor direkt zu bestimmen sind, ersatzweise aus einfach zu erhebenden, möglichst zeitkonstanten und stabilen Bodeneigenschaften zu schätzen. Im Sinne der Terminologie von BOUMA and VAN LANEN (1987) oder JONES and HOLLIS (1996) sind dies Algorithmen zur Ableitung einfacher bodenkundlicher Kennwerte wie der effektiven Durchwurzelungstiefe (W_e), Kennwerte der Wasserbindung (FK, nFK, LK) und der gesättigten Wasserleitfähigkeit (k_f -Wert) oder "Pedotransferfunktionen" sowie Algorithmen zur Ableitung komplexer bodenkundlicher Kennwerte wie der potentiellen Erosionsgefährdung durch Wasser und des Filtervermögens für Schwermetalle oder "Pedotransferregeln". Für standortbezogene Anwendungszwecke kommen funktionale und mechanistische Simulationsmodelle hinzu.

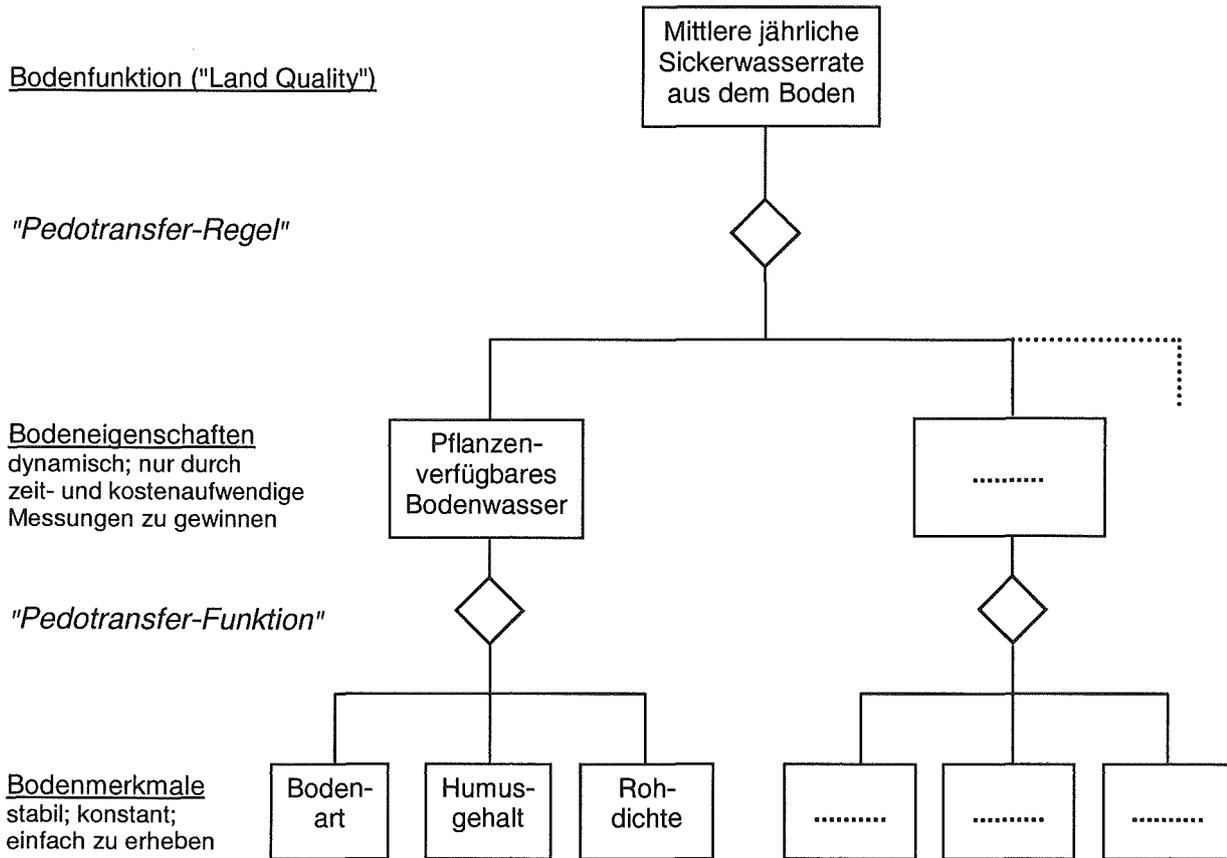


Abbildung 2: Prinzipskizze zur Funktionsweise von Pedotransferfunktionen und –regeln

Für flächenbezogene Anwendungen auf den Maßstabsebenen 1:200.000 und 1:1.000.000 dienen jedoch Methoden in Form einfacher Tabellen, Nomogramme oder Regressionsgleichungen, mit deren Hilfe die benötigten Kennwerte für jede Legendeneinheit aus den Basisdaten typischer Profilbeschreibungen abgeleitet werden können. Alle diese Methoden repräsentieren deterministische Ansätze, die modular aufgebaut sind, auf einfachen empirischen Zusammenhängen beruhen und vom Ablauf der beteiligten physikalischen und chemischen Prozesse z. T. stark vereinfachen. Im Sinne der Klassifikation von WAGENET et al. (1991) sind es "funktionale" oder "nicht-mechanistische" Modelle oder Pedotransferregeln, die sich aus Pedotransferfunktionen zusammensetzen, hinsichtlich Stoffflüssen zumeist auf Massenbilanz-Prinzipien basieren und nur relative Ergebnisse oder näherungsweise Abschätzungen der gesuchten Zielgröße liefern.

Als Beispiel einer Pedotransferregel sei an dieser Stelle die empirische Gleichung genannt, die unter den klimatischen Bedingungen Norddeutschlands zur Abschätzung der Nitratverlagerungstiefe im Winterhalbjahr eingesetzt wird:

$$N_v = -215,8 \log(FK) + 0,34(N_w - ET_{pot_w}) + 549,1$$

N_v = Nitratverlagerungstiefe im Winterhalbjahr in cm

FK = Feldkapazität bis 1 m Tiefe in cm

N_w = mittlerer Niederschlag im Winterhalbjahr (Nov.-April) in mm

ET_{pot_w} = mittlere potentielle Evapotranspiration im Winterhalbjahr in mm

Folgende exemplarische Kennwerte lassen sich mit Hilfe des Inventars der Methodenbank eines bodenkundlichen Fachinformationssystems ermitteln:

- Pflanzenverfügbares Bodenwasser
- Sickerwasserrate als Teil der Grundwasserneubildung
- Abflussregulationspotential
- Potentielle Erosionsgefährdung durch Wasser
- Potentielle Erosionsgefährdung durch Wind
- Potentielle Verdichtungsempfindlichkeit

- Bindung/potentielle Auswaschung von organischen Schadstoffen
- Bindung/potentielle Auswaschung von Schwermetallen
- Bindung/potentielle Auswaschung von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen
- Potentielle Versauerungsgefährdung von Waldböden
- Nitratverlagerungstiefe im Winterhalbjahr
- Ackerbauliches Ertragspotential

Um vergleichbare Auswertungsergebnisse über Ländergrenzen hinweg zu erzeugen, Wissen zwischen bodenkundlich arbeitenden Institutionen auszutauschen und damit Doppelarbeit bei der Entwicklung von Auswertungsmethoden zu vermeiden, wurde in der Vergangenheit eine gemeinsame Methodendokumentation der Staatlichen Geologischen Dienste in Deutschland erarbeitet, die als *Geologisches Jahrbuch F31* (bzw. in der Neufassung als Sonderheft SG 1) veröffentlicht wurde (HENNING 1994, AD-HOC-AG BODEN 2000). Zu jedem Methodenthema gehören darin eine textliche Dokumentation, ein Flussplandiagramm sowie eine Dokumentation aller beteiligten Algorithmen oder Pedotransferfunktionen. Im Rahmen der Fortführung wird die Methodendokumentation im regelmäßigen Turnus nach dem jeweiligen wissenschaftlichen Kenntnisstand aktualisiert und fortlaufend um neue Methoden und Algorithmen ergänzt. Das Ergebnis dieser Arbeiten wird ins Internet gestellt und unter der Homepage der BGR als Download verfügbar gemacht.

Pedotransferfunktionen zur Ableitung bodenhydrologischer Kennwerte wie der nutzbaren Feldkapazität stellen die kleinsten Module einer bodenkundlichen Methodenbank dar. Da sie Bestandteile vieler deterministischer Auswertungsmethoden und Bodenwasserhaushaltsmodelle sind und deren Aussagegenauigkeit maßgeblich steuern, verdienen sie in besonderem Maße eine Gütebewertung. In der Vergangenheit wurden daher die Inhalte der Labordatenbanken der Fachinformationssysteme der Länder und der BGR mehrfach dazu benutzt, die entsprechenden Kennwerttabellen der Bodenkundlichen Kartieranleitung zu verbessern. Wenn in der Literatur zur Ableitung eines Kennwerts mehrere alternative Ansätze angeboten werden, kann auf der Grundlage des Inventars bestehender Labordatenbanken auch eine Gütebewertung und gezielte Auswahl der bestgeeigneten Pedotransferfunktion vorgenommen werden. In der Vergangenheit wurden solche Vergleiche für Pedotransferfunktionen zur Schätzung der Wasserspannungskurve (TIETJE und HENNING 1993), der gesättigten Wasserleitfähigkeit (TIETJE und HENNING 1996) oder der Funktion der ungesättigten Wasserleitfähigkeit (WAGNER et al. 2001) durchgeführt.

5. Erstellung von Themenkarten zum Bodenschutz

Unter Verwendung der Inhalte der Flächendatenbank des FISBo BGR wurde in den vergangenen Jahren damit begonnen, eine Reihe von Themenkarten zum Bodenschutz zu erstellen, die ausgewählte Bodenpotentiale und -gefährdungen in bundesweiten Übersichtsdarstellungen zeigen. Das Themenspektrum orientiert sich an den Ergebnissen einer Bedarfsanalyse, die die relative Häufigkeit der von externen Nutzern nachgefragten Auswertungskennwerte widerspiegelt. Als kartographische Grundlage diente eine nutzungsdifferenzierte Bodenübersichtskarte i. M. 1:1.000.000 als Ergebnis einer Verschneidung der BÜK 1000 mit Informationen aus dem CORINE Land Cover Datenset. Sie gliedert Deutschland in ca. 16.500 Areale und gestattet eine räumliche Auflösung bis 16 km². Erste Kartenbeispiele waren Karten der Kennwerte der Wasserbindung (Feldkapazität bis 1 m Profiltiefe, nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum, Luftkapazität im effektiven Wurzelraum) im neuen Hydrologischen Atlas von Deutschland (HAD) (BMU 2000) sowie eine Karte der potentiellen Erosionsgefährdung ackerbaulich genutzter Böden durch Wasser im neuen Nationalatlas von Deutschland.

Wenn eine Sensitivitätsanalyse ergeben hat, dass bei der jeweils angewendeten Methode bodenkundliche Eingangsdaten in ihrer Bedeutung hinter klimatische Eingangsdaten zurücktreten, wird statt der vektorbezogenen Kartengrundlage eine rasterbezogene Berechnung und Darstellung der Zielgröße favorisiert, da die Streubreite der Niederschlagsdaten in den Arealen der nutzungsdifferenzierten Bodenübersichtskarte so groß ist, dass sie im Maßstab von $\leq 1:1.000.000$ nicht mehr die Ausweisung einheitlicher Raumeinheiten gestattet. Als Bezugsbasis des letzten Kartenbeitrags zum HAD, einer Karte der mittleren jährlichen Sickerwasserrate aus dem Boden, dienten daher Boden-, Klima- und Landnutzungsinformationen im 1 km-Raster. Für die Zukunft ist die Herausgabe eines "Bodenatlas" mit ca. 60 Einzelblättern geplant, der in möglichst publikumswirksamer Form einen raschen Überblick über das vom FISBo BGR abgedeckte Themen- oder Produktspektrum ermöglichen soll.

6. Begleitende Forschung zum Skalentransfer

Um den Nutzern der genannten Themenkarten zum Bodenschutz ergänzende Informationen zur räumlichen Variabilität der dargestellten Kennwerte vermitteln zu können, wird mittels begleitender Forschungsvorhaben versucht, die Aus-

gegenauigkeit kleinmaßstäbiger Themenkarten anhand vorliegender Detailinformationen in ausgewählten Untersuchungsgebieten mindestens halbquantitativ zu bewerten. Im Rahmen des DFG-geförderten Vorhabens "Skalentransfer pedoökologischer Größen" werden folgende Fragestellungen zu beantworten versucht:

- Bewertung der Aussagegenauigkeit kleinmaßstäbiger Themenkarten zum Bodenschutz,
- Bemessung des Fehleranteils der BÜK 1000, der durch alternative Strategien der Aggregation groß- und mittelmaßstäbiger Grundlagenkarten reduzierbar wäre,
- Bemessung des Fehleranteils, der durch die Art der Regionalisierung von Relief-, Klima- und Landnutzungsinformationen bedingt ist,
- Entwicklung von Heterogenitätsmaßen für die Legendenkennzeichnung.

Erste Ergebnisse (HENNING 2002) zeigen, dass der Fehler bundesweiter Bodenfunktionskarten des Maßstabs 1:1.000.000 zu ca. 75 % durch die räumliche Variabilität der bodenkundlichen Verhältnisse bedingt oder maßstabsimmanent und damit nicht eliminierbar ist. Der verbleibende Fehleranteil ist durch den Modus der Kartenerstellung bedingt und damit durch regelbasierte Aggregation mittelmaßstäbiger Grundlagenkarten reduzierbar. Für die BÜK 1000 als wichtigstes Element der Flächendatenbank des FISBo BGR bedeutet dies, dass hinsichtlich der Strategien zur Verbesserung dieses Kartenwerks künftig erstmals nach Aufwand-/Nutzen- oder sogar nach betriebswirtschaftlichen Kosten-/Nutzenrelationen entschieden werden kann. Zukünftig ist beabsichtigt, Informationen kleinmaßstäbiger Bodenfunktionskarten um ausgewählte statistische Maßzahlen zu ergänzen, z.B. mindestens um eine halbquantitative Heterogenitätsstufe, Varianzmaße der klassischen Statistik solcher Größen wie der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums oder einer Häufigkeitsverteilung der dargestellten Bodenfunktionskennwerte.

7. Ausblick

Beim weiteren Aufbau des FISBo BGR stehen folgende Aufgaben im Vordergrund:

- die bundesweite Fertigstellung des Kartenwerks der BÜK 200,
- die Aktualisierung der BÜK 1000 auf der Basis der flächendeckenden BÜK 200,
- die Erhöhung der Verfügbarkeit qualitätsgesicherter Labor- und Profildaten,
- die Hinterlegung der Legendeinheiten der BÜK 1000 mit verbesserten Profilinformatio-

nen (nutzungsspezifische Referenzprofile für alle Bodenregionen Deutschlands),

- die Entwicklung weiterer Auswertungsmethoden nach dem Bedarf aus Forschung und Politik,
- die Ergänzung aller Themenkarten um Informationen zu ihrer Aussagegenauigkeit: Angaben zur Spannbreite bzw. Werteverteilung der dargestellten Bodenfunktionskennwerte,
- die Herausgabe eines "Bodenatlas",
- eine Intensivierung der Zusammenarbeit mit internationalen Partnern, insbesondere dem European Soil Bureau Network.

Literatur

AD-HOC-ARBEITSGRUPPE BODEN (2000): Methodendokumentation Bodenkunde. Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. - 2. Auflage. Geol. Jb., SG 1.

ADLER, G., ECKELMANN, W., HARTWICH, R., HENNING, V., KRONE, F., STOLZ, W. und UTERMANN, J. (1998): The FISBo BGR Soil Information System: State of the Art. - In: HEINEKE, H. J., ECKELMANN, W., THOMASSON, A. J., JONES, R. J. A., MONTANARELLA, L. and BUCKLEY, B. (Eds.): Land Information Systems. Developments for planning the sustainable use of land resources. - European Soil Bureau Research Report No. 4, 133-140. Office for Official Publications of the European Communities; Luxembourg.

AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 4. Auflage; Hannover.

BOESS, J., MÜLLER, U. und SBRESNY, J. (1999): Erläuterungen zur digitalen Bodenkundlichen Übersichtskarte 1 : 50.000 (BÜK 50) von Niedersachsen. - Arbeitshefte Boden, 1999/1, 3-60. Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Hannover.

BOUMA, J. and VAN LANEN, H. A. J. (1987): Transfer functions and threshold values: from soil characteristics to land qualities. - In: Quantified Land Evaluation. Proceedings of an ISSS/SSSA Workshop, Washington. ITC Publication, Enschede, the Netherlands.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (BMU) (Hrsg.) (2000): Hydrologischer Atlas von Deutschland. - Bonn.

ECKELMANN, W. (1996): Geowissenschaftliche Grundlagen, Bodeninformationssysteme bei Bund

und Ländern. - In: FRANZIUS, V. und BACHMANN, G. (Hrsg.): Sanierung kontaminierter Standorte und Bodenschutz 1996. S. 111-128. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

ECKELMANN, W. und HARTWICH, R. (1996): Soil mapping in Germany and the Soil Information System FISBo BGR. - In: LE BAS, C. and JAMAGNE, M. (Eds.): Soil databases to support sustainable development. P. 49-55. Published by INRA and Joint Research Centre of the European Commission, Orleans.

GEOLOGISCHER DIENST NORDRHEIN-WESTFALEN (GD NRW) (Hrsg.) (2003): Informationssystem Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen. Bearbeitungsmaßstab 1 : 50.000, div. Themenkarten, Fortführungsstand: 2003. - Geol. Dienst Nordrh.-Westf.; Krefeld.

HARTWICH, R., ADLER, G., BEHRENS, J., ECKELMANN, W. und RICHTER, A. (1995): Die Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland im Maßstab 1 : 1.000.000. - Z. angew. Geol., 41, 31-36.

HEINEKE, H. J., KLEEFISCH, B. und OELKERS, K.-H. (1987): Entwicklungstendenzen bei der rechnergestützten Konstruktion großmaßstäbiger Bodenkarten am Beispiel Niedersachsens. - Mitteiln. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 53, 35-38.

HEINEKE, H. J., KLEEFISCH, B. und OELKERS, K.-H. (1988): A model for the computerized construction of pedological field base maps. - Geol. Jb., A 104, 309-318.

HENNINGS, V. (2002): Accuracy of coarse-scale land quality maps as a function of the upscaling procedure used for soil data. - Geoderma, 107, 177-196.

HENNINGS, V. und SPONAGEL, H. (1991): Wege der zukünftigen Bodenkartierung im Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung. - Geol. Jb., A 126, 21-36.

HENNINGS, V. (Koordination) (1994): Methodendokumentation Bodenkunde. Auswertungsmethoden zur Beurteilung der Empfindlichkeit und Belastbarkeit von Böden. - Geol. Jb., F 31, Hannover.

JONES, R. J. A. and HOLLIS, J. M. (1996): Pedotransfer rules for environmental interpretations of the EU Soil Database. - In: LE BAS, C. and JAMAGNE, M. (Eds.): Soil databases to support sustainable development. P. 125-134. Published by INRA and Joint Research Centre of the European Commission, Orleans.

KRONE, F. und UTERMANN, J. (2002): Dokumentation der Meta-Datenbank zur bodenkundlichen Labor- und Profildatenbank. - Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover (unveröffentl.).

KRUG, D. und HARTWICH, R. (2001): Die Flächendatenbank der Bodenübersichtskarte 1 : 200.000 (BÜK 200): Basisdaten für den länderübergreifenden Bodenschutz. - Z. angew. Geol., 47, 114-120.

ROESCHMANN, G., BENZLER, J.-H. und OELKERS, K.-H. (1991): Die Entwicklung der Bodenkartierung in Niedersachsen von der analogen Karte bis zum Bodeninformationssystem. - Geol. Jb., A 127, 195-234.

TIETJE, O. und HENNINGS, V. (1993): Bewertung von Pedotransferfunktionen zur Schätzung der Wasserspannungskurve. - Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 156, 447-455.

TIETJE, O. and HENNINGS, V. (1996): Accuracy of the saturated hydraulic conductivity prediction by pedo-transfer functions compared to the variability within FAO textural classes. - Geoderma, 69, 71-84.

WAGENET, R. J., BOUMA, J. and GROSSMAN, R. B. (1991): Minimum data sets for use of soil survey information in soil interpretive models. - In: MAUSBACH, M. J. and WILDING, L. P. (Eds.): Spatial variability of soils and landforms. SSSA Special Publication No. 28, 161-182; Madison / Wisconsin.

WAGNER, B., TARNAWSKI, V. R., HENNINGS, V., MÜLLER, U., WESSOLEK, G. and PLAGGE, R. (2001): Evaluation of pedo-transfer functions for unsaturated soil hydraulic conductivity using an independent data set. - Geoderma, 102, 275-297.

ZITZMANN, A. (1994): Geowissenschaftliche Karten in der Bundesrepublik Deutschland. - Zt. dt. geol. Ges., 145, 38-87.

Le Référentiel Pédologique : un outil pour nommer et décrire les sols

Denis BAIZE

Institut National de la Recherche Agronomique - Science des Sols - Orléans - France

Jean Michel GOBAT

Laboratoire d'Écologie végétale et de Phytosociologie - Université de Neuchâtel - Suisse

Zusammenfassung: Das Référentiel Pédologique - ein Werkzeug zur Klassierung und Beschreibung von Böden

Das Référentiel Pédologique (R.P.) ist das Ergebnis einer langjährigen Zusammenarbeit von über 80 Spezialisten verschiedener Länder. Basierend auf modernen Konzepten spricht es eine unzweideutige, klar definierte Sprache. Als effizientes Werkzeug zur Verarbeitung der grösstmöglichen Informationsmenge erlaubt das R.P. Quervergleiche zwischen unterschiedlichen Regionen. Es ist ein flexibles System der Beschreibung von Böden, in dem auch die Beziehungen zwischen Boden und Vegetation berücksichtigt werden. Als offenes System erlaubt es auch die Aufnahme neuer Kriterien (diagnostische Horizonte, diagnostische Eigenschaften). Es ist deshalb mehr und besser als eine übliche Bodenklassifikation.

Abstract: A tool for naming and describing soils : the Référentiel Pédologique.

The Référentiel Pédologique (R.P.) is a typology, a soil reference base, the fruit of a long-term work with contributions from more than 80 specialists from a number of countries. Based on modern concepts, the R.P. offers an unambiguous and well-defined language. It provides a way of organising our knowledge, but above all is an effective tool for transmitting the fullest information possible and offers an opportunity for comparisons between different regions. The R.P. is a flexible system of soil designation, well adapted to soil/vegetation relationships. It is also an open system to which new items (Reference Horizons, References, Qualifiers) can always be added. It is therefore more and better than a mere soil classification.

Key words: soil designation, soil typology, soil reference base, qualifiers.

1. Élaboration

Le Référentiel Pédologique (en abrégé : R.P.) est le fruit d'un travail collectif, puisque plus de 80 scientifiques de différents pays y ont participé entre 1979 et 1995. Mais il n'est pas une rupture avec l'ancien système français de classification des sols (CPCS, 1967). Il est le résultat d'une longue évolution fidèle aux mêmes conceptions morpho-génétiques. Naturellement, des idées nouvelles ont été prises en compte ainsi que l'expérience acquise depuis 1967 par la cartographie des sols en France et ailleurs.

En même temps, il y eut une volonté de rapprochement avec la Légende révisée FAO-UNESCO (1988) qui s'élaborait parallèlement à la même époque, d'où la définition de nouvelles catégories comme les Fluviosols, les Planosols, les Anthroposols, les Arénosols, etc. Quatre jalons chronologiques peuvent être soulignés :

* 1988 : première présentation internationale à Alma-Ata par A. Ruellan (RUELLAN, 1990) ;

* 1990 : présentation au 14^{ème} congrès de l'AISS à Kyoto (large diffusion d'un document

présentant l'introduction traduite en 7 langues) (AFES, 1990 ; BAIZE et al., 1990) ;

* 1992 : une première version est éditée (AFES, 1992) ;

* 1995 : une deuxième version est publiée, intégrant 11 nouveaux chapitres (AFES, 1995).

Aujourd'hui le R.P. est le seul système officiel reconnu en France. Il est non seulement utilisé par des chercheurs et par la plupart des forestiers mais il est également largement employé par les agro-pédologues des chambres d'agriculture et des bureaux d'étude privés.

2. Concepts de base

Une première idée est de bien distinguer trois domaines : le domaine du réel (couvertures pédologiques, solums), le domaine des "images" (très imparfaites) que nous obtenons de ce réel par nos études (descriptions, examens, analyses, tests) et le domaine des concepts : où nous cherchons à interpréter ces images en termes d'horizons conceptuels (les Horizons de Référence) ou de solums conceptuels (les Références).

Par rapport aux systèmes de classification antérieurs, le R.P. a introduit deux innovations : i) les objets étudiés sont les couvertures pédologiques lesquelles peuvent être subdivisées en horizons selon des séquences verticales ou latérales ; ii) ce n'est pas un système de classification hiérarchisé, mais une base de référence, un référentiel.

Les couvertures pédologiques et les horizons

Les couvertures pédologiques sont des corps naturels réels, des continus tridimensionnels variant. Les horizons sont les volumes élémentaires les plus appropriés pour décrire et échantillonner les couvertures pédologiques. En plus de leurs propriétés intrinsèques (constituants, organisations, caractéristiques physico-chimiques), nous devons aussi prendre en considération leurs relations avec les autres horizons : i) les relations pédogénétiques (correspondant à des évolutions lentes et progressives sur de longues durées) ; ii) et relations fonctionnelles (correspondant à des changements quotidiens et saisonniers).

Le solum

C'est la section verticale d'une couverture pédologique que l'on peut observer en un point, dans une fosse ou une tranchée. Après étude et interprétation, un solum peut être décrit et modélisé sous la forme d'Horizons de Référence superposés dans un certain ordre (notion de "solum concept").

Les Horizons de Référence

Ils constituent la base du système. Ce sont des "horizons-concepts" résultat de l'interprétation des principaux caractères morphologiques, de certaines données analytiques, interprétés en termes de processus pédogénétiques, dans le contexte spécifique des autres horizons du solum et du paysage pédologique environnant.

Comme pour tous les autres systèmes, les Horizons de Référence sont l'objet d'une typologie et d'un codage par des lettres : horizons H, A, E, Sca, Sci, BT, BP, FS, G, g, K, etc.

A la différence d'autres systèmes, un horizon n'est pas considéré comme "diagnostique" à lui seul. A ce jour, le Référentiel Pédologique propose 73 "horizons concepts". Un gros effort a porté sur la distinction et la définition des divers horizons A et S. Le tableau I présente l'exemple des horizons S.

Sci	S calcique	complexe d'échange saturé, surtout par du calcium
Smg	S magnésique	complexe d'échange saturé, abondance du magnésium
Sp	S pélosolique	argileux, structure compacte, horizon peu perméable
SV	S vertique	argileux, argiles gonflantes, d'ou de nets caractères vertiques
Sal	S aluminique	dominance de Al ⁺⁺⁺ échangeable, structure microgrumeleuse
Snd	S silandique	propriétés andiques, dominance des minéraux paracrystallins (allophanes, imogolite)
Slu	S aluandique	propriétés andiques, dominance des complexes organo-aluminiques
S	S "simple"	ne présentant pas les particularités des précédents.

Tableau I. Définition des horizons S (ancienne notation : (B), Bw ou Bv).

Le Rattachement

C'est le processus de lien analogique entre une réalité observée ou des informations traitées et le domaine des concepts : i) rattachement des horizons observés et échantillonnés sur le terrain à tel ou tel Horizon de Référence ; ii) rattachement d'un solum ou d'une unité typologique à une ou plusieurs Références.

En effet, le rattachement peut être simple, imparfait ou multiple. Il est simple s'il y a un bon accord entre les observations et la définition d'une Référence. Il est imparfait si seulement quelques caractéristiques ne correspondent pas exactement avec celles requises par la Référence la plus proche. Il peut être double ou triple si on veut souligner les relations entre le solum étudié et plusieurs "Références" et ainsi garder une information "riche". Exemples de rattachement double : les Luvisols-Rédoxisols (très courants en France, développés dans des vieux limons quaternaires) et les Vertisols-Réductisols des "bas-marais" de Limagne en Auvergne.

3. Structure

Le R.P. est très peu hiérarchisé, à la différence des systèmes de classification traditionnels. Ses auteurs ont cherché à établir un cadre typologique qui soit à la fois scientifique et pragmatique, précis mais souple, et qui ne

Exemple : Les 10 horizons "structuraux" ou "horizons S"

(ancienne notation : (B), Bw ou Bv).

Sca	S calcaire	carbonaté, calcitique
Sdo	S dolomitique	carbonaté, dolomitique

comporte que 2 niveaux : les "Références" et les "Types".

Les Références

Elles sont généralement définies par une séquence spécifique d'horizons de référence (Tableau II). Mais certaines sont définies autrement, par exemple par leur position dans le paysage et la nature de leur matériau parental (e.g. Fluvisols, Colluviosols).

a) Rankosols

Un seul horizon organo-minéral, non calcaire, contenant des cailloux siliceux, d'une épaisseur comprise entre 10 et 40 cm, reposant directement sur une roche siliceuse massive non altérée définit les **Rankosols**.

b) Fersialsols Eluviques

La superposition d'un horizon E (horizon éluvial, très appauvri en argile et en fer par rapport aux horizons sous-jacents) directement au-dessus d'un horizon FS (horizon fersiallitique, caractérisé par une couleur rouge, une structure anguleuse fine très développée et très stable, une grande quantité de fer avec une forte proportion de fer "facilement extractible") définit les **Fersialsols Eluviques**.

c) Podzsol Duriques

La succession O / A / E / BP induré définit les **Podzsoles Duriques**, sachant que l'horizon A est un horizon organo-minéral "de juxtaposition", que l'horizon éluvial E de couleur claire est nettement visible sur le terrain et que l'horizon BP (B podzolique d'accumulation de fer, aluminium et matières humiques) est franchement durci.

Tableau II. Trois exemples de définition d'une Référence

Pour définir ses 102 "Références", le R.P. prend en considération : i) la morphologie du solum ; ii) les comportements et propriétés ; iii) et les processus pédogénétiques (dans la mesure où ils sont bien compris). Il se base donc sur 3 pieds : il est morpho-génético-fonctionnel !

A l'échelle mondiale, les Références peuvent suffire pour échanger des informations très générales ou pour traiter de la répartition géographique des grands types de sols. Mais, à un échelon national, régional ou local, une information beaucoup plus complète et concrète est nécessaire. D'où l'utilisation des Qualificatifs afin de fournir toutes les informations complémentaires utiles.

Les Types et les Qualificatifs

Les Types sont définis par le rattachement à une (ou plusieurs) Référence(s) et par l'adjonction de plusieurs qualificatifs. Une première liste de 235 Qualificatifs a été établie avec leur définition précise. Cette liste est ouverte et pourra être complétée selon les besoins. Le nombre de Types possible est donc infini.

Les Qualificatifs sont ajoutés librement au nom d'une Référence afin de fournir plus d'information sur :

- * la nature du matériau parental ou du substratum ;
- * la nature de l' "épisolum humifère" (formes d'humus) ;
- * la présence d'un horizon de référence supplémentaire ;
- * l'origine et la profondeur d'apparition des excès d'eau ;
- * la position du solum dans le paysage ;
- * la texture, le pH, le taux de saturation, la quantité de tel ou tel élément, etc.

Il est nécessaire d'ajouter autant de Qualificatifs que possible afin de préciser les principales propriétés d'un solum. Voici quatre exemples :

* Calcosol fluviatique, argileux, vertique, hypocalcaire, rédoxique en profondeur.

("fluviatique" signifie que le solum est développé dans des alluvions fluviales en position basse dans le paysage ; "vertique" indique l'existence de caractères vertiques en profondeur ; "hypocalcaire" signale que la teneur en calcaire est < 15 % ; "rédoxique en profondeur" nous informe de la présence de signes d'engorgement temporaires à plus de 80 cm de profondeur)

* Planosol Typique albique, dystrique, à eumoder, sableux en surface, développé dans une argile sableuse du Miocène

("albique" signifie que l'horizon E éluvial est nettement blanchi ; "dystrique" signifie que les horizons S de moyenne profondeur montrent un taux de saturation de leur complexe adsorbant inférieur à 50 %)

* Brunisol Mésosaturé limoneux, colluvial, pachique, à oligomull, de bas de versant, issu de gneiss

("colluvial" signifie que le solum est formé dans un matériau s'étant accumulé en bas de versant ; pachique signifie que le solum est particulièrement épais pour un brunisol)

* Luvisol Dégradé drainé, resaturé, à fragipan, développé dans un limon quaternaire ancien

("drainé" signifie que le régime hydrique naturel a été totalement modifié par le drainage agricole ; "resaturé" signifie que l'acidité naturelle initiale a été complètement annulée par des chaulages et fertilisations)

Afin de lever toute ambiguïté de nomenclature, tous les mots correspondant à une Référence débutent par une majuscule (ex. Histosol Fibrique), alors que les qualificatifs des Types commencent par une minuscule (ex. Calcisol vertique).

Les Grands Ensembles de Références (GER)

Ils regroupent plusieurs Références qui ont de nombreux caractères communs, par exemple les mêmes horizons de référence principaux. Dans le R.P., chaque GER est présenté comme un chapitre. Par exemple, les sept Références caractérisées par la dominance du calcium ou par sa surabondance (sous forme de carbonates) sont rassemblées dans un même GER, celui des "solums carbonatés ou saturés".

Dans la version la plus récente du R.P., 30 GER sont proposés mais d'autres regroupements de Références pourraient être réalisés par des enseignants ou des cartographes selon d'autres logiques et avec d'autres objectifs. Par exemple, un "ensemble" cartographique constitué des Fluvisols et de tous les types "fluviques".

La typologie des formes d'humus forestiers

Un chapitre du R.P. propose une grille de classification et une nouvelle nomenclature pour les formes d'humus forestiers des climats tempérés mais qui pourrait aussi inclure d'autres formes (montagnardes, méditerranéennes et tropicales). Ce système est fondé sur la décomposition biologique des litières : i) transformations des matières organiques ; ii) type d'association entre matières organiques et particules minérales pour former (ou non) des agrégats dans les horizons A.

Un 1er niveau aboutit aux 3 grands types classiques des mull, moder et mor. Ensuite, les formes d'humus sont distinguées plus finement par leur morphologie de détail et l'épaisseur des horizons holorganiques OL, OF et OH. Cette étape fournit une nomenclature précise des formes d'humus. Par exemple : eumull, oligomull, hémimoder, eumoder, etc.

Un 3ème niveau définit les caractères physico-chimiques ou des comportements particuliers, en ajoutant des qualificatifs : par ex. : eumull calcaire humique ou mésomull andique.

Utilisation du R.P. pour une typologie de stations forestières ("Plateau Nivernais" - France).

A ce niveau local, chaque "type de sol" (correspondant chacun à un "type de station") est désigné par une phrase différant des autres par au moins un qualificatif. Les cinq types de sols sont développés dans le même matériau parental (argiles à chailles), tous rattachés à la même Référence des Luvisols Typiques :

- P4m Luvisol Typique, limono-sableux en surface, oligosaturé, à oligomull acide, position de plateau
- P4g Luvisol Typique, rédoxique, limono-sableux en surface, oligosaturé, à oligomull acide, position de plateau
- P6m Luvisol Typique, limoneux en surface, désaturé, à eumoder, position de plateau

P8x Luvisol Typique, limoneux en surface, très caillouteux, désaturé, à dysmoder, position de bord de plateau

V6x Luvisol Typique, limono-caillouteux en surface, oligosaturé, à eumoder, position de haut de versant

Capable de transmettre brièvement les principales informations, le R.P. est donc bien adapté aux besoins des forestiers. En utilisant les qualificatifs, on peut décrire aussi bien les propriétés intrinsèques des solums que les éléments de leur fonctionnement et de leur environnement naturel.

4. A quoi sert le R.P. ? Pourquoi tant de liberté ?

Le R.P. c'est un langage clair et bien défini ; un système souple ; un moyen d'organiser nos connaissances ; mais surtout un outil pour désigner les sols et transmettre l'information avec un maximum de détails, permettant ainsi d'établir des corrélations entre différents secteurs ou différents pays.

Une grande liberté est laissée au pédologue pour interpréter les données qu'il a collectées, pour choisir les caractères jugés les plus importants, pour effectuer le rattachement et pour manier les "Qualificatifs". Personne ne devrait être effrayé de cette liberté laissée à l'utilisateur ! Le R.P. est un langage, un outil pour désigner les sols, pas un carcan ni une prison ! Il donne la primauté au discernement et à l'expérience du pédologue, à sa compréhension du contexte naturel et humain.

R.P. et cartographie des sols

L'objectif final de la cartographie est de découper les couvertures pédologiques en sous-ensembles spatiaux. La cartogénèse est l'analyse de l'organisation spatiale de ces couvertures pédologiques. Cette cartogénèse ne nécessite pas de se référer à une classification générale préétablie.

En effet, toute légende d'une carte détaillée est basée sur une typologie locale, laquelle est établie par le pédologue en tenant compte des réalités observées sur l'ensemble du territoire étudié. Elle résulte du traitement sémantique des informations recueillies.

La cartographie proprement dite consiste ensuite en la délimitation de plages cartographiques dont le contenu sémantique est : i) soit 1 seule unité typologique (unité cartographique "pure") ; ii) soit 2 ou N unités typologiques (unité cartographique complexe = association, juxtaposition, catena).

Le R.P. n'est donc pas nécessaire pour construire des cartes de sols. Mais c'est un outil pour décrire et nommer avec précision : i) les solums étudiés et ii) les unités typologiques de

sols ou les séries de sols distinguées au cours de la cartographie. Son langage permet de décrire et désigner :

- * des caractères, grâce aux Qualificatifs ;
- * des horizons, grâce aux Horizons de Référence ;
- * des solums et des unités typologiques, grâce aux Références.

De ce fait, le R.P. est l'outil nécessaire pour établir des corrélations entre différentes régions, et pour élaborer des synthèses nationales ou mondiales, car il peut être employé à tous les échelons d'utilisation, depuis la parcelle et l'exploitation agricole jusqu'à l'échelle européenne ou mondiale, en passant par le niveau communal, départemental, régional ou national.

5. Diffusion et utilisation du R.P. en Europe

Le Référentiel Pédologique a été traduit en anglais (AFES, 1998), en italien (AFES, 2000a) et en russe (AFES, 2000b).

Il est à noter que les deux premières institutions où le R.P. a été enseigné sont l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Prof. J. C. VÉDY) et l'Université de Neuchâtel (Prof. J.M. GOBAT).

Le livre "Le sol vivant" (GOBAT et al., 2003, 2004) se réfère constamment au R.P. dès qu'il s'agit de désigner les sols et leurs horizons. Ces auteurs considèrent en effet que le R.P. est bien adapté aux réalités du terrain, notamment pour l'étude des relations sols / végétation dans le Jura suisse.

Sa souplesse d'utilisation est particulièrement utile quand il s'agit de comprendre le déterminisme édaphique des communautés végétales. En effet, celles-ci peuvent être définies à des niveaux d'organisation très variés : les écocomplexes, les phytocénoses ou encore les synusies. Il est même parfois utile de descendre au niveau des populations (monospécifiques). Dans chaque cas, le R.P. peut fournir des renseignements ajustés au bon niveau de correspondance sol-végétation. Le niveau de la Référence peut correspondre à celui des phytocénoses (à chaque phytocénose sa Référence), mais aussi à celui des synusies, donc à un niveau d'organisation inférieur de la végétation.

Mais on trouve aussi des situations où des phytocénoses différentes croissent sur des sols homogènes rattachés à une unique Référence. Dans ce cas, la possibilité d'ajouter librement des qualificatifs permet d'ajuster la correspondance, en sélectionnant le bon critère de différenciation, mais sans perdre la vue d'ensemble du fonctionnement fournie par une

Référence clairement définie par ses horizons diagnostiques.

La volonté du R.P. de séparer la typologie des formes d'humus de celle des solums "entiers" est également une excellente décision quand on étudie les relations sol-végétation. Le lien de causalité direct entre ces deux compartiments de l'écosystème passe en effet souvent par cette charnière spatio-temporelle que représente la forme d'humus (GOBAT et al., 2003, 2004). On peut ainsi, par exemple, utiliser la Référence pour discuter de la phytocénose, et mettre en évidence le rôle plus localisé de chaque synusie à travers les formes d'humus. Cette double approche s'est révélée riche d'informations dans des écosystèmes à forte hétérogénéité spatiale, comme les zones alluviales ou les pâturages boisés (HAVLICEK et al., 1998ab).

Enfin, le système de désignation des formes d'humus forestiers du R.P. est très apprécié et utilisé dans plusieurs pays d'Europe : Écosse (WILSON et al., 1998 ; 2001), Espagne (BADIA VILLAS & MARTI DALMAU, 1999), Italie (ZANELLA et al., 2001).

6. Que reste-t-il à faire ?

La version de 1995 n'est encore ni exhaustive ni définitive. Il est évident qu'elle mérite des améliorations. Des chapitres supplémentaires sont encore à rédiger dans les années futures, notamment pour traiter les sols des régions arides et inter-tropicales. Des outils doivent être élaborés pour aider les utilisateurs à entrer plus facilement dans le système : des clés, un mode d'emploi, etc.

De plus, il va falloir établir des tableaux de correspondance pour raccorder le R.P. à la World Reference Base for Soil Resources (WRB – ISSS, 1998), au moins pour les catégories de plus haut niveau taxonomique. Un premier bilan d'utilisation vient d'être établi (BAIZE et al., 2004), qui doit être suivi de la mise sur pied d'un groupe de travail.

Bibliographie:

- AFES (1990): Présentation du Référentiel Pédologique au Congrès de Kyoto (Introduction traduite en 7 langues). D. BAIZE édit. 204 p.
- AFES (1992): Référentiel Pédologique. D. BAIZE et M.C. GIRARD coord. INRA Éditions, Paris. 222 p.
- AFES (1995): Référentiel Pédologique. D. BAIZE et M.C. GIRARD coord. INRA Éditions, Paris. 332 p.

- AFES (1998): A sound reference base for soils : the Référentiel Pédologique. Text in English. Translation by J.M. HODGSON, N.R. ESKENAZI & D. BAIZE. INRA Éditions, Paris. 322 p.
- AFES (2000a): Il sistema francese di referenziazione dei suoli. Référentiel Pédologique. Traduction par F. PREVITALI & P. SCANDELLA. Calderini Edagricole, Bologna, 354 p.
- AFES (2000b): Le Référentiel Pédologique. Traduction en russe par I. KOVDA & M. GERASIMOVA. Oecoumena, Smolensk. 286 p.
- BADIA VILLAS D. & C. MARTI DALMAU (1999): Suelos del Pirineo central : Fragen. Proyecto Ecomont. Universidad de Zaragoza. 190 p.
- BAIZE D., M.C. GIRARD, A. RUELLAN & J. BOULAIN, (1990): The new French reference base for soils ("Référentiel pédologique"). Basic concepts and special features. 14th Congress of Soil Science, Kyoto, Comm. V. 16-21.
- BAIZE D., B. JABIOL & J.-M. GOBAT (2004) : Le Référentiel Pédologique : premier bilan au bout de onze années. *Etude et Gestion des Sols*, 11(2) : 149-164.
- Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols (C.P.C.S.), (1967): Classification des sols. Multicopie. 96 p.
- FAO-UNESCO, (1989): Carte mondiale des sols. Légende révisée. Rome. 119 p.
- GOBAT J.-M., M. ARAGNO & W. MATTHEY (2003): Le sol vivant. Presses Polytechniques et Universitaires romandes. 568 p.
- GOBAT J.-M., M. ARAGNO & W. MATTHEY (2004) : The Living Soil. Science Publishers, Enfield USA. 603 p.
- HAVLICEK E. & J.-M. GOBAT (1998a): Les formes d'humus, révélatrices du fonctionnement de l'écosystème. Un exemple des pâturages boisés du Jura suisse. *Ecologie* 29, 1-2, 367-371.
- HAVLICEK E., J.-M. GOBAT & F. GILLET, (1998b): Réflexions sur les relations sol - végétation: trois exemples du Jura sur matériel allochtone. *Ecologie* 29, 4, 535-546.
- ISSS Working Group RB, (1998): World Reference Base for Soil Resources: Introduction. J.A. DECKERS , F.O. NACHTERGAELE and O.C. SPAARGAREN Eds. First edition. ISSS, ISRIC & FAO. Acco, Leuven.
- RUELLAN A. (1990): New French system of classification. Intern. Conference on Soil Classification. Alma-Ata 1988. UNEP/ AISS. Moscow. 148-154.
- WILSON S. McG., D.G. PYATT, D.C. MALCOLM & T. CONNOLLY (1998): Ecological site classification : soil nutrient regime in British woodlands. *Scottish Forestry*, vol. 52, n°2, 86-92.
- WILSON S. McG., D.G. PYATT, D.C. MALCOLM & T. CONNOLLY (2001): The use of ground vegetation and humus type as indicators of soil nutrient regime for an ecological site classification of British forests. *Forest Ecology & Management*, , 140, 101-116.
- ZANELLA A., M. TOMASI, C. DE SIENA, L. FRIZZERA, B. JABIOL & G. NICOLINI (2001): Humus forestali. Centro di Ecologia Alpina, Trento (Italia). 321 p.

Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000 - Qualität und Aussagekraft der Archivadokumente

Urs Vökt* und Adalbert Pazeller**

* SoilCom GmbH, Münchenbuchsee; ** AGRARÖKOLOGIE PAZELLER, Richterswil

Zusammenfassung

Ziel war es, die Aussagekraft der Archivadaten der Bodenkarte 1 : 200 000 für weitere Nutzungen abzuklären. Dazu wurden folgende Kriterien näher untersucht: Fläche der Luftbildinterpretation, Anzahl Profile und Bohrungen je Kartenblatt 1:25'000, Qualität der Profilblätter und Bohrprotokolle. Die Qualität der Profilaufnahmen: Horizontbezeichnung und Mächtigkeit, sind durchwegs erhoben, Chemismus meist mit Analysenwerten, der Wasserhaushalt ist meist umfassend beschrieben. Die Bohrprotokolle enthalten folgende Informationen: Swissgrid Koordinaten, durchwurzelbare Bodentiefe, Horizonte (Mächtigkeiten, Körnung und Skelettgehalt), Wasser und Nährstoffspeicherung, Durchlässigkeit Vernässungsgrad und Hangneigung. Alle Werte sind in Klassen angegeben

Abstract: qualification of the archival data from the soil map (agriculture aptitude) M 1:200'000.

The mandate contains to clear up the quality of the estimated soil dates and their utility for further using. Therefore was estimated the following criteria: area of the aerial photo interpretation, the number of soil boring records and soil profile descriptions. The quality of the soil profile descriptions: identification of soil horizons their thickness, chemistry with analytical data, the water conductivity, available water (retaining capacity) and the degree of wetness. The boring records contain the following information: location in swissgrid data, soil depth (effective for plant grows), soil horizons their thickness and their classification, the water conductivity, available water (retaining capacity), the degree of wetness and the slope. All data are classified.

Keywords: Soil map, soil profile data, soil boring data

1 ANLASS

Die Bodeneignungskarte 1:200'000 (BEK 200), ein Auftrag des Delegierten für Raumplanung, wurde in den 70er-Jahren von einem für diesen Zweck eingestellten Team unter der Oberleitung von Prof. Dr. E. Frei mit dem Ziel erarbeitet, "eine überregional anwendbare Grundlage für Untersuchungen und Entscheide in der Raumplanung" zur Verfügung zu haben. Die Karte zeigt als Teilflächen sog. physiographische Einheiten und folgt somit vorwiegend dem Relief. Weil Relief und Klima in der Schweiz kleinmassstäblich gesehen die wichtigsten Faktoren für die land- und forstwirtschaftliche Eignung des Bodens sind, ist die Aussagekraft zur Eignung bedeutend grösser als zum bodenkundlichen Inhalt. Der bodenkundliche Inhalt wurde aufgrund von Luftbildanalysen, geologischer und geotechnischer Karten und zahlreicher Bodenprofile und Bohrungen aus Reliefeinheiten und geologischen Gegebenheiten interpretiert.

Das ursprüngliche Ziel der Arbeiten zur Bodeneignungskarte 1:200'000 war eine Karte im Massstab 1:100'000. Dabei wurde von Anfang an nach der Methode der FAO mit dem Einsatz von Luftbildern zur Reliefanalyse gerechnet. In der Testphase kam man zum Schluss, dass das Er-

gebnis der Luftbildanalyse optimal im Massstab 1:50'000 dargestellt werden kann.

Vom Auftraggeber (Delegierter für Raumplanung) wurde aber nach zwei Jahren Projektarbeit entschieden, dass die Karte im Massstab 1:200'000 dargestellt werden muss. Dadurch wurde die Methodik der Geländeanalyse mit Luftbildern nicht mehr umsetzbar und die Aufnahmetechnik beschränkte sich auf eine grobe Geländeabgrenzung auf der Landeskarte 1:25'000. Da das Ziel der thematischen Karte die land- und forstwirtschaftliche Eignung war, wurden Böden, deren Nutzung durch die Topographie eingeschränkt ist, schon gar nicht mehr bodenkundlich berücksichtigt. Beim Massstab 1:50'000 war es noch möglich, durch sorgfältige Abgrenzung auf dem Luftbild, unterschiedlich zu erwartende Einheiten aufgrund von schwarz/weiss Pattern oder Geländekanten und konvexen oder konkaven Formen voneinander zu trennen. Diese Einheiten konnten im Massstab 1:200'000 nicht mehr dargestellt werden. Damit war der Aufwand für eine sorgfältige Luftbildanalyse nicht mehr gerechtfertigt.

Vor dem Entscheid, den Massstab der Kartendarstellung zu wechseln, wurde die Luftbildanalyse jedoch sehr sorgfältig ausgeführt.

2 ZIEL DER UNTERSUCHUNGEN

Im Archiv der FAL werden noch die meisten bodenkundlichen Feldaufnahmen und Entwurfskarten der Projekte BEK 200 und BEK 300 aufbewahrt. Diese Dokumente wurden bisher nicht weiter genutzt und auch nicht publiziert. Sie sind jedoch das Ergebnis von drei bis vier Jahren Arbeit einer Projektgruppe; diese Dokumente sind und von grossem Wert und sollten der weiteren Verwendung zugänglich gemacht werden.

Mit den Untersuchungen sollten in einem ersten Schritt die Archivadokumente gesichtet und ihre Qualität kritisch überprüft und ihre Aussagekraft klassifiziert werden. Mit dem Ergebnis sollte eine Grundlage für weitere Arbeiten, besonders die Erfassung der Bodendaten in einer Datenbank, zur Verfügung stehen. Die Entwurfskarten können ebenso eine Grundlage für zukünftige Kartierungen in weiten Gebieten der Schweiz sein.

Die Untersuchung sollte genauere Angaben über folgende Grössen liefern:

- Fläche der genauen Luftbildinterpretation
- Identifikation der betreffenden Kartenblätter
- Anzahl Profilstandorte pro Kartenblatt 1:25'000
- Anzahl Bohrungen pro Kartenblatt 1:25'000
- Qualität der Profilbeschreibungen
- Qualität der Bohrprotokolle

3 ARBEITSGRUNDLAGEN

3.1 Kartenblätter

Es wurden insgesamt 107 Kartenblätter der Entwurfskarte 1:25'000 untersucht.

3.2 Profilbeschreibungen

Insgesamt wurden ca. 340 Profilblätter untersucht. Dabei entfielen 250 Profilblätter der Jahre 1973 bis 1976 auf das Projekt BEK 200 (1 Ordner) sowie 88 Profilblätter der Jahre 1973 und 1974 auf das Projekt BEK 300 (1 Ordner).

Die Profile sind recht ungleichmässig auf die einzelnen Kartenblätter der LK 25 verteilt. So sind nur auf 22 Blättern Profile zu finden. In der Zusammenstellung (→ Anhang) sind 172 Profile vermerkt. Für die Differenz zu den tatsächlich aufgefundenen Profilblättern sind mehrere Erklärungen denkbar: Nicht alle Profile wurden auf der LK 25 eingezeichnet, es wurden nicht alle Blätter der LK 25 gefunden, einige Profile sind vermutlich nur in der LK 50 eingezeichnet.

3.3 Bohrprotokolle

Die Qualität der Bohrprotokolle ist einheitlich und umfassend.

Für die BK 1:200'000 liegen für 4'603 Bohrprotokolle vor. Die Protokolle der NLK 270, (Genève) fehlen.

4 VORGEHEN

4.1 Kartenblätter

Um die Aussagekraft der Karten zu überprüfen, musste das Grundlagenmaterial auf die Kohärenz bezüglich der Luftbildanalyse überprüft werden. Von Interesse ist dabei, wie weit die Luftbildanalyse angewendet und auf den entsprechenden Arbeitsblättern 1:25'000 umgezeichnet und indiziert wurde. Wie viele Feldprotokolle sind noch in dieser Genauigkeit vorhanden, welche Daten können daraus verwendet, bzw. in eine Datenbank eingelesen werden. Aufgrund dieser Recherchen konnte entschieden werden, welche Abschnitte der Bodenkarte M1:200'000 eine höhere Aussagekraft haben, und welche Grundlagenkarten M1:25'000 mit relativ geringem Aufwand auf den Massstab 1.50'000 aufbereitet werden könnten.

4.2 Profilbeschreibungen

Zwei Ordner mit Profilbeschreibungen wurden gesichtet. Dabei wurde in erster Linie an zahlreichen Stichproben überprüft, ob die bodenkundlichen Aufnahmen vollständig waren und in welcher Qualität (Felddaten oder Laboranalyse) sie vorlagen.

An 10 Profilen wurde zudem die Lage auf dem Kartenblatt mit den Koordinaten verglichen. Die bodenkundliche Beschreibung und Interpretation wurde anhand der Situation im Gelände auf ihre Plausibilität hin beurteilt.

4.3 Bohrungen

Im Archiv wurden die Bohrprotokolle einheitlich, in einem Formular aufgenommen, und nach Kartenblatt abgelegt vorgefunden.

5 ERGEBNISSE

5.1 Kartenblätter

Es wurden alle vorhandenen Manuskriptkarten M 1:25'000 auf folgende Inhalte und Angaben überprüft:

- Darstellung der Formelemente aus der Luftbildanalyse
- Landschaftseinheit (Legende der Formelemente)
- Bodentyp, Qualität und Eignungsklasse
- Anzahl Bohrungen pro Kartenblatt
- Anzahl Profile
- Indizieren der Einheiten mit der Legende der Bodenkarte 1 : 50'000 (siehe Bericht Bodenkarte 1 : 200'000)
- Indizieren der Einheiten nach der Legende Bodenkarte 1:25'000 FAL

Die genauen Daten sind im Anhang in der Tabelle „Auswertung der 25'000 er Manuskriptkartenblätter“ ersichtlich.

Einige Manuskriptkartenblätter fehlen, unter anderem: 1164, 1071, 1280, 1281, 1300, 1301. Es wurden auch Bohrprotokolle in 50'000 Karten eingetragen, diese wurden aber nicht untersucht.

5.2 Profilbeschreibungen

5.2.1 Identifikation

Die Profilblätter sind nummeriert mit B 1 bis B 291 (nicht durchgehend); allerdings ist die Profilnummer in vielen Fällen nicht in dem dafür vorgesehenen Feld eingetragen, sondern "irgendwo". Die Lagekoordinaten sind durchgehend angegeben, sie wurden anhand einiger Stichproben mit der in der Entwurfskarte eingezeichneten Lage verglichen. Die Genauigkeit beträgt ca. 25 m, entsprechend 1 mm in der Karte. Ebenfalls sind in den meisten Blättern Angaben zur Gemeinde und zu Flurnamen z. T. auch mit Croquis enthalten. Zur Nummer des Kartenblattes LK 25, in dem das Profil liegt, finden sich allerdings keine Angaben.

5.2.2 Angaben zum Standort

Die Positionen mit den Angaben zum Standort *Topographie* (1) *Landform* und *Hangneigung* (2) und *Oberfläche* (4) sind in den meisten Fällen ausgefüllt, zusätzlich hilfreich ist eine Skizze zur Landform und Geologie.

5.2.3 Klassifikation der Bodentypen

In der Regel ist ein Kurzcode mit der FAO-Klassifikation (z.B. Bg14) angegeben, dieser steht fälschlicherweise meist in der Position Profilstelle oder auch irgendwo in der oberen Hälfte des Profilblattes, Verwechslungen mit der Profilnummer sind also möglich! Zusätzlich ist in den meisten Fällen noch die Klassifikation nach FAL angegeben.

5.2.4 Beschreibung der Horizonte

Horizontierung: durchwegs mit Horizontbezeichnung, -grenze und Tiefenangabe

Profilskizze: Individuell nach Autor, kann in vielen Fällen hilfreich sein bei der Neuinterpretation des Profils.

Skelett: Angaben vorhanden

Körnung: Ton- und Schluffgehalte in % als Schätzwert und in den meisten Fällen zusätzlich als Analysenwert (rot eingetragen); in ca. 50 % der Fälle jedoch nur als Körnungsklasse (z.B. ssL = schwach sandiger Lehm), Eintrag meist zusätzlich auch in rot, was die Vermutung zulässt, dass die dazugehörenden Analysenresultate separat abgelegt sind.

Org. Substanz: Feldschätzung und Analysenwert

pH-Wert: meist nur Analysenwert

CaCO₃: Feldmessung (HCl-Probe) und einige Analysenwerte

Gefügeform: Symbol bzw. Zeichnung
Farbe: keine Angaben (mit 2 – 3 Ausnahmen)

KUK: meist Angaben (Analysenwerte)

P/K-Zustand: meist Angaben (Analysenwerte)

Aufschluss: Angaben zur Art des Aufschlusses ("frisch / alt / Bohrung") fehlen meist bzw. sind auch nicht rekonstruierbar.

Bemerkungen: In der Kolonne "Bemerkungen" sind oft Angaben, Zahlen und Kommentare, die nur mit dem nötigen Hintergrundwissen interpretierbar sind.

5.2.5 Rückseite des Profilblattes

Auf der Rückseite des Profilblattes sind Angaben zum Standort, zur Bodenform und zur Interpretation zu finden. Diese Angaben sind in der Regel vollständig.

Bei einigen Profilblättern (B 94 bis B 117) ist die Standortbeschreibung auf einem zweiten Formularblatt "Standorterfassung", an das Profilblatt angeheftet. Es handelt sich dabei vermutlich um einen Prototyp eines EDV-Datenblattes. Ein Schlüssel dazu sollte noch vorhanden sein.

5.2.6 Profilblätter zur BEK 300

Die Profilaufnahme erfolgte analog BEK 200 auf dem gleichen Formular, jedoch mit folgenden Unterschieden bzw. Einschränkungen:

Identifikation: Bezeichnung der Profile vermutlich mit Sigle nach FAL und Laufnummer, Koordinaten durchgehend eingetragen, jedoch nicht auf Kartenblatt überprüft, Blätter oft ohne Datum

Standort: Angaben meist vorhanden

Horizonte: keine Laboranalysen, Profilskizzen sehr unterschiedlich, Körnung ausschliesslich als Klasse angegeben, organische Substanz fehlt oft

Rückseite: Rückseite des Profilblattes meist ausgefüllt

Bemerkung: Die Qualität der einzelnen Profilbeschreibungen ist sehr unterschiedlich. Die Profilbeschreibungen dürften allerdings weitgehend verwertbar sein, falls die wichtigsten Feldangaben vorhanden sind.

5.2.7 Gesamtbeurteilung

Die Profilblätter sind in der Regel vollständig ausgefüllt und auch gut lesbar. Als Aufnahmeformular wurde das damals gültige Profilblatt verwendet, das nur mit einem gewissen Aufwand in die heute gültige Systematik zu übertragen ist. Indem jedoch meist alle wichtigen Angaben vorhanden sind, dürfte die Übersetzung keine Schwierigkeiten bereiten. Dieser Prozess ist allerdings nicht automatisierbar, da dazu bodenkundliche Fachkenntnisse notwendig sind.

ID	Kartenblatt Nr	Formelement	Landschaft	Bodentyp	Eignung	Bohrungen	Profile	50er Legende	25er Legende	Bemerkungen
16	1067	0	0	0	0	0	0	0	0	
17	1068	0	0	0	0	0	0	0	0	
18	1069	0	0	0	0	14	0	0	40%	
19	1070	1	0	1	1	88	3	0	0	1071 fehlt, ab Bohrprotokoll 135 Bohrungen
20	1072	1	0	0	0	140	5	0	0	
21	1073	1	0	80%	1	210	0	0	0	
22	1074	0	0	0	0	0	0	0	90%	
23	1075	0	0	0	0	0	0	0	70%	
24	1076	0	0	0	0	0	0	0	80%	
25	1086	0	0	0	0	0	0	0	0%	
26	1087	0	0	0	0	0	0	0	0%	
27	1088	1	0	1	1	88	0	0	0%	
28	1089	1	0	1	1	100	4	0	0%	
29	1090	1	1	1	1	42	2	1	0%	
30	1091	1	1	1	1	48	9	1	0%	
31	1092	1	0	1	1	178	4	0	0%	
32	1093	0	0	0	0	0	0	0	0%	
33	1096	0	0	0	0	0	0	0	25%	
34	1106	0	0	0	0	0	0	0	0%	
35	1107	0	0	0	0	0	0	0	0%	
36	1108	1	0	1	1	88	6	0	0%	
37	1109	1	0	1	1	167	5	0	0%	
38	1110	1	1	1	1	44	4	1	0%	
39	1111	1	1	1	1	85	5	1	0%	
40	1112	1	0	1	1	66	10	0	0%	
41	1113	1	0	1	1	209	2	0	20%	bis 900 m
42	1114	1	0	0	0	0	0	0	0%	
43	1115	0	0	0	0	0	0	0	15%	
44	1126	1	1	1	1	185	20	1	0%	
45	1127	1	1	1	1	258	10	1	0%	
46	1128	1	0	1	1	150	0	0	0%	
47	1129	1	0	1	1	266	0	0	0%	
48	1130	0	0	0	0	0	0	0	0%	
49	1131	0	0	0	0	0	0	0	0%	
50	1133	0	0	0	0	88	0	0	0%	Chevy
51	1144	0	0	0	0	36	0	0	0%	Chevy
52	1145	0	0	0	0	0	0	0	100%	
53	1146	1	1	1	1	133	18	1	0%	
54	1147	1	1	1	1	301	11	1	0%	
55	1148	1	0	0	0	133	0	0	0%	nur grob
56	1149	1	0	0	0	265	0	0	0%	bis 800m
57	1150	0	0	0	0	0	0	0	0%	
58	1152	0	0	0	0	0	0	0	10%	
59	1153	0	0	0	0	0	0	0	10%	
60	1155	0	0	0	0	61	0	0	25%	
61	1156	0	0	0	0	0	0	0	0%	
62	1163	15%	0	1	1	113	1	0	0%	1164 fehlt, laut Bohrprotokoll

ID	Kartenblatt Nr	Formelement	Landschaft	Bodentyp	Eignung	Bohrungen	Profile	50er Legende	25er Legende	Bemerkungen
										163 Bohrungen
63	1166	0	0	0	0	0	0	0	0%	
64	1167	0	0	0	0	0	0	0	25%	
65	1168	0	0	0	0	0	0	0	0%	
66	1169	0	0	0	0	0	0	0	0%	
67	1170	0	0	0	0	0	0	0	10%	
68	1175	0	0	0	0	0	0	0	0%	
69	1183	0	0	0	0	0	0	0	0%	
70	1186	0	0	0	0	11	0	0	0%	
71	1187	0	0	0	0	0	0	0	25%	?
72	1188	0	0	0	0	0	0	0	0%	
73	1191	0	0	0	0	0	0	0	5%	
74	1192	0	0	0	0	0	0	0	0%	
75	1195	0	0	0	0	0	0	0	15%	
76	1198	0	0	0	0	0	0	0	10%	?
77	1203	0	0	0	0	0	0	0	0%	
78	1215	0	0	0	0	0	0	0	0%	Formelemente ohne Legende
79	1218	0	0	0	0	0	0	0	0%	
80	1219	0	0	0	0	0	0	0	0%	
81	1224	0	0	0	0	44	0	0	0%	
82	1225	0	0	0	0	0	0	0	0%	
83	1229	0	0	0	0	0	21	0	25%	nur Wald
84	1237	0	0	0	0	0	0	0	0%	
85	1238	0	0	0	0	0	0	0	0%	
86	1239	0	0	0	0	0	0	0	15%	
87	1244	0	0	0	0	0	0	0	0%	
88	1245	0	0	0	0	44	0	0	0%	
89	1246	0	0	0	0	11	0	0	0%	
90	1257	0	0	0	0	40	0	0	0%	
91	1264	0	0	0	0	34	0	0	0%	
92	1265	0	0	0	0	76	0	0	0%	
93	1273	0	0	0	0	83	0	0	0%	
94	1276	0	0	0	0	21	0	0	0%	
95	1278	0	0	0	0	33	0	0	0%	
96	1284	1	0	1	1	49	0	0	0%	nur Talsohle
97	1285	0	0	0	0	0	0	0	0%	
98	1286	0	0	0	0	0	0	0	0%	
99	1287	0	0	0	0	0	0	0	0%	
100	1289	0	0	0	0	33	0	0	0%	
101	1294	0	0	0	0	13	0	0	0%	
102	1296	0	0	0	0	11	0	0	0%	
103	1298	0	0	1	1	16	0	0	0%	teils Eignungszuweisung
104	1306	0	0	0	0	0	0	0	0%	
105	1312	0	0	1	1	31	0	0	0%	nur Talsohle
106	1313	1	0	0	0	67	0	0	0%	
107	1373	0	0	1	1	32	3	0	0%	
Total						4603	172			

Ansätze zur Aufarbeitung von alten Bodenkarten

Martin Zürrer, myx GmbH, Bodenökologie, Umweltberatung, 8610 Uster; zuerrer@myx.ch

Zusammenfassung

Das Amt für Umwelt des Kantons Solothurn lässt im Rahmen des Kantonalen Bodenkartierungsprojektes die Beschaffenheit der Böden sukzessive erfassen. Da einige Gebiete zu einem früheren Zeitpunkt kartiert worden sind, stellte sich die Frage, wie die bestehenden Bodenkarten/Bodendaten aufgearbeitet werden können, damit sie für die Beantwortung aktueller raumbezogener Fragen nutzbar sind. Das Resultat einer im Jahr 2002 durchgeführten Pilotstudie zeigt, dass prinzipiell jede Bodenkarte so aufgearbeitet werden kann, dass die Daten heutigen Ansprüchen genügen. Da jede Bodenaufnahme eine Momentaufnahme darstellt, ist zu prüfen, ob eine Aufarbeitung zur Anpassung an heutige Bedürfnisse mit verhältnismässigem Aufwand Erfolg verspricht. Basis für die Aufarbeitung ist die Eichung am umfassend dokumentierten Referenzprofil. Darauf aufbauend können Rückschlüsse über die Veränderungen des Bodens und in der Methode verstanden und auf die Flächendaten übertragen werden. Die Qualität der aufgearbeiteten Daten muss immer wieder überprüft werden.

Summary

The environmental protection agency of Solothurn is monitoring the soil properties gradually within the soil mapping project of the Kanton. Being aware of several existing soil maps in the area, the authority was asking, how these old maps/data could be up-dated and completed so that they could be used for actual soil protection topics. In the year 2002 a pilot study showed that there are means to actualise old soil maps in a manner that resulting data meet today's requirements. Owing to the fact, that each soil map gives only a momentary picture of the conditions, it has to be checked, whether it can be actualised efficiently. Actualisation can be done by calibrating actual soil descriptions with the corresponding reference profiles. Based on this calibration, changes of the soil properties can as well be understood as the evolution of the applied method, so that existing data can be transformed appropriately. However, the quality of the received data has to be examined on several levels of the actualisation process.

Key words: soil map, actualisation of old data, method development.

1 Ausgangslage

Der Bedarf an raumbezogenen Bodendaten (Bodenkarten) ist in den letzten Jahren gewachsen. Der allgemeine Spardruck zwingt zum möglichst effizienten Einsatz der Mittel und damit zur bestmöglichen Nutzung vorhandener Bodendaten. Wie die bestmögliche Nutzung aussieht, hängt einerseits von den heutigen Anforderungen an die Bodendaten ab, und andererseits spielen die Beschaffenheit der Datengrundlage bzw. die Veränderungen des Bodens eine wesentliche Rolle. Jede Bodenkarte ist eine Momentaufnahme und somit geprägt von im Moment gültigen Rahmenbedingungen, die einem steten Wandel unterworfen sind (Abbildung 1).

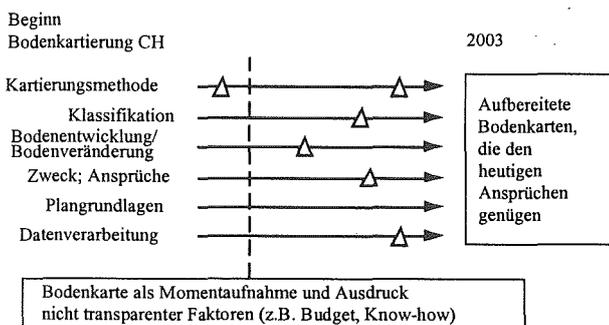


Abb. 1: Sich entwickelnde Rahmenbedingungen

Wer also eine Aufarbeitung alter Bodenkarten in Betracht zieht, tut gut daran, in der Projektevaluation:

- die Bedürfnisse genau zu klären und
- die Qualität der Daten im Hinblick auf die aktuellen Bedürfnisse zu durchleuchten

Zur Prüfung der Datenqualität gehört:

- Die Prüfung der Aktualität der Bodendaten (z.B. in Gebieten mit baulichen Eingriffen)
- Die Prüfung der Aussagekraft der Referenzprofile (z.B. Dichte des Profilvernetzes)
- Die Prüfung der Auflösung der Polygondaten (z.B. Massstab; Komplexeinheiten, Datensatz)

2 Ein mögliches Vorgehen

Ein Teil der oben gestellten Fragen kann mit vertretbarem Aufwand im Vorfeld nicht in jedem Fall abschliessend beantwortet werden. Deshalb ist es sinnvoll, ein Vorgehen zu wählen, mit dem laufend die Qualität der Daten überprüft werden kann, damit nötigenfalls gezielte neue Erhebungen begründet und vorgenommen werden können (Abbildung 2).

Das anschliessend vorgestellte Vorgehen basiert auf den Vorarbeiten des Kantons Solothurn, welcher die Aufarbeitung alter Bodenkarten als lohnend erachtet.

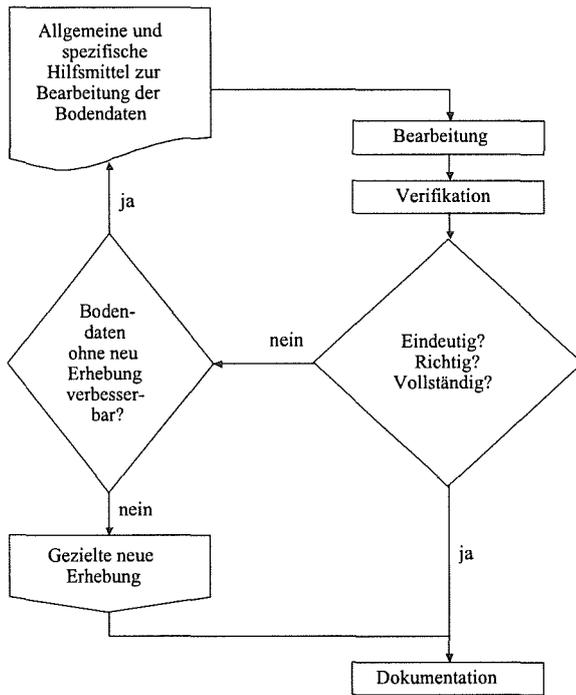


Abbildung 2: Vorgehensprinzip

2.1 Verifikation und Dokumentation der Referenzprofile

Am Anfang der Bearbeitung stehen allgemeine methodische Unterlagen zum Verständnis der vorhandenen Bodendaten. Auf dieser Basis werden zuerst die vorhandenen Referenzprofile verifiziert. Dadurch werden Erkenntnisse über eine allfällige Bodenveränderung bzw. über die damalige Beurteilung der Bodeneigenschaften gewonnen. Das Resultat ist

- die vollständige und aktualisierte Dokumentation der Referenzprofile und
- die Erstellung perimeterspezifischer Arbeitshilfen.

Sollten sich die so erhaltenen Daten als ungenügend zuverlässig erweisen, sind eigene Referenzprofile zu erheben.

2.2 Verifikation der Polygongrenzen

Damit die Qualität der Polygongrenzen bekannt und transparent ist, werden sie stichprobenweise einer Prüfung unterzogen. Aufgrund verschiedener Faktoren wie z.B. ehemals schlechter Plangrundlagen können Polygongrenzen ungenau gezogen worden sein. Sofern sie den aktuellen Anforderungen nicht genügen, ist zu entscheiden, in welchem Umfang eigene Erhebungen erforderlich sind.

2.3 Aufarbeitung der Polygondaten

Unter Zuhilfenahme eines Übersetzungsschlüssels, der perimeterspezifisch angepasst wird, werden die Polygondaten übersetzt. Deshalb erfolgt die Bearbeitung der Polygondaten zwingend nach der Verifikation und Auswertung der

Referenzprofile. Sofern der Datensatz gegenüber der Erstkartierung erweitert ist, sind die fehlenden Daten mit Hilfe eines Herleitungsschlüssels bestmöglich herzuleiten. Die Qualität der so erhaltenen Datensätze ist im Feld zu prüfen und transparent zu machen. Entspricht die Genauigkeit nicht den Anforderungen des Projektes, wird geprüft, ob durch systematische Anpassungen der Arbeitshilfen (Übersetzungs- und Herleitungsschlüssel) und nochmalige Überarbeitung der Daten ein ausreichend zuverlässiges Resultat erzielt werden kann. Ist das nicht der Fall, so ist zu entscheiden, in welchem Umfang eigene Erhebungen erforderlich sind.

2.4 Erläuterungsbericht

Weil die Aufarbeitung alter Bodenkarten nur teilweise auf eigenen Erhebungen basiert, besteht für die Daten-Nutzer/innen ein gewisses Risiko. Deshalb sind folgende Regeln einzuhalten:

- Die Arbeitsschritte müssen genau dokumentiert sein.
- Die Daten(un)genauigkeit muss (nach einem vergleichbaren Standard) transparent gemacht werden.
- Die aufgearbeiteten Daten müssen eindeutig bezeichnet sein, damit sie jederzeit von den im Feld erhobenen unterschieden werden können.

2.5 Fazit

In Zeiten erhöhter Nachfrage nach Bodendaten, welcher knappe finanzielle Mittel gegenüber stehen, scheint mit der geschilderten Methode eine vertretbare Möglichkeit gefunden worden zu sein, um alte Bodendaten, deren Zuverlässigkeit während der Bearbeitung in verschiedenen Schritten geprüft wird, in Inhalt und Form zu aktualisieren. Weil eine gewisse Unsicherheit in Kauf genommen wird, ist es zwingend, dass im IS-Boden aufgearbeitete Datensätze jederzeit von im Feld erhobenen Daten unterschieden werden können.

Literaturhinweis:

Amt für Umwelt des Kanton Solothurn (2002): Konzept zur Aufarbeitung alter Bodendaten und deren Integration ins IS-Boden.

Bodenkartierung Kanton Solothurn: von Felddaten übers GIS zu kartografischen und thematischen Auswertungen

Gaby von Rohr

Amt für Umwelt des Kantons Solothurn, Fachstelle Bodenschutz, Werkhofstrasse 9, CH-4509 Solothurn

Zusammenfassung

Im Jahr 1996 wurde das Projekt Bodenkartierung Kanton Solothurn gestartet. Unter der Leitung der Fachstelle Bodenschutz werden seither in Etappen Landwirtschafts- und Waldböden kartiert. Langfristig sollen alle Böden des Kantons erfasst sein. Die Bodendaten werden in einer Geodatenbank erfasst und verarbeitet. Im Rahmen des Pilotprojektes wurden wichtige Fragen bezüglich Datenerhebung im Feld, der Dateieingabe und der Datenverwaltung geklärt und die Datendank verbessert und ergänzt. Die Datenbank besteht aus 2 Teilen: der eine Teil verwaltet die Informationen zu den Bodenprofilen (Punktdaten), der andere Teil diejenigen zu den Bodeneinheiten (Flächendaten). Mit den digitalen Daten sind vielfältige Auswertungen und kartographische Darstellungen möglich.

Abstract

In 1996 the project Soil Mapping Canton Solothurn was launched. Under the management of the cantonal office for soil conservation, agricultural and forest soils have gradually been surveyed ever since. The long-term objective is to gather data on all the soils in the canton. All this data is subsequently recorded and processed in a geo-database. Within the framework of a pilot project important issues concerning data capturing in the field, data entry and administration were clarified. In addition the database was improved and completed. This database consists of two parts: one area stores all the information on soil profiles (spot data) and the other area, the information relating to soil units (area data). By means of this digitally recorded data, various evaluations and cartographic representations are possible.

Keywords: soil mapping, GIS, soil database

1. Rahmenbedingungen einer kantonalen Stelle beim Aufbau einer Datenbank

Hard- und Software, die für den Aufbau einer Geodatenbank zur Verfügung stehen, werden in der öffentlichen Verwaltung wie auch in anderen Grossbetrieben durch strategische Entscheide der zuständigen EDV-Fachstellen vorgegeben. Die diesbezüglichen Vorgaben seitens des kantonalen GIS bedeuteten 1996, als mit der Bodenkartierung begonnen wurde, dass Datenbank und dazugehörige Benutzeroberflächen für die Verwaltung der Bodenkartierungsdaten in Zusammenarbeit mit dem kantonalen Amt für Informatik vollumfänglich in ArcInfo aufgebaut wurden. Das Ergebnis war, vor allem für die Ablage der komplexen Leitprofildaten, eine komplizierte und wenig benutzerfreundliche Datenbank.

Auf Grund der neuen GIS-Strategie des Kantons (Datenverwaltung in Oracle, resp. PostgreSQL; Internet-Applikation / MapServer für Benutzeroberflächen) hat die Fachstelle Bodenschutz im Jahr 2000 den Neuaufbau der Datenbank beschlossen. Die Definition des neuen Datenmodells und der Aufbau von Datenbank und Benutzeroberfläche erfolgt diesmal gemeinsam mit einer privaten EDV-Firma.

2. Ziele des Pilotprojektes aus EDV-Sicht

Im Pilotprojekt zur Bodenkartierung Kanton Solothurn 1996 (AMT FÜR UMWELT DES KANTONS SOLOTHURN 1997) galt es nebst anderem, grundsätzliche Fragen der Datenerhebung und -verarbeitung zu klären sowie das Datenmodell und die Datenbank zu konkretisieren. Gemeinsam mit den damaligen kantonalen GIS-Fachleuten waren erste Vorstellungen zum Datenmodell und zur Datenbank inkl. einer Benutzeroberfläche erarbeitet worden. Im Pilotprojekt wurden diese auf ihre Praxistauglichkeit geprüft. Offene Fragen mussten geklärt werden, viele Detailfragen tauchten aber auch erst mit dem 1:1-Einsatz auf. So hatte z.B. schon die einfache Frage: „Müssen eine oder mehrere Farben pro Leitprofil-Horizont erfasst werden können?“, Auswirkungen sowohl aufs Datenmodell wie auch auf die Gestaltung der Datenbank. Die definitive Erarbeitung von Datenmodell, Datenbank und Benutzeroberflächen erfolgte schliesslich unter Einbezug der Kartierenden und ihrer Erfahrungen. Im Nachhinein zeigt sich, dass die Abklärungen und Erfahrungen des Pilotprojektes für den Aufbau der Datenbank unverzichtbar waren.

3. Datenbank der Bodenkartierung Kanton Solothurn: IS-BODEN

Die Datenbank der Bodenkartierung Kanton Solothurn, kurz IS-BODEN genannt, besteht aus zwei Teilen, analog den Arten von Bodeninformationen, die im Feld erhoben werden:

Teil Bodenprofile (Punktinformationen):

Die Informationen zu den Bodenprofilen bestehen aus einer einfachen Geometrie (x- und y-Koordinaten), verbunden mit komplexen Sachinformationen. Der Umfang der Sachdaten, die erhoben und digital abgelegt werden, entspricht dem Datenschlüssel Nr. 6 der FAL (1994), ergänzt mit weiteren Parametern, z.B. Hohlraumansprache gemäss Deutscher Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG BODEN 1996).

Seit 2002 liegt die Datenbank in PostgreSQL vor (AMT FÜR UMWELT DES KANTONS SOLOTHURN 2003). Die Benutzeroberfläche ist eine Internet-Applikation. Das Abfrage-Tool ermöglicht einen einfachen Zugriff auf die Leitprofildaten. So können Leitprofile nach beliebigen Attributkombinationen ausgewählt werden; diese

Auswahl, versehen mit zusätzlich gewünschten Attributen, wird als Excel-Tabelle ausgegeben.

Teil Bodeneinheiten (Flächeninformationen):

Die Informationen zu den Bodeneinheiten bestehen aus einer komplexen Geometrie (Vektordaten), verbunden mit einfachen Sachinformationen (Polygondaten). Die Feldkartierung erfolgt im Massstab 1:2'500, die Darstellung im Massstab 1:5'000.

In der Bodenkartierung Kanton Solothurn wird jedes im Feld ausgeschiedene Polygon als eine unabhängige Bodeneinheit behandelt und erhält einen individuellen Datensatz (Tabelle 1), d.h. es wird nicht mit einer Bodenlegende gearbeitet.

Die Kartierung im Feld ist damit sehr anspruchsvoll, da für jedes Polygon der repräsentative Datensatz bestimmt werden muss.

Dieser Teil der Datenbank läuft derzeit noch in ArcInfo, soll aber demnächst auch in die neue Software-Umgebung integriert werden.

Tabelle 1: Attribute des Polygondatensatzes (Sachinformation Bodeneinheiten)

Attribut	Format	Attribut	Format
BFS-Gemeindenummer	numerisch, 4-stellig	Karbonatgrenze [cm]	alpha-numerisch
Polygonnummer	numerisch	Karbonatgehaltsklasse OB	numerisch
Wasserhaushaltsgruppe	Text	Karbonatgehaltsklasse UB	numerisch
Geologie	Text	pH Hellige OB	numerisch
Bodentyp	Text	pH Hellige UB	numerisch
Untertyp 1	Text	Mächtigkeit Ah-Horizont [cm]	numerisch
Untertyp 2	Text	Humusgehalt % Ah-Horizont	numerisch
Untertyp 3	Text	Humusform (Wald)	Text
Geländeform	Text	Mächtigkeit Ahh-Horizont [cm] (Wald)	numerisch
Skelettgehaltsklasse OB	numerisch	Gefügeform OB	Text
Skelettgehaltsklasse UB	numerisch	Gefüegerösse OB	Text
Körnungsklasse OB	numerisch	Gefügeform UB	Text
Körnungsklasse UB	numerisch	Gefüegerösse UB	Text
Tongehalt % OB	numerisch	pflanzennutzbare Gründigkeit [cm]	numerisch
Tongehalt % UB	numerisch	Bodenpunktezah (Profilwert)	numerisch
Schluffgehalt % OB	numerisch	Bemerkungen	Text
Schluffgehalt % UB	numerisch		

Bemerkungen: - OB = Oberboden, UB = Unterboden

- Untertyp 1 – 3: Pro Polygon können maximal 3 Untertypen vergeben werden; Auswahl und Reihenfolge sind frei wählbar.
- Ahh-Horizont: Dieser Horizont umfasst die oberste, schwarze Humusstoffzone (Mineralerdehorizont) in Waldböden. Er weist auf die gehemmte Vermischung der organischen Rückstände mit der Mineralerde und somit auf gestörte Bodenverhältnisse hin und ist ein gutes Kriterium zur Trennung von Mull und Moder (LÜSCHER 1991).

4. Wie werden analoge Felddaten zu digitalen GIS-Daten?

Leitprofildaten:

Ursprünglich bestand die Absicht, die Bodendaten von Beginn weg mit Hilfe geeigneter Felderfassungsgeräte digital zu erfassen und somit im Feld auf Papier zu verzichten. Im Pilotprojekt wurden mit dem robusten, feldtauglichen Notebook Husky FC-486 (Hersteller: Husky Computers Limited, Coventry, England) ausführliche Versuche gemacht. Auf Grund der mehrheitlich negativen Erfahrungen wurde diese Vorgehensweise dann vorderhand verworfen:

In der praktischen Handhabung war das feldtaugliche Erfassungsgerät zu langsam, das Hin und Her in den Eingabemasken zu zeitaufwändig, das Bild je nach Lichteinfall schlecht bis verschwunden. Schliesslich kam dazu, dass das Gerät nebst allem anderen Material, das ins Feld mitgenommen werden muss, schlicht störte.

Die Datenaufnahme mit dem Felderfassungsgerät war auch bezüglich des Projektablaufs unbefriedigend. Von der ersten Bodenansprache am Leitprofil bis zur endgültigen Bereinigung des Leitprofilblattes und dem Übertrag der Laborwerte gibt es mehrfach Korrekturen. Weiter erfolgt in der Kartierung Solothurn eine losübergreifende Bereinigung aller Leitprofile unter Mitwirkung der Qualitätssicherungs-Experten. Die digitale Dateneingabe und -korrektur erfolgt mit Hilfe eines Sets von Eingabemasken. Es erwies sich als sehr schwierig, in diesem System die Übersicht zu behalten über schon erfolgte oder noch nachzutragende Korrekturen und Ergänzungen. Dies umso mehr, als es sich bei den Leitprofilen um eine grosse, komplexe Datenmenge handelt. Das Festhalten und Überarbeiten von Leitprofilansprachen gelingt unter solchen Bedingungen am Besten auf Papier.

Der Entscheid, im Feld vorderhand weiterhin auf Papier zu arbeiten, erfolgte schliesslich auch aus Qualitätsüberlegungen: eine nachträgliche, konzentrierte Dateneingabe durch eine einzige Person gewährleistet eine bessere Qualität der Daten.

Polygondaten:

Ähnliches wie bei den Leitprofilen gilt für die Abgrenzung von Polygonen. Auch hier wird nicht mit Felderfassungsgeräten gearbeitet, sondern mit Feldplänen. Erst die abschliessend bereinigten Feldpläne werden durch die Fachstelle Bodenschutz digitalisiert.

Die Polygonsachdaten hingegen werden von den Kartierfachleuten in digitaler Form (vorgegebenes Erfassungsprogramm) abgegeben. Diese Daten werden anschliessend in die Datenbank überführt und mit den vorgängig digitalisierten Polygonen verknüpft.

5. Resultate

Kartografische Auswertungen:

Mit den GIS-Daten werden verschiedene Arten von Karten erstellt:

- In einfachen Karten werden die im Feld erhobene Attribute dargestellt, z.B.: Bodentypkarte, Wasserhaushaltskarte, pH-Karten usw. Für Güterregulierungsprojekte werden auch Bodenpunktzahl- und Nutzungsseignungskarten erstellt.
- Aus den vorliegenden Bodendaten werden weitere Bodenkennwerte berechnet und kartografisch dargestellt, z.B. Karte der Sorptionsfähigkeit für Schwermetalle (Cd, Cu, Pb, Zn), Karte der nutzbaren Feldkapazität des effektiven Wurzelraums für Fragen der Nitrat- auswaschung.
- Weiter können die Bodendaten mit anderen GIS-gestützten Daten (Höhenmodelle, Bodenbedeckung, klimatische Daten, Strassen- netz usw.) verknüpft werden. So sind komplexe Auswertungen möglich, deren Ergebnisse wiederum als Karte visualisiert werden können, z.B. Hinweiskarte der erosions- bedingten Bodengefährdung im Kanton Solothurn.

Thematische Auswertungen ohne räumlichen Bezug:

Basierend auf den (flächendeckenden) Polygon- wie auch den (punktuellen) Leitprofilen können Plausibilitätsprüfungen, gebietsweise Auswertungen typischer Bodenverhältnisse usw. durchgeführt werden. Die Polygondaten liegen dafür direkt tabellarisch vor, die gewünschten Leitprofilen können mit dem neuen Abfrage-Tool ebenfalls einfach in Tabellenform zugänglich gemacht werden.

6. Literatur

AG BODEN (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage, Nachdruck, Hannover. 392 S.

AMT FÜR UMWELT DES KANTONS SOLOTHURN (1997): Bodenkartierung im Kanton Solothurn, Pilotprojekt 1996 - Schlussbericht. AfU-Berichte Nr. 34, Solothurn. 57 S.

AMT FÜR UMWELT DES KANTONS SOLOTHURN (2003): IS-BODEN Teil Bodenprofil – Entwicklung und Dokumentation des Datenmodells. Solothurn. 32 S.

FAL – Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (1994): Datenschlüssel 6 für Profilblatt. Zürich-Reckenholz.

LÜSCHER, P. (1991): Humusbildung und Humusumwandlung in Waldbeständen. Diss. Nr. 9572, ETH, Zürich. 40 S.

Modellierung von Bodenkarten: Ansätze zur Verbesserung der bestehenden Grundlagen

Markus Egli¹, Sabine Häfliger², Matthias Achermann¹

¹ Kantonales Amt für Umweltschutz, Luzern

² GIS-Koordinationsstelle, Vermessungsamt, Luzern

Zusammenfassung

Rund zwei Drittel der produktiven Fläche des Kantons Luzern sind bis anhin bodenkundlich nicht kartiert worden. Die einzige Grundlage für diese Gebiete ist die Bodeneignungskarte im Massstab 1:200'000. Die GIS-Datenbasis für den Kanton Luzern ist jedoch recht umfassend, so dass über eine räumliche Analyse (Auswertung der Datensätze, Reliefanalysen) versucht wurde ein Teil der Bodeninformationen nach der FAL-Nomenklatur zu modellieren. Im Rahmen der Modellierung wurden nur Polygone mit eindeutigen Zuweisungen erzeugt. Die erzielten Resultate stimmen zuversichtlich und werden schrittweise verbessert.

Abstract: Modelling of soil maps: approach for an amendment of existing basic data

A detailed soil map is not available for about two third of the area of the canton of Lucerne. The only existing soil database is a map with a scale of 1:200'000. The GIS database of the canton Lucerne is, however, quite comprehensive. A part of the required soil information was, therefore, modelled according to the FAL nomenclature using GIS-databases and performing relief analyses. The obtained results partially agree well with small-scale maps. Within an iterative process the results are steadily amended.

Keywords: soil map, modelling, GIS, Lucerne

1. Einführung

Aufgrund seiner natürlichen Eigenschaften als Puffer, Filter, Wasserspeicher und -regulator, Pflanzenstandort sowie als wichtiger Bestandteil der Landschaft hat der Boden im Naturraum eine zentrale Stellung. Bodenkarten liefern somit wichtige Grundlagendaten für die Planung und den Vollzug der Umwelt-, Landwirtschafts- und Raumplanungsgesetzgebung (BRUNNER et al. 1997, AfUSO 1995). Nur ein kleiner Teil des Kantons Luzern, nämlich rund ein Drittel der Gesamtfläche, sind bislang im Rahmen von Bodenkartierungen in einem Massstab von 1:25'000 oder detaillierter erfasst worden. Für den restlichen Teil des Kantons muss auf die Bodeneignungskarte der Schweiz, welche im Massstab 1:200'000 angefertigt worden ist, zurückgegriffen werden (FREI et al. 1980). Diese Karte gibt sicherlich einen guten Überblick über die Verbreitung der Böden in der Schweiz, ihrer generellen Eigenschaften und Nutzungsmöglichkeiten. Der Nutzen und die Aussagekraft dieser Karte für die Praxis und den Vollzug ist aber nicht zuletzt bedingt durch die hohe Massstabszahl eingeschränkt. Der verwendete Massstab erlaubt keine Darstellung von eindeutig definierten Bodenpolygonen, sondern eine Abbildung grösserer Einheiten. Diese Einheiten sind ausschliesslich Komplexe, welche mehrere Ausprä-

gungen pro Merkmal umfassen können. Da im Kanton Luzern längerfristig die notwendigen finanziellen Mittel für eine flächendeckende Bodenkartierung nicht aufgebracht werden können, der Vollzug und die Praxis auf aktuelle Probleme aber reagieren müssen und somit eine verbesserte Grundlage für die restlichen 2/3 des Kantonsgebietes benötigen, musste nach einer alternativen Lösung gesucht werden.

Das Amt für Umweltschutz und die GIS-Koordinationsstelle des Kantons Luzern versuchten die Frage zu klären, inwieweit mit bestehenden Raumdaten, welche in digitaler Form vorliegen, ein höherer Detaillierungsgrad und somit eine Verbesserung der Bodenkarte 1:200'000 erzielt werden kann. Der gewünschte „Zielmassstab“ sollte in einem Bereich von ca. 1:50'000 liegen.

2. Methoden, Vorgehen

Als Ausgangspunkt für die Berechnung der Hypothesenkarte diente die Bodeneignungskarte (FREI et al. 1980). Die Auswertung bestehender GIS-Datensätze, Reliefanalysen (ausgehend vom digitalen Geländemodell) und zum Teil die Auswertung von Orthophotos bezweckte eine entsprechende Verbesserung dieser Karte. In einem iterativen Verfahren wurde die daraus resultierende Hypothesenkarte mit bestehenden Kartierungen

(im Massstab 1:25'000 oder detaillierter) verglichen und angepasst. In einem zukünftigen Schritt werden bestehende Profildaten, die zur Zeit an der eidgenössischen Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (Zürich-Reckenholz) abgelegt sind, für eine Verbesserung der Karte herbeigezogen.

Die Legende einer Bodenkarte gibt in der Schweiz immer wieder Anlass zu Diskussionen. Aufgrund kartenspezifischer Ausprägungen der Legende, ist ein direkter Vergleich zwischen verschiedenen Kartenblätter häufig schwierig. Bis anhin finden sich in den meisten Bodenkarten, sei es im gross- wie im kleinmassstäbigen Bereich, 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 (SCHÄRLI 2000). Die Nomenklatur der Bodeneinheiten und -eigenschaften richtet sich in unserem Fall nach den Vorgaben von BRUNNER et al. (1997) (= FAL Nomenklatur). In der Bodenkarte (bspw. Massstab 1:25'000) beinhaltet ein Polygon mit reinen Bodeneinheiten (d.h. keine Komplex) z.B. folgenden Code: cB1s. Dieser Code beschreibt Wasserhaushalt, pflanzennutzbare Gründigkeit (c: senkrecht durchwaschen, normal durchlässig, mässig tiefgründig), Bodentyp (B: Braunerde), laufende Nummer (für Ausgangsmaterial, Untertyp, Skelettgehalt, Feinerdekörnung, pH, ...) sowie die Geländeform (s: gleichmässig geneigt, 35-50%).

Die Modellierung der Bodeneigenschaften richtet sich primär nach den bodenbildenden Faktoren. Gemäss JENNY (1980) sind die Bodeneigenschaften ein Produkt folgender (mehr oder weniger) unabhängiger Variablen:

$$\text{Bodeneigenschaften} = f(\text{pt}, \text{cl}, \text{tp}, \text{t}, \text{org})$$

wobei *pt* durch das Ausgangsmaterial, *cl* durch das Klima, *tp* durch die Topographie, *t* durch die Zeit und *org* durch Organismen (oder Vegetation) umschreiben wird. Die für die Modellierung verwendeten Datensätze sind in Tab. 1 aufgeführt. Für den Faktor Zeit besteht für die Modellierung kein direkt dafür verwendbarer Datensatz. Der Faktor Zeit lässt sich aber über andere Datensätze (z.B. über die Topographie bzw. das digitale Gelände Modell DGM) integrieren. Während der letzten Eiszeit war der überwiegende Teil des Kantons Luzern mit Eis bedeckt (HANTKE 1978). Die Böden, welche eine ungestörte Entwicklung durchmachen konnten, haben somit ein mehr oder weniger einheitliches Alter von rund 11'000 – 15'000 Jahren.

Die Auswertung und Miteinbezug der einzelnen Datensätze erfolgte nach dem Entity-Relationship-Prinzip (vgl. SAUER 1992, KLINGL

1996); d.h. durch die Auswahl der relevanten Attribute und durch deren Kombination zu den jeweiligen Relationen. Die einzelnen Ausdrücke der Abfrage sind mit Booleschen Funktionen, nämlich AND, OR, NOT sowie logischen Operatoren wie 'lower than', 'lower equal', 'equal', 'not equal', 'greater equal', 'greater than' (KLINGL 1996) realisiert worden.

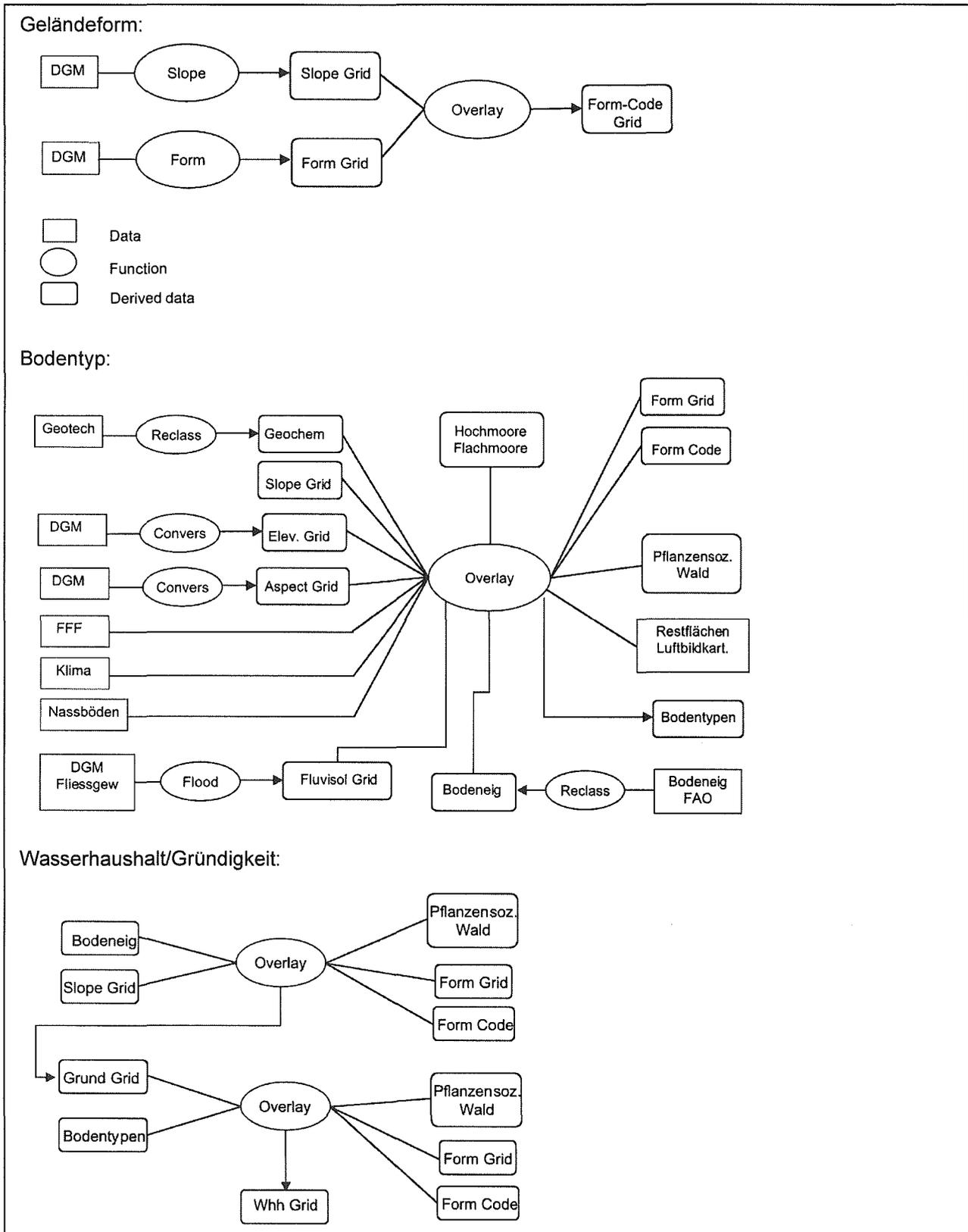
Tabelle 1. GIS-Datengrundlage zur Modellierung, aufgliedert nach den bodenbildenden Faktoren (ohne Zeit).

Coverage/Grid	Inhalt	Massstab
Topographie		
DHMKTLU0	Geländemodell (10m Auflösung)	1 : 25000
RSGKTLU0	Rutschungen	1 : 200000
Klima/Wasserhaushalt		
DHMKTLU0	Geländemodell (10m Auflösung)	1 : 25000
KLIKTLU0	Klimaeignung	1: 200000
NASS	Nassböden	1 : 50000
DISTGWSP	Abstand zum GW-Spiegel	1 : 25000
Geologie		
GTKKTLU0	Geotechnische Karte	1 : 200000
RSVKTLU0	Rohstoffvorkommen	1 : 25000
RSGKTLU0	Rutschungen	1 : 200000
Vegetation/Nutzung		
WALKTLU0	Wald	1: 10000
WSZKTLU0	Pflanzensoziologische Kartierung (Wald)	1: 5000
AUEKTLU0	Auengebiete	1 : 25000
MOOKTLU0	Hoch- und Flachmoore von nationaler und regionaler Bedeutung	1 : 10000
FFFKTLU0	Fruchtfolgeflächen	1 : 10000
INPKTLU0	Naturobjekte reg. Bedeutung: Nassstandorte	1 : 10000
"Accessoires"		
SIEKTLU0	Siedlungsgebiete	1: 5000
SEKTLU0	Seen	1 : 25000
GEWKTLU0	Fliessgewässer	1 : 10000

3. Resultate

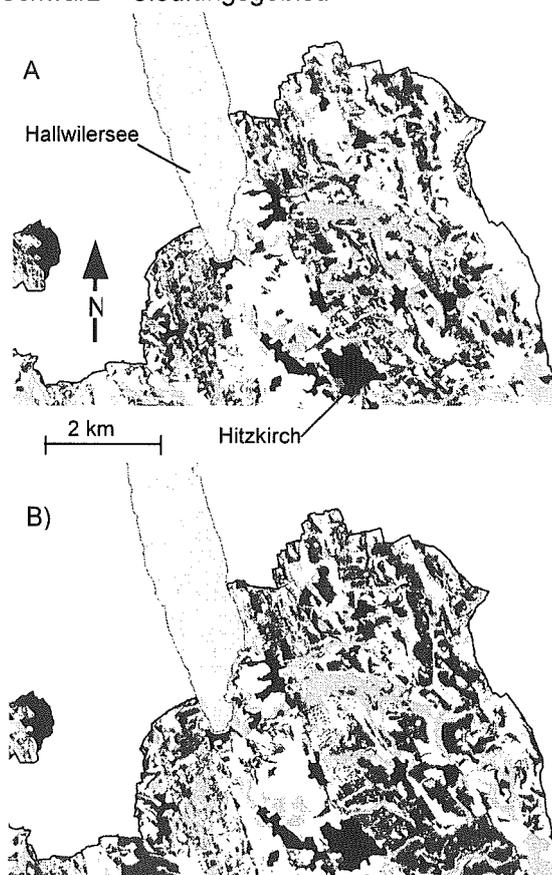
Durch die definierte Modellstruktur wird eine bedeutende Verfeinerung der Bodeneignungskarte (1:200'000) erreicht. Die neu erzeugten Polygone haben nun eine eindeutige Zuweisung für den Bodentyp, die Geländeform und den Wasserhaushalt/Gründigkeit.

Abb. 1. Schematischer Modellaufbau zur Berechnung der Hypothesenkarte. DGM = digitales Geländemodell (10x10 m Auflösung). Slope: Berechnung der Hangneigung; Form: Berechnung der Hangform (gemäss DENOTH 1997); Overlay: Überlagerung von Themen, Abfragen von Booleschen Funktionen, logischen Operatoren; Geochem: Unterteilung des Ausgangsmaterials in Karbonat-, Misch- und Silikatgesteine (durch eine Reklassierung (Reclass) der Ausgangsdatei); Convert: Umwandlung des DGM in ein Höhengrid (Elevation) bzw. Expositions-Grid (Aspect); Flood: Berechnung der Fluvisol-Verteilung mittels DGM und Fließgewässerstruktur; Bodeneig: Reklassierung in FAL-Nomenklatur; Pflanzensoz.: Ableitung von Bodentypen und Wasserhaushalt aus Pflanzensoziologie (Wald); Restfläche Luftbildkart.: Kartierung von Bodeneinheiten über Orthophotos/Luftbilder (Gebiete oberhalb Waldgrenze); Grund Grid: berechnete Gründigkeit; Whh Grid: Wasserhaushalt.



Der ursprüngliche Inhalt der Polygone der Bodeneignungskarte wurde überprüft, wo nötig modifiziert und durch neue Themen (wie bspw. „Nassböden“, Fluvisole, Flach- und Hochmoore) überprägt. Die Übereinstimmung der dadurch generierten Hypothesenkarte mit bereits kartierten Gebieten (Abb. 2) ist recht gut. Erstaunlicherweise ist die Übereinstimmung mit detaillierten Bodenkarten (Massstab 1:5'000) besser (bspw. Bodentypen $R^2 = 0.7$) als mit Karten mit einer weniger guten Auflösung (1:25'000; Bodentypen $R^2 = 0.6$).

Abb. 2. Übereinstimmende Flächen zwischen Modell und Kartierung (Massstab 1:5'000) im Gebiet Hitzkirch. A) Gründigkeit/Wasserhaushalt (100%-Übereinstimmung). B) Bodentypen. Schwarz = Siedlungsgebiet.



4. Schlussfolgerungen

Die Verarbeitung GIS-basierter Grundlagen führte zu einer wesentlichen Verbesserung der Bodeneignungskarte 1:200'000. Die Verbesserungsmöglichkeiten hängen vom Datensatz und dem jeweiligen Erfassungsmassstab dieser Daten ab. Man muss sich bewusst sein, dass diese Datensätze nicht einen einheitlichen Massstab aufweisen. Somit ist es durchaus möglich, dass gewisse Items einer Bodenkartierung genauer erfasst werden können als andere.

Die Modellierung der Bodentypen, sowie des Wasserhaushaltes und der pflanzennutzbaren Gründigkeit erfolgte in unserem Fall zufriedenstellend. Die Modellierung der „Laufnummer“ wurde bis anhin noch nicht durchgeführt. Bereits die Modellierung der genannten Aspekte verursachte – bedingt durch den 10x10 m Raster des DGM – sehr grosse Datensätze. Das 10x10 m Raster erzeugt zudem Klein- und Kleinstflächen, welche für eine bessere Übersicht am Schluss auf eine vernünftige Grösse generalisiert werden müssen. In einem zukünftigen Schritt werden die Daten der rund 1400 brauchbaren Profilbeschreibungen (z.Z. an der FAL) integriert. Die Auswertung dieser Daten sowie die weitere geographische Verarbeitung ergibt einerseits einen bedeutenden Profildatensatz für den Kanton und kann andererseits für die flächige Interpolation und somit zur Verbesserung der Hypothesenkarte beigezogen werden.

5. Literatur

- AfUSO (Amt für Umweltschutz, Kanton Solothurn), (1995): Bodenkartierung Kanton Solothurn. Konzept. Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Solothurn, Bericht Nr. 23.
- BRUNNER, J., F. JÄGGLI, J. NIEVERGELT und K. PEYER (1997): Kartieren und Beurteilen von Landwirtschaftsböden. Schriftenreihe der FAL (Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau) 24, Zürich-Reckenholz.
- DENOTH, F. (1997): Oberflächenabfluss und Phosphorverlust auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Diplomarbeit, Universität Zürich.
- FREI, E., U. VÖKT, R. FLÜCKIGER, H. BRUNNER und F. SCHAI (1980). Bodeneignungskarte der Schweiz, Massstab 1:200000. Grundlagen für die Raumplanung, Bundesämter für Raumplanung, Landwirtschaft und Forstwesen, EDMZ Bern.
- HANTKE, R. (1978): Eiszeitalter 1: Die jüngste Erdgeschichte der Schweiz und ihrer Nachbargebiete. Klima, Flora, Fauna, Mensch, Alt- und Mittelpleistozäne, Vogesen, Schwarzwald, Schwäbische Alb. Ott Verlag, Thun
- JENNY, H. (1980): The soil resource. Springer, New York.
- KLINGL, T. (1996): GIS-gestützt Generierung synthetischer Bodenkarten und landschaftsökologische Bewertung der Risiken von Bodenwasser- und Bodenverlusten. Geographica Bernensia, G50, Bern.
- SAUER, H. (1992): Relationale Datenbanken. Addison-Wesley, Bonn, 291 S.
- SCHÄRLI, J. (2000): Einheitliche Bodenlegenden für Bodenkarten des Kantons LU als Basis für ein Geografisches Informationssystem (GIS). Diplomarbeit Hochschule Technik+Architektur, Luzern.

Hilfsmittel Bodeninformationssystem und Bodenkarte: Methodik, Realisierbarkeit, Anwendungspotential am Beispiel eines Gebirgskantons

Gianfranco Tognina

Amt für Natur und Umwelt Graubünden, Gürtelstrasse 89, CH-7001 Chur

Zusammenfassung

Die kantonalen Aufgaben in den Bereichen Bodenüberwachung, -beurteilung, Vorsorge sowie die weitergehenden kantonalen Massnahmen können mit der Leistung der vorhandenen personellen Ressourcen nur auf der Basis einer guten Datenlage (Bodeninformationssystem) vollzogen werden. Diese Forderung wird gestützt durch den sachlichen Zusammenhang der Tätigkeiten der für den Bodenschutz verantwortlichen Behörden und dem Nutzen aus Bodeninformationssystemen und Bodenkarten. Der sachliche Zusammenhang ist durch den Fluss von Bodendaten und Gebietsinformationen aus Bodeninformationssystemen zu den Vollzugsverantwortlichen gegeben. Eine vom Bund vorgegebene Entwicklungsmethodik für Bodeninformationssysteme wäre in vielerlei Hinsicht von Vorteil. Die Kantone können viele sachbezogene Leistungen erbringen. Sie sind aber in fachlicher und in finanzieller Hinsicht auf Bundeshilfe angewiesen.

Abstract

Soil maps as an aid: Methods, means of realization, potential of utility with respect to an alpine Canton in Switzerland.

The cantonal activities in soil survey, soil quality evaluation, principle of precaution and cantonal reinforcement of measures will only be safeguarded with all the efforts of available human resources, and only on the basis of an excellent data set (soil information system). This requirement is supported by the factual context of activities between the administration responsible for soil protection, and by the positive data contributions of soil information systems and soil maps. The factual context is given by the flux of soil data and area informations to the administrative authority. A method of development for soil information system offered by the federal agency for environmental protection would in various respects be most welcome. The Cantons, thus, may undertake numerous technical and practical efforts. They depend both in technical and financial respect on the said federal support.

Keywords: soil protection, soil data, soil maps, soil information systems

1. Bodeninformationssysteme und Bodenkarten als Basis für den kantonalen Vollzug des qualitativen Bodenschutzes

Für die kantonale Bodenschutz-Fachstelle ergibt sich im qualitativen Bodenschutz der gesetzliche Auftrag aus dem Umweltschutzgesetz (USG) und aus der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo). Gemäss Art. 4 VBBo untersuchen bzw. überwachen die Kantone Böden mit gefährdeter Bodenfruchtbarkeit um dann, gemäss Art. 5 VBBo, die Bodenbelastung zu beurteilen. Vorsorgliche Massnahmen treffen die Kantone - teilweise die Gemeinden - gegen physikalische Bodenbelastungen (Bewirtschaftung und bauliche Eingriffe). Gemäss Bodenschutzkonzept Schweiz (Abbildung 1) „ziehen die Kantone die Notbremse“ wenn die gesamtschweizerischen Mass-

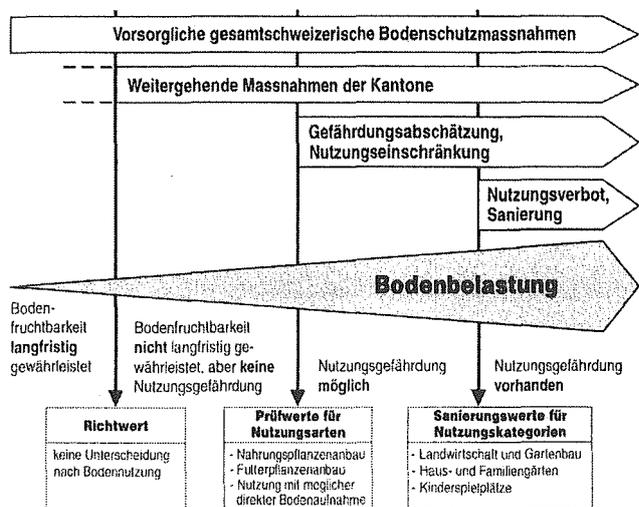


Abbildung 1 Bodenschutzkonzept Schweiz (BUWAL 2001)

nahmen für den vorsorglichen Bodenschutz von Art. 33 Abs. 1 USG und Art. 6f VBBo nicht ausreichend sind (BUWAL 2001). Das Werkzeug „weitergehende Massnahmen“ wurde den Kantonen gegeben um stetig ansteigende Bodenbelastungen zu stoppen.

Der Auftrag an die Bündner Gemeinden ist im Kantonalen Umweltschutzgesetz (KUSG) verankert: Art. 50 KUSG verpflichtet die Gemeinden, mit geeigneten Massnahmen bei der Erteilung von Baubewilligungen dafür zu sorgen, dass die Bauherren den gesetzlichen Vorschriften nachkommen.

Die vier Bereiche Bodenüberwachung, -beurteilung, Vorsorge und weitergehende Massnahmen können nur auf der Basis einer guten Datenlage vollzogen werden. Das heisst, dass genügend Kenntnisse über die Böden vorhanden sein müssen, am besten in der Form georeferenzierter Daten. Wichtige Hilfsmittel sind in diesem Sinne Bodeninformationssysteme und Bodenkarten.

2. Kein ordentlicher Vollzug ohne Bodeninformationssystem und ohne Bodenkarte bzw. Anwendungspotential für georeferenzierte Bodendaten

Es wird untenstehend der Nachweis erbracht, dass für einen ordentlichen Vollzug der VBBo gute Bodeninformationssysteme und/oder Bodenkarten zur Verfügung stehen müssen. Dies in Anbetracht der knappen Ressourcen der Fachstellen und der eher geringen Vollzugslust unserer Partner.

In Tabelle 1 wird für die erwähnten Vollzugsbereiche der Zusammenhang zwischen der Haupt-

tätigkeit der Behörde und dem erwarteten Nutzen von Bodeninformationssystem und Bodenkarte hergestellt. Es kann gezeigt werden, dass für alle Vollzugstätigkeiten im qualitativen Bodenschutz nebst Weisungen, Richtlinien, Merkblättern, Wegleitungen etc. immer auch Bodendaten benötigt werden. Fehlen Bodeninformationssysteme oder Bodenkarten, müssen spezielle Erhebungen durchgeführt werden. Solche Untersuchungen sind teuer und können nicht immer kurzfristig durchgeführt werden oder sie fallen im Rahmen von Interessenabwägungen, z.B. bei Baubewilligungsverfahren, durch die Maschen.

Mit den üblicherweise vorhandenen personellen Mitteln kann also nur mit einem umfangreichen Datenbestand, Bodenschutz auf kantonaler und kommunaler Ebene betrieben werden. Die Dynamik und Effizienz könnte massgeblich gesteigert werden, wenn bei Bodenfragen auf gute Informationssysteme und Kartengrundlagen zurückgegriffen werden könnte. Es ist oft sehr aufwändig und unter Umständen frustrierend, wenn Anfragen zum Vollzug wegen fehlender Daten nicht oder nur mangelhaft beantwortet werden können.

Auf kommunaler Ebene könnte in gewissem Masse auch ohne Bodenkarte Bodenschutz betrieben werden. Ohne den Akteuren bösen Willen unterstellen zu wollen, lehrt die Erfahrung, dass die Gemeinden üblicherweise selbständig keine Tätigkeiten entfalten, weil die Problematik oft nicht erkannt oder nicht verstanden wird. Bei kleinen Gemeinden fehlen zudem die personellen Ressourcen. Vollzugsanleitungen werden deshalb kaum beachtet. Erfahrungen beispielsweise aus dem Gewässerschutz oder aus dem Bereich der Naturkatastrophen zeigen dagegen, dass mit Kartengrundlagen bis hin zu spezifischen Risikokarten Handlungen auch auf kommunaler Ebene ausgelöst werden können.

Tabelle 1 Vollzugsbereiche und ihr Bedarf für Bodeninformationssysteme und/oder Bodenkarten

Vollzugsbereich	Haupttätigkeit der Behörde	Nutzen der Bodenkarte/-informationssystem
Überwachung	Erheben von Schadstoffdaten	Liefert Bodendaten und Gebietsinformationen
Beurteilung	Auswerten von Überwachungsergebnissen etc.	Liefert Bodendaten und Gebietsinformationen Bietet Vergleichsmöglichkeiten
vorsorgliche Massnahmen im physikalischen Bereich (Kanton und Gemeinden)	Information/Beratung für die Bewirtschaftung	Liefert Bodendaten
	Stellungnahmen/Auflagen in Mitbetrachtungsverfahren für Baugesuche	Liefert Bodendaten
weitergehende Massnahmen (Notbremse)	Erarbeitung von Massnahmen bei erhöhter/steigender Belastung	Liefert Bodendaten

3. Realisierbarkeit

Für das Amt für Natur und Umwelt Graubünden, ergab sich im Zusammenhang mit der Realisierbarkeit von Bodenkarten und Bodeninformationssystemen folgender Ablauf:

a) Grundsatzentscheid

Eine Bodenkarte respektive ein Bodeninformationssystem soll erstellt werden: Es besteht ein amtsinternes „Agreement“, im Rahmen des Budgets und mit Fremdgeldern aus INTERREG III (EU-Programm zur Förderung der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit), NFP (Nationalfondsprojekte), Bund etc., die Arbeiten zu beginnen und soweit wie möglich voran zu bringen.

b) Pilotphase

In der laufenden Pilotphase muss die Kartenmodellierung mit der klassischen Kartierung kombiniert werden. Eine reine Modellierung scheint aus technischen Gründen noch nicht möglich zu sein. Darüber hinaus erwarten wir Aussagen zu den effektiven Kosten pro ha. Für die Feldmethode wurden vorerst Kosten von ca. CHF/ha 150.-, für die Modellierung ca. CHF/ha 1.50 angenommen (vgl. Tabelle 2). Diese Annahme hat sich im Verlauf der Pilotphase bestätigt. Von besonderem Interesse sind - in anbetracht der bedeutend günstigeren Modellierung - die Aufwändungen für Feldmethoden, die für die Ergänzung der modellierten Flächen aufzuwenden sind. Darüber hinaus erwarten wir Erkenntnisse über das zu verwendende Datenmodell.

Tabelle 2 Kostenüberlegungen für Bodenkartierungen aufgrund der Bodennutzung in Graubünden (BFS 2001)

Gesamtfläche 710'520 ha	
Bestockte Flächen	Landwirtschaftliche Nutzflächen
189'739 ha	211'717 ha
Kostenschätzung klassische Kartierung (CHF/ha: ca. 150.-)	
CHF 28'460'850.-	CHF 31'757'550.-
CHF 60'218'400.-	
Kostenschätzung Kartenmodellierung bei (CHF/ha: ca. 1.50)	
CHF 284'608.-	CHF 317'575.-
CHF 602'184.-	
Bemerkung: Keine oder eingeschränkte Erfassung für Siedlungsflächen (12'902 ha) und unproduktive Flächen (296'162 ha)	

c) Entscheid über die Realisierung für das ganze Kantonsgebiet

Die Auswertung und die anschliessende Beurteilung der Pilotphase, werden als Grundlage für den Entscheid über die Realisierung eines Bodeninformationssystems das ganze Kantonsgebiet dienen.

4. Auswahl der Methodik

Obwohl die durchgeführten Kostenüberlegungen den Spielraum für die Auswahl der Methodik wesentlich einengen, gilt es auf kantonaler Ebene noch weitere Kriterien zu berücksichtigen:

a) Vorgaben des Bundes

In Kapitel 2 wurde gezeigt, dass für einen ordentlichen Vollzug der VBBo gute Bodeninformationssysteme und/oder Bodenkarten zur Verfügung stehen müssen. Es wäre aus der Sicht der Fachstelle sowohl in technischer als auch in formeller Hinsicht viel einfacher, wenn die Methodik durch den Bund resp. durch das BUWAL vorgegeben wäre. Diese Möglichkeit besteht derzeit nicht, so dass die anzuwendende Methodik aus unserem Pilotprojekt resultieren muss. Eine Abstimmung des Vorgehens und der Methodik mit anderen kantonalen Projekten oder gar auf nationaler Ebene ist damit nicht gewährleistet.

b) Modellierung oder Feldmethoden

Erste Ergebnisse aus dem Pilotlauf zeigen, dass eine reine Modellierung aus technischen Gründen nicht möglich ist (ungenügendes digitales Höhenmodell, ungenügende Kenntnisse der Geologie bzw. des Ausgangsgesteins). Realistisch erscheint eine Kombination von Modellierung und Feldmethoden. Auch für Nachbearbeitungen wird man auf Feldmethoden angewiesen sein.

c) Erweitern des Bodeninformationssystem

In Abhängigkeit der technischen Möglichkeiten ist ein Vorgehenskonzept für das Ergänzen des Bodeninformationssystem zu erstellen. Die finanziellen Möglichkeiten müssen von vornherein berücksichtigt werden. Die Kostenüberlegungen für Bodenkartierungen aufgrund der Bodennutzung (BFS 2001) in Tabelle 2 zeigen, dass auch aus finanziellen Überlegungen nur eine Modellierung mit allfälliger Nachbearbeitung realistisch ist.

d) Schwierigkeiten aufgrund der Topographie

Tabelle 3 und Tabelle 4 zeigen mit einigen Zahlen aus dem Bündner Bodenschutzkonzept (AfU GR 1989) einige topographische Fakten, welche die Erarbeitung eines Bodeninformationssystem in einem Bergkanton technisch erschweren und infolgedessen verteuern. Ein grosser Teil der Kantonsoberfläche weist eine Höhe über 1000 m ü. M. auf.

Der grösste Anteil wenig geneigter Flächen befindet über 2000 m ü. M.. Dies widerspiegelt sich in der Verteilung der land- und forstwirtschaftlichen Flächen. Bezogen auf die Nutzung aber auch auf die Feldaufnahmen bedeutet dies, dass die günstigsten Flächen in klimatisch rauem Gebiet liegen. Nur wenige Flächen sind schwach geneigt und weisen ein mildes Klima auf.

Tabelle 3 Kantonsoberfläche aufgeteilt nach Höhenstufen und Geländeneigung: (AfU GR 1989)

Höhenstufe	0-1000 m ü. M.			
Neigung	<35%	35-50%	>50%	
Flächenanteil	3.5%	1.1%	1.8%	6.4%
Höhenstufe	1000-2000 m ü. M.			
Neigung	<35%	35-50%	>50%	
Flächenanteil	12.4%	10.2%	14.4%	37%
Höhenstufe	>2000 m ü. M.			
Neigung	<35%	35-50%	>50%	
Flächenanteil	15.3%	14.7%	26.6%	56.6%
	31.2%	26%	42.8	100%

Tabelle 4 Flächen in der Forst- und Landwirtschaft aufgeteilt nach Höhenstufen und Geländeneigung (AfU GR 1989)

Nutzung	Höhe ü. M.	Neigung		
		<35%	35 - 50%	>50%
Landwirtschaft (45,2%)	<1000	2.2%	0.4%	0.4%
	1000-2000	7.4%	4.6%	3.9%
	>2000	8.9%	8.1%	9.3%
Forstwirtschaft (21.5%)	1000-2000	0.9%	0.6%	1.2%
	<2000	4.0%	5.0%	8.4%
	>2000	0.4%	0.4%	0.6%

5. Schlussfolgerungen

Vorausgehend wurde aufgezeigt welchen Auftrag die Kantone im Bereich des qualitativen Bodenschutzes zu erfüllen haben. Dabei wurde festgehalten, dass der Auftrag ohne Bodeninformationssystem und/oder Bodenkarte nicht genügend erfüllt werden kann. Es wurde versucht das Anwendungspotential von Bodeninformationssystemen und Bodenkarten darzustellen: Dabei wurden Probleme im Zusammenhang mit der Methodenwahl bzw. mit der Methodenerarbei-

tung erörtert sowie einige Überlegungen zur Realisierbarkeit angestellt.

Daraus können einige Defizite geortet werden:

- Fehlende Handlungsanweisungen und Grundlagen für das Erstellen von Bodeninformationssystemen und Bodenkarten.
- Unangepasste oder fehlende Methoden (landwirtschaftlich betonte Ausrichtung, statt umwelttechnisch).
- Fehlende monetäre Ressourcen.

Um die Defizite zu decken kann der Kanton verschiedene Leistungen anbieten:

- Einsatz seiner budgetierten Ressourcen (Personal und Geld).
- Durchführung von Pilotprojekten für methodische Inputs.
- Zur Verfügung stellen von regionalem Know-how (Arbeitsgruppen).

Die aktuelle Gesetzgebung würde dem Bund erlauben die kantonalen Bemühungen zu unterstützen. In der VBBo sind Hilfeleistungen des Bundes an die Kantone gleich mehrfach enthalten:

- Art. 4 Abs. 2: Beschaffen von Grundlagen für die Überwachung sowie Beratung
- Art. 5 Abs. 1: Beurteilung durch Bund und Kantone
- Art. 5 Abs. 2: Beratung der Kantone bei Beurteilungen.

Für das Erstellen von Bodeninformationssystemen und Bodenkarten erwarten wir vom Bund und von Fachverbänden:

- Klare und praxisgerechtere Handlungsanweisungen und Grundlagen.
- Einheitliche, und vollzugsorientierte Methoden.
- Gezielter fachlicher Support.
- Finanzielle Unterstützung.
- Koordination kantonaler und nationaler Projekte.

6. Literaturverzeichnis

AfU GR 1989: Konzept zum qualitativen Bodenschutz im Kanton Graubünden. Amt für Umweltschutz Graubünden, CH-Chur, 23 S.

BFS 2001: Arealstatistik Schweiz, Die Bodennutzung in den Kantonen, Graubünden/Grigioni, Ticino, Gemeindeergebnisse 1979/85 und 1992/97. Bundesamt für Statistik (BFS), CH-Neuchâtel, 95 S.

BUWAL 2001: Erläuterungen zur Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), CH-Bern, 14 S.

Nationale Bodenbeobachtung (NABO) – Beiträge und Bedarf raumbezogener Daten

A. Desaules & K. Rehbein

Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), 8046 Zürich-Reckenholz

Zusammenfassung

Der Überblick der NABO-Beiträge zum räumlichen Ausmass chemischer Bodenbelastungen geht aus vom NABO-Referenznetz und skizziert Bedarf, Vorgehen und Ergebnisse raumbezogener Ergänzungsuntersuchungen. Als notwendige Grundlagen für einen raumbezogenen chemischen Bodenschutz werden eine nationale Bodenschadstoff-Datenbank mit GIS-Koppelung (NABODAT / NABOGIS) sowie eine landesweit flächendeckende Bodenkartierung im mittleren Massstab bezeichnet.

Schlüsselwörter: Räumliche Bodenbelastung, Schadstoffe, Datenbank

Keywords: spatial soil contamination, database

Résumé: Observation nationale des sols (NABO) – contributions et besoins en données spatiales.

Cet aperçu des contributions NABO sur l'étendue des charges en polluants a pour point de départ le réseau NABO; il esquisse les besoins en données, la démarche et présente les résultats d'études complémentaires. Une banque de données des teneurs en polluants reliée à un système d'information géographique (NABODAT / NABOSIG) ainsi qu'une cartographie des sols suisses à moyenne échelle sont indispensables à la protection des sols.

Mots-clés: pollution spatiale des sols, banque de données

1 Einleitung

Die Aufgabe der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) www.NABO.admin.ch umfasst die langfristige Erfassung und Beurteilung der zeitlichen aber auch der räumlichen Belastungen der Böden in der Schweiz (Art. 3, VBBo 1998).

Die landesweite Fläche der gewachsenen Böden betrug in den 90er Jahren noch 3'075'675 ha bzw. 75 % der Gesamtfläche mit einer mittleren jährlichen Verlustrate durch neue Siedlungsflächen von 30'850 ha (BFS, Arealstatistik 1992/97).

Die verschiedenen Böden und deren allfällige Belastungen haben eine mehr oder weniger grosse räumliche Ausdehnung, Bodendaten dagegen werden gewöhnlich punktuell erhoben. Somit stellt sich die Herausforderung, den punktuellen Daten eine zweckmässige raumbezogene Aussagekraft zu geben. Dabei gilt es zwischen **indirektem Raumbezug** durch Stratifizierung bodenexterner Indikatoren (z.B. Landnutzung, Emissionsquellen) und **direktem Raumbezug** d.h. Flächenkartierung anhand von georeferenzierten Bodeneigenschaften zu unterscheiden, wobei allerdings Mischformen möglich sind.

2 Bisherige Beiträge

Die NABO-Kernaufgabe bildet seit Beginn 1984 der Aufbau und Dauerbetrieb eines nationalen Referenznetzes für Schadstoffgehalte im Boden (Fig. 1) mit derzeit 105 Beobachtungsstandorten (BUWAL 1993, DESAULES, A. & DAHINDEN, R. 2000). Auf einen Standort entfallen durchschnittlich 29'290 ha gewachsener Boden. Damit wird klar, dass das NABO-Messnetz allein nicht genügen kann, das landesweite Ausmass der chemischen Bodenbelastung zu erfassen, was raumbezogene Ergänzungsuntersuchungen notwendig macht.

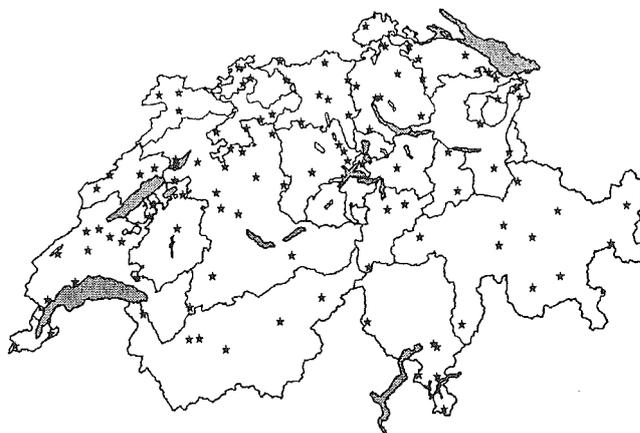


Fig. 1: NABO - Referenzmessnetz der Dauerbeobachtung

In erster Näherung wurden die in Tab. 1 dargestellten Verdachtsflächen von vier bedeutenden Belastungsquellen abgeschätzt.

Tab. 1: Verdachtsflächen vier verschiedener Quellen im Vergleich

Quelle	Schadstoff	Fläche mit RW-Überschreitung			
		ha	%		
Verkehr ¹⁾	-strassennah Pb	32'000	2.5	1.1	1.0
	-strassenfern Pb	?	?	?	?
Rebbau ²⁾	Cu	40'000	3.1	-	1.3
Klärschlamm-Düngung ³⁾	Cd	<65'000	<5.1	-	<2.1
	andere	<40'000	3.1	-	<1.3
Gestein ^{4,5)}	Cr	990'000	-	-	32.2
	andere	<33'000	-	-	<1.1
Ldw. Nutzfläche ⁶⁾		1'271'645	100		
Produktionsfläche ⁶⁾		2'796'754		100	
Gewachsener Boden ⁶⁾		3'075'675			100

¹⁾ BUWAL 1992
²⁾ STUDER, K., GSPONER, R. & DESAULES, A. 1995
³⁾ KELLER, TH. & DESAULES, A. 1997
⁴⁾ TUCHSCHMID, M.P. 1995
⁵⁾ DESAULES, A. & DAHINDEN, R. 1996
⁶⁾ BFS 2001

Mit Ausnahme der gesteinsbedingt natürlich erhöhten Cr-Gehalte, liegen die landesweiten Verdachtsflächen mit Richtwertüberschreitungen der drei übrigen Belastungsquellen in der selben Grössenordnung. Über die strassenferne Verkehrsbelastung fehlen bislang noch Flächenangaben. Da sich die Verdachtsflächen der einzelnen Quellen überlagern können, ist die Bezifferung einer Gesamtverdachtsfläche schwierig. Eine vorläufige Grobschätzung beziffert das Ausmass der anorganischen Bodenbelastung mit prioritären Schadstoffen in der Schweiz mit 300'000 ha als mässig und 10'000 ha als hoch belastet (DESAULES, A. 1998a und 1998b).

Um ein genaueres Bild über den landesweiten Belastungsgrad verschiedener Belastungs- und Landnutzungstypen zu erhalten, wurden stratifizierte Häufigkeitsstatistiken durchgeführt und daraus für einige Schadstoffe Orientierungswerte abgeleitet (KELLER, TH. & DESAULES, A. 2001a). Die Orientierungswerte grenzen „normale“ von abnormal hohen Schadstoffgehalten bestimmter Datenkollektive ab. Die Auswertung beruht auf 330'000 Analysenwerten der Periode 1990 - 96 von 13'650 Standorten, die von 31 verschiedenen Institutionen zur Verfügung gestellt wurden. In Fig. 2 sind auszugsweise Ergebnisse für Kupfer dargestellt.

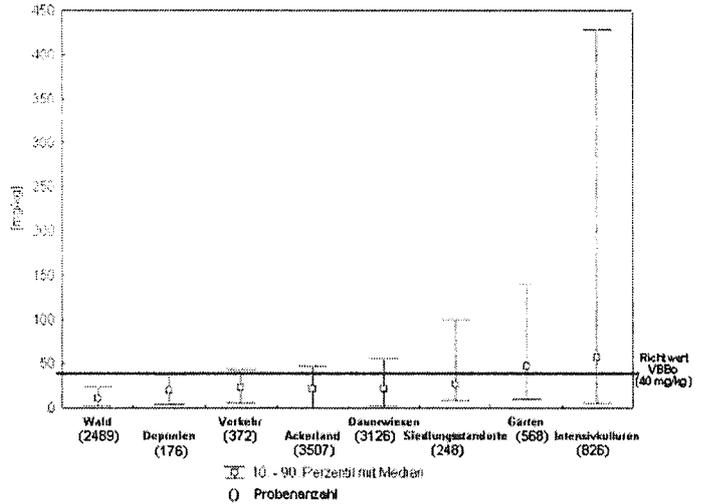


Fig. 2: Stratifizierung von Kupfergehalten im Oberboden (0-20 cm) nach Belastungs- und Landnutzungstypen (zusammengestellt aus KELLER & DESAULES 2001a)

Einen direkten Raumbezug weisen landesweit erstmals die „Kartiergrundlagen zur Bestimmung der Bodenempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen der Schweiz“ auf (KELLER, TH. & DESAULES, A. 2001b). Dazu wurden die Legenden-Einheiten der Bodeneignungskarte der Schweiz 1 : 200'000 (EJPD et al. 1980) mit Angaben über pH, Humus- und Tongehalt erweitert, um die relativen Bindungsstärken gegenüber acht Schwermetallen und Fluorid zu berechnen und mit Hilfe eines GIS räumlich darzustellen. In einem weiteren Schritt wurden die entsprechenden gesteinsbedingten Grundgehalte grob kartiert. Durch die Verschneidung dieser beiden Kartierungen resultierten flächendeckende Aussagen der Basisempfindlichkeit gegenüber Schadstoffeinträgen, wie das Kartenschichtmodell in Fig. 3 (Ebene 3) darstellt.

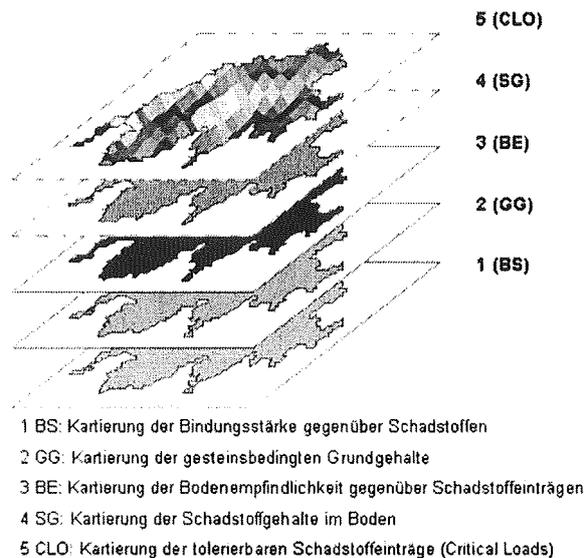


Fig. 3: Kartenschichtmodell zur Bestimmung der Bodenempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen

Da derzeit noch keine landesweite Kartierung der tatsächlichen Schadstoffgehalte in Böden der Schweiz vorliegt (Ebene 4), musste in erster Näherung vorläufig auf die Kartierung der Basisempfindlichkeit zurückgegriffen werden, welche auf gesteinsbedingten Grundgehalten beruht.

3 Laufende und geplante Beiträge

Um beim chemischen Bodenschutz - der eine raumbezogene Aufgabe ist - weiter zu kommen, ist eine flächenhafte Kartierung der tatsächlichen Schadstoffgehalte unumgänglich, wie aus Fig. 3 (Ebene 4) hervorgeht. Die vorliegenden Schadstoffdaten der allerdings sehr unregelmässig über die Schweiz verteilten 13'650 Standorte (durchschnittlich 1 Standort auf 225 ha gewachsenen Boden) bieten durch die Vorgaben der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo 1998) eine hohe Vergleichbarkeit hinsichtlich Probenahme und Analytik der Bodenproben. Die Qualität der Analysenwerte untereinander wird zudem jährlich durch ein Ringanalysenprogramm dokumentiert (DESAULES, A. & STUDER, K. 2002), welches die aus 31 verschiedenen Laboratorien stammenden Daten zu über 90 % erfasst (KELLER, TH. & DESAULES, A. 2001a).

Für eine landesweite Schadstoffkartierung sollten diese Daten verfügbar gemacht und ergänzt werden. Seit 2002 läuft mit diesem Ziel eine Machbarkeitsstudie für eine nationale Bodenschadstoff-Datenbank mit GIS-Koppelung (NABODAT / NABOGIS), die auch folgenden weiteren Zwecken dienen soll:

- Der Erhebung, Verwaltung, Weiterbearbeitung und Bereitstellung aller verfügbaren Bodenschadstoffdaten und des darin gespeicherten Fachwissens. Dadurch lässt sich die Koordination der Daten zwischen allen beteiligten Partnern besser organisieren.
- Der Beurteilung chemischer Belastungssituationen auf Grundlage abgeleiteter aktueller landesweiter Referenzwerte.
- Der Priorisierung, Planung und Erfolgskontrolle von Bodenschutzmassnahmen.
- Als Input für Bodeninformationssysteme und Umweltdatenbanken u.a. in Hinblick auf flächige Aussagen.
- Als Beitrag für Umweltberichterstattung und Boden-Wissensmanagement auf nationaler und internationaler Ebene.

Die gegenwärtigen Vorstellungen zur Einordnung von NABODAT / NABOGIS in den Bereich der Boden- und Umweltdatenbanken zeigt Fig. 4.

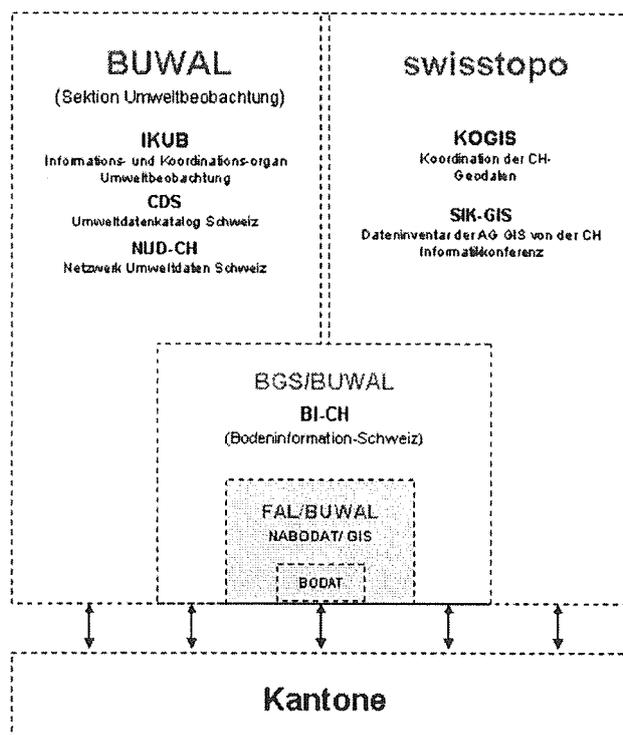


Fig. 4: Vorstellungen zu Einordnung und Schnittstellen einer nationalen Bodenschadstoff-Datenbank mit GIS-Koppelung (NABODAT / NABOGIS)

Inwiefern eine Kartierung der tolerierbaren Schadstoffeinträge (Critical Loads) (Fig. 3, Ebene 5) auch im Landwirtschaftsgebiet möglich sein wird, ist noch offen. Eine Voraussetzung dazu sind standortbezogene Qualitätsziele wie wirkungsorientierte kritische Grenzgehalte (Critical Limits).

4 Datenbedarf

Ausser den erwähnten Critical Limits, welche durch die internationale Forschungsgemeinschaft bearbeitet werden, braucht es für die Schweiz eigene zweckmässige räumliche Extrapolationsgrundlagen bzw. Bodenkarten. Als Mindestanforderungen für den landesweiten und regionalen chemischen Bodenschutz sind flächendeckende (Konzept-)Bodenkarten im mittleren Massstab (1 : 50'000) mit Informationen zu Bodenmächtigkeit, Hydromorphie, Bodenreaktion (pH), Humusgehalt und Körnung notwendig.

Literatur

- BFS (2001): Arealstatistik 1992/97: Vereinfachte Bodennutzung der Schweiz. Bundesamt für Statistik, Neuchâtel. www.statistik.admin.ch
- BUWAL (1992): Bodenverschmutzung durch den Strassen- und Schienenverkehr in der Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.). Schriftenreihe Umwelt Nr. 185. 144 S. (Auch als Schlussbericht des Forschungsauftrags Nr. 57/90 beim Bundesamt für Strassenbau veröffentlicht).
- BUWAL (1993): NABO - Nationales Bodenbeobachtungsnetz: Messresultate 1985-1991. Schriftenreihe Umwelt Nr. 200. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), CH-3003 Bern. 134 S., Anhänge 175 S.
- DESAULES, A., 1998a: Vorbeugen ist billiger als sanieren. UMWELTSCHUTZ 2/98: 4-6. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), 3003 Bern.
- DESAULES, A. (1998b): Erfassen der Bodenbelastung durch den Bund - die Nationale Bodenbeobachtung (NABO). Informationshefte Raumplanung 4/98: 8.
- DESAULES, A. & DAHINDEN, R. (1996): Schadstoffgehalte von Böden in der Schweiz - Schlüssel zur Identifikation gesteinsbedingter Richtwertüberschreitungen. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern. 26 S.
- DESAULES, A. & DAHINDEN, R. (2000): Nationales Boden-Beobachtungsnetz - Veränderungen von Schadstoffgehalten nach 5 und 10 Jahren. Schriftenreihe Umwelt Nr. 320, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), 3003 Bern. 129 S.
- DESAULES, A. & STUDER, K. (2002): VBBo-Ringanalysen 2001. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (Hrsg.), CH-8046 Zürich-Reckenholz. 73 S.
- EJPD, EVD, EDI (1980): Bodeneignungskarte der Schweiz 1:200'000. Grundlagen für die Raumplanung. EDMZ, Bern.
- KELLER, TH. & DESAULES, A. (1997): Flächenbezogene Bodenbelastung mit Schwermetallen durch Klärschlamm. Schriftenreihe der FAL 23. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich-Reckenholz mit Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (Hrsg.), CH-3003 Bern. 82 S.
- KELLER, TH. & DESAULES, A. (2001a): Böden der Schweiz - Schadstoffgehalte und Orientierungswerte (1990-1996). Umwelt-Materialien Nr. 139. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), CH-3003 Bern. 115 S.
- KELLER, TH. & DESAULES, A. (2001b): Kartiergrundlagen zur Bestimmung der Bodenempfindlichkeit gegenüber anorganischen Schadstoffeinträgen in der Schweiz. Nationale Bodenbeobachtung (NABO). Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), CH-8046 Zürich. 81 S. davon 27 Farbkarten.
- STUDER, K., GSPONER, R. & DESAULES, A. (1995): Erfassung und Ausmass der flächenhaften Kupferbelastung in Rebbergböden der Schweiz. Schriftenreihe der FAC-Liebefeld Nr. 20. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (Hrsg.), 3097 Liebefeld. 44 S.
- TUCHSCHMID, M.P. (1995): Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluorgehalten bodenbildender Gesteine der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt-Materialien Nr. 32. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.), 3003 Bern. 130 S.
- VBBo (1998): Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBo). SR 814.12

Umweltbeobachtung: Netzwerk Umweltdaten Schweiz NUD-CH

Brigitte A. Reutter & Markus Wüest

BUWAL, Abteilung Ökonomie, Forschung und Umweltbeobachtung, CH-3003 Bern

Zusammenfassung

Das Projekt Netzwerk Umweltdaten Schweiz (NUD-CH) ist gegenwärtig das strategische Führungsprojekt im Aufbau eines schweizerischen Umweltbeobachtungssystems. Es erfüllt die Absicht, die nötige Reform der Umweltbeobachtung in enger Abstimmung mit den kantonalen Fachstellen zu planen.

Abstract

NUD-CH (Swiss environmental data network) is currently the key strategic project in the development of a Swiss environmental monitoring system. The aim of the project is to plan the required reform of environmental monitoring, liaising closely with the competent cantonal agencies.

Keywords: Environmental Monitoring, environmental data network, Switzerland

Worum geht es?

Die Organisation der Umweltbeobachtung in der Schweiz vermag den Anforderungen nicht mehr zu genügen.

Zur Erfüllung seines Auftrags ist das BUWAL in starkem Masse auf Daten und Informationen aus der Umweltbeobachtung der Kantone angewiesen. Die verstärkte Einbindung in internationale Gremien (EUA, UNEP, OECD etc.), die Verpflichtungen im Rahmen grenzüberschreitender Abkommen und die Neuerungen in der Schweizerischen Umweltschutzgesetzgebung haben die Leistungsanforderungen an die Umweltbeobachtung verändert.

Aus den erhobenen Daten wird heute zu wenig (Kunden-) Nutzen produziert.

Mit diesem Projekt will man die Schnittstellen zwischen Bund und Kantonen im Bereich der Umweltbeobachtung transparenter gestalten. Ziel ist, dass Aktivitäten zur Erhebung, zur Auswertung und zur Nutzung von Umweltdaten langfristig und koordiniert geplant werden können.

Der rasche Zugang zu Fachpersonen ist eine wichtige Voraussetzung, damit den zunehmenden Anforderungen der nationalen und internationalen Umweltpolitik entsprochen werden kann (z. B. EUA-Beitritt). Auch die zunehmenden Bedürfnisse der Öffentlichkeit nach aktuellen und spezifischen Informationen über den Umweltzustand können auf dieser Basis besser befriedigt werden (z.B. Aarhus-Konvention).

Der Kostendruck erfordert eine Effizienzsteigerung der Umweltbeobachtung.

Ein Gesamtüberblick über Umweltdaten ermöglicht den für die Umweltbeobachtung verantwortli-

chen Akteuren bei Bund und Kantonen das Erkennen von Lücken und Doppelspurigkeiten und ist notwendig für den gewünschten Aufbau eines koordinierten Umweltbeobachtungssystems.

Auf dieser Basis soll den zunehmenden Bedürfnissen nach spezifischen Umweltinformationen seitens der internationalen Umweltpolitik und der Bevölkerung zielorientiert und kostengerecht entsprochen werden können.

Auftrag

Das BUWAL und die Konferenz der Vorsteher der kantonalen Umweltschutzamtsstellen (KVU) haben die Probleme erkannt. Sie möchten die fehlende Transparenz beseitigen und die Zusammenarbeit im Bereich der Umweltbeobachtung langfristig planen.

An der KVU-Tagung vom 6. November 2001 wurde das Projekt NUD-CH verabschiedet und der Auftrag erteilt, die Erhebung, Haltung/Verarbeitung und Verbreitung von Umweltdaten und Umweltinformationen zwischen dem BUWAL und den kantonalen Umweltschutzamtsstellen zu koordinieren. Das Projekt wurde später auf die Bereiche N+L und Forstwirtschaft ausgedehnt.

Projektorganisation

Das Projekt setzt sich aus den Auftraggebern (BUWAL und KVU), einer Projektoberleitung (6 Personen) und dem Projektteam (12 Personen) zusammen (Abb. 1). Das Sekretariat wird vom BUWAL geführt.

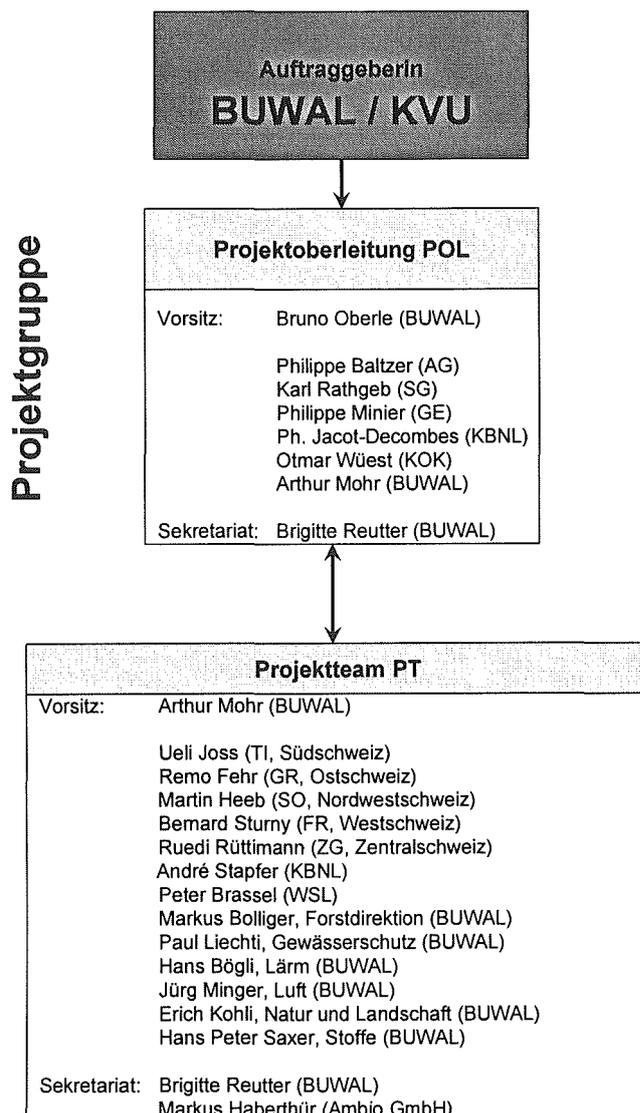


Abbildung 1: Organigramm NUD-CH

Ziele

Was soll mit Hilfe der erhobenen Daten ausgesagt bzw. geprüft werden?

Die Beantwortung dieser Frage ist grundlegend für die Beantwortung der nachfolgenden Fragen.

Welche Sachverhalte (Parameter) sollen gemessen werden?

Die Sachverhalte, die bei gegebenem Ziel und Zweck der Umweltbeobachtung gemessen werden können, sind nahezu grenzenlos. Die Eingrenzung ist Voraussetzung für eine wirksame und effiziente Umweltbeobachtung.

Wie soll die Datenerhebung koordiniert werden?
Wie soll die Datenhaltung organisiert werden?
Wer soll Zugang zu den erhobenen Daten haben?

Eine optimale Koordination vermeidet Friktionsflächen und schont personelle und finanzielle Ressourcen. Eine geeignete Datenhaltung ist Voraussetzung dafür, dass die erhobenen Daten gemäss Ziel und Zweck der Umweltbeobachtung eingesetzt werden können. Ein seriöses Datenmanagement setzt voraus, dass die Frage des Zugangs zu den erhobenen Daten eindeutig geklärt ist.

Auskunft zum NUD-CH

Brigitte Reutter (brigitte.reutter@buwal.admin.ch),
Markus Wüest (markus.wuest@buwal.admin.ch),
Sektion Umweltbeobachtung, Abteilung Ökonomie, Forschung und Umweltbeobachtung,
BUWAL, 3003 Bern.

Bodenversauerung in Waldbeobachtungsflächen der Schweiz

Sabine Braun und Walter Flückiger

Institut für Angewandte Pflanzenbiologie, 4124 Schönenbuch

Zusammenfassung

Bodenwassersammler in Schweizer Walddauerbeobachtungsflächen zeigen eine deutliche Boderversauerung im Laufe der letzten sechs Jahre. Das Verhältnis zwischen den basischen Kationen Ca, Mg und K zu Aluminium in der Bodenlösung hat in 15 von 18 Beobachtungsflächen in mindestens einer der untersuchten Bodentiefen signifikant abgenommen. Der Eintrag von anthropogenen Stickstoffverbindungen ist hauptsächlich für diese Veränderungen verantwortlich.

Summary: Soil acidification in permanent forest observation plots in Switzerland

Soil water samplers installed in permanent forest observation plots in Switzerland reveal a clear soil acidification during the course of the last six years. The ratio between base cations (Ca, Mg, K) and aluminium has decreased significantly in 15 of 18 observation plots at least in one soil layer. The anthropogenic deposition of nitrogen is primarily responsible for these changes.

Résumé: Acidification du sol dans des placettes d'observation dans la forêt Suisse

Des collecteurs d'eau du sol ont été installés dans des placettes d'observation permanentes dans la forêt Suisse. Ils montrent une nette acidification pendant les dernières six années. La relation entre les cations basiques Ca, Mg, K et l'aluminium a diminué de façon significative dans 15 des 18 placettes au minimum dans une couche. Les dépôts d'azote sont surtout responsables de ces changements.

Keywords: soil acidification, BC/Al ratio, nitrogen deposition

1. Einleitung

Modellrechnungen zeigen, dass ein erheblicher Teil der Schweizer Waldböden durch Versauerung bedroht sind (KURZ et al. 1998). Dafür verantwortlich sind zu 70% N-Verbindungen wie NO_3^- , NH_4^+ , NH_3 und HNO_3 (RIHM 1994). Als Mass für die Bodenversauerung gilt das molare Verhältnis zwischen den basischen Kationen Ca, Mg und K einerseits und Aluminium andererseits (BC/Al-Verhältnis) in der Bodenlösung. Sinkt es unter den Wert von 1, muss mit Wachstumsreduktionen gerechnet werden (SVERDRUP und WARFVINGE 1993). Dieser Wert ist die Basis für die Festlegung des Critical Loads für Säure (UBA 1996). In stark sauren Böden kann zudem die Tiefenverwurzelung von Waldbäumen eingeschränkt sein (PUHE 1994; JENTSCHKE et al. 2001). Die zeitliche Entwicklung des BC/Al-Verhältnisses lässt sich mit Sauglysimetern überwachen. Damit wiesen BLASER et al. (1999) im Tessin innerhalb von 10 Jahren eine messbare Versauerung nach.

2. Material und Methoden

In 18 Waldflächen (Tab. 1) wurden keramische Sauglysimeter installiert, meist in mehreren Bodentiefen im Wurzelraum und unterhalb des Wurzelraums. Nach einer Einlaufzeit von mindestens 6 Monaten wurden monatlich Proben gesammelt und pro Standort horizontweise gemischt. Eine allfällige Veränderung der Bodenlösung durch die Keramikkerzen (RASMUSSEN et al. 1986) wurde durch die parallele Installation von Teflon-Lysimetern (Prenart Equipment, Dänemark) in einer Fläche überprüft; es wurden keine Hinweise auf eine Freisetzung von Aluminium oder basischen Kationen durch die Keramik gefunden. Die Flächen MO, BR, GB, AI, FR, AU, WA, LU, ZB, MU, BA und RA werden seit Herbst 1997 beprobt, ZBB, MUB, LUB und SA seit Herbst 1999. Bei den Flächen MUF und RAF handelt es sich um Ersatzflächen für die durch den Lothar zerstörten Beobachtungsflächen MU und RA, die somit erst 2000 eingerichtet wurden.

pH-Wert und Leitfähigkeit wurden nach dem Mischen der Proben bestimmt. Die Proben wurden

bis zur Analyse tiefgefroren aufbewahrt, wobei der für die Kationenanalyse bestimmte Teil vorher angesäuert wurde. Die Analyse von Ca, Mg und Al erfolgte mittels Atomabsorption, von K flammenfotometrisch. Die Anionen NO_3^- , SO_4^{2-} und Cl

wurden mit Ionenchromatographie analysiert. Die Qualitätskontrolle erfolgte durch Berechnung der Leitfähigkeit, der Ionenbilanz und durch die Analyse von Referenzproben.

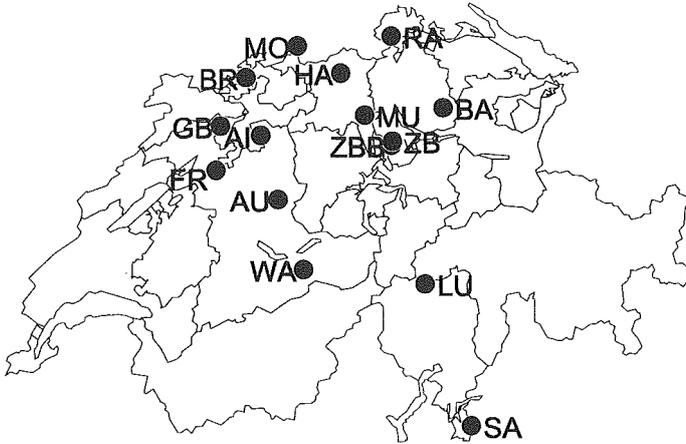


Abb. 1: Lage der Beobachtungsflächen mit Sauglysimetern.

Tab. 1: Standortseigenschaften der untersuchten Waldbeobachtungsflächen (NS: Niederschlag in mm)

Standort	Abk.	Höhe ü.M.	NS	Baumarten	Bodentyp	Geologie
Aeschi	AI	510	1142	Fi Bu	Parabraunerde	Pleistozäne Grundmoräne
Aeschau	AU	940	1487	Ta Fi (Bu)	Regosol-Braun., l. pods.	Molasse
Bachtel	BA	1030	1873	Fi	Parabraunerde	Obere Süswassermolasse
Brislach	BR	435	1094	Fi	Pseudovergl. Parabraun.	Lösslehm
Frienisberg	FR	725	1307	Fi Bu	Braunerde	Moräne
Grenchenberg	GB	1220	1783	Fi Bu	Braunerde	Malm
Lurengo	LU	1620	2021	Auff.	Podsol-Braunerde	Hanglehm
Lurengo	LUB	1620	2021	Fi Lä	Podsol-Braunerde	Hanglehm
Möhlin	MO	290	1058	Fi	Parabraunerde	Lösslehm üb. Flussschotter
Muri	MU	490	1225	Fi (Sturm)	Parabraunerde	Seitenmoräne
Muri	MUB	490	1225	Bu	Parabraunerde	Seitenmoräne
Muri	MUF	490	1225	Fi	Parabraunerde	Seitenmoräne
Rafz	RA	530	1077	Fi (Sturm)	Parabraunerde-Pseudogl.	Riss-Moräne
Rafz	RAF	530	1077	Fi	Parabraunerde-Pseudogl.	Riss.Moräne
Sagno	SA	770	2153	Fi	Braunerde	Lias-Kalk
Wengernalp	WA	1870	1970	Fi	Podsol-Braunerde	Hanglehm
Zugerberg	ZB	980	1810	Auff.	Braunerde	Hanglehm
Zugerberg	ZBB	980	1810	Fi, Bu	Braunerde	Moräne

3. Ergebnisse

Das molare Verhältnis zwischen basischen Kationen (Ca+Mg+K) und Aluminium nahm in der Beobachtungsperiode in den meisten Flächen deutlich ab. Häufig ist eine lineare Beziehung zwischen dem logarithmierten BC/Al-Verhältnis und der Zeit festzustellen, in einigen Fällen hat sich die Abnahme in den letzten beiden Jahren auch verlangsamt. In 15 von 18 Flächen ist die Abnahme in mindestens einem Horizont signifikant (Abb. 2). Die Abnahme ist im Oberboden meist stärker als im Unterboden. Sie ist auch auf

Flächen zu beobachten, bei denen im Unterboden freier Kalk nachzuweisen ist (z.B. BA, BR, WA). Die kritische Limite von eins wird in drei Flächen bereits unterschritten. Dass die N-Verbindungen bei der Versauerung eine wichtige Rolle spielen, zeigt auch die hohe Auswaschung von Nitrat in den meisten Flächen (Abb. 3). Zudem beschleunigte eine Stickstoffdüngung mit Ammoniumnitrat in der Fläche ZB (Zugerberg) die Abnahme des BC/Al-Verhältnisses markant (Abb. 4).

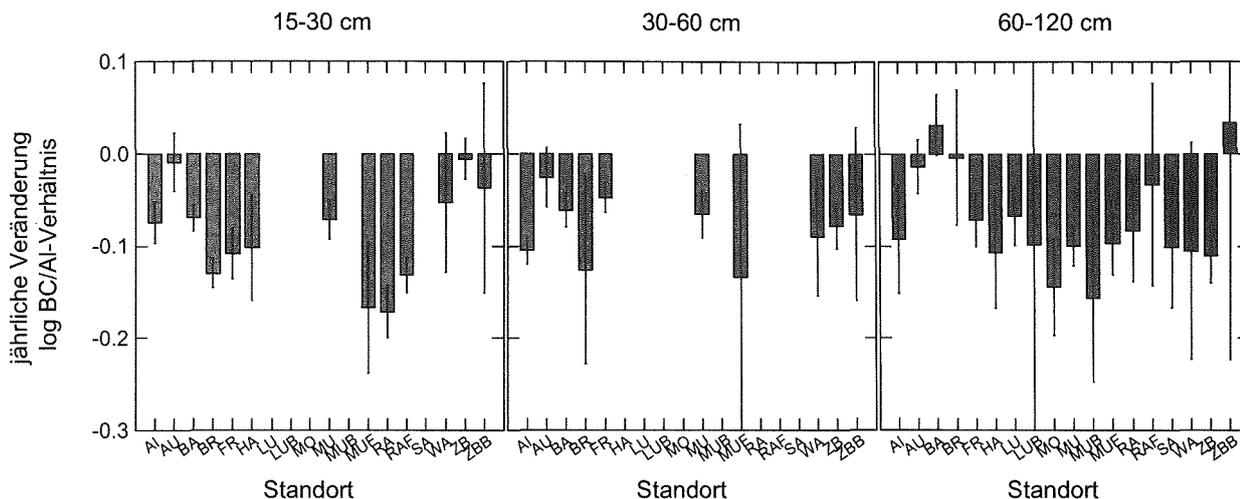


Abb. 2: Jährliche Veränderung des logarithmierten Verhältnisses zwischen basischen Kationen und Aluminium (ohne die Kalkfläche Grenchenberg) zwischen 1997 und 2003 in verschiedenen Bodentiefen, berechnet mit einer robusten Regression gegen die Zeit (SPLUS, MMRReg). Signifikante Veränderungen sind dadurch gekennzeichnet, dass die Balken (95%-Vertrauensbereich) nicht durch Null gehen. Eine Veränderung von -0.1 bedeutet eine jährliche Abnahme um 20%, eine Veränderung von -0.2 um 37% und eine Veränderung von -0.3 um 50%.

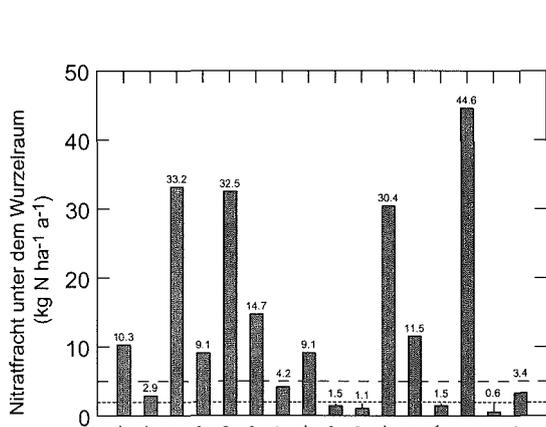


Abb. 3: Nitratwaschung (Nitratkonzentration in der größten Bodentiefe mal Sickerwasserfracht). Mittelwert der Jahre 1999 bis 2003.

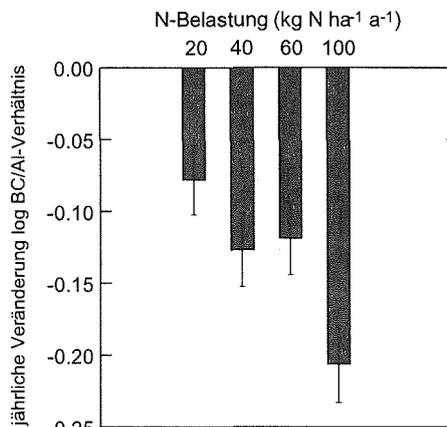


Abb. 4: Jährliche Veränderung des logarithmierten BC/Al-Verhältnisses (berechnet wie in Abb. 2) in der Stickstoffversuchsfäche Zugerberg in 50 cm Tiefe in Beziehung zur Stickstoffbelastung (Düngung plus 20 kg N ha⁻¹ a⁻¹ atmosphärische Deposition).

Nachstehend sind zwei Fallbeispiele dargestellt. In Muri (Abb. 5) ist die Veränderung des BC/Al-Verhältnisses vor allem auf eine Reduktion der basischen Kationen zurückzuführen. Nach 2001 verlangsamt sich die Abnahme des BC/Al-Verhältnisses, vor allem in 50 cm Tiefe. In Aeschi

(Abb. 6) ging die Konzentration der basischen Kationen anfänglich auch zurück, aber im Laufe der letzten zwei Jahre stieg Aluminium an. Gleichzeitig erfolgte eine vermehrte Freisetzung von basischen Kationen.

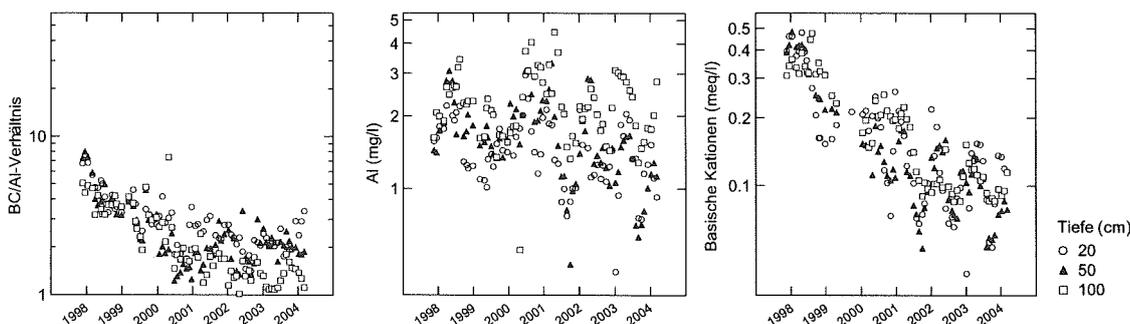


Abb. 5: Zeitliche Entwicklung (von links nach rechts) des BC/Al-Verhältnisses (log-Skala), der Aluminiumkonzentration und der Konzentration von basischen Kationen in der Bodenlösung der Fläche Muri zwischen 1997 und 2004. Der Fichtenbestand wurde durch Lothar vollständig zerstört, was aber in den bodenchemischen Parametern nicht zum Ausdruck kommt.

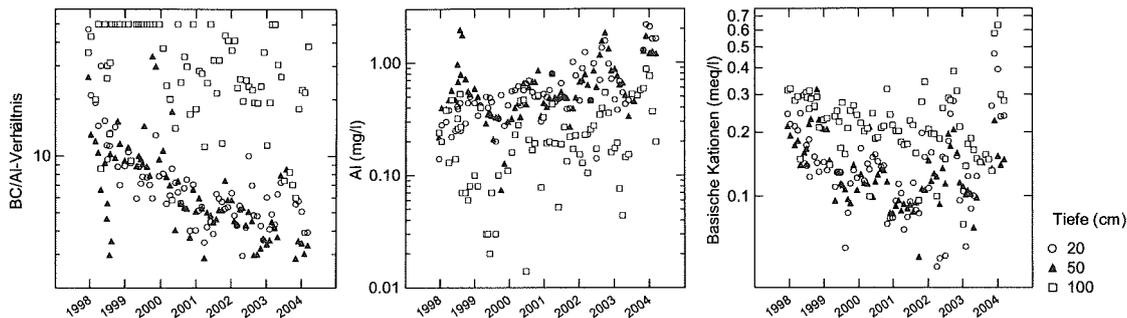


Abb. 6: Zeitliche Entwicklung (von links nach rechts) des BC/Al-Verhältnisses (log-Skala), der Aluminiumkonzentration und der Konzentration von basischen Kationen in der Bodenlösung der Fläche Aeschi zwischen 1997 und 2004.

4. Diskussion

Die Ergebnisse bestätigen die Schlussfolgerung der Modellrechnungen, dass der Critical Load für Säure in weiten Teilen der Schweiz überschritten ist (KURZ et al. 1998). An den untersuchten Standorten angewandte Berechnungen mit dynamischen Bodenversauerungsmodellen (SVERDRUP et al. 1995) sagen eine Abnahme des

BC/Al-Verhältnisses in einer ähnlichen Grössenordnung voraus. Die Berechnungen zeigen auch, dass die Versauerung vornehmlich auf anthropogene Einträge zurückgeführt werden muss. Eine Reduktion der Stickstoffdeposition ist dringend erforderlich, wenn die Waldböden in der Schweiz ihre Fruchtbarkeit erhalten sollen.

5. Verdankung

Die vorliegende Untersuchung wurde durch das BUWAL sowie durch die Forstämter der Kantone AG, BE, BL, BS, SO, ZG und ZH finanziert. Wir danken Beat Achermann, Heinz Balsiger, Jürg Froelicher, Dr. Heinz Kasper, Ueli Meier, Alain Morier, Dr. Richard Volz und Dr. Martin Winkler für ihr Interesse und ihre Unterstützung.

6. Literatur

- BLASER, P., ZYSSET, M., ZIMMERMANN, S., und LUSTER, J. (1999): Soil acidification in southern Switzerland between 1987 and 1997: A case study based on the critical load concept. *Environ.Sci.& Technol.* 33, 2383-2389.
- JENTSCHKE, G., DREXHAGE, M., FRITZ, H.-W., FRITZ, E., SCHELLA, B., LEE, D.-H., GRUBER, F., HEIMANN, J., KUHR, M., SCHMIDT, J., SCHMIDT, S., ZIMMERMANN, R., und GODBOLD, D. L. (2001): Does soil acidity reduce subsoil rooting in Norway spruce (*Picea abies*)? *Plant and Soil* 237, 91-108.
- KURZ, D., RIHM, B., SVERDRUP, H., und WARFVINGE, P. (1998): Critical loads of acidity for forest soils. 88, 102pp., Bern.
- PUHE, J. (1994): Die Wurzelentwicklung der Fichte (*Picea abies* (L.) Karst.) bei unterschiedlichen chemischen Bodenbedingungen. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme Reihe A 108, 128pp., Göttingen.
- RASMUSSEN, L., JØRGENSEN, P., und KRUSE, S. (1986): *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 36, 563.
- RIHM, B. (1994): Critical load of acidity for forest soils and alpine lakes. BUWAL Schriftenreihe Umwelt 234, 1-68.
- SVERDRUP, H. und WARFVINGE, P. (1993): The effect of soil acidification on the growth of trees, grass and herbs as expressed by the (Ca+Mg+K)/Al ratio. Lund University, Department of Chemical Engineering II., Reports in ecology and environmental engineering. 2:1993, 1-108.
- SVERDRUP, H., WARFVINGE, P., BLAKE, L., und GOULDING, K. (1995): Modeling recent and historic soil data from the Rothamsted Experimental Station, England using SAFE. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 53, 161-177.
- UBA (1996): Manual on Methodologies and Criteria for Mapping Critical Levels/Loads and geographical areas where they are exceeded. UBA-Texte 71/96,

Importance de la détermination du fond pédogéochimique pour évaluer la pollution des sols par des métaux. L'exemple du site de Dornach

Denis Baize

INRA, Unité de Science du Sol, BP 20619, 45166 Olivet Cedex, France

Thibault Sterckeman

ENSAIA - INRA, Sols et Environnement, BP 172, 54505 Vandoeuvre-les-Nancy Cedex.

Résumé :

Les enjeux juridiques, économiques et sociaux liés aux résultats de l'évaluation de la pollution des sols dans une zone densément peuplée sont importants. Cet article présente la stratégie utilisée pour échantillonner et pour interpréter les résultats. Il insiste sur la nécessité de déterminer le fond pédogéochimique naturel pour pouvoir évaluer précisément le niveau de contamination des sols par des métaux dont les concentrations critiques peuvent n'être que de quelques mg/kg.

Le site étudié, situé à proximité de Bâle, était réputé pollué par une industrie métallurgique toute proche. La démarche a permis de mettre en évidence des faits ignorés au départ : un niveau exceptionnellement élevé des concentrations naturelles en Zn et Cd et une grande variabilité à courte distance dont l'usine n'était nullement responsable.

L'interprétation des données a été facilitée par une connaissance régionale préalable à l'établissement de la stratégie d'échantillonnage. Enfin, la démarche n'aurait pu être appliquée sans une compétence en pédologie, nécessaire lorsqu'il s'agit d'évaluer ainsi la qualité des sols en milieu rural.

Abstract: Of the necessity of the natural pedo-geochemical background determination in the evaluation of soil contamination by trace metals. The example of Dornach.

When the assessment of soil pollution has to be made in a densely inhabited area, there are major legal, economical and social stakes. This paper presents the strategy used for sampling and interpreting results. It emphasizes the necessity of determining the natural pedo-geochemical concentrations in order to assess the level of contamination by trace metals. The studied site, located close to Basel, was said to be polluted by an industrial plant. The approach allowed us to point out two facts ignored before: the existence of extremely high natural concentrations in Zn and Cd and a wide variability at short distances. The data interpretation was made easier thanks to the previous regional knowledge before establishing the sampling strategy. Finally, the approach could not be implemented without good abilities in pedology, absolutely essential when the soil quality has to be assessed in such a rural context.

Key words: trace metals, pollution, pedo-geochemical concentrations, Swiss Jura.

I. Introduction

La Commission des Communautés Européennes a organisé en 1997 et 1998 un programme intitulé "Évaluation comparative des méthodes européennes d'échantillonnage et de préparation des échantillons de sol (CEEM-Soil)". Son but était "de comparer les résultats de différentes stratégies ou procédures d'échantillonnage habituellement utilisées dans l'Union Européenne pour les études sur le fond géochimique ou la contamination des sols à grande échelle". Quatorze équipes de différents pays européens ont participé à ce programme.

En France, il n'y a pas de texte normalisant la stratégie et le mode opératoire à mettre en œuvre pour évaluer la pollution d'un sol. L'équipe française a donc appliqué, dans les limites imposées par le programme, une méthode mise au point par BAIZE (1997) qui est bien adaptée aux sols agricoles et forestiers des zones rurales. Elle repose sur une stratification pédologique du milieu et sur la détermination préalable des fonds pédogéochimiques naturels, c'est-à-dire des concentrations en tel ou tel élément trace métallique (ETM) dans les horizons des sols en dehors de toute contamination humaine.

A cause d'un manque de place, ne seront présentés ici que les résultats principaux. Ainsi, il

sera très peu fait mention du plomb. Le lecteur intéressé trouvera les détails de la démarche et l'ensemble des résultats de cette étude au chapitre 13 d'un ouvrage récemment paru consacré à l'étude des éléments traces dans les sols (STERCKEMAN et BAIZE, 2002).

2. Le site étudié

Le site choisi pour confronter les méthodes d'échantillonnage se trouve à Dornach (Suisse), à moins de 10 km du centre de Bâle. La zone est réputée polluée depuis 1895 par les retombées atmosphériques de poussières émises par une usine de recyclage de métaux non ferreux située à 1 km au NW du site. En 1982-1983, les résultats des mesures de dépôts atmosphériques en "métaux lourds" dépassaient nettement les seuils réglementaires.

Le site est à environ 400 m d'altitude sur un versant orienté au NW d'un relief jurassien. La carte géologique indique un substratum de calcaires jurassiques, couverts par des matériaux éoliens allochtones plus ou moins épais.

Le site mesure 180 m de long et 40 m de large au maximum et son axe principal est parallèle à la plus grande pente ; sa surface est de 0,61 ha, avec trois modes d'utilisation du sol. Le tiers supérieur du site est occupé par une forêt de feuillus. La partie médiane est labourée, tandis

que le tiers inférieur est désormais en prairie permanente. Quatre fosses pédologiques creusées au préalable étaient disponibles pour l'observation des sols et un éventuel échantillonnage. Une contrainte majeure nous a été imposée par le programme : ne pas analyser plus de 15 échantillons (simples ou composites).

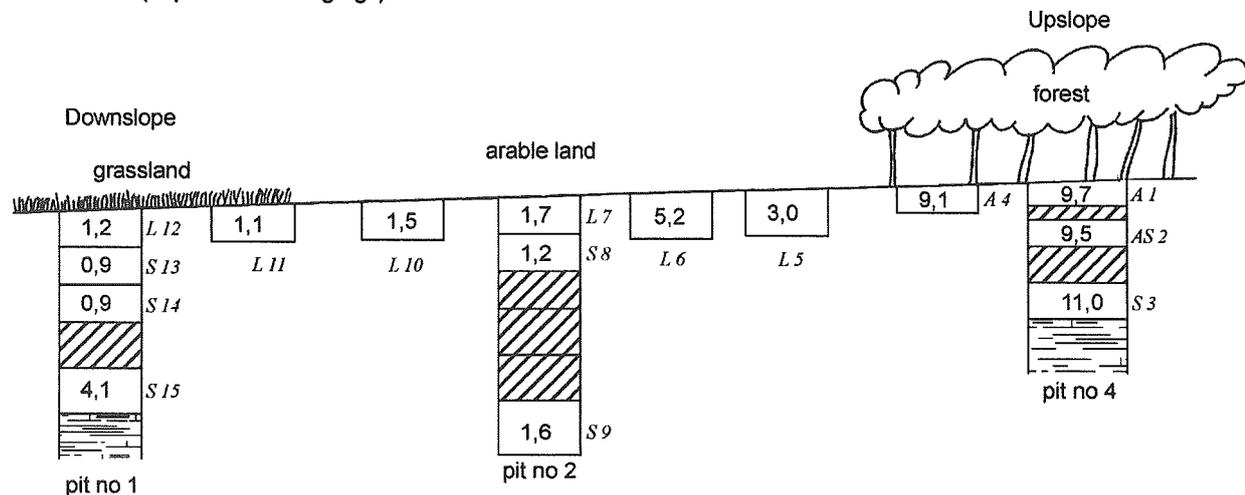
3. Méthodologie

3.1. Stratégie d'échantillonnage

L'échantillonnage a été organisé de manière à répondre au mieux aux questions suivantes : i) Quelles sont les concentrations naturelles des sols sur ce site (fonds pédogéochimiques locaux) ? ii) Quels sont les niveaux de contamination des sols en Cd, Cu, Pb et Zn ? iii) Quelle est la profondeur atteinte par la pollution liée aux retombées atmosphériques ? iv) Comment se répartit la pollution le long du grand axe de l'aire étudiée ?

Quinze échantillons au maximum pouvant être analysés, la dimension longitudinale a été privilégiée aux dépens de la dimension latérale. Les échantillons ont été pris en respectant les horizons pédologiques et de façon à produire une image en deux dimensions (longueur et profondeur), sorte de toposéquence des teneurs en métaux (figure 1).

Figure 1 : Présentation toposéquentielle des teneurs en cadmium sur le site de Dornach (exprimées en mg kg^{-1}).



3.2. Échantillonnage - Paramètres mesurés

Trois fosses préexistantes ont été utilisées pour prélever 3, 3 et 4 horizons respectivement, en particulier les horizons profonds proches de la roche dure sous-jacente (figure 1). Cinq horizons de surface supplémentaires ont été échantillonnés dont quatre dans les parcelles

labourées (L5, L6, L10, L11) et un sous forêt (A4). Sous forêt, les litières n'ont pas été prélevées. Les horizons ont été désignés selon le Référentiel Pédologique. Les horizons A sont des horizons humifères de surface de sols forestiers. Ils présentent une structure d'origine biologique (action de la faune et des racines). Les horizons S ("structuraux") sont des horizons non situés en surface et en général peu

humifères, dans lesquels seuls les processus d'altération pédogénétiques s'expriment. Les horizons L ("labourés") sont des horizons humifères de surface, fréquemment remaniés par les pratiques agricoles.

Nous avons donc disposé de 8 horizons humifères de surface (codés A1, A4, L5, L6, L7, L10, L11, L12) et 6 de profondeur avec des faibles teneurs en carbone (codés S3, S8, S9, S13, S14, S15). AS2, non situé en surface, est un cas intermédiaire.

Sur les 15 échantillons, ont été déterminés la granulométrie, le pH et la capacité d'échange cationique (CEC), les teneurs en carbone organique et les teneurs totales en Fe, Cd, Cu, Pb et Zn (dosage après mise en solution par l'acide fluorhydrique et l'acide perchlorique). Toutes les analyses ont été réalisées au Laboratoire d'Analyses des Sols de l'INRA d'Arras selon des méthodes normalisées et un contrôle strict de leur qualité (tableau 1).

3.3. Méthode d'interprétation des résultats

Pour juger les concentrations mesurées sur le

site, on les a d'abord comparées à des teneurs obtenues dans le Jura sur des sols non contaminés (BAIZE et al., 1999 ; ATTEIA et al., 1995 ; GENOLET et DUBOIS, 1996 ; PRUDENTE et al., 2002). Les teneurs en fer total ou en argile n'étant pas modifiées notablement par les actions anthropiques, elles permettent de discriminer les horizons selon leur pédogenèse. Par ailleurs, il a été montré que plus un horizon de sol est riche en fer, plus il est probable qu'il sera chargé naturellement en Cu, Co, Cr, Ni, Pb et Zn, la relation entre les teneurs en Fe et en ETM pour un type de sol donné étant souvent linéaire (BAIZE, 1997 ; STERCKEMAN et al., 2002). La teneur en fer est donc un moyen efficace d'expliquer la variabilité des teneurs naturelles en métaux traces et de mettre en évidence les teneurs anormales dues à l'activité humaine. Par ailleurs, la comparaison des teneurs des ETM entre elles peut également être utile pour mettre en évidence des similitudes ou des divergences d'origine ou de comportement.

Tableau 1

	Profond. cm	Argiles %	Mat. Org. %	pH eau	Cu mg/kg	Cd mg/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	Fe g/kg
A1	0 - 4	56,8	5,54	5,4	139,2	9,74	75,9	718	47,1
AS2	15 - 20	61,9	2,54	6,0	39,5	9,52	43,0	430	55,1
S3	55 - 70	83,4	0,63	6,6	42,4	11,04	38,2	579	72,6
A4	0 - 4	46,5	3,76	6,2	103,9	9,13	58,4	616	40,3
L5	0 - 15	32,3	1,59	7,9	54,9	3,02	34,5	181	30,5
L6	0 - 15	40,9	2,52	7,7	84,0	5,23	42,5	283	39,1
L7	0 - 25	33,5	1,87	8,0	88,3	1,74	41,4	225	33,7
S8	30 - 45	38,2	0,47	7,9	23,6	1,18	30,8	121	38,4
S9	125 - 140	60,5	0,15	7,1	35,4	1,63	36,4	195	57,7
L10	0 - 10	31,2	2,08	6,1	53,3	1,45	40,2	171	31,8
L11	5 - 15	29,8	2,65	5,8	68,8	1,08	42,2	191	30,0
L12	0 - 20	36,7	2,94	6,2	70,3	1,22	40,5	212	34,9
S13	24 - 35	39,5	0,87	6,7	27,2	0,87	33,6	119	43,9
S14	42 - 55	62,3	0,42	6,9	36,4	0,90	34,8	187	67,3
S15	90 - 108	90,6	0,39	7,3	47,8	4,08	34,8	381	88,3

4. Résultats

4.1. Fonds pédogéochimiques dans le Jura suisse

Les études ont débuté dans le secteur de La Chaux de Fonds où l'on croyait avoir détecté une contamination des sols par le cadmium (ATTEIA et al., 1995). Les deux tiers des 366 valeurs en Cd mesurées dans les horizons de surface excédaient la valeur indicative de l'ordonnance

suisse sur la pollution des sols, fixée à 0,8 mg/kg (médiane = 1,1 - maximum = 5,1 mg/kg).

Depuis lors, une dizaine d'autres études se sont succédées dans différents secteurs du Jura suisse, depuis le canton de Vaud au sud jusqu'au canton de Bâle-Campagne au nord, qui ont toutes mis en évidence le même phénomène. De très nombreuses mesures ont montré qu'on trouvait des teneurs élevées ou très élevées en cadmium partout dans les sols du Jura suisse en

surface mais aussi dans des horizons profonds. De nombreuses valeurs y atteignent 7, 10, voire 16 mg/kg, teneurs obtenues aussi bien sous cultures, sous pâturages d'altitude ou sous forêts (PRUDENTE et al., 2002). Plusieurs études géostatistiques détaillées ont également montré que la variabilité spatiale était très grande à courtes distances et que les teneurs ne s'organisaient pas par rapport à une seule ou à quelques sources de contamination aisément identifiables (GENOLET et DUBOIS, 1996 ; ATTEIA et al., 1994).

4.2. Caractéristiques des sols du site (tableau 1)

Dans la partie haute du site située sous forêt (fosse 4), le sol est de profondeur moyenne (55 à 70 cm), argileux lourd, rougeâtre. Son contact avec le calcaire dur sous-jacent est ondulé. Les matières organiques sont abondantes jusqu'à 20 cm de profondeur. Dans la fosse 2, la roche sous-jacente n'est toujours pas atteinte à 140 cm de profondeur. Ce solum très épais, non calcaire, montre un gradient croissant d'argile avec la profondeur et des agrégats anguleux. Dans la partie basse du site, sous prairie permanente (fosse 1), la roche calcaire apparaît à 110 cm. Ce solum montre un gradient d'argile croissant vers la profondeur et une couleur rousse généralisée à sa partie inférieure.

Tous les échantillons sont argilo-limoneux ou argileux, certains argileux lourds (plus de 50 % d'argile), ce qui suggère une faible influence des dépôts éoliens allochtones et une forte participation des résidus de décarbonatation des roches calcaires sous-jacentes. Dans les trois fosses, le taux d'argile va croissant avec la profondeur, atteignant 83 et 91 % dans les deux échantillons prélevés au contact des calcaires jurassiques (S3 et S15).

Les teneurs en fer augmentent proportionnellement à celles de l'argile selon une relation linéaire très étroite ($r^2 = 0,94$). Par ailleurs, la variabilité de la CEC est bien expliquée par une régression linéaire multiple associant la teneur en argile et celle en carbone organique ($r^2 = 0,96$) ce qui suggère une homogénéité de la nature des minéraux argileux dans la fraction granulométrique $< 2 \mu\text{m}$. Ces deux corrélations sont en faveur de l'existence d'un matériau parental et d'une pédogenèse uniques sur l'ensemble du site.

La plupart des pH (mesurés dans l'eau) sont compris entre 5,8 et 7,0 comme on pouvait s'y attendre pour de tels sols non calcaires en milieu forestier calcique ou d'agriculture peu intensive. A1 est le plus acide (pH = 5,4). S9 et S15 dépassent pH 7,0 parce qu'ils sont situés au contact ou à proximité de la roche calcaire sous-

jacente. L5, L6, L7 et S8 ont des pH compris entre 7,7 et 8,0, suite à des amendements et chaulages.

4.2.1. Cuivre et relation Cu / Fe

Les valeurs supérieures à 40 mg/kg semblent anormales si on les confronte aux références françaises ou suisses de sols non contaminés. La relation Cu / Fe permet de bien distinguer deux groupes d'horizons. D'une part les 7 horizons non situés en surface (horizons S et AS) qui présentent les concentrations en cuivre les plus faibles et une forte relation Cu / Fe. D'autre part, les 8 horizons de surface (6 horizons L et 2 horizons A) qui présentent des teneurs en cuivre élevées ou très élevées (50 à 140 mg/kg) pour des teneurs en fer relativement faibles ($< 50 \text{ g/kg}$).

4.2.2. Zinc et relation Zn / Fe

Les valeurs obtenues pour le zinc (comprises entre 119 et 718 mg/kg) sont toutes des valeurs élevées ou très élevées par rapport aux références. La relation Zn / Fe permet de distinguer 4 groupes d'horizons. A l'exception de AS2 et S3, les horizons de profondeur S présentent des teneurs en Zn variables sensiblement proportionnelles à leurs teneurs en fer. La teneur en Zn de S15 est élevée (381 mg/kg) mais peut s'expliquer par sa teneur en argile (910 g/kg) et en fer (88,3 g/kg). Les 6 horizons L se regroupent bien, avec des teneurs modérées en fer et moyennes en zinc. Les deux horizons A montrent des valeurs extrêmement élevées en Zn (718 et 616 mg/kg) tandis que AS2 et S3, qui proviennent pourtant d'horizons non situés en surface, présentent des valeurs également très élevées (430 et 579 mg/kg). On constate donc surtout une différence importante entre les sols de la partie haute forestière du site, à fortes teneurs en Zn et ceux de la partie basse du site, sous cultures, beaucoup moins chargés en Zn.

4.2.3. Cadmium et relation Cd / Fe

Aucune valeur n'est inférieure à 0,87 mg/kg. On se trouve donc en présence de sols à teneurs en Cd anormalement élevées (BAIZE et al., 1999) mais on peut distinguer 3 groupes d'horizons. Les quatre échantillons prélevés sous forêt (A1, A4, AS2 et S3) montrent des teneurs comprises entre 9,1 et 11,0 mg/kg. Ces valeurs, tout à fait extraordinaires, sont similaires à celles obtenues par BAIZE et DE PURY (non publié) à Boncourt (canton du Jura - 47 km à l'ouest de Dornach) dans deux horizons argileux lourds prélevés au contact des calcaires jurassiques sous-jacents : 10,3 et 11,5 mg de Cd par kg.

Les horizons L7, L10, L11, L12, S8, S9, S13,

S14 et S15 semblent appartenir à un même groupe, aux teneurs en Fe variant très largement mais aux concentrations en Cd variant seulement entre 1 et 2 mg/kg. Les horizons L5 et L6 forment, par leur teneur en Fe inférieure à 4 % et en Cd comprise entre 3 et 6 mg/kg, un groupe intermédiaire. Comme pour Zn, il existe un fort contraste entre le haut du site sous forêt aux sols à très fortes teneurs en Cd et la partie inférieure cultivée où les concentrations sont plus faibles.

4.2.4. Comparaison des teneurs des horizons de surface

Afin de pouvoir comparer les stocks de métaux traces des horizons L cultivés à ceux des horizons A sous forêt, on a calculé la concentration théorique qu'on obtiendrait sur les 30 premiers cm du sol de la fosse 4, située sous forêt, par un hypothétique mélange par des travaux aratoires répétés. On a estimé les densités apparentes et pris en compte les teneurs mesurées en A1 sur 5 cm, celles mesurées en AS2 sur 20 cm et des teneurs intermédiaires entre A1 et AS2 sur les 5 cm médians.

La valeur ainsi calculée pour le cuivre (63 mg/kg) est un peu plus élevée que celle obtenue en L5 mais du même ordre de grandeur que celles obtenues dans les autres horizons labourés. Les teneurs recalculées pour Zn et Cd (respectivement 499 et 9,5 mg/kg) sont de 2 à 8 fois plus élevées que celles dosées dans tous les horizons de la partie cultivée du site. Les teneurs très fortes en Cu et Pb sont donc liées à l'accumulation de ces deux métaux sur une faible épaisseur dans des horizons riches en matières organiques alors que ces mêmes métaux sont dilués sur une épaisseur de 30 cm dans le cas des horizons labourés. Au contraire, les teneurs très élevées en Zn et Cd des sols forestiers ne résultent pas seulement de leur accumulation dans un mince horizon humifère mais également d'une charge naturelle très élevée de l'ensemble du solum (figure 1).

5. Diagnostic

5.1. Cuivre

Les fortes teneurs en cuivre (supérieures à 50 mg/kg) observées dans les 8 horizons de surface semblent résulter d'une contamination anthropique probablement liée à l'activité de l'usine toute proche. La contamination serait demeurée en surface, mélangée sur toute l'épaisseur des horizons labourés par les diverses façons culturales et n'ayant même pas atteint 15 cm de profondeur dans le cas de la fosse 4 située sous forêt.

Les valeurs mesurées dans les 7 horizons S (non situés en surface), quoique paraissant assez élevées par rapport aux références françaises ou suisses, correspondraient au fond pédogéochimique naturel local. Ce dernier est d'un niveau élevé (25 à 30 mg/kg) en relation avec de hautes teneurs en argile et en fer. Les retombées atmosphériques auraient entraîné un enrichissement en Cu des horizons L de l'ordre de 30 à 50 mg/kg.

5.2. Cadmium et zinc

Le problème se pose dans les mêmes termes pour ces 2 éléments : on observe des teneurs élevées ou très élevées dans tous les horizons étudiés et un contraste majeur entre les sols forestiers du haut, beaucoup plus chargés, et les sols cultivés du bas (figure 1).

Les résultats obtenus suggèrent que les teneurs élevées en Cd et la grande variabilité à l'échelle décimétrique seraient essentiellement d'origine pédogéochimique. La partie supérieure du site, sous forêt en pente assez forte (18 %), présente un sol peu profond et très argileux qui pourrait résulter de la décarbonatation de calcaires jurassiques qui contenaient des quantités élevées de Cd. Dans la partie inférieure et cultivée du site, la pente est plus faible (9 à 13 %) ; les sols moins argileux et plus profonds pourraient dériver de calcaires jurassiques moins riches en Cd que ceux de la partie supérieure ou d'un mélange des résidus de décarbonatation des calcaires avec des formations éoliennes à faibles teneurs en éléments traces. La rupture de pente correspond probablement à une différence de dureté des roches sous-jacentes, donc à une différence de faciès. A cette différence de faciès pourrait correspondre une différence de composition des roches.

Divers arguments plaident en faveur de cette hypothèse. Tout d'abord, l'estimation des flux d'apports atmosphériques sur la base de mesures réalisées en 1982-1983 donne 11,2 mg de Cd pour 1 m² en 102 ans, soit une augmentation d'environ 0,03 mg/kg pour un horizon L. Les apports aériens en provenance de l'usine ou de l'agglomération bâloise ont donc probablement été assez faibles ; ils sont incapables d'expliquer les teneurs supérieures à 9 mg/kg mesurées dans les 4 échantillons de la partie haute forestière.

L'hypothèse d'apports de Cd plus importants sous forêt que sous cultures suite à une interception beaucoup plus forte des cimes des arbres est également peu crédible. En effet, les retombées atmosphériques en Cd sont faibles et on voit mal comment les arbres pourraient les concentrer pour atteindre le niveau mesuré dans les sols. Par ailleurs, les retombées atmos-

phériques de Cu sont environ 2000 fois supérieures à celles de Cd, et l'étude ne montre pas d'effet d'interception préférentielle de cet élément par la forêt.

Sous l'éclairage de l'hypothèse retenue, le fond pédogéochimique de la zone cultivée peut être évalué à partir des horizons profonds. On peut ainsi estimer que les teneurs originelles des horizons L7, L10, L11 et L12 se situaient à environ 0,8 à 1,0 mg/kg de Cd. Les apports atmosphériques et les fertilisants en auraient apporté environ 0,5 voire 1 mg/kg supplémentaires. Sous forêt, les teneurs en Cd sont naturellement de l'ordre de 10 mg/kg et ont été peu modifiées par les activités humaines.

L'hypothèse retenue pour Cd s'applique également à Zn, avec quelques nuances car nous savons que les retombées aériennes de Zn liées à l'usine métallurgique sont plus abondantes que celles de Cd. La relation Zn / Fe dans les horizons S, permet d'estimer les teneurs originelles des horizons L à environ 120 mg/kg. Les retombées atmosphériques provenant de l'usine auraient apporté environ 60 à 100 mg/kg supplémentaires. Sous forêt, les teneurs des deux horizons A (718 et 616 mg/kg) supérieures à celles des horizons AS2 et S3 (430 et 579 mg/kg) sont probablement dues à ces retombées atmosphériques.

6. Conclusions

Malgré le faible nombre d'échantillons prélevés, l'approche pédologique appliquée au site de Dornach a permis : - de révéler l'existence d'un fond pédogéochimique naturel élevé en Cu, et très élevé en Cd et Zn. Sans cette détermination préalable, la contamination aurait été extrêmement surévaluée ; - de décrire en deux dimensions (profondeur du sol et plus grande longueur du site) la forte variabilité spatiale de ce fond et d'en comprendre l'origine (variation de la composition de la roche-mère) ; - de montrer l'existence de contaminations dues aux activités humaines et d'en estimer le niveau pour les 4 métaux étudiés.

Cette démarche a donc permis d'éviter deux pièges : i) l'attribution des teneurs anormalement élevée en Cd, Zn et Cu à la seule pollution bien connue dans la région (usine métallurgique) ; ii) l'attribution de la variabilité spatiale des teneurs à l'occupation des sols, et notamment, l'explication des teneurs plus élevées sous forêt uniquement par l'interception plus grande des poussières atmosphériques par les arbres.

Cependant, la limitation à seulement 15 échantillons a laissé planer des incertitudes sur l'évaluation du fond pédogéochimique et donc sur le niveau de contamination suite à une

caractérisation insuffisante de l'espace à étudier. Un tel nombre d'échantillons analysés est incompatible avec un des buts exprimés du programme de donner une image tridimensionnelle des teneurs en métaux.

Pour finir, il faut souligner que l'interprétation des données a été facilitée par une connaissance régionale des teneurs en éléments traces dans les sols, préalable à l'établissement de la stratégie d'échantillonnage. En outre, la démarche n'aurait pu être menée à bien sans une compétence suffisante en pédologie, compétence qui s'avère indispensable lorsqu'il s'agit d'évaluer la qualité des sols en milieu rural.

Références bibliographiques

- ATTEIA O., J.-P. DUBOIS & R. WEBSTER (1994): Geostatistical analysis of soil contamination in the swiss Jura. *Environ. Pollut.* 86: 315-327.
- ATTEIA O., P. THELIN, H.R. PFEIFER, J.-P. DUBOIS & J.-C. HUNZIKER (1995): A search for the origin of cadmium in the soil in the Swiss Jura. *Geoderma*, 68: 149-172.
- BAIZE D. (1997): Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). Références et stratégies d'interprétation. INRA Éditions, Paris, 410 p.
- BAIZE D., W. DESLAIS, et M. GAIFFE (1999): Anomalies naturelles en cadmium dans les sols de France. *Étude et Gestion des Sols*; 6, pp. 85-104.
- GENOLET F. et J.-P. DUBOIS (1996): Étude de la teneur en cadmium dans les sols de la région de Blauen-Nenzlingen (canton de Bâle-Campagne). EPF Lausanne, 27 p + annexes.
- PRUDENTE D., D. BAIZE et J.-P. DUBOIS (2002): Le cadmium naturel dans une forêt du haut Jura français. 53-70. In "Les éléments traces métalliques dans les sols" - D. BAIZE et M. TERCÉ coord. INRA Éditions, 570 p.
- STERCKEMAN T. et D. BAIZE (2002): Étude d'un site supposé contaminé à Dornach. pp. 217-236. In "Les éléments traces métalliques dans les sols" - D. BAIZE et M. TERCÉ coord. INRA Éditions, 570 p.
- STERCKEMAN T., F. DOUAY, BAIZE D., H. FOURRIER, N. PROIX, L. CORDIER et C. SCHVARTZ (2002): Constitution d'un référentiel pédogéochimique régional : méthodologie et premiers résultats. 71-89. In "Les éléments traces métalliques dans les sols" - D. BAIZE et M. TERCÉ coord. INRA Éditions, 570 p.

Die Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen in Böden: Konsequenzen für die Klassifizierung und Abgrenzung von Belastungsflächen an einem Fallbeispiel bei Dornach (SO)

A. Desaules

Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau (FAL), 8046 Zürich

Zusammenfassung

Zur Ausweisung der Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen in Böden wird in der Schweiz seit 1989 ein Ringanalysenprogramm betrieben. Dies erlaubt neben der deterministischen auch eine probabilistische Klassifizierung von Bodenbelastungen durch Schwellenwerte mit Berücksichtigung der analytischen Messunsicherheit als Voraussetzung für einen sachgerechten und rechtsgleichen Gesetzesvollzug. Die Anwendung der drei Klassifizierungsmöglichkeiten von Bodenbelastungen (Überschreitung des Schwellenwerts bzw. der unteren oder oberen Unsicherheitschranke) auf die Untersuchungsfläche bei Dornach zeigt, dass sich Ausdehnung und statistische Sicherheit der Bodenbelastung in der Regel invers verhalten. Es wird auch manifest, dass die Flächenstratifizierung aufgrund der Landnutzung für chemische Bodenbelastungen unzuverlässig ist. Für die Klassifizierung von Bodenbelastungen aufgrund der gesamten Messunsicherheit einschliesslich der Probenahme und physikalischen Probenvorbereitung sind Daten aus aussagekräftigen Probenahme-Ringversuchen notwendig, die derzeit noch spärlich sind.

Schlüsselwörter: Bodenbelastung, Schwermetalle, Analysen-Vergleichbarkeit

Keywords: Soil contamination, heavy metals, analytical comparability.

Résumé: Comparabilité d'analyses de métaux lourds dans le sol: Conséquences pour la classification et la délimitation de surfaces polluées d'un cas près de Dornach (SO)

Depuis 1989, il existe en Suisse un programme d'essais interlaboratoires dont l'objectif est de montrer la comparabilité des analyses de métaux lourds dans des échantillons de sols. Ceci permet outre une classification déterministique, une classification probabilistique des dépassements des valeurs seuils qui tient compte de l'incertitude analytique des mesures - condition essentielle d'une évaluation correcte du point de vue scientifique et juridique. Il ressort de l'application des trois possibilités de classification (dépassement de la valeur seuil, de la limite d'incertitude inférieure ou supérieure) sur un site à Dornach que l'étendue et la fiabilité statistique des dépassements des valeurs évoluent en général de manière inverse. Il apparaît aussi que la stratification établie à partir de l'utilisation des sols n'est pas forcément un critère fiable pour délimiter les charges de polluants. Classer les dépassements de valeurs seuils sur la base de l'incertitude globale (effets d'échantillonnage et préparation physique des échantillons compris) suppose que l'on dispose de données fiables sur les essais comparatifs, données encore rares actuellement.

Mots-clés: Pollution du sol, métaux lourds, comparabilité analytique

1. Einleitung

Alle Messwerte sind mit Unsicherheiten behaftet und damit nicht absolut vergleichbar. Dies gilt in Schwellenwert-Nähe auch für deren Überschreitung. In der Vollzugspraxis der Strassenverkehrs-Gesetzgebung werden deshalb die Messunsicherheiten bei der Überschreitung gesetzlicher Schwellenwerte wie Geschwindigkeitsbegrenzungen oder Alkoholgehalt im Blut aus Gründen der Rechtsgleichheit zu Gunsten des Gesetzesübertretenden berücksichtigt. Das Umweltschutzgesetz hat in seinen Verordnungen ebenfalls zahlreiche gesetzliche Schwellenwerte festgelegt wie etwa die

Richt-, Prüf- und Sanierungswerte für Schadstoffgehalte in Böden (VBBo 1998). Die bei Schadstoff-Untersuchungen in Böden auftretenden Messunsicherheiten sollten von den Vollzugsbehörden ebenfalls berücksichtigt werden. Dabei gilt es aber Überschreitungen von Schwellenwerten sowohl zum vorsorgenden Schutze der Böden einzusetzen, wie auch die Rechtsgleichheit für die Verursachenden zu gewährleisten. Es darf also nicht geschehen, dass durch die Wahl eines Labor das vergleichsweise tiefere oder höhere Analysenwerte liefert, die Klassifizierung oder Abgrenzung von Belastungsflächen anders ausfällt. Dazu sind Kenntnis und Berücksichtigung der Messunsicher-

heit aus der Analysenvergleichbarkeit unerlässlich. Bei der Klassifizierung von Bodenbelastungen durch einen Schwellenwert sind die in Fig. 1 dargestellten Fälle möglich.

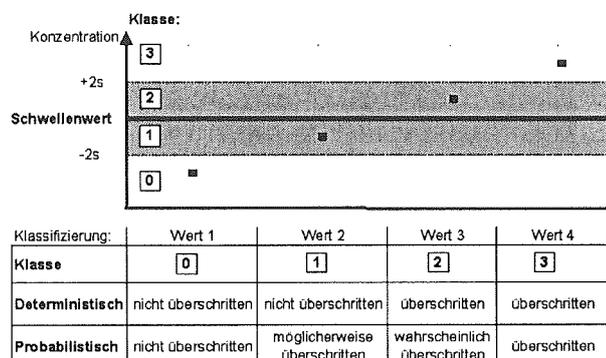


Fig. 1: Deterministische und probabilistische Klassifizierung von Bodenbelastungen durch einen Schwellenwert mit erweitertem Unsicherheitsbereich ($\pm 2s$) (verändert nach: RAMSEY & ARGYRAKI 1997)

Die deterministische Klassifizierung unterscheidet nur zwischen überschritten und nicht überschritten und weist bei Messwerten auf Schwellenwert-Höhe eine Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit von $p \sim 50\%$ auf. Die probabilistische Klassifizierung dagegen berücksichtigt zusätzlich eine untere und eine obere Unsicherheitschranke (in der Regel bei $\pm 2s$ bzw. den Überschreitungs-Wahrscheinlichkeiten $p \sim 2.5\%$ und $p \sim 97.5\%$) und ist mit vier Klassen feiner abgestuft.

Ziel dieser Studie ist es, an einer Untersuchungsfläche konkret zu zeigen, wie sich deterministische und probabilistische Klassifizierungen auf die Abgrenzung und räumliche Ausdehnung von Belastungsflächen auswirken können und welche Konsequenzen sich dabei ergeben.

2. Untersuchungsfläche und Datenmaterial

Die in DESAULES et al. (2001) näher beschriebene Untersuchungsfläche von 0.61 ha liegt im Bodenbelastungsgebiet Dornach im Kanton Solothurn (HÄMMANN 1999) ca. 1 km SE von einem Buntmetall-Recyclingwerk entfernt. Sie ist identisch mit der Fläche auf der 1997 ein europäischer Probenahmungsversuch stattfand (WAGNER et al. 2001). Die Nutzung der langgezogenen und geneigten Untersuchungsfläche ist Laubwald im oberen Teil, Ackerland in der Mitte und Dauerwiese mit Kirschbäumen unten. Die vier Bodeneinheiten liegen alle auf dem gleichen oolithischen Kalkstein (Rogenstein) mit einer unterschiedlich mächtigen Lösslehm-Überdeckung.

Für die Probenahme (DESAULES et al. 2001) wurde die Untersuchungsfläche in 61 Teilflächen

von 10 x 10 m aufgeteilt. Von jeder Teilfläche wurde eine Mischprobe aus 25 im Quadratraster verteilten Probeneinstichen der Tiefenstufe 0-20 cm entnommen. Nach der physikalischen Probenvorbereitung wurden die Schwermetalle in einer 2 M HNO₃ - Extraktionslösung gemessen (BUWAL/FAC 1989).

Die Vergleichbarkeit chemischer Analysenwerte verschiedener Laboratorien kann nur aus Ringanalysen gewonnen werden. Zu diesem Zweck besteht seit 1989 ein Ringanalysenprogramm für Schadstoffe im Rahmen der VBBo (1998). Die Daten und Regressionsgleichungen der Analysenvergleichbarkeit in Tab. 1, aus denen die erweiterten Unsicherheitsbereiche ($\pm 2s$) für die Richt- und Prüfwerte nach VBBo (1998) berechnet wurden, stammen aus den VBBo-Ringanalysen der Periode 1995 - 2001 (DESAULES & STUDER 2002).

Tab. 1: Analysenvergleichbarkeit der Periode 1995-2001 für Richt- und Prüfwerte von Schwermetall-Totalgehalten nach VBBo (1998) mit erweiterten Unsicherheitsbereichen ($\pm 2s$) (aus: DESAULES & STUDER 2002)

Element	Regressionsgleichung $x = \text{Konzentration}$ $y = \text{Variationskoeffizient CV}$	Richtwert (RW) / Prüfwert (PW)		Erweiterter Unsicherheitsbereich (95%-Vertrauensbereich)		
		(mg/kg)		-2s (mg/kg)	+2s (mg/kg)	$\pm 2CV$ (%)
Cd	$\log y = 0.938 - 0.383 \log x$	RW	0.8	0.65	0.95	19
		PW ¹	2	1.73	2.27	13
Zn	$\log y = 1.199 - 0.223 \log x$	RW	150	134.5	165.5	10
Cu	$\log y = 1.022 - 0.173 \log x$	RW	40	35.6	44.4	11
		PW ²	150	136.7	163.2	9
Pb	$\log y = 1.139 - 0.194 \log x$	RW	50	43.6	56.4	13
		PW ¹	200	180	220	10
Cr	$\log y = 1.124 - 0.165 \log x$	RW	50	43	57	14
Ni	$\log y = 1.265 - 0.319 \log x$	RW	50	44.7	55.3	11

¹ Prüfwert für Nahrungs- und Futterpflanzenbau

² Prüfwert für Futterpflanzenbau

3. Resultate und Diskussion

Die Ergebnisse sowohl der deterministischen wie auch der probabilistischen Belastungs-Klassifizierung gemäss Fig. 1 und Tab. 1 sind in Fig. 2 dargestellt. Je nach Element zeigen sich grosse Unterschiede der chemischen Bodenbelastung. Nur bei Cd werden auch Prüfwerte überschritten. Die Ausdehnung der Belastungsfläche ist je nach Klassifizierung der drei möglichen Fälle verschieden:

1. Am grössten sind die Flächen in der Regel, wenn bereits mögliche Belastungen (ab Klasse 1) mit einbezogen werden. Ausnahmen sind Belastungsflächen mit deutlich über dem Schwellenwert liegenden Schadstoffgehalten wie bei Cd und Cu in Fig. 2. Diese Klassifizierung ist aus präventiver Sicht „im Zweifel für die Umwelt“ angebracht.
2. Eine Zwischenstellung nimmt die in der Vollzugspraxis wohl (noch) am häufigsten vorge-

nommene deterministische Klassifizierung (ab Klasse 2) ein, welche keine Rücksicht auf die Analysen-Vergleichbarkeit nimmt. Die Gefahr von Fehlklassifizierungen zwischen belasteten und nicht belasteten Flächen ist deterministisch wegen der geringen Differenzierung in nur zwei Klassen allerdings bedeutend grösser als probabilistisch.

3. Am kleinsten sind die statistisch gut abgesicherten Belastungsflächen (ab Klasse 3). Diese Klassifizierung eignet sich, wenn der Rechtsgrundsatz „im Zweifel für den Verursachenden“ gilt.

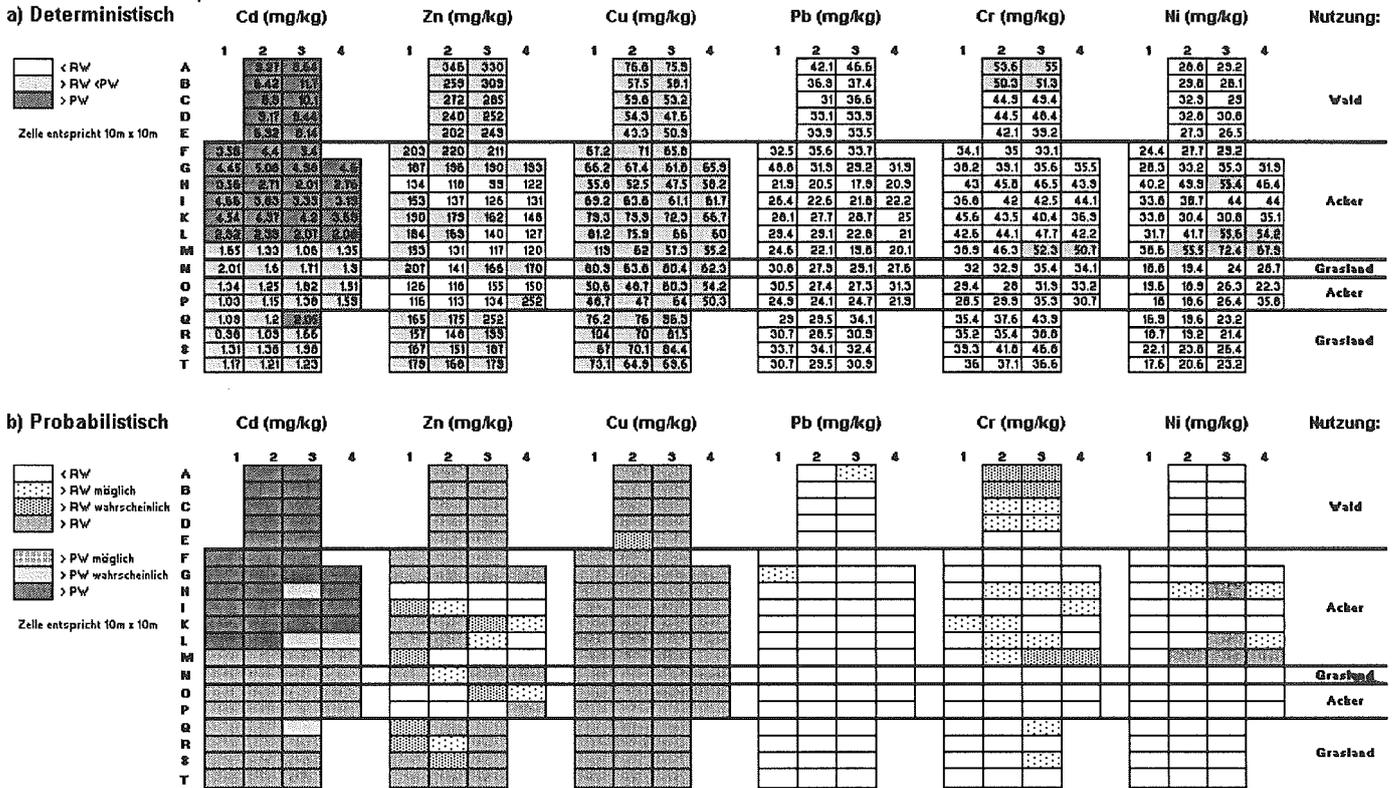


Fig. 2: Deterministische (a) und probabilistische (b) Klassifizierung der Überschreitung von Richtwerten (RW) und Prüfwerten (PW) bei Schwermetall-Totalgehalten nach VBBö (1998) auf der Untersuchungsfläche Dornach (SO)

Die unterschiedlichen Belastungsklassen innerhalb der selben Landnutzungseinheit wie bei Cd, Zn, Cr und Ni in Fig. 2 zeigen, dass die Stratifizierung nach Landnutzung für die flächenhafte Abgrenzung chemischer Bodenbelastungen auch bei einheitlichem Ausgangsgestein unzuverlässig ist.

Zur Unterscheidung von zivilisationsbedingten chemischen Bodenbelastungen und natürlich erhöhten Schadstoffkonzentrationen wird oft die vertikale Verteilung der Schadstoffgehalte beigezogen. Aus Tiefenprofilen der Untersuchungsfläche Dornach (WAGNER et al. 2001) ist zu entnehmen, dass die Richtwerte im Untergrund bei Cd und Zn verbreitet deutlich überschritten sind. Ob der Grund dazu natürlich hohe Konzentrationen oder Verlagerungen in den Untergrund sind, kann nicht mit Sicherheit beantwortet werden. Kleinräumig kommen auch anthropogene Auffüllungen in Frage. Im Jura sind jedoch regional er-

höhte Cd-Gehalte bekannt (z.B. WENK et al. 1997), besonders in Böden aus oolithischen Kalkgesteinen (BENITEZ VASQUEZ 1999) z.B. „Sequan-Kalke“, wie sie in den Regionen Blauen/Nenzlingen und Dornach vorkommen.

Die Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen dokumentiert nur die Messunsicherheit, welche aus der Analyse der Bodenproben in verschiedenen Laboratorien hervorgeht, unberücksichtigt bleiben dabei die Messunsicherheiten der Probenahme im Feld und der physikalischen Probenvorbereitung. Ein Ergebnis des europäischen Probenahme-Ringversuches in Dornach war aber, dass die Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen und die Vergleichbarkeit der (Misch-) Probenahme einschliesslich der physikalischen Probenvorbereitung ungefähr in der gleichen Grössenordnung liegen, jedoch keine allgemeine Beziehung gefunden wurde (WAGNER et al. 2001a). Dies ent-

spricht auch etwa dem Befund eines früheren Probenahme-Ringversuches an fünf kaum belasteten Standorten verschiedener Landnutzung im zentralen Mittelland (DESAULES & DAHINDEN 1994).

4. Schlussfolgerungen

In der Schweiz gibt es dank dem langjährigen VBBo-Ringanalysenprogramm eine sehr gute Datenlage zur Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen in Böden, die es stets zu aktualisieren gilt (DESAULES & STUDER 2002). Dadurch wird eine vollzugstaugliche, probabilistische Klassifizierung von Bodenbelastungen im Ansatz erst möglich. Dies gilt allerdings nur für die Schwermetallanalysen; die Probenahme und physikalische Probenvorbereitung sind davon ausgeschlossen. Daten zur Vergleichbarkeit des ganzen Messverfahrens von der Probenahme bis zur Analyse können nur Probenahme-Ringversuche liefern. Diese sind aber noch selten und erlauben (noch?) keine allgemeinen quantitativen Beziehungen herzuleiten. Erste Hinweise deuten darauf hin, dass als Grössenordnung mit einer Verdoppelung der Messunsicherheit gerechnet werden muss.

Die drei Klassifizierungsmöglichkeiten chemischer Bodenbelastungen aufgrund von Schwellenwerten mit Unsicherheitsschranken zeigen, dass sich Ausdehnung und statistische Sicherheit der Bodenbelastung in der Regel invers verhalten. Die Konsequenzen aus diesem Sachverhalt sind sowohl beim präventiven wie auch kurativen Bodenschutz zu berücksichtigen. Vorsorgend werden bereits möglicherweise belastete und damit grössere Flächen (ab Klasse 1) als Schutzziel erklärt, während kurativ vorwiegend aus Kostengründen nur möglichst kleine bzw. statistisch gut abgesicherte Sanierungsflächen (ab Klasse 3) ausgetrennt werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Rasterflächenuntersuchung mit einem Auflösungsgrad von 100 m² zeigen, dass die Landnutzung als das in der Praxis wohl am häufigsten benutzte Stratifizierungskriterium zur Abgrenzung möglicher Belastungsflächen unzuverlässig ist. Das bedeutet umgekehrt auch, dass die Analysenresultate von kleinen Referenz- oder Dauerbeobachtungsflächen (z.B. 10 x 10 m) nicht zuverlässig auf die ganze Standortparzelle übertragbar sind.

Durch die deterministische Beurteilung und Abgrenzung chemischer Bodenbelastungen ohne Berücksichtigung der gesamten Messunsicherheit unter Vergleichsbedingungen ist die Rechtsgleichheit nicht gewährleistet. Um einen sachgerechten und rechtsgleichen Gesetzesvollzug anzustreben, gilt es künftig probabilistische Klassifizierungen

unter Einbezug der gesamten Messunsicherheit (Probenahme und Analytik) unter Vergleichsbedingungen anzustreben. Dazu braucht es aussagekräftige Probenahme-Ringversuche.

5. Literatur

- BENITEZ VASQUEZ N. (1999): Cadmium speciation and phyto-availability in soils of the Swiss Jura: hypothesis about its dynamics. These No 2066. EPF-Lausanne.
- BUWAL/FAC (1989): Wegleitung für die Probenahme und Analyse von Schadstoffen im Boden. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene (FAC). 23 S.
- DESAULES A. & DAHINDEN R. (1994): Die Vergleichbarkeit von Schwermetallanalysen in Bodenproben von Dauerbeobachtungsflächen. Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, 3097 Liebefeld. 27 S.
- DESAULES A., SPRENGART J., WAGNER G., MUNTAU H. & THEOCHAROPOULOS S., 2001: Description of the test area and reference sampling at Dornach. *Sci. Tot. Environ.* 264: 17-26
- DESAULES A. & STUDER K. (2002): VBBo-Ringanalysen 2001. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, 8046 Zürich. 73 S.
- HÄMMANN M. (1999): Bodenbelastungsgebiet Dornach – Situationsbericht. Volkswirtschaftsdepartement des Kantons Solothurn, Amt für Umweltschutz. 23 S.
- RAMSEY M.R. & ARGYRAKI A., 1997: Estimation of measurement uncertainty from field sampling: implications for the classification of contaminated land. *Sci. Tot. Environ.* 198: 243-257
- VBBo (1998): Verordnung über Belastungen des Bodens vom 1. Juli 1998. SR 814.12
- WAGNER G., MOHR M.-E., SPRENGART J., DESAULES A., MUNTAU H., THEOCHAROPOULOS S. & QUEVAUVILLER P., 2001: Objectives, concept and design of the CEEM soil project. *Sci. Tot. Environ.* 264: 3-15
- WAGNER G., LISCHER P., THEOCHAROPOULOS S., MUNTAU H., DESAULES A., & QUEVAUVILLER PH., 2001a: Quantitative evaluation of the CEEM soil sampling intercomparison. *Sci. Tot. Environ.* 264: 73-101
- WENK P., BONO R., DUBOIS J.-P. & GENOLET F., 1997: Cadmium in Böden und Getreide im Gebiet Blauen/Nenzlingen, Basel-Landschaft. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* 88: 570-592

Wahrscheinlichkeitsbasierte Hinweiskarte als Grundlage für den Erosionsschutz in der Landwirtschaft

Markus Rüttimann

Dr. M. Rüttimann, Dorfstrasse 62, Postfach, 3184 Wünnewil

Thomas Mosimann

Terragon Ecoexperts AG, Gstaltenstrasse 36, 4416 Bubendorf

Norbert Emch

Amt für Umwelt Kanton Solothurn, Fachstelle Bodenschutz, Werkhofstrasse 5, 4509 Solothurn

Zusammenfassung:

Als Grundlage für den Vollzug des Erosionsschutzes benötigt der Kanton Solothurn eine Hinweiskarte zur erosionsbedingten Bodengefährdung im Übersichtsmaßstab 1:25'000. Diese Hinweiskarte soll die erstrangigen Problemgebiete und -flächen bezeichnen, auf welchen nach Schweizerischer Bodenschutzverordnung die Anstrengungen bei der Erosionsbekämpfung inskünftig zu intensivieren sind.

Im Rahmen eines Pilotlaufs wurden die technischen und methodischen Grundlagen der GIS-gestützten Gefährdungsschätzung erarbeitet. Ein zentraler Aspekt der Gefährdungsprognose war die Herleitung und Verwendung von regionsspezifischen Verteilungsfunktionen für diejenigen Gefährdungsparameter, für die auf Grund der verfügbaren Basisdaten keine ausreichend scharfe räumliche Zuordnung möglich war (ackerschlag- bzw. betriebsspezifische Bewirtschaftung, Bodenerodierbarkeit und Bodengründigkeit). Mit diesem Vorgehen resultierten aus den Modellrechnungen wahrscheinkeitsbasierte Gefährdungsbefunde, welche im Rahmen einer zweitägigen Plausibilitätskontrolle stichprobenmässig an rund 45 Standorten verifiziert wurden.

In 90% der Fälle ergab die Gefährdungsschätzung vor Ort einen mit der Hinweiskarte übereinstimmenden Befund. Zudem liess sich feststellen, dass die makroskalige Hinweiskarte die erosionskritischen Bereiche innerhalb eines Gewannes für Belange der Vollzugspraxis mit ausreichender Genauigkeit lokalisieren konnte.

Trotz der voraussichtlich hohen Prognosegenauigkeit der Hinweiskarte sollen im Vollzug Sanktionen erst dann eingeleitet werden, wenn

- a) das hohe Gefährdungsrisiko durch Abklärungen vor Ort bestätigt ist und
- b) die im Rahmen einer anschliessenden Betriebsberatung vereinbarten Schutzmassnahmen durch den Betrieb in der gesetzten Frist nicht realisiert worden sind.

1. Ausgangslage

Im Jahre 1999 wurde das regional adaptierte Schätzverfahren „Bodenerosion selber abschätzen – Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater“ für die Ackerbaugebiete des zentralen Mittellandes vorgelegt (MOSIMANN und RÜTTIMANN, 1999). Mit diesem Instrument lässt sich das Risiko der durch Erosion verursachten Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit bzw. die Dringlichkeit von Erosionsschutzmassnahmen parzellenbezogen ermitteln. Seit Frühjahr 2002 ist auch eine Programmversion dieses Verfahrens als Free-Software verfügbar (KANTONE AARGAU, BERN, FREIBURG, LUZERN, SOLOTHURN [Hrsg.], 2002), welche dank feiner skalierten Eingangsdaten eine höhere Genauigkeit bei der Gefährdungsabschätzung erlaubt. Damit ist im Prinzip für jeden Acker Schlag des Solothurner Mittellandes bis hin zum Jurasüdfuss und der Region Thal eine normierte Gefährdungsbeurteilung nach der VBo 1998 möglich.

Eine flächendeckende Gefährdungsbeurteilung mit dem bereits erwähnten und auch für den Kanton Solothurn ausgearbeiteten Erosionsschlüssel würde die aktive Mithilfe aller Betriebsleiter erfordern und wäre nur unter sehr hohem organisatorisch-administrativem, personellem und finanziellem Aufwand zu erreichen. Ein „bottom-up“-Vorgehen mit Selbstdeklaration durch die Betriebsleiter wäre zudem mit vielen Schwierigkeiten verknüpft: Unsicherheiten bezüglich der Vollständigkeit, Reproduzierbarkeit und Vergleichbarkeit der gelieferten Angaben, verbunden mit einem ungewissen Zeithorizont bis zum Vorliegen einer vollständigen, flächendeckenden Situationsübersicht. Zudem wäre wohl bereits auf der Stufe Informationsbeschaffung eine Anreiz- bzw. Sanktionsstrategie notwendig.

Ohne weitergehende Planungs- und Entscheidungsgrundlagen würde sich der Vollzug des Erosionsschutzes in der Landwirtschaft jedoch weiterhin schwierig und kaum kontrollierbar gestalten.

ten. Übereinstimmend haben das Amt für Umwelt und das Amt für Landwirtschaft des Kantons Solothurn im Sommer 2001 deshalb beschlossen, eine Gefährdungskarte Bodenerosion ausarbeiten zu lassen, welche die Gefährdungsdiskposition der relevanten Ackerbauflächen im Kanton aufzeigen soll. Daraus müssen die erstrangigen Problemgebiete und -flächen hervorgehen, um die Anstrengungen bei der Erosionsbekämpfung inskünftig räumlich fokussieren und gezielt intensivieren zu können.

2. Grundkonzept der Gefährdungskarte Bodenerosion

2.1. Von der „klassischen“ Erosionsrisikokarte zur neuen, bodenschutz- und vollzugsorientierten Gefährdungskarte

In den achtziger bis Mitte der neunziger Jahre wurden für verschiedenste Gebiete Mitteleuropas Erosionsgefährdungskarten erarbeitet, die unter Verwendung eines GIS-gestützten Bodenerosionsmodells das Ausmass des zu erwartenden Bodenabtrags meist ohne Berücksichtigung betriebsspezifischer Fruchtfolgen raumbezogen prognostizierten (SOKOLLEK und WULFF, 1984; AUERSWALD und SCHMIDT, 1986; NEUFANG et al., 1988; EHGARTNER et al., 1988; DÄLLENBACH und KUHN, 1991, DRÄYER et al., 1995; DRÄYER, 1996; PRASUHN und SCHAUB, 1996). Diesen „klassischen“ Erosionsrisikokarten fehlt aus der Sicht des Bodenschutzes jedoch ein relevanter Beurteilungsschritt: Die Verknüpfung des prognostizierten Bodenabtrags mit der aktuell vorhandenen Bodengründigkeit. Denn die Dringlichkeit von Erosionsschutzmassnahmen lässt sich nur ausreichend zuverlässig beurteilen, wenn die prognostizierten Bodenverlusten auf der Grundlage eines anerkannten Toleranz- oder Richtwertkonzeptes dem definierten Bodenerhaltungsziel gegenübergestellt werden (MOSIMANN, 1995).

Im Erosionsschlüssel für den Kanton Basel-Landschaft wurde erstmals ein diesem Grundsatz entsprechender Bewertungsschritt eingeführt (MOSIMANN und RÜTTIMANN, 1995). Im Vordergrund stand damit nicht mehr die Aussage zur Bodenerosionsgefährdung, sondern unter Einbezug der Bodengründigkeit eine Prognose zur Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit und zur Massnahmendringlichkeit. Dieses neue Bewertungskonzept, das bei einer parzellenbezogenen Gefährdungsbestimmung die Bodengründigkeit gleich stark gewichtet wie die Bodenverluste, wurde bei der Adaption des Schlüssels für die übrigen

Hauptackergebiete der Schweiz in leicht modifizierter, d.h. in mit der VBBo abgestimmter Form übernommen (MOSIMANN und RÜTTIMANN, 1996a, 1999, 2000). Somit darf es heute als in der Schweiz anerkannte Norm zur Beurteilung der erosionsbedingten Bodengefährdung angesehen werden.

Die dem Erosionsschlüssel zu Grunde gelegte Bewertungsnorm liegt als Nomogramm vor und ist auch bei der Herstellung von Gefährdungskarten ohne Einschränkung anwendbar. Sie lässt sich unabhängig vom Kartenmassstab als bodenschutzspezifisches Modul in die GIS-gestützte Gefährdungsprognose einbauen (RÜTTIMANN und GSTEIGER, 1996).

In Anbetracht dieser Entwicklung ist die Herstellung einer „klassischen“ Erosionsrisikokarte für die bodenschützerische Vollzugspraxis nicht mehr opportun. Die für den Kanton Solothurn zu erarbeitende Gefährdungskarte Bodenerosion wird deshalb als Karte zur erosionsbedingten Bodengefährdung bzw. als Massnahmendringlichkeitskarte konzipiert. Diese neue Karte ist zudem wahrscheinlichkeitbasiert, d.h. sie berücksichtigt die Unschärfe der Eingangsdaten und die kleinräumige Heterogenität der Boden- und Reliefeigenschaften und der Bewirtschaftung.

2.2. Anforderungen an die Gefährdungskarte

Im Hinblick auf die Verwendbarkeit in der Vollzugspraxis muss die Gefährdungskarte folgende Anforderungen erfüllen:

- a) Sie schliesst die gesamte Ackerfläche des Kantons in die Gefährdungsbeurteilung mit ein.
- b) Sie stützt sich auf ein normiertes, alle Ackerflächen nach gleichen Beurteilungskriterien behandelndes Prognoseverfahren ab und schafft damit die Voraussetzung für einen ausgewogenen, dem Dringlichkeitsprinzip folgenden Vollzug in der Erosionsbekämpfung.
- c) Sie orientiert sich in Konzeption, Berechnungs- und Beurteilungsmethode soweit möglich am Erosionsschlüssel und basiert auf einer räumlich differenzierten Aufbereitung der massgeblichen, kurzfristig nicht oder nur wenig veränderbaren Einflussfaktoren.
- d) Sie zeigt im Massstab 1:25'000 diejenigen Ackerflächen im Kanton, für welche mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durch Wassererosion zu erwarten ist (Gefährdungsstufe 2 [Schutzmass-

nahmen notwendig] und Gefährdungsstufe 3 [Schutzmassnahmen sehr dringlich] gemäss Nomogramm im Erosionsschlüssel).

Arbeitstechnisch erfolgt die Gefährdungsprognose rasterbasiert unter Verwendung der Geographischen Informationssysteme MapInfo und ARC/INFO. Im Rahmen der für die Gefährdungsprognose erforderlichen komplexen Datenverarbeitung ermöglicht der GIS-Einsatz eine operationelle Analyse und Verknüpfung der Eingabedaten bis hin zur Visualisierung der Ergebnis- bzw. Ausgabedaten. Zudem reduziert der Rechner- und GIS-Einsatz den flächenbedingten Bearbeitungsaufwand erheblich und verhindert unsystematische Fehler bei der Gefährdungsbestimmung.

Mit der Wahl des Darstellungsmassstabes 1:25'000 siedelt sich die Prognosekarte für den Kanton Solothurn im makroskaligen Bereich an. Dies impliziert gewisse Einschränkungen in bezug auf die Datenverfügbarkeit und Darstellbarkeit des Gefährdungsbefundes. So kann keine scharfe, ausschliesslich auf die einzelnen Ackerschläge bezogene Gefährdungsprognose (wie mit dem Schlüssel) generiert werden, weil

- sich das Schlagmuster mit dem gewählten Massstab nicht befriedigend auflösen lässt,
- die Schlaggrenzen ohnehin mehr oder weniger starken nutzungsbedingten Veränderungen unterliegen und
- ackerschlagspezifische Angaben wie beispielsweise zur Bewirtschaftung (Dauergrünland, Fruchtfolge, Bodenbearbeitung) für den gewählten Kartenmassstab nicht mit dem erforderlichen Raumbezug verfügbar sind.

Gleichwohl soll die effektive Gefährdungssituation der Ackerschläge im Rahmen einer flächendeckenden Gefährdungsprognose möglichst gut angenähert werden. Eine Kernaufgabe bestand also darin, auf der Grundlage der verfügbaren oder leicht erarbeitbaren Datensätze ein Verfahren im GIS zu entwickeln, das trotz massstabs- und grundlagenbedingter Unsicherheiten einen räumlich genügend präzisen Hinweis auf die zu erwartende Bodengefährdung zu liefern vermag. „Räumlich präzise“ bedeutet im Massstab 1:25'000, dass sich allfällige Problemflächen innerhalb eines ackerbaulich genutzten Hanges oder Gewannes herauskristallisieren und nachträglich vor Ort schnell festgestellt werden kann, welches die betroffenen Ackerschläge sind. Die Gefährdungskarte liefert damit in einer Gesamtübersicht den

Hinweis auf die voraussichtlichen Problemflächen mit erhöhter Massnahmendringlichkeit.

2.3. Rechen- bzw. Prognosemodell

Die „Universal Soil Loss Equation“ (kurz USLE; WISCHMEIER und SMITH, 1978) ist das bisher einzige, wissenschaftlich genügend abgesicherte, flächendeckend einsetzbare und für praktische Zwecke taugliche Prognosemodell, das den mittleren jährlichen Bodenabtrag durch Flächenspülung mit allgemein verfügbaren Daten prognostizieren kann. Auch lässt sich das USLE-Modell relativ einfach in ein GIS implementieren und in unterschiedlichen Arbeitsmassstäben zur Erfüllung von Planungs- und Schutzaufgaben beziehen. Allerdings weist das Modell Grenzen auf, die es bei der Massstabswahl zu kennen und bei der Ergebnisauswertung und der Massnahmenplanung zu berücksichtigen gilt (WISCHMEIER, 1976).

Um das komplexe Zusammenwirken der wesentlichen Teilprozesse beim flächenhaften Bodenabtrag abbilden zu können, verlangt das USLE-Modell die Bestimmung von sechs erosionsfördernden bzw. -hemmenden Einflussfaktoren.

In SI-Einheiten lautet die Modellgleichung:

$$A = R K L S C P [M]$$

wobei

A: langjähriger, mittlerer Bodenabtrag ($\text{kg m}^{-2} \text{a}^{-1}$)

R: Regen- und Abflussfaktor ($\text{N h}^{-1} \text{a}^{-1}$)

K: Bodenerodierbarkeitsfaktor ($\text{kg h N}^{-1} \text{m}^{-2}$)

L: Hanglängenfaktor ()

S: Hangneigungsfaktor ()

C: Bodenbedeckungs- und Bearbeitungsfaktor ()

P: Schutzmassnahmenfaktor ()

[M]: empirische Modellkorrektur

Die Gewichtung dieser sechs Einflussfaktoren ist nur vordergründig gleich gross, denn einzeln stellt jeder Faktor ein Submodell dar, welches das Ausmass der Flächenspülung unterschiedlich stark und nicht-linear beeinflusst. So bestimmen etwa die Faktoren L, S und C den flächenhaften Bodenabtrag bedeutend stärker als die übrigen Faktoren R, K und P.

Der unterschiedlichen Sensitivität entsprechend (AUERSWALD, 1987) müssen die den Abtrag stärker bestimmenden Einflussfaktoren mit der best möglichen räumlichen Differenzierung im GIS erfasst werden, während die Generalisierung

einflussschwächerer Faktoren bis zu einem gewissen Grad ohne wesentlichen Genauigkeitsverlust zulässig ist. Gerade die Möglichkeit, die beiden stark abtragsbestimmenden Topographiefaktoren L und S in einem GIS hoch aufzulösen, erweist sich als Vorteil des GIS-gestützten Modelleinsatzes. Hingegen sind ackerschlagspezifische Bewirtschaftungsdaten kaum ohne aufwändige Zusatzerhebungen verfügbar und erfordern alternative Lösungen bei der C-Faktor-Bestimmung (z.B. Annahme regionstypischer Werte oder Häufigkeitsverteilungen).

Als siebter Faktor figuriert in obiger Bodenabtragsgleichung eine mit M bezeichnete empirische, regionsspezifische Modellkorrektur. Die Notwendigkeit einer Korrektur bei der Anwendung des USLE-Modells unter schweizerischen Relief-, Boden- und Bewirtschaftungsverhältnissen wurde schon früher erkannt und in den Erläuterungen zum Bodenerosionsschlüssel für den Kanton Basel-Landschaft bereits ausführlich begründet (MOSIMANN und RÜTTIMANN, 1996b).

2.4. Die Wahrscheinlichkeitsaussage

Die rechnerische Verknüpfung der Einzelfaktoren erfolgt pixelweise und liefert die Prognose zum mittleren jährlichen Bodenabtrag. Für die Faktoren K und C gingen allerdings nicht Einzelwerte, sondern immer die hergeleiteten regionsspezifischen Häufigkeitsverteilungen in die Modellberechnung ein. Dadurch resultiert für jedes Pixel als Zwischenergebnis eine pixelspezifische Häufigkeitsverteilung des prognostizierten Bodenabtrags.

Analog dem Nomogramm in Schlüssel wurde für jedes Pixel aus den berechneten Abtragshäufigkeiten und den ermittelten Gründigkeitshäufigkeiten abschliessend die Verteilungsfunktion der Gefährdungs- bzw. Massnahmendinglichkeitsstufen ermittelt. Durch gezielte Abfragen im GIS, d.h. unter Vorgabe von Schwellenwerten und Wahrscheinlichkeitsklassen, kann nun die Wahrscheinlichkeit für eine beliebige Gefährdungsstufe angezeigt und in der Prognosekarte differenziert dargestellt werden.

2.5. Plausibilitätskontrolle der Gefährdungsprognose im Feld

Im Rahmen zweier Feldtage wurden während des Pilotprojektes die Gefährdungskarten vor Ort in vier Testgebieten stichprobenmässig überprüft. Ziel dieser Feldbegehungen war es, die „synthetisch“ entstandene Gefährdungskarte unter Einbezug der realen Nutzungs- und Standortverhältnisse

hinsichtlich ihrer Aussagegüte bewerten zu können.

Im Feld wurde folgendermassen vorgegangen:

1. Detaillierte Bestimmung der Gefährdungsstufe mittels digitalem Bodenerosionsschlüssel für fünf zufällig ausgewählte Ackerschläge zwecks Verifikation des Kartenbefundes.
2. Grossflächige Plausibilitätskontrolle des Kartenbefundes durch gezielte Begehung und Schnelleinschätzung von rund 40 weiteren Ackerflächen mit hoher Wahrscheinlichkeit für die Gefährdungs- bzw. Massnahmenstufe 3. (Hierbei wurden vorrangig Ackerflächen überprüft, bei welchen alleine durch die Erosionsfaktoren Relief, Boden und Bewirtschaftung ein derart hohes Gefährdungsrisiko resultierte [Index grösser 120], dass auf eine Bestimmung der Bodengründigkeit verzichtet werden konnte.)

Die zweitägige Plausibilitätskontrolle führte in 41 Fällen, d.h. in 90 % zu einem übereinstimmenden Gefährdungsbefund mit der Hinweiskarte. Darunter befinden sich alle fünf Ackerschläge, für welche eine detaillierte Gefährdungsschätzung mit der digitalen Schlüsselversion vorgenommen worden war. Des Weiteren liess sich feststellen, dass die Hinweiskarte die kritischsten Ackerbereiche innerhalb eines Gewannes räumlich ziemlich präzise wiedergibt.

3. Umsetzung des Gefährdungsbefundes in konkrete Erosionsschutzmassnahmen

3.1. Übersicht über den Vollzugsablauf

Die massstabs- und grundlagenbedingten Unsicherheiten der Gefährdungsprognose aus der Karte in bezug auf den einzelnen Ackerschlag erfordern zwingend eine ergänzende Gefährdungsbeurteilung vor Ort und die Mitarbeit des Betriebsleiters, bevor eine definitive Entscheidung über die notwendigen ackerschlag- oder gar betriebspezifischen Massnahmen gefällt werden kann.

Die kantonalen Vollzugsbehörden sehen deshalb, basierend auf der Hinweiskarte 1:25'000 der erosionsbedingten Bodengefährdung, für den Vollzug des Erosionsschutzes drei weitere Schritte vor:

1. Die Identifikation der Problemfläche bzw. Betriebe mittels einer Verknüpfung des Gefährdungsbefundes mit der Grundbuchsituation.

2. Die Risikoabklärung vor Ort durch die landwirtschaftlichen Kontrollorgane (ÖLN-Kontrolleure).
3. Eine gezielte Betriebsberatung, d.h. die Planung konkreter Schutzmassnahmen verbunden mit einer Frist zur Umsetzung.

3.2. Einbindung der landwirtschaftlichen Kontrollorgane

Für Teilschritt 2, der Risikoabklärung vor Ort durch die ÖLN-Kontrolle, liegt ein von den beiden zuständigen Ämtern ausgearbeitetes Beurteilungsfeld vor, welches im Rahmen der regulären Kontrollen in Betrieben mit indizierten Problemflächen zum Einsatz gelangen und den Gefährdungsbefund der Hinweiskarte verifizieren und ergänzen soll.

Der beauftragte Kontrolleur beurteilt mit Hilfe dieser „Checkliste“ u.a. wichtige, bewirtschaftungsabhängige Risikofaktoren wie die Intensität der Bodenbearbeitung, den Zustand der Bodenstruktur, das Vorhandensein erosionshemmender Strukturen (Wasserbarrieren) innerhalb des Gewinns, allfällige Spezialitäten der Bewirtschaftung (Mulch- oder Direktsaatverfahren), die Anbauart, bereits realisierte Schutzmassnahmen, Häufigkeit und Ausmass linearer Erosionsschäden, etc..

Diese Faktoren konnten bei den Modellrechnungen zur Hinweiskarte aus datentechnischen und methodischen Gründen jeweils nicht mit der erwünschten Ackerschlagschärfe berücksichtigt werden. Mit Hilfe der Betriebskontrolle lassen sich derartige Informationslücken jedoch gezielt schliessen und zu einem umfassenderen Gefährdungsbefund verarbeiten.

3.3. Gezielte Betriebsberatung und allfällige Sanktionen

Auf der Grundlage der vorliegenden Risikoeinschätzung legen die Kontrollorgane das weitere Vorgehen fest.

Bei Unklarheiten oder im Streitfall besteht die Möglichkeit, den Gefährdungsbefund der Hinweiskarte oder des Beurteilungsfelds im Rahmen einer abschliessenden, ackerschlagscharfen Detailbestimmung (mittels analogem oder digitalem Erosionsschlüssel) zu überprüfen.

Im günstigsten Fall kann ein Betrieb auf weitere betriebs- und ackerschlagspezifische Schutzmassnahmen verzichten. Die Notwendigkeit zusätzlicher Schutzmassnahmen entfällt beispielsweise dann, wenn ein Betrieb auf allen gefährde-

ten Ackerflächen bereits ein erosionshemmendes bzw. bodenschonendes Anbausystem praktiziert oder das Risiko durch mehrere, zu einem effizienten Massnahmenverbund kombinierte Einzelmassnahmen minimiert hat.

Hat ein Betrieb auf Ackerflächen mit hohem Erosionsrisiko bislang keine oder nur unzureichende Vorkehrungen zum Schutz vor Bodenerosion getroffen, informiert der Kontrolleur die zuständige Vollzugsbehörde (Umwelt- oder Landwirtschaftsamt). Diese Meldung löst mit Teilschritt 3 des Vollzugskonzeptes eine gezielte „Erosionsberatung“ aus, bei welcher gemeinsam mit dem Betriebsleiter geeignete Schutzmassnahmen evaluiert und festgelegt sowie die entsprechenden Umsetzungsschritte in einem Zeitplan terminiert werden (RÜTTIMANN und MOSIMANN, 1999).

Die wirksamen und zumutbaren Schutzmassnahmen sowie Abfolge und Zeithorizont ihrer Realisierung im Betrieb sollen in einer schriftlichen Vereinbarung mit dem Betriebsleiter festgehalten werden. Erst die Verletzung gegen diese Vereinbarung, beispielsweise durch mutwillige Verzögerung des Zeitplanes oder gar unbegründeten Massnahmenverzicht, kann Sanktionen durch die Vollzugsbehörde zur Folge haben.

Literaturverzeichnis

AUERSWALD, K., 1987: Sensitivität erosionsbestimmender Faktoren. – Wasser und Boden, 1, 34-38.

AUERSWALD, K. und F. SCHMIDT, 1986: Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern. – GLA-Fachberichte, 1, München, 74 S.

DÄLLENBACH, F. und S. KUHN, 1991: Erosionsrisikokartierung Massstab 1:25'000. Eine Anwendung der Universal Soil Loss Equation (USLE) unter Einbezug der Bodenkarte Zurzach für das Gebiet Zurzach-Koblentz-Klingnau (AG). – Finanzdepartement des Kantons Aargau/Abteilung Landwirtschaft, Aarau (vervielfältigtes Manuskript), 127 S.

DRÄYER, D., J. FRÖHLICH, M. HUBER und D. SCHAUB, 1995: GIS-gestützte Bodenerosionsmodellierung in der Nordwestschweiz. – BGS-Bulletin, 19, Zollikofen, 105-108.

DRÄYER, D., 1996: GIS-gestützte Bodenerosionsmodellierung im Nordwestschweizerischen Tafeljura. – Physiogeographica, 22, Basel, 234 S.

EHGARTNER, M., R. KALLIANY und A. STECHAUNER, 1988: Bodenerosionsgefährdungskarten als Plangrundlage in der Flurbereinigung. – Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 1, 3-7.

KANTONE AARGAU, BERN, FREIBURG, LUZERN, SOLOTHURN [Hrsg.] in Zusammenarbeit mit Th. MOSIMANN und M. RÜTTIMANN, 2002: Bodenerosion selber abschätzen. Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. Ackerbaugebiete des zentralen Mittellandes. – Programm-Version 1.01 auf CD-Rom (auch als Free-Software verfügbar unter http://www.afulu.ch/index/Themen/bodenschutz/bodenschutz-25/umgang_mit_boden_2.htm oder www.so.ch/de/pub/departemente/bjd/afu_home/0500_fachber/0507_boden/0507a_erosion.htm).

MOSIMANN, Th., 1995: Schätzung der Bodenerosion in der Praxis und Beurteilung der Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durch Bodenabtrag. – Bodenschutz (Ergänzbare Handbuch der Massnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser), Thema Nr. 4070, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 34 S.

MOSIMANN, Th. und M. RÜTTIMANN, 1995: Bodenerosion selber abschätzen. Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. – Volkswirtschafts- und Sanitätsdirektion des Kantons Basel-Landschaft [Hrsg.], Liestal, 16 S.

MOSIMANN, Th. und M. RÜTTIMANN, 1996a: Erosion. Clé d'appréciation du risque des sols cultivés de Suisse romande. – Service romand de vulgarisation agricole [éd.], Lausanne, 27 S.

MOSIMANN, Th. und M. RÜTTIMANN, 1996b: Abschätzung der Bodenerosion und Beurteilung der Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit. Grundlagen zum Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. – Amt für Umweltschutz und Energie des Kantons Basel-Landschaft [Hrsg.], Liestal, 40 S.

MOSIMANN, T. und M. RÜTTIMANN, 1999: Bodenerosion selber abschätzen. Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. Ackerbaugebiete des zentralen Mittellandes. – Abt. Landwirtschaft Kanton Aargau, Abt. Umwelt und Landwirtschaft Kanton Bern, Amt für Umweltschutz und Landwirtschaftsamt Kanton Luzern, Amt für Umweltschutz und Amt für Landwirtschaft Kanton Solothurn [Hrsg.], Aarau, Bern, Luzern und Solothurn, 35 S.

MOSIMANN, Th. und M. RÜTTIMANN, 2000: Bodenerosion selber abschätzen. Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. Ackerbaugebiete des östlichen Mittellandes. – Landwirtschaftsamt Kanton Schaffhausen, Amt für Umweltschutz und Landwirtschaftsamt Kantons St. Gallen, Amt für Umwelt Kanton Thurgau und LBBZ Arenenberg, Amt für Landschaft und Natur Kanton Zürich [Hrsg.], Neuhausen am Rheinfl, St. Gallen, Frauenfeld und Zürich, 36 S.

NEUFANG, L., K. AUERSWALD und W. FLACKE, 1988: Räumlich-differenzierende Berechnung grossmassstäblicher Erosionsprognosekarten. Anwendung der ABAG in der Flurbereinigung und Landwirtschaftsberatung. – Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung, 30, 233-241.

PRASUHN, V und D. SCHAUB, 1996: Bodenerosionskarte der Schweiz. – BGS-Dokument, 8, 11-14.

RÜTTIMANN, M. und P. GSTEIGER, 1996: Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit durch Erosion. GIS-gestützte Modellierungen mit der Universellen Bodenabtragungsgleichung (USLE). – Geoprocessing Reihe, Vol. 31, Zürich, 73-81.

RÜTTIMANN, M. und Th. MOSIMANN, 1999: Praxishilfe Erosionsschutz im Landwirtschaftsbetrieb. – Vollzug Umwelt, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft [Hrsg.], Bern, 150 S.

SOKOLLEK, V. und K. WULFF, 1984: Entwicklung einer Erosions-Gefahrenstufenkarte für ein Flurbereinigungsgebiet in Osthessen. – Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, 39, 157-162.

VBBo = Verordnung über Belastungen des Bodens vom 1. Juli 1998. – Bern, 11 S.

WISCHMEIER, W.H., 1976: Use and misuse of the universal soil loss equation. – Journal of soil and water conservation, 31, 5-9.

WISCHMEIER, W.H., und D.D. SMITH, 1978: Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. – Agricultural handbook, 537, USDA, Washington DC, 58 S.

Kartierung aktueller Erosionsschäden im Berner Mittelland

Volker Prasuhn

Agroscope FAL Reckenholz, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Gruppe Gewässerschutz, CH-8046 Zürich

Zusammenfassung

In einem Testgebiet im Berner Mittelland mit 270 ha Ackerfläche werden seit sechs Jahren detaillierte Erosionsschadenskartierungen durchgeführt. Im Mittel wurden bisher knapp 20% der Ackerfläche durch Bodenerosion geschädigt. Die mittleren Bodenabträge lagen mit 0,67 t/ha und Jahr vergleichsweise niedrig, auf einigen Parzellen wurden aber die gesetzlichen Richtwerte überschritten. Lineare Erosion war mit 68% bedeutender als flächenhafte Erosion (32%), in den Winterhalbjahren wurde mehr Boden erodiert (59%) als in den Sommerhalbjahren. Rund 20% des erodierten Bodens wurden gemäss Erosionsschadenskartierungen in Gewässer transportiert.

Abstract: Mapping of actual soil erosion in the Swiss Bernese central lowland

Erosion damage is continuously mapped over six years in a test region with 270 ha arable land in the Bernese central lowlands based on mapping guidelines. So far the results show that approximately 20% of the arable land was affected by soil erosion every year. Mean soil loss of all fields was 0.67 t ha⁻¹ y⁻¹ and comparatively low, however on some fields the legal guide values were exceeded. Rill erosion (68%) was more important as sheet erosion (32%) and in the winter period more soil was eroded (59%) than in the summer period. On average, 20% of the eroded soil material was transported into a river or a lake according to the erosion mapping.

Keywords: soil erosion, soil loss, mapping of erosion damage, offsite effects

1. Einleitung

Erosionsschadenskartierungen zur Erfassung und Quantifizierung linearer Erosionsschäden haben in der Schweiz eine lange Tradition. Bereits in den siebziger Jahren wurden vom Geographischen Institut der Universität Basel Kartierungen durchgeführt und eine erste Kartieranleitung erstellt (SCHMIDT 1979, LESER et al. 2002, OGERMANN et al. 2003). Auch im Rahmen des "Nationalen Forschungsprogramms: Nutzung des Bodens in der Schweiz, NFP 22" wurden zwischen 1987 und 1989 umfangreiche Erosionsschadenskartierungen durchgeführt (MOSIMANN et al. 1990). Bei der Evaluation der Ökomassnahmen wird seit 1997 ebenfalls auf Erosionsschadenskartierungen zurückgegriffen (PRASUHN & GRÜNIG 2000). Im europäischen Umfeld sind Erosionsschadenskartierungen dagegen nicht sehr verbreitet; hier stützt man sich mehr auf Modellierungen und Testparzellenmessungen. Im Rahmen der neuen EU Soil Policy werden jedoch Kartierungen als sinnvolle Ergänzung zu Modellrechnungen zumindest erwähnt (VAN-DEKERCKHOVE et al. 2004).

Warum haben sich die zeit- und arbeitsintensiven Kartierungen im Zeitalter der Modellierungen bis heute halten können? Keines der unzähligen Erosionsmodelle wurde bisher in der Schweiz

validiert und ist damit uneingeschränkt einsetzbar. Viele Erosionsmodelle wie z.B. die USLE (Universal Soil Loss Equation) bzw. ABAG (Allgemeinen Bodenabtragsbleichung) bilden nur die flächenhafte Erosion und "normale" lineare Erosion an gestreckten Hängen ab, nicht jedoch spezielle lineare Erosionsformen, wie z.B. Talwegerosion in Geländemulden, Erosion durch Hangwasseraustritt oder Fremdwasserzufluss, Erosion in Fahrspuren, Ackerrand- oder Anhauptfurchen. Gerade solche Erosionsformen treten in der Schweiz aber häufig auf (PRASUHN 1991). Weiterhin erfassen viele Erosionsmodelle nur die Onsite-Schäden, also die Schäden auf der Ackerfläche selbst, nicht aber allfällige Off-site-Schäden, wie z.B. Gewässerbelastung oder Schäden an Gebäuden oder Infrastruktureinrichtungen. Entsprechend haben Erosionsschadenskartierungen noch heute ihre Berechtigung und können - in Kombination mit Erosionsmodellen (PRASUHN & WEISSKOPF 2003) oder anderen Abschätzverfahren wie dem Erosionsschlüssel von MOSIMANN & RÜTTIMANN (1995) - einen umfassenden Überblick über die Erosionssituation in einem Gebiet geben.

Im Folgenden werden Ergebnisse mehrjähriger Erosionsschadenskartierungen eines als Langzeit-Monitoring angelegten Projektes aus einem Testgebiet im Kanton Bern vorgestellt.

2. Methodik

Die Kartierung aller sichtbaren Erosionsformen erfolgt in Anlehnung an bestehende Kartieranleitungen (ROHR et al. 1990, DVWK 1996). Neben der kartographischen Erfassung der jeweiligen Erosionsschäden (parzellenscharf und lagegetreu) werden alle linearen Erosionsformen (ab 2 cm Breite und Tiefe) vermessen und quantifiziert (Abb. 1). Dazu wird die jeweilige Erosionsrinne in repräsentative Teilstücke unterteilt. Für diese Teilstücke wird mittels Klappmeter die mittlere Tiefe und mittlere Breite gemessen und mit der Länge des Teilstückes zum Ausräumvolumen in Kubikmeter verrechnet. Durch Aufaddierung der

Volumina der Teilstücke ergibt sich das gesamte Ausräumvolumen der Erosionsform. Bei komplexen Erosionsformen mit einer Vielzahl von verschiedenen Rillen werden die Durchmesser aller Rillen auf zwei oder drei Linien parallel zum Hang erfasst (Traversenmethode). Bei einer Vielzahl gleicher bzw. ähnlicher Rillen an einem Hang wird eine repräsentative Rinne vermessen und der gesamte Abtrag über die Anzahl an ähnlichen Rillen ermittelt (Extrapolationsmethode). Die Umrechnung der Volumina in Gewicht erfolgt unter der Annahme einer mittleren Lagerungsdichte der obersten Bodenzentimeter von $1,0 \text{ g/cm}^3$.

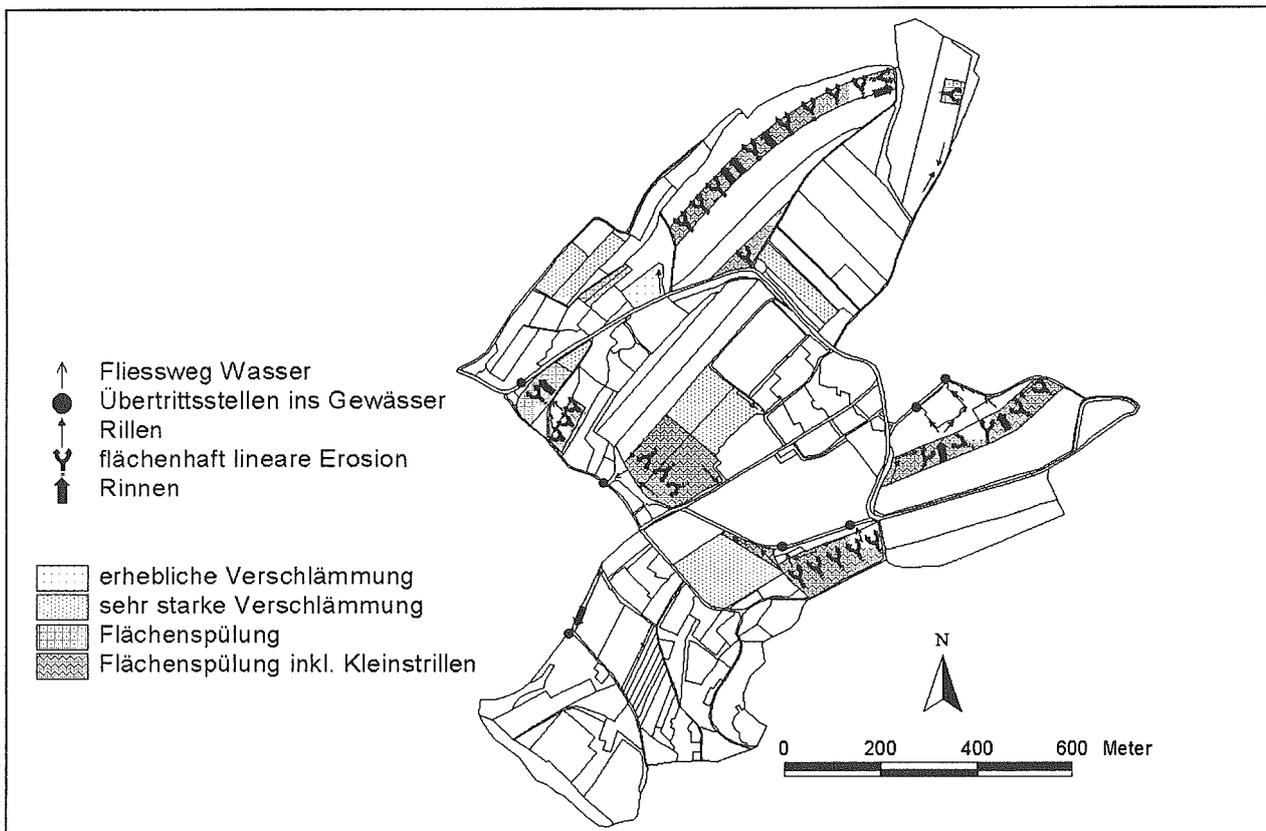


Abb. 1: Beispiel einer Erosionsschadenskartierung aus einem Teilgebiet des Untersuchungsgebietes aus dem Winterhalbjahr 1998/99.

Bei flächenhafter Erosion wird der prozentuale Anteil der geschädigten Fläche jeder Parzelle geschätzt und qualitativ in drei Intensitätsstufen (schwach flächenhaft, flächenhaft und stark flächenhaft inklusive Kleinstrillen <2 cm Tiefe und Breite) aufgrund des visuellen Eindrucks (Fließspuren) unterteilt und mit aus Feldmessungen von MOSIMANN et al. (1990) stammenden Abtragswerten quantifiziert. Dabei handelt es sich nur um eine grobe Annäherung an die realen Werte; die Kartierung dient ja in erster Linie zur Quantifizierung linearer Erosionsformen. Zusätzliche Informationen (Landnutzung, Bodenbearbeitung, Off-site-Schäden, Fremdwasserzufluss, Fahrspuren etc.) werden ebenfalls aufgenommen

und in eine Datenbank übertragen. Die Niederschlagsdaten werden von einer naheliegenden amtlichen Klimastation bezogen und ausgewertet.

Die Kartierungen finden mehr oder weniger ereignisbezogen statt. Bei bereits vorhandenen und kartierten Erosionsformen eines früheren Ereignisses wird kontrolliert, ob sie sich vertieft und/oder verbreitert haben und ggf. neu vermessen. Alle Kartierungen wurden bisher vom gleichen Kartierer durchgeführt. Damit werden mögliche Fehler, die nach ROHR et al. (1990) bei der Kartierung bei 20-30% liegen, minimiert bzw. relativiert. Ein erfahrener Kartierer bearbeitet das 270 ha Ackerland umfassende Untersuchungs-

gebiet bei kleinen Erosionsereignissen an einem Tag, bei grossen an zwei Tagen. Bei rund 10-20 Kartierungen pro Jahr fallen somit jährlich rund 10-20 Arbeitstage an.

Tab. 1: Gebietscharakterisierung.

Gebietshöhe	475 - 720 m.ü.M.
Gebietsgrösse	360 ha
Ackerfläche	270 ha
Anzahl Ackerparzellen	210
mittlere Parzellengrösse	1,3 ha
Anzahl Betriebe mit Parzellen im Gebiet	52
mittlere Betriebsgrösse	16,7 ha
mittlerer Jahresniederschlag	1035 - 1150 mm
Erosivität (R-Faktor)	80 - 90 N/h
Böden (Ackerland)	Braunerden, Parabraunerden
Textur	sandige Lehme
mittlere Erodibilität (K-Faktoren)	0,033 kg h / N m ²
Spannweite Erodibilität	0,017 - 0,042
Neigung Ackerparzellen	
Mittelwert	6,5 %
Spannweite	1 - 25%
Hanglänge Ackerparzellen	
Mittelwert	68 m
Spannweite	5 - 210 m
Nutzung Ackerland	
Winterweizen	23%
Wintergerste	9%
Mais	15%
Zuckerrüben	14%
Kartoffeln	6%
Kunstwiese	21%
Rest	12%

Das Untersuchungsgebiet liegt im zentralen Berner Mittelland zwischen Aarberg und Lyss, einer Hauptackerbauregion der Schweiz. Es umfasst fünf Teilgebiete (Frienisberg, Seedorf, Lobsigen, Suberg, Schwanden) und wurde bereits 1987-89 von MOSIMANN et al. (1990) intensiv untersucht und kartiert. Eine Zusammenstellung der wichtigsten Angaben zur Charakterisierung des Gebietes gibt Tabelle 1. Betriebsgrössen und Parzellengrössen sind im internationalen Vergleich klein, für die Schweiz aber typisch. Niederschlagsmenge und Erosivität sind verhältnismässig hoch. Die Böden sind als mässig erosionsanfällig einzustufen. Die Hangneigungen der Ackerparzellen sind relativ hoch, die Hanglängen aufgrund der kleinen Parzellen eher gering. Das Gebiet ist kleinräumig stark reliefiert, so dass Geländemulden auch auf Ackerflächen häufig auftreten. Bei der Nutzung der Ackerflächen haben Kunstwiesen mit 21% einen für den schweizerischen Ackerbau typischen, hohen Anteil.

3. Ergebnisse

In den sechs Jahren zwischen 1998 und 2003 wurden über 1'000 Erosionssysteme (Einzelformen und/oder komplexe Gebilde) kartiert und analysiert. Dabei wurden rund 1'000 m³ Boden erodiert. Bezogen auf die gesamte Ackerfläche von 270 ha ergibt dies rechnerisch einen mittleren Abtrag von 0,67 t/ha und Jahr. 35 Parzellen (17% aller Parzellen) wurden bisher noch nie von Bodenerosion betroffen, 175 Parzellen (83%) mindestens einmal. Im Mittel über die sechs Jahre waren knapp 20% der Ackerflächen pro Jahr von Bodenerosion betroffen. Dieser Wert bezieht sich auf die tatsächlich geschädigte Fläche jeder Parzelle, also nicht immer auf die ganze Parzellenfläche. Es wurden vielfach nur geringe Bodenabträge <1 t/ha und Jahr verzeichnet, auf einzelnen Parzellen traten in einzelnen Jahren aber auch Abträge von >30 t/ha und Jahr auf. 4 Parzellen überschritten im Mittel aller Kartierungsjahre einen Abtrag von 4 t/ha und Jahr und lagen damit über dem Richtwert von 2 bzw. 4 t/ha und Jahr (je nach Gründigkeit) gemäss VBBö, auf 10 Parzellen wurden mehr 2 t/ha und Jahr im Mittel gemessen, hier kann je nach Gründigkeit eine Überschreitung des Richtwertes vorliegen.

Die jährliche Variabilität der Bodenabträge ist gross. In den Perioden Winter 98/99 und Sommer 99 fanden 45% des gesamten Abtrags aller sechs Jahre statt, in den Perioden Winter 97/98 und Sommer 98 nur 4%. Betrachtet man die einzelnen Halbjahre, werden die Unterschiede noch deutlicher (Abb. 2). Mit knapp 300 m³ Abtrag im Winterhalbjahr 98/99 wurde 30% der gesamten Abtragsmenge bzw. 50% der Abtragsmenge im Winter erzielt, mit 15 m³ Abtrag im Sommer 01 wurde dagegen nur 1% des gesamten Abtrags bzw. 4% des Abtrags im Sommer erreicht. Dabei hängt die Höhe des Abtrags pro Halbjahr nicht von der Niederschlagsmenge oder -intensität ab, sondern vom zeitlichen Zusammenspiel von Niederschlag und Bodenbearbeitung bzw. Bodenbedeckung auf Parzellen, die aufgrund der Standortfaktoren potenziell gefährdet sind.

Die Erosionsschäden durch lineare Erosion waren mit 68% bisher deutlich grösser als die durch flächenhafte Erosion (32%). Ursache für die hohe lineare Erosion ist die starke Reliefierung des Gebietes mit vielen kleinen Mulden sowie die zahlreichen Erosionsrillen durch Ackerrand- und Anhaupfurchen, Fahrspuren und Fremdwasserzuflüssen von Wegen. Dass weniger flächenhafte Erosion auftritt, dürfte damit zusammenhängen, dass die Böden nicht besonders erosionsanfällig sind (vergleichsweise wenig Schluff und Feinsand und relativ gute Gefügestruktur aufgrund des hohen Anteils an Kunstwiese in der Fruchtfolge) und dass viele Parzellen durch konservierende Bodenbearbeitungsverfahren relativ gut gegen flächenhafte Erosion geschützt sind.

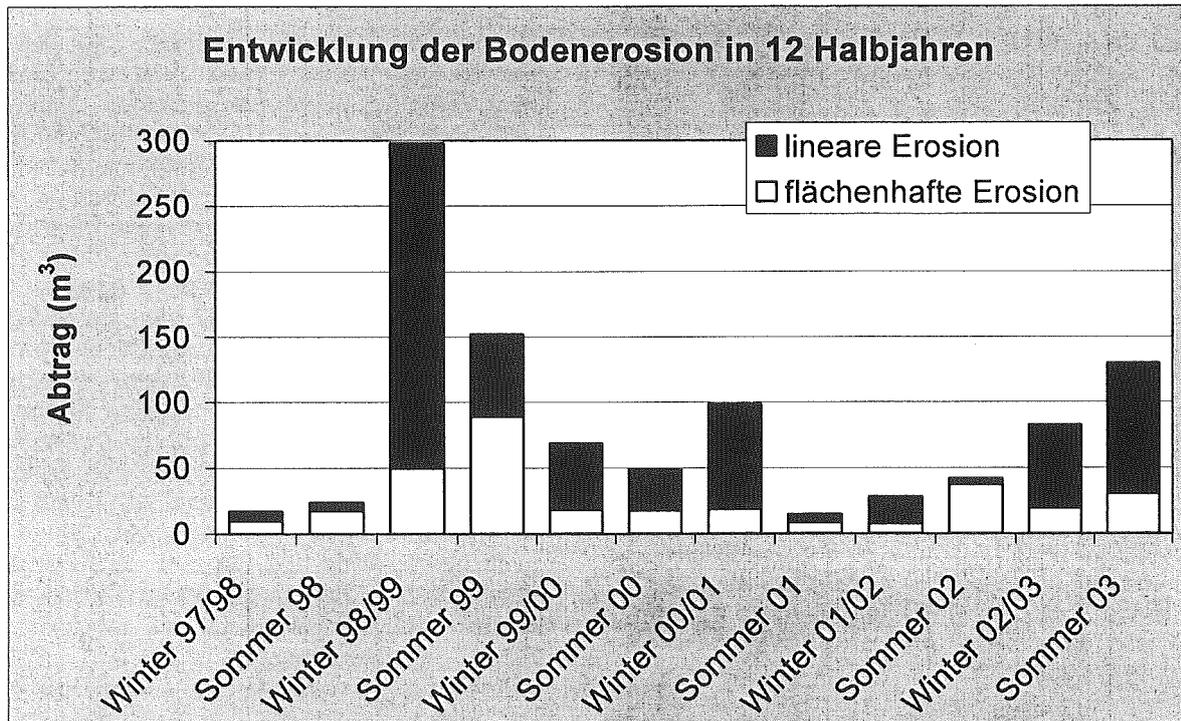


Abb. 2: Entwicklung der Bodenerosion im Untersuchungsgebiet über 12 Halbjahre.

59% aller Erosionsschäden traten bisher im Winterhalbjahr auf, nur 41% im Sommerhalbjahr. Dies erstaunt insofern, als die erosiven Starkregen im Sommerhalbjahr auftreten. Bisher trat aber nie ein Starkregenereignis zu einem Zeitpunkt auf, an dem viele potenziell gefährdete Parzellen eine geringe Bodenbedeckung aufwiesen. Im Hochsommer, wo viele heftige Gewitter auftraten, waren fast immer alle Parzellen gut durch die Vegetation geschützt und die Böden gut wasser aufnehmenfähig. Eine Beziehung zwischen Niederschlagsintensität pro Halbjahr und Abtragsmenge pro Halbjahr besteht nicht. Die hohen Abträge im Winterhalbjahr resultierten nicht aus Schneeschmelzereignissen oder Niederschlägen auf gefrorenen Böden, sondern vielmehr aus langanhaltenden Dauerregen mit vollständiger Sättigung der Böden im späten Herbst, bei gleichzeitig vielen Parzellen mit schlechter Bodenbedeckung. In der Periode 1987-89 überwogen dagegen die Abträge im Sommerhalbjahr (Abb. 3). Zwar sind die beiden Perioden nicht direkt miteinander vergleichbar, da die Zeiträume zu kurz sind und durch Einzelereignisse oder Zufälligkeiten im Witterungsverlauf geprägt sein können; es sprechen jedoch auch einige Gründe dafür, dass sich ein gewisser Wandel ergeben hat. Einerseits haben konservierende Bodenbearbeitungsverfahren bei den Sommerkulturen im Testgebiet deutlich zugenommen, andererseits besteht ein Trend in Richtung Zunahme der Winterniederschläge (PRASUHN 2003).

44% aller Bodenabträge traten bei Winterweizen auf. Zwar hat Winterweizen mit 23% auch einen hohen Flächenanteil, trotzdem sind die mittleren Abträge mit 1,17 t/ha und Jahr vergleichsweise hoch. Sie werden nur durch die mittleren Abträge von 1,60 t/ha und Jahr bei Kartoffeln übertroffen (Abb. 4). Die üblicherweise als besonders erosionsanfällig bezeichneten Kulturen Mais und Zuckerrüben erreichen mit 0,49 bzw. 0,33 t/ha und Jahr erstaunlich niedrige mittlere Abträge. Ursache dafür ist, dass ein zunehmend grösserer Flächenanteil von Mais und Zuckerrüben mit konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren (Direktsaat, Streifenfrässaat, Mulchsaat mit ausreichender Mulchbedeckung) angebaut werden. Bei konservierender Bodenbearbeitung kommt nur noch in Ausnahmefällen Bodenerosion vor. Im Jahr 2003 betrug im Untersuchungsgebiet der Anteil konservierender Bodenbearbeitungsverfahren bei Mais 40% und bei Zuckerrüben 33%. Dieser Flächenanteil ist bezogen auf die gesamte Schweiz überproportional hoch, da konservierende Bodenbearbeitungsverfahren im Kanton Bern speziell propagiert und finanziell gefördert werden. Die vertraglich finanziell unterstützte Fläche im Untersuchungsgebiet betrug 2003 38 ha (14% der Gesamtfläche). Beim Anbau von Winterweizen sind wirksame konservierende Bodenbearbeitungsverfahren kaum möglich. Selbst wenn Winterweizen pfluglos angebaut wird, wird eine wirksame Mulchschicht von mehr als 30% Bodenbedeckung selten erreicht, da die meisten Vorkulturen (z.B. Kartoffeln, Zuckerrüben) nicht genügend Ernterückstände hinterlassen. Je nach

Witterung entwickelt sich der Winterweizen nach der Saat nur langsam, so dass die Parzellen lange Zeit schlecht geschützt sind. Wintergerste entwickelt sich aufgrund der früheren Saat meist

erheblich schneller und schützt die Parzellen im Spätherbst und Winter relativ gut, wie die geringen Bodenabträge zeigen.

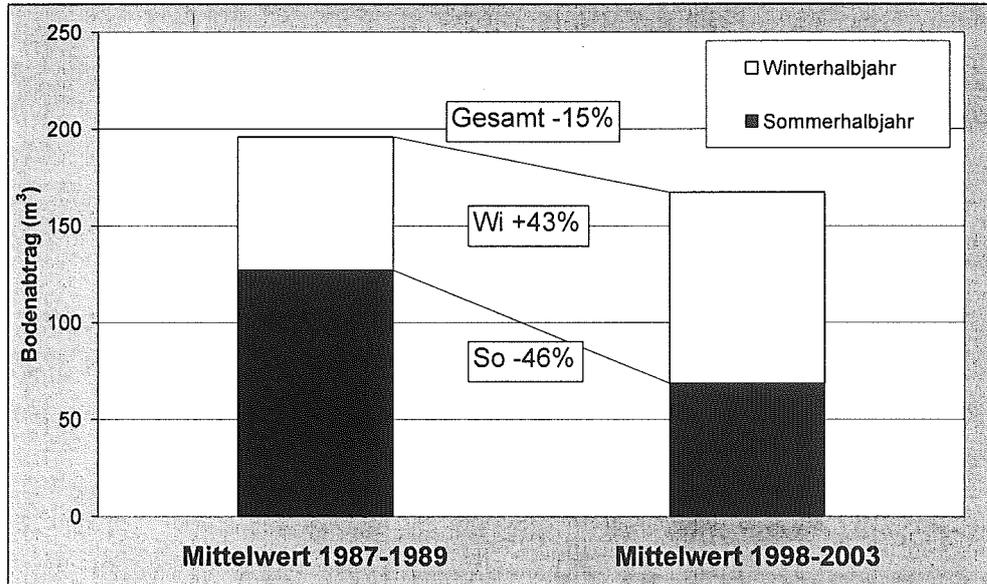


Abb. 3: Durchschnittliche kartierte Bodenabträge in der Periode 1987-1989 und 1998-2003, aufgeteilt in Sommer- und Winterhalbjahr.

Bei den Off-site-Schäden hat der Eintrag von Erosionsmaterial in die Gewässer und der damit verbundene Eintrag von Phosphor die grösste Bedeutung. Nach Abschätzungen von PRASUHN & MOHNI (2003) stammen im Berner Mittelland rund 15% der diffusen Phosphoreinträge in die Gewässer aus der Bodenerosion von Ackerflächen.

Gemäss Erosionsschadenskartierungen wurden rund 20% des erodierten Bodenmaterials über den Parzellenrand hinaus transportiert und gelangten in ein Gewässer. Dabei erreichte der grösste Teil nicht direkt ein Gewässer, sondern wurde via Einlaufschächte von Strassen und Feldwegen ins Gewässer verfrachtet.

4. Schlussfolgerungen

- Knapp 20% der Ackerfläche wird jährlich von Erosion betroffen. Somit ist Erosion zwar kein flächendeckendes Problem, aber dennoch nicht zu vernachlässigen.
- Der mittlere jährliche Bodenabtrag über die sechs Untersuchungsjahre liegt, bezogen auf die gesamte Ackerfläche, deutlich unter 1 t/ha und Jahr (0,67 t/ha und Jahr). Die Richtwerte von 2 bzw. 4 t/ha und Jahr gemäss VBBö wurden bisher auf 4 Parzellen regelmässig überschritten. Es gibt somit einige Parzellen, auf denen dringender Handlungsbedarf besteht. Auf einzelnen Parzellen können in einzelnen Jahren Abträge von >30 t/ha und Jahr auftreten.
- Sowohl lineare als auch flächenhafte Erosion sind von Bedeutung, häufig treten beide Formen

in Kombination auf. Die Abtragsmengen durch lineare Erosion waren bisher im Mittel deutlich höher (68% der gesamten Abtragsmenge) als die durch flächenhafte Erosion (32%). Erosionsschutzmassnahmen sollten sich daran orientieren und entsprechend auch speziell auf lineare Erosion ausgerichtet sein (z.B. grassed waterways, Ableiten von Fremdwasser, Spurlockerung).

- Sowohl im Winter als auch im Sommer können grosse Erosionsschäden auftreten. Im Gegensatz zur Untersuchungsperiode 1987-89 waren in der Untersuchungsperiode 1998-2003 die Erosionsschäden im Winter grösser (59% der gesamten Abtragsmenge) als im Sommer (41%). Vor allem bei Winterweizen traten grosse Abtragsmengen auf. Auf die grosse Gefahr von Erosionsschäden beim Anbau von Winterweizen (vor allem nach Kartoffeln, aber auch nach Zuckerrüben) sollte die Beratung stärker hinweisen bzw. es sollte nach anbautechnischen Alternativen gesucht werden.
- Konservierende Bodenbearbeitungsverfahren (Direktsaat, Streifenfrässaat, Mulchsaat mit mehr als 30% Bodenbedeckung, Streifenfrässaat) reduzieren die Bodenabträge massiv. Die mittleren Bodenabträge bei Mais und Zuckerrüben liegen im Untersuchungsgebiet deshalb relativ niedrig, weil grosse Flächenanteile dieser Kulturen konservierend angebaut werden.
- Rund 20% des erodierten Bodenmaterials gelangte in ein Gewässer. Dabei wurde der grösste Teil nicht direkt in ein Gewässer sondern via Einlaufschächte von Strassen und Feldwegen ins Gewässer transportiert.

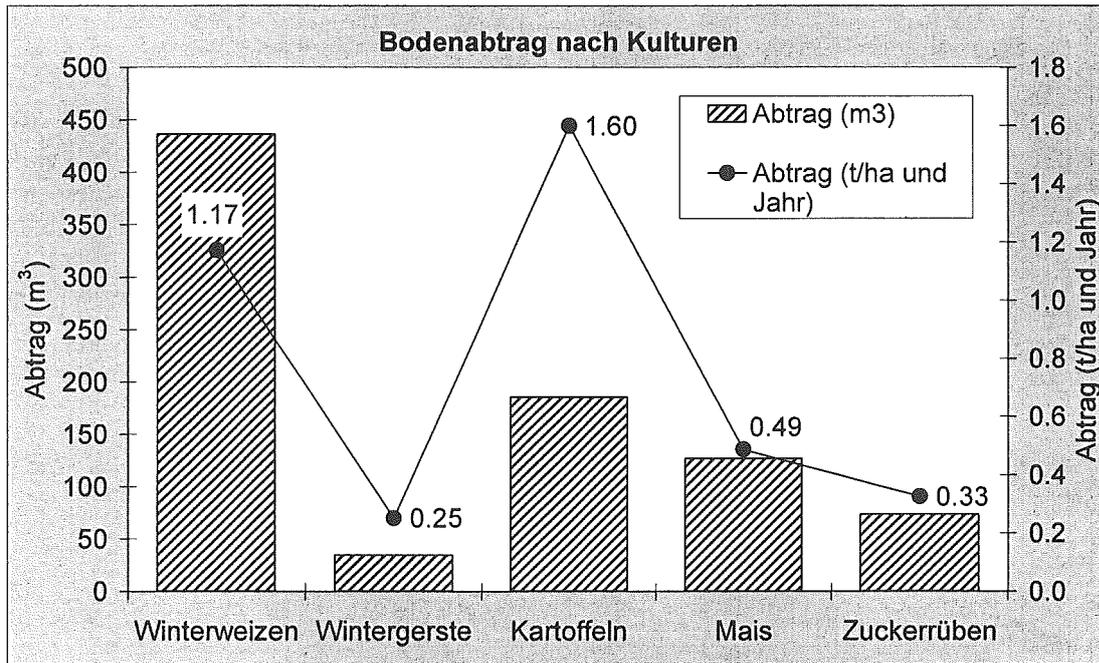


Abb. 4: Kulturspezifische Bodenabträge 1998-2003.

5. Literatur

- DWVK (1996): Bodenerosion durch Wasser. Kartieranleitung zur Erfassung aktueller Erosionsformen. – Merkblätter zur Wasserwirtschaft 239, 62 S.
- LESER, H., MEIER-ZIELINSKI, S. & V. PRASUHN (2002): Soil erosion in catchment areas of Northwestern Switzerland. Methodological conclusions from a 25-year research programme. - Z. Geomorph. N.F. 46/1, 35-60.
- MOSIMANN, T. & M. RÜTTIMANN (1995): Bodenerosion selber abschätzen. Ein Schlüssel für Betriebsleiter und Berater. – Volkswirtschafts- und Sanitätsdirektion des Kanton Basel-Land, Liestal. Bezug: Landwirtschaftl. Zentrum Ebenrain, 4450 Sissach, 17 S.
- MOSIMANN, T., CROLE-REES, A., MAILLARD, A., NEYROUD, J.-A., THÖNI, M., MUSY, A. & W. ROHR (1990): Bodenerosion im Schweizerischen Mittelland. Ausmass und Gegenmassnahmen. - NFP-Bericht Nr. 51, Liebefeld-Bern, 262 S.
- OGERMANN, P., MEIER, S. & H. LESER (2003): Ergebnisse langjähriger Bodenerosionskartierungen im Schweizer Tafeljura. – Landnutzung und Landentwicklung 44/4, 151-160.
- PRASUHN, V. (1991): Bodenerosionsformen und -prozesse auf tonreichen Böden des Basler Tafeljura (Raum Anwil, BL) und ihre Auswirkungen auf den Landschaftshaushalt. Physiogeographica 16, Basel, 372 S.
- PRASUHN, V. (2003): Zunahme der Bodenerosion von Ackerflächen im Winterhalbjahr? – Mitt. DBG 102, 789-790.
- PRASUHN, V. & K. GRÜNIG (2000): Evaluation der Ökomassnahmen. Phosphorbelastung der Oberflächengewässer durch Bodenerosion. - FAL-Schriftenreihe 37, Zürich, 152 S.
- PRASUHN, V. & R. MOHNI (2003): GIS-gestützte Abschätzung der Phosphor- und Stickstoffeinträge aus diffusen Quellen in die Gewässer des Kantons Bern. – Interner Bericht FAL, Zürich, 223 S. (<http://www.reckenholz.ch/doc/de/forsch/umwelt/wasser/wasser.html#bern>)
- PRASUHN, V. & P. WEISSKOPF (2003): Current approaches and methods to measure, monitor and model agricultural soil erosion in Switzerland. p. 217-228 – In: Francaviglia (Ed.): Agricultural Impacts on Soil Erosion and Soil Biodiversity: Developing Indicators for Policy Analysis. Proceedings from an OECD Expert Meeting – Rome, Italy, March 2003, 654 pp.
- ROHR, W., MOSIMANN, T., BONO, R., RÜTTIMANN, M. & V. PRASUHN (1990): Kartieranleitung zur Aufnahme von Bodenerosionsformen und -schäden auf Ackerflächen. Legende, Erläuterungen zur Kartiertechnik, Schadensdokumentation und Fehlerabschätzung. - Materialien zur Physiogeographie 14, Basel, 56 S.
- SCHMIDT, R.-G. (1979): Probleme der Erfassung und Quantifizierung von Ausmass und Prozessen der aktuellen Bodenerosion (Abspülung) auf Ackerflächen. – Physiogeographica 1, Basel, 240 S.
- VANDEKERCKHOVE, L. et al. (2004): Soil Thematic Strategy. Working group on soil erosion. Task group 7: Monitoring soil erosion in Europe. – European Commission, Brüssel, 21 p. (<http://forum.europa.eu.int>).

Systemes d'utilisation des sols et techniques culturelles de paysans haïtiens et leurs conséquences sur le milieu physique

Stéphane Sciacca; Hannes Flüher (ITÖ; EPFZ), Klaus Seeland (HES; EPFZ) et Peter Lüscher (WSL)
Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (FNP/WSL), Zürcherstrasse 111, 8903
Birmensdorf (ZH)

Résumé

Suite à des événements de natures variées depuis les années 70 (sécheresses, cyclones, peste porcine, chute brutale des cours du café) dans cette région du nord d'Haïti, les familles les plus pauvres ont sans cesse été contraintes à décapitaliser peu à peu leur exploitation. Ce phénomène mena à la situation actuelle où les familles les plus pauvres occupent les parcelles les plus dégradées et les moins productives de l'espace rural.

L'objectif de la présente étude est d'évaluer les conséquences sur les sols des 7 systèmes d'utilisation des sols principaux constituant l'espace rural et des techniques culturelles qui les accompagnent.

Parmi ces systèmes d'utilisation des sols, la couverture végétale et la pente sont deux facteurs déterminants dans les processus d'érosion et de perte de fertilité. Les techniques de culture pratiquées influencent différemment le taux de matière organique des sols. Les techniques basées sur la destruction des déchets végétaux par le feu induisent de trop faibles restitutions au sol contrairement au paillage ou au labour. En ce qui concerne les techniques de conservation des sols comme les canaux de contour et les rampes de paille leur efficacité est largement démontrée dans cette région très montagneuse où leur utilisation se démocratise de plus en plus.

Abstract: Study of the impacts of land-use systems and agricultural techniques on the soils in Haïti

Different events since 1970 (drought, hurricanes, swine-fever and fall of stock prices for coffee) in this area in northern Haïti had an impact mostly on the poorest families, who had to reduce the capital for their agricultural exploitation. This led to the current situation that the poorest families occupy the most degraded and unproductive fields.

The aim of this study is to evaluate the consequences for the soils of the 7 main land-use systems and the respective agricultural techniques.

Among these land-use systems, the vegetative cover and the slope are factors determining erosion phenomena and loss of fertility. The agricultural techniques influenced soil fertility differently (organic matter content). The techniques of vegetation burning have negative impacts in contrast to mulching and ploughing. The efficiency of soil conservation techniques (channels of contour and straw barriers) is demonstrated in this very mountainous area where their use is becoming more popular.

Keywords: land-use systems, soil fertility, soil conservation, socio-economic situation, Haïti

1. Introduction

Haïti fait partie de ces pays où les phénomènes de dégradation de l'environnement physique sont très préoccupants et n'ont cessé d'empirer au cours des années. La forte pression exercée actuellement sur les ressources naturelles du milieu rural a comme conséquences directes une augmentation de la dégradation des sols, une perte de la fertilité suivie d'une diminution marquée des rendements et des revenus. Face cette situation, les paysans haïtiens n'ont ainsi plus que la possibilité d'employer leurs jardins uniquement à des fins d'autosubsistance.

La présente étude est une analyse des répercussions sur le milieu physique des principaux systèmes d'utilisation des sols inventoriés et des techniques culturelles qui leurs

sont associées. En cernant les motifs socioéconomiques à l'origine de ces pratiques (système d'utilisation des sols et techniques culturelles), c'est la possibilité de mettre en évidence à petite échelle les solutions à développer pour freiner la dégradation des ressources naturelles de l'espace rural et limiter ainsi la détérioration du niveau de vie des paysans de cette contrée.

2. Présentation du milieu d'étude

La région d'étude se trouve dans un complexe collinaire d'une quinzaine de km² au centre d'un bassin versant montagneux au nord du pays. La topographie est très accidentée et plus de la moitié de la surface totale du bassin versant présente une pente supérieure à 40%. D'un point

de vue géologique, les deux substrats dominants sont le calcaire et le basalte.

Cette zone est soumise à un climat tropical sec avec une pluviométrie annuelle moyenne de 1185 mm répartie en deux saisons des pluies. On observe en outre une certaine diminution de leur intensité et de leur fréquence depuis le début des années 1970 (Service National des Ressources en Eau 1992).

En ce qui concerne la densité démographique, celle-ci a plus que doublé entre 1986 et 1996 atteignant 305 habitants/km². La tendance actuelle devrait se situer autour des 500 à 600 habitants/km² bien que les phénomènes d'exode rural de ces dernières années aient certainement freiné cette augmentation.

3. Matériel et méthode

La méthode utilisée pour le choix des parcelles est celle du transect altitudinal. Vingt-huit parcelles ont été identifiées le long de trois transects traversant des régions à substrats différents essentiellement calcaire ou basaltique. Pour mettre en évidence les itinéraires techniques pratiqués sur ces parcelles, ainsi que les choix socioéconomiques à leur origine, les cultivateurs de chacune d'entre elles ont été rencontrés. La méthode la plus adaptée s'est avérée être celle de l'entretien semi-directif complété par une série de questions fermées lorsque certaines informations spécifiques recherchées n'étaient pas spontanément amenées par l'interlocuteur.

La réalisation de cette étude se base sur une lecture de l'espace rural axée sur les modes d'occupation et d'exploitation du milieu physique. Sept systèmes distincts d'utilisation des sols ont été mis en évidence, le nombre de parcelles pour chacun d'entre eux dépend de leur fréquence dans la région d'étude. Le critère de distinction principal entre ces différents systèmes est la présence ou non, la quantité et la qualité (arbustes ou arbres) de la composante ligneuse. Le second critère est la présence ou non de cultures (en culture ou en jachère) et/ou de bétail (caprins, équidés et bovins), ainsi que la durée de cette présence. Enfin, le troisième critère est la situation topographique ; certains systèmes ne se trouvant qu'à certains endroits du bassin versant.

Ces sept systèmes sont les suivants¹:

1. les cultures sans composante arborée
2. les cultures avec arbres parsemés
3. les jardins de case ou jardins prékaye² (essentiellement destinés à l'autosubsistance)

¹ les différents systèmes sont illustrés au chapitre 4

² « prékaye » signifie en créole près de la maison

4. les jardins loinkaye³ dans les bas-fonds (le long de rivières sur sols alluvionnaires)
5. les gorges (végétation arborée dense dans les conques plus fraîches et plus humides)
6. les racks arbustifs (végétation dense arbustive généralement utilisée pour la récolte du bois)
7. les pâturages sur des terres épuisées

Les techniques culturales utilisées se distinguent principalement par le mode de préparation des parcelles avant les plantations. Lorsque le paysan sarcle les herbes sur sa parcelle, il a le choix entre y mettre le feu (brûlis), les rassembler en tas et les brûler (boucan) ou les éparpiller de manière homogène sur la parcelle (paillage). Certains paysans ne sarclent pas et pratiquent directement le labour de 15-20 cm de sol avec une pioche. La technique du labour n'est pratiquée que sur des terrains à faible pente, tandis que sur ceux à plus forte pente on utilisera une partie des déchets végétaux pour construire des rampes de paille en travers de la pente. Certains creusent des tranchées suivant les lignes de niveaux (canaux de contour) ou édifient des murs en pierres sèches lorsqu'il y a suffisamment de pierres sur la parcelle (murs secs).

Dans le but de définir l'influence qualitative et quantitative sur les sols de chacun de ces systèmes d'utilisation des sols et des techniques culturales, des critères d'estimation du niveau de dégradation des sols (en l'occurrence du niveau de fertilité et du degré d'érosion) ont été élaborés.

Ces critères sont les suivants :

- Le taux de matière organique⁴
- La teneur en argile⁴
- L'épaisseur utile⁴
- La réserve utile racinaire et potentielle
- La capacité d'échange cationique (CEC)⁴
- Les rendements en (m.pc)⁵
- Les formes d'érosion présentes

Pour évaluer ces critères, une fiche de description des caractéristiques topographique, géomorphologique et végétale de la parcelle, ainsi qu'un protocole de description de profils pédologiques ont servi à la collecte des données. L'emplacement topographique du profil était le plus représentatif possible des conditions auxquelles était soumise la parcelle. Les analyses en laboratoire (taux de matière organique et granulométrie) des échantillons de sol prélevés

³ « loinkaye » signifie en créole loin de la maison

⁴ valeur moyenne pour les 50 premiers centimètres de sol

⁵ m.pc est une unité déterminée pour ce travail, laquelle signifie : nombre de marmites de *Cajanus Cajan* récoltées pour une plantée et équivaut à un volume d'environ 5 litres

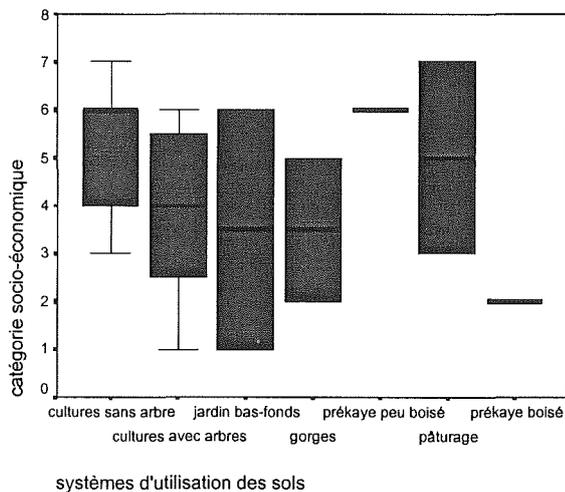
sur chacun des profils vinrent ensuite compléter les appréciations de terrain. La CEC a été estimée sur la base de données déjà existantes pour des sols de la région en fonction de leur taux d'argile et d'humus.

Enfin, sur la base des résultats des enquêtes sept catégories socioéconomiques ont été élaborées d'après une typologie structurale reprise et adaptée de BONNEFOY (1990). Ces dernières ont été déterminées en fonction 1. de la surface de toutes les parcelles cultivées par l'intervu, 2. des animaux qu'il possède et 3. de ses autres activités annexes génératrices de revenus. La catégorie une représentant la couche sociale la plus aisée et la catégorie sept la plus pauvre.

4. Résultats

En premier lieu le type de système d'utilisation des sols pratiqué se révèle influencé dans une certaine mesure par la catégorie socioéconomique du cultivateur comme l'illustre la figure 1.

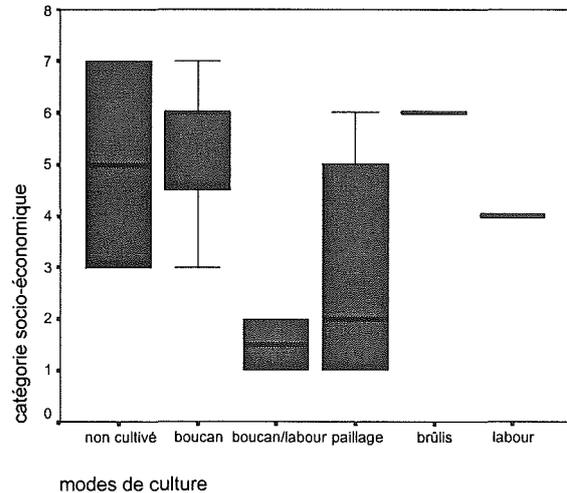
Figure 1 : Relation entre la catégorie socioéconomique de l'intervu et le type de système d'utilisation des sols qui occupe la parcelle qu'il cultive (1 : aisé à 7 : très modeste ; la valeur moyenne est indiquée par le trait noir). Les racks ne sont ici pas représentés, car chacun vient y récolter du bois à sa guise.



On remarque trois ensembles de systèmes ; le premier regroupant les catégories basses 5-6, le second les catégories moyennes 3-4 et le dernier les catégories élevées 2.

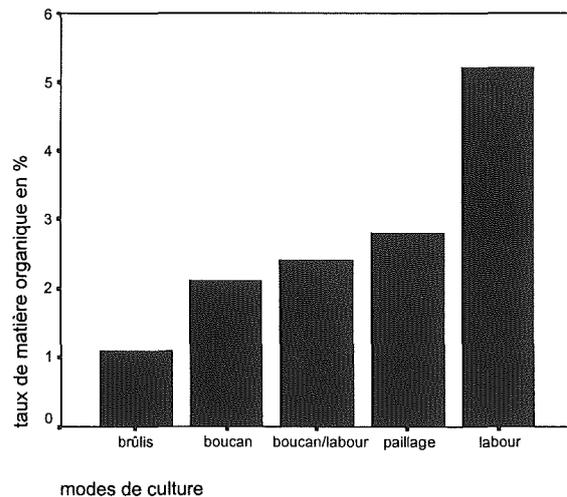
Les modes de culture pratiqués sur la parcelle peuvent également dépendre de la catégorie socioéconomique du cultivateur comme le démontre la figure 2.

Figure 2 : Relation entre la catégorie socioéconomique de l'intervu (1 : aisé à 7 : très modeste ; la valeur moyenne est indiquée par le trait noir) et le mode de culture que celui-ci pratique sur la parcelle qu'il cultive. Modes de culture : 1. Non cultivé 2. Boucan : brûlage des déchets végétaux en tas 3. Boucan/labour : labour alterné une année sur trois avec le boucan 4. Paillage : éparpiller les déchets végétaux sur la parcelle 5. Brûlis : brûler les déchets végétaux 6. Labour : labour des 15-20 premiers centimètres de sol sans sarclage.



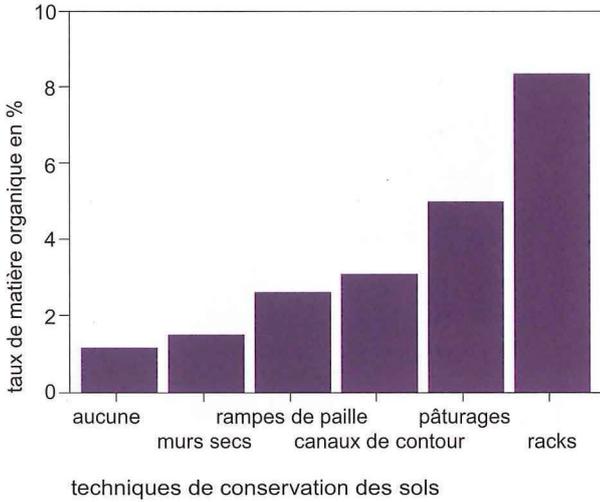
Si l'on considère maintenant les effets de ces modes de culture sur le taux de matière organique des sols, on remarque certaines tendances comme le met en évidence la figure 3.

Figure 3 : Relation entre le taux de matière organique moyen et le mode de culture pratiqué sur la parcelle (modes de culture, voir figure 2).



La plupart des paysans interrogés appliquent des techniques de conservation des sols particulières étant donnée les pentes abruptes des terrains qu'ils cultivent. Ces techniques ont des conséquences sur la fertilité des parcelles et en l'occurrence sur le taux de matière organique des sols comme l'illustre la figure 4.

Figure 4: Relation entre le type de technique de conservation des sols utilisé sur la parcelle et le taux de matière organique moyen (parmi les parcelles cultivées sans techniques de conservation des sols, seules celles à la déclivité moyenne supérieure à 20% ont été prises pour ce calcul). Les systèmes non cultivés (pâturages et racks) sont pris ici comme référence.



En étudiant les valeurs moyennes des différents critères présentés au chapitre 3, il s'avère possible d'estimer le niveau de dégradation des sols pour les sept systèmes d'utilisation des sols qui composent l'essentiel de l'espace rural. Ces valeurs sont présentées pour chaque système aux figures 5 à 11.

Figure 5: Cultures sans composante arborée



Figure 6: Cultures avec arbres parsemés



Figure 7: Jardins de case ou jardins prékaye (selon la densité de la végétation: de peu boisé à très boisé)



Figure 8: Jardins loinkaye dans les bas-fonds



Figure 9: Gorges (végétation arborée dense)



Figure 10: Racks arbustifs



Figure 11: Pâturages sur des terres épuisées



5. Discussion

Dans les conditions climatiques tropicales de cette région d'Haïti à climat contrasté où l'utilisation d'engrais minéraux n'est pas intéressante pour le paysan (prix élevés, fortes pentes et risques de déficit hydrique), c'est le maintien d'un horizon humifère le plus épais possible qui garantit une gestion durable de la fertilité des sols cultivés (BONNEFOY 1990, TASSIN, 1990). Par conséquent, les modes de culture basés sur la destruction par le feu des déchets végétaux comme le brûlis et le boucan en limitant les restitutions de matière organique au sol s'avèrent désavantageux contrairement aux modes du paillage et du labour qui démontrent de meilleurs résultats (figure 3). L'utilisation de modes de culture efficaces revêt une importance prépondérante face aux processus d'intensification des périodes de culture et de réduction des périodes de jachère auxquels on assiste actuellement dans la région d'étude.

Cette région couvre une zone au relief accidenté où les parcelles cultivées sont particulièrement exposées aux phénomènes de ruissellement. Les structures de conservation des sols ont également un intérêt tout particulier dans le maintien de la fertilité des sols. Dans la présente étude, on remarque que les paysans locaux ont peu à peu compris l'enjeu que représente la maîtrise de ces processus ; le pourcentage de ceux qui utilisent régulièrement des techniques de conservation des sols est passé au cours des 20 à 30 dernières années de 44% à 87% aujourd'hui (SCIACCA 2004). Certaines techniques s'avèrent plus efficaces que d'autres pour le maintien d'un taux de matière organique élevé dans les horizons pédologiques superficiels (figure 4). Les canaux de contour sont plus efficaces que les rampes de paille en freinant mieux et plus durablement les phénomènes de ruissellement. En revanche les murs en pierres sèches se révèlent étonnamment peu efficaces, mais la signification de ce résultat est faible en raison du peu de parcelles de l'échantillonnage réalisé pour la présente étude où cette pratique est utilisée. Les systèmes d'utilisation des sols non cultivés comme *les pâturages sur terres épuisées* et *les racks arbustifs* démontrent les taux de matière organique les plus élevés.

Ces résultats permettent de nous rendre compte des processus progressifs de perte de fertilité des parcelles cultivées, mais également de retour progressif de fertilité sur celles jadis infertiles utilisées maintenant comme pâturages.

Les conséquences des différents systèmes d'utilisation des sols dans les phénomènes de dégradation sont diverses. En considérant les différentes formes d'érosion constatées sur les parcelles étudiées, il est possible d'identifier en

fonction de la présence de la composante ligneuse trois groupes parmi les différents systèmes.

Premièrement, les systèmes sans composante ligneuse (*cultures sans composante arborée* et *les pâturages sur terres épuisées*) présentent les formes d'érosion les plus marquées (ravines). Ces systèmes occupent souvent des surfaces importantes à forte pente (48%), ce qui augmente les phénomènes de ruissellement, lesquels s'ajoutent aux phénomènes de battance dus à l'absence de couverture végétale significative (RIOU 1990). L'élevage extensif de caprins, équidés ou bœufs sur ces parcelles aggrave de surcroît cette situation.

Deuxièmement, les systèmes avec composante ligneuse importante comme *les gorges*, *les jardins loinkaye dans les bas-fonds* et *les jardins prékaye plus ou moins boisés* occupent des stations à pente moyenne inférieure et possèdent une couverture végétale plus dense, ce qui explique l'absence de formes d'érosion. Quant aux *racks arbustifs*, ils ne présentent aucune forme d'érosion malgré leur pente moyenne forte (80%) en raison surtout de la densité élevée de la végétation.

Enfin, le système intermédiaire *cultures avec arbres parsemés* démontre des formes d'érosion peu marquées (griffes), en raison de la pente moyenne inférieure (31%) des zones qu'il occupe par rapport au système *cultures sans composante arborée*.

La fertilité des parcelles occupées par ces différents systèmes d'utilisation des sols varie et il est possible d'établir la hiérarchie suivante.

Les racks arbustifs représentent le système le moins dégradé inventorié dans la région, grâce à un couvert végétal dense et continu qui favorise un taux de matière organique très élevé et limite les phénomènes d'érosion. Ils sont très rarement mis en culture en raison de leur difficulté d'accès, de leur forte pente (80%) et de l'importante pierrosité des sols.

Les jardins loinkaye présents dans les bas-fonds sur sols alluvionnaires profonds à faible déclivité représentent le système cultivé le plus productif, malgré leur CEC et leur taux de matière organique faibles. Cela peut s'expliquer par leur réserve utile racinaire importante et par leur pente moyenne faible qui limite les pertes en matière organique par ruissellement.

Les gorges représentent un système bien boisé et également productif. Les sols ont une épaisseur utile importante et une réserve utile racinaire bonne, ce qui permet d'y cultiver des cultures exigeantes en humidité comme la banane, l'igname et le taro. La CEC est la plus élevée des valeurs relevées pour tous les systèmes cultivés en raison d'un bon taux de matière organique (3.7%).

Vient ensuite le système nommé *cultures avec arbres parsemés* qui est également caractérisé par une bonne épaisseur utile et des rendements identiques à ceux du précédent système. Le taux de matière organique est par contre inférieur à celui des gorges et s'explique par la faible couverture végétale, l'utilisation de cultures annuelles et des phénomènes d'érosion plus marqués.

Les parcelles cultivées les moins productives et les plus dégradées appartiennent au système d'utilisation des sols *cultures sans composante arborée*. Malgré des valeurs de CEC et de réserve en eau utile identiques au système précédent, sa pente moyenne très élevée (48%) en accentuant les phénomènes d'érosion des sols provoque un appauvrissement important en éléments nutritifs. La faiblesse des rendements de ces parcelles peut également s'expliquer par des teneurs faibles en matière organique en moyenne proches de 2%.

Les *jardins prékaye* sont des systèmes d'utilisation des sols à part qu'il convient de comparer entre eux, puisqu'en étant les jardins les plus importants en raison de leur rôle de garde-manger, ils sont le plus intensivement exploités (absence de jachère). Les deux parcelles étudiées correspondent chacune à une forme fréquente de ce système dans la région d'étude, l'une très peu boisée et l'autre en revanche occupée par une végétation arborée dense. En comparant les deux parcelles, il apparaît que la plus boisée est également la plus fertile. Ceci s'explique par la différence entre les taux de matière organique et d'argile qui se répercutent sur les valeurs de CEC et de réserve utile racinaire en moyenne 1.5x supérieures pour le jardin prékaye boisé. La pratique du brûlis depuis des dizaines d'années sur la parcelle peu boisée à la différence de la parcelle boisée où le paillage a toujours été appliqué explique aussi l'écart entre ces deux formes typiques de jardins prékaye.

Enfin, les *pâturages sur terres épuisées* représentent le système d'utilisation des sols le moins productif et le plus dégradé. Néanmoins, là où l'érosion linéaire n'a pas tracé dans le sol de profondes ravines, les sols démontrent des valeurs moyennes élevées en matière organique (>5%) et en CEC (85 meq/100 gr.) et une réserve utile racinaire sensiblement égale aux systèmes encore cultivés.

Depuis les années 70, l'exploitation paysanne a été affectée par des événements de natures diverses, tels que les sécheresses successives de 1975 et 1976, le cyclone de 1977, la peste porcine de 1982 et la chute brutale des cours du café à partir des années 80. Ces événements contraignirent les paysans de cette région à décapitaliser peu à peu leur exploitation, à surexploiter leurs parcelles et à se tourner vers

l'unique ressource encore disponible, à savoir les arbres restants pour la fabrication de planches ou de charbon. Ce phénomène de décapitalisations successives toucha différemment les cultivateurs de la région étudiée en fonction de leur capacité à réagir à cette crise, laquelle dépend principalement de la catégorie socioéconomique à laquelle ils appartiennent. Les catégories les plus pauvres occupent souvent les zones agroécologiques les plus escarpées et par conséquent les plus exposées à l'érosion pluviale. Au cours des années, ces parcelles subirent plus fortement l'intensification de l'exploitation et le déboisement, ce qui eut comme conséquence une dégradation accélérée des sols et une perte de fertilité plus marquée par rapport aux parcelles dans les bas-fonds occupées par des catégories plus aisées. Les pratiques culturales ont également des conséquences différentes sur la fertilité des parcelles (figure 3). En raison d'une certaine discrimination socioéconomique dans l'accès à une formation, les paysans les plus pauvres pratiquent les modes de culture ayant des conséquences négatives sur la fertilité des sols (figure 2). Cette évolution mène à la situation actuelle où les catégories les plus pauvres exploitent les systèmes d'utilisation des sols les plus dégradés et les moins productifs (voir figure 1 et paragraphe précédent).

6. Conclusion

Dans la situation actuelle, il convient donc de soutenir et démocratiser l'emploi des techniques permettant de conserver un taux de matière organique suffisant en particulier pour les systèmes d'utilisation des sols les plus dégradés. Il s'avère également indispensable de développer des programmes de micro-crédits, d'élevage, de pépinières et d'amélioration de l'outillage afin de donner la possibilité aux paysans de recapitaliser peu à peu leur exploitation et d'investir ainsi dans d'autres techniques, agroforestières cette fois-ci.

7. Bibliographie

- BONNEFOY M. (1990). Manuel d'agronomie tropicale appliquée à l'agriculture haïtienne, Famv, Port-au-Prince / Gret, Paris, 489 p.
- GRET, CIRAD (2002). Mémento de l'agronome, Gret, Cirad, Paris, 1191 p.
- RIOU G. (1990). L'eau et les sols dans les géosystèmes tropicaux, Masson, Paris, 221 p.
- SCIACCA S. (2004). Systèmes de pratiques actuelles des paysans et conséquences sur le milieu physique, Rivière Mancelle, Haïti. Travail de diplôme EPFZ, 89 p.
- TASSIN J. (1990). Agroforesterie et conservation des sols dans les régions chaudes, Nature et Progrès, Avignon, 140 p.

«Von Bauern - für Bauern»: Ein neuer Ansatz fördert den mechanischen Bodenschutz in der Landwirtschaft

Patricia Fry

Wissensmanagement für den Umweltbereich, 8003 Zürich

Mitarbeit und Beratung Pilotphase: Monika Schenk, Jolanda Piniel, Christine Bächtiger

Auftraggeber Pilotphase: Bundesamt für Landwirtschaft BLW, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL und Bodenschutzfachstellen der Deutschschweizer Kantone.

Zusammenfassung

Diejenigen Bauern, die den Bodenschutz erfolgreich auf ihrem Betrieb eingeführt haben, besitzen wertvolles Umsetzungswissen, das sie in Zusammenarbeit mit der Beratung und der Verwaltung entwickelt haben. Im Projekt „Von Bauern – für Bauern“ wird dieses Umsetzungswissen mit Hilfe von Interviews und Film ermittelt und über informelle, bäuerliche Netzwerke, z.B. Maschinenringe, weiter vermittelt. Auf diese Weise werden sowohl die Arbeitsziele, -methoden und -kontexte von Bauern berücksichtigt als auch ihre Kommunikationsstile und Kommunikationskanäle genutzt.

In der Pilotphase des Projektes (2001 – 2003) wurde der Ansatz „Von Bauern – für Bauern“ in drei Kantonen überprüft. Sämtliche Projektschritte wurden durchgeführt und beurteilt. Es hat sich gezeigt, dass sich der Ansatz „Von Bauern – für Bauern“ sehr gut bewährt. Damit kann die Lücke zwischen den Methoden, Ansätzen und Organisationen der Landwirtschaft und des Umweltschutzes überbrückt werden.

In der Hauptphase des Projektes (2004 – 2007) werden ca. vier Filmmodule zum Thema mechanischer Bodenschutz in der Landwirtschaft produziert und an bäuerlichen Versammlungen in der deutschen und französischen Schweiz gezeigt. Der Einsatz von Filmvorführungen im Stil „Von Bauern – für Bauern“ an informellen, bäuerlichen Veranstaltungen in Kombination mit der Diskussion mit erfahrenen Landwirten eröffnet ein neues Potential für die Wissensvermittlung in der Landwirtschaft.

Abstract

Those Farmers who have already introduced soil protection measures successfully, possess valuable know-how which they developed in collaboration with advisors and experts working for public administration. In the new project "From farmer – to farmer" this know-how will be established by means of qualitative interviews and films and then passed on to local farmers at informal assemblies and by face-to-face interactions (knowledge transfer by farmer networks). In doing so, the aims, methods and contexts of farmers work will be taken into account as well as their manner of communicating and channels of communication.

During the pilot study (2001 – 2003) this approach was tested in three cantons. All the project steps were carried out and evaluated. It was shown that this new approach helps to bridge the gap between the methods, approaches and organisation used by agriculture and those used by environmental protection institutions.

During the main study (2004 – 2007) four film modules on the subject of mechanical soil protection will be produced. They will be shown mainly at farmer assemblies in the German and French speaking parts of Switzerland. The presentation of film in the manner of "From farmer – to farmer" at informal farmer meetings in combination with the discussion with experienced farmers opens up a new potential for knowledge transfer in agriculture.

Keywords: Soil protection, implementation, knowledge transfer, films, farmer networks.

1. Einleitung

Dringender Handlungsbedarf

Die Bodenfruchtbarkeit wird unter anderem durch die landwirtschaftliche Tätigkeit beeinträchtigt. Es sind vor allem drei Bodenbelastungen zu nennen, die innert nützlicher Frist nicht

reversibel sind und daher unbedingt zu vermeiden sind: die Erosion, die Unterbodenverdichtung und der Eintrag von nicht abbaubaren Schadstoffen. Die Landwirtschaft ist gefordert, ihre Fruchtfolgeflächen zu schützen und die Produktionsgrundlagen zu erhalten (vgl. CANDINAS et al. 2002). In der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBO 1998) ist festgehalten, dass Bodenbewirtschaftler ihren Boden so bearbeiten sollen, dass

der Boden nicht verdichtet und Erosion verhindert wird. Auch im Landwirtschaftsgesetz (LWG 1998) sowie in der Direktzahlungsverordnung (DZV 1998) sind die Anliegen der nachhaltigen Bodenbewirtschaftung explizit aufgeführt.

Der Bodenschutz hat bisher vor allem mit Hilfe von Merkblättern, Beurteilungsschlüsseln und Broschüren versucht in bäuerlichen Kreisen bodenschonende Handlungen auszulösen. Dabei stellten die Fachstellen fest, dass sie interessierte Bauern ansprechen konnten, die allermeisten Landwirte damit jedoch nicht erreichten. So ist Erosion bei der ÖLN-Kontrolle kaum ein Thema, Verdichtung hat gar keinen Stellenwert. Auch in der Weiterbildung von Bauern ist das Thema Boden kaum anzutreffen (Persönliche Mitteilungen Bodenschutzfachstellen der Deutschen Schweiz, vgl. auch BERNET 2003).

Umsetzungsproblem als Kommunikationsproblem

Diese Umsetzungsprobleme können mit der unterschiedlichen bäuerlichen und naturwissenschaftlichen Wahrnehmung von Bodenfruchtbarkeit erklärt werden: Bauern haben einen breiten

Blick auf den Boden, während Naturwissenschaftler einen tiefen Blick bezüglich des Bodens einnehmen. Diese Unterscheidung ist im räumlichen, zeitlichen und übertragenen Sinne zu verstehen (vgl. Abbildung 1).

Der bäuerliche Blick ist auf die Beziehungen zwischen Pflanzen, Boden und Tieren unter variablen Bedingungen gerichtet und weniger auf den Boden selber. Bauern haben vor allem die Pflanzen- und Tierproduktion sowie ihre Arbeitstechniken im Blick. Über Boden reden ist den Bauern deshalb eher fremd. Dies bedeutet jedoch nicht, dass sie nichts über ihre Böden wissen. Ihre tägliche Arbeit hat immer mit Boden zu tun; wenn nicht direkt so doch indirekt. Damit erhalten sie eher einen Überblick. Der Blick geht eher in die Breite.

Der naturwissenschaftliche Blick hingegen ist je nach Disziplin auf die Pflanzen, den Boden, die Tiere oder – bei interdisziplinärer Forschung – auf die Beziehungen zwischen ihnen gerichtet. Dabei steht die Beobachtung unter kontrollierten Bedingungen im Vordergrund. Dies erlaubt ihnen einen tiefen Einblick in einzelne Funktionen und Prozesse. Der Blick geht eher in die Tiefe.

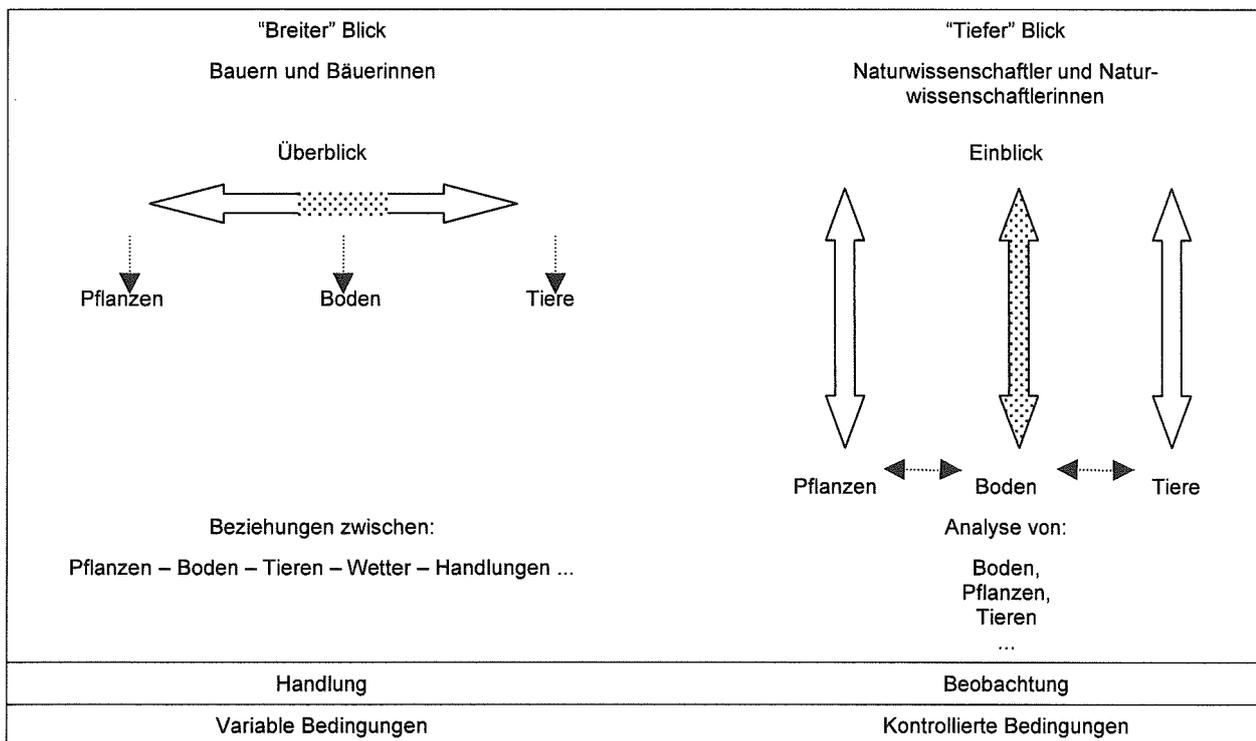


Abbildung 1: Ein "breiter" und ein "tiefer" Blick auf Boden (nach FRY 2001, S. 72).

Die Umsetzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse in die landwirtschaftliche Praxis muss also zwischen dem „tiefen Blick“ der Naturwissenschaften und dem „breiten Blick“ der bäuerlichen Praxis vermitteln. Dabei kommt es zu verschiedenen Problemen: Ein Bodenkundliche Wissen eines Bauern als gering ein, wäh-

rend ein Bauer Mühe bekundet mit dem wenig praxisbezogenen und disziplinären Wissen eines Naturwissenschaftlers (vgl. Abbildung 1). Damit verknüpft ist auch eine gegenseitige Abwertung der Problemsicht, der Interessen, der Erkenntnismethoden, der Kontexte, in denen Erkenntnis gewonnen wurde, des unterschiedlichen Know-hows und der Urteile selbst. Sowohl das Wissen als

auch Berufsgruppen spezifische Unterschiede bezüglich Sprache und Präferenz für das Kommunikationsmedium werden anhand der Regeln des eigenen Fachgebiets bewertet. Werden diese fremden Denkstile (FLECK 1980) abgewertet, führt dies zu Abwehrreaktionen. Das Umsetzungsproblem ist also zu einem grossen Teil ein Kommunikationsproblem.

Auch die Privatwirtschaft kennt das Problem, dass das Wissen zwischen verschiedenen Berufsgruppen oder zwischen Entwicklungs- und der Produktionsabteilungen schlecht transferiert werden kann. Die Betriebswissenschaften untersuchten erfolgreiche Praxisbeispiele und arbeiteten Methoden aus, die heute als Wissensmanagement zusammengefasst werden. Der Kerngedanke dabei ist die Unterscheidung von explizitem und implizitem Wissen. Explizites Wissen lässt sich relativ einfach und schnell beispielsweise mit Hilfe von schriftlichen Dokumenten und Computern weiter leiten. Implizites Wissen, wie das eigene Know-how, ist hingegen stark an die Person gebunden und lässt sich nur schwer und mit grossem Aufwand transferieren. Hierzu haben sich Methoden bewährt, die auf mündlichem Wissensaustausch aufbauen oder diesen wiedergeben wie z.B. Face-to-face-meetings, Aufbau von persönlichen Netzwerken, informelle Treffen auf der Stufe der Berufsleute, mündliche Erzählung relevanter Erfahrungen (Methodenkenntnisse, Lernprozesse, Erfolgsgeschichten usw.), Vermittlung mit Hilfe von Film, Mentoring usw. (vgl. DAVENPORT und PRUSAK 1998, FRY et al. 2003).

2. Ansatz „Von Bauern - für Bauern“

Mit dem neuen Projektansatz „Von Bauern – für Bauern“ kann nun eine Brücke zwischen Bodenschutz und Landwirtschaft aufgebaut werden, der auf den bisherigen Massnahmen im Bodenschutz aufbaut. Dieser im folgenden vorgestellte Projektansatz basiert auf der Analyse der bäuerlichen und naturwissenschaftlichen Wahrnehmung von Bodenfruchtbarkeit (FRY 2001). Die Arbeitsziele, -methoden und -kontexte von Bauern werden berücksichtigt. Dieser Ansatz integriert ausserdem Erfahrungen des Wissensmanagements aus der Privatwirtschaft (DAVENPORT und PRUSAK 1998). Es werden bäuerliche Kommunikationsstile und Kommunikationskanäle genutzt.

Das Projekt „Von Bauern – für Bauern“ verfolgt zwei Ziele: Erstens werden die Erfahrungen von Bauern, die ihr Land im Sinne des mechanischen Bodenschutzes erfolgreich bewirtschaften, ermittelt. Und zweitens werden diese Erfahrungen mit Hilfe von Film aufbereitet, so dass sie über bäuerliche Netzwerke weiter vermittelt werden können.

Der erste Kerngedanke dabei ist, die Umsetzungsleistung – das Know-how – von denjenigen Bauern zu nutzen, die den Bodenschutz auf ihrem Betrieb bereits erfolgreich integriert haben. Diese Umsetzungsleistung ist auf langjährige Zusammenarbeit der Bauern mit der Landwirtschaftlichen Beratung und den Fachstellen sowie auf eigene Initiativen und Innovationsleistungen zurückzuführen. Das naturwissenschaftliche Wissen ist also integriert und durch langjähriges Ausprobieren praxistauglich gemacht worden. Die Umsetzungsleistung dieser Bauern manifestiert sich in ihren Erzählungen, wenn sie erklären, welche bodenschützenden Massnahmen sie aus welchen Gründen in welchen Situationen einsetzen, welche Schlüsselerlebnisse sie bei der Umsetzung erlebt haben und welche Erfolge sie verzeichnen können.

Der zweite Kerngedanke betrifft die Art und Weise der Vermittlung dieses Umsetzungswissens. Personen, die der gleichen Arbeitskultur angehören und über gemeinsame Arbeitserfahrungen verfügen, können einander ihr Wissen leichter vermitteln (DAVENPORT und PRUSAK 1998, S. 100). Die bäuerliche Sprache erleichtert eine Identifikation und stärkt das Vertrauen. Dies ist eine essentielle Grundlage für den Wissensaustausch. Hinzu kommt, dass ein erfolgreicher und angesehener Bauer mit seinen Erfahrungen andere Bauern eher zu überzeugen vermag und deshalb als Vorbild dient. Bei der Vermittlung wird deshalb das Medium Film in Verbindung mit den bäuerlichen informellen Netzwerken genutzt.

3. Projektorganisation

Das Projekt ist in drei Etappen aufgeteilt: Konzeptphase (2001), Pilotphase (Deutschschweiz 2002/2003; Westschweiz in Vorbereitung) und Hauptphase (Ermittlung 2004/2005, Vermittlung in Netzwerken 2006/2007).

Während der Pilotphase in der Deutschschweiz wurde die Projektorganisation aufgebaut, eine Begleitgruppe gebildet, der neue Ansatz geprüft und weiterentwickelt. Folgende Projektschritte wurden durchgeführt: Auswahl der Bauernfamilien, Ermitteln und dokumentieren von bäuerlichen Erfahrungen, Eruiieren von bäuerlichen Netzwerken, Realisieren eines Pilotfilms „Von Bauern für Bauern: Bodenschutz dank Direktsaat“, Vermitteln der bäuerlichen Erfahrungen mit Hilfe von Film an bäuerlichen Versammlungen in Kombination mit der Diskussion mit erfahrenen Landwirten.

Die Begleitgruppe half den Projektansatz im Wissenssystem der Landwirtschaft zu verankern und entsprechendes Know-how zu integrieren. Neben den Auftraggebern nahmen folgende Institutionen teil: Schweizerischer Bauernverband SBV, IP-Suisse, Biosuisse, Landwirtschaftliche Bildungs- und Beratungszentrum Rheinhof, Landwirtschaftli-

che Beratungszentrale Lindau LBL, Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Abteilung Entwicklung und Umwelt der Universität Bern cde. Die Pilotphase beschränkte sich auf die Deutschschweiz.

Im Folgenden werden das Vorgehen und ausgewählte Ergebnisse der Pilotphase aufgeführt. Anschliessend folgt ein Ausblick auf die Hauptphase des Projektes, die von 2004 bis 2007 dauern wird.

4. Vorgehen Pilotphase

Die Auswahl der Bauernfamilien erfolgte in Zusammenarbeit mit den Bodenschutzfachstellen und landwirtschaftlichen Schulen der drei Kantone Bern, Solothurn und St. Gallen sowie über Kontakte eines Lohnunternehmers. Folgende Kriterien standen im Vordergrund: Erfahrung, Bodenschutzbewusstsein, Vernetzung, Persönlichkeit, Ansehen in Gemeinde und Region.

Mit Hilfe sozialwissenschaftlicher Methoden (vgl. FLICK 1998) wurden die bäuerlichen Erfahrungen von insgesamt neun „bodenbewusst“ arbeitenden Bauern ermittelt. Die Gespräche wurden mit Tonband und Video aufgenommen. Das Material wurde durchgesehen und nach den Themen „bäuerliche Erfahrungen (Argumente, Lernprozesse, Erfolgsgeschichten)“ und „bäuerliche Netzwerke“ ausgewertet.

Aus den Filmaufnahmen wurde der Pilotfilm „Bodenschutz dank Direktsaat“ erstellt. Durch den Einsatz an der Hauptversammlung eines Maschinenringes sowie an landwirtschaftlichen Schulen wurde geprüft, ob sich das Video als Medium eignet, um bäuerliche Erfahrungen zu ermitteln und an andere Bauern zu vermitteln.

5. Ergebnisse Pilotphase

5.1 Film vermittelt mehr als nur Wissen

Im Pilotfilm „Von Bauern – für Bauern: Bodenschutz dank Direktsaat“ berichten ein Lohnunternehmer und vier Landwirte über ihre Motivation auf Direktsaat umzustellen. Sie erwähnen dabei ihre Arbeitsziele (Boden soll leistungsfähig bleiben, hoher Ertrag bei möglichst geringem Aufwand und tiefen Kosten) und ihre Anbaumethoden (Direktsaat mit kleinen Maschinen). Im Film wird auch ihr Arbeitskontext sichtbar (bestimmte Landschaft, unterschiedliche Böden, wechselnde Jahreszeiten). Sie erzählen von ihren Beweggründen, ihren Problemen, berichten über Erlebnisse und Erfolgsgeschichten. Die Bauern erwähnen ökonomische, praktisch-ästhetische, agronomische und ökologische Argumente:



Abbildung 2: Lernprozesse und Erfolgsgeschichte

„Als ich das erste mal direkt säte, war ich sehr misstrauisch. Wir begannen mit Winterweizen. Ich dachte am Anfang, dass die Saat eingeht. Dann habe ich gestaunt, wie das gewachsen ist: Der Weizen ist so schön geworden wie jetzt dieser Raps.“

Herr Schmitz, Wiedlisbach



Abbildung 3: Bäuerliche Argumente

„Mit der Direktsaat hat man ein System, mit dem man erstens günstiger produzieren kann und zweitens den Boden schont. Ich bin 100% davon überzeugt, dass die Direktsaat eine gute Sache ist.“

Herr Feller, Attiswil

Der Film lebt von der Authentizität der Bauern. Ihre Sprache ist gespickt mit bäuerlichen Ausdrücken und Metaphern. Damit stellen sie einen Bezug her zur Alltagspraxis und zur Region aus der sie stammen.

Es werden auch andere Aspekte des Bodens in den Vordergrund gestellt als es in der Bodenkunde üblich ist. So betont Herr Minder bei der Flurbegehung die unterschiedliche Temperatur eines schweren bzw. eines leichten Bodens. Der schwere Boden war wesentlich kälter als der leichte. Dies ist für das Auflaufen der Saat wesentlich. Bei der wissenschaftlichen Bodenansprache spielt die Temperatur des Bodens keine zentrale Rolle.

Die Berufserfahrung und die Ausdruckweise sind für die Identifikation unter Berufsleuten sehr wichtig. Dabei ist die Bedeutung der nonverbalen Kommunikation nicht zu unterschätzen: ihre Gestik, ihre Mimik, ihre Art der Intonation und der Setzung von Pausen (vgl. Abbildungen). Im Film kommt dies sehr schön zum Ausdruck.

Der Pilotfilm wird folgendermassen beurteilt:

Die befragten Bauern und Landwirtschaftsschüler schätzten die Authentizität der Bauern im Film und meinten, dass Bauern genau so reden würden. Der Zugang zu den Bauern sei gelungen. Sie seien auch an den Erfahrungen anderer Bauern interessiert und schätzten den Ansatz „von Bauern – für Bauern“, weil die Bauern die praktische Erfahrung haben würden. Das Medium Film ist den Bauern nicht fremd, im Gegenteil, sie schätzten es sehr. Sie bemängelten, dass die Probleme mit der Direktsaat nicht angesprochen werden und regten an, dass mehr praktische Themen besprochen werden, wie der Umgang mit Schnecken, die Maschinenwahl, die Fruchtfolgen usw.

Die Bildsprache ist heute – im Fernsehzeitalter – jedem geläufig. Im Gegensatz zum gesprochenen oder geschriebenen Wort ist die Bildsprache das verbreitetste und am besten verstandene Kommunikationsmittel. Der Vorteil von Video ist, dass wesentliche, unausgesprochene Elemente transportiert werden. Diese sind für den Aufbau eines Vertrauensverhältnisses essentiell. Dieses wiederum ist die Basis für einen gelungenen Wissensaustausch (vgl. Einleitung).

Die Pilotphase hat gezeigt, dass sich das Medium Video sehr gut eignet, um den Bauern bodenschützende Handlungen näher zu bringen.

5.2 Netzwerke für den Wissensaustausch

Die befragten Landwirte haben während den Interviews Netzwerke wie zum Beispiel Maschinenringe oder Nitratarbeitsgruppen erwähnt, die sich in der räumlichen Ausdehnung, dem Grad an Formalität, in der Zusammensetzung und dem Thema unterscheiden. Drei Netzwerke wurden ausgewählt und begleitet. Das Direktsaatprojekt des Kantons Bern (ein persönliches Netzwerk mit intermediären Fachleuten an den Schnittstellen), der Kundenkreis eines Lohnunternehmers sowie eine Flurbegehung (ein gesellschaftlicher Anlass mit grossem Austauschpotential).

Im folgenden wird die Analyse des Kundenkreises eines Lohnunternehmers präsentiert. Es zeichnet sich immer mehr ab, dass diese eine wichtige Rolle im Bodenschutz übernehmen könnten.

Lohnunternehmer als geeignete Vermittler

Es gibt Lohnunternehmer, die bei der Methodenentwicklung in der Praxis schon länger eine zentrale Rolle spielen und wichtige Partner der

landwirtschaftlichen Schulen und der Beratungszentralen LBL und SRVA sind.



Abbildung 4: Bäuerliche Sprache und ...
„Der Boden hat ausgesehen, wie wenn man Nidelkäse verhauen hätte“

Herr Minder, Rohrbach



Abbildung 5: ... bäuerliche Metaphern

„Dieser Boden ist wie Asche“

Herr Minder, Rohrbach

Daneben lässt sich nun auch eine wichtige Rolle als Multiplikator ausmachen. Die drei an der Pilotphase beteiligten Bauern sind als Lohnunternehmer tätig. Aufgrund der Gespräche mit ihnen wurde deutlich, dass Lohnunternehmer eine ideale Schnittstelle zwischen Bodenschutz und Landwirtschaft bilden können. Folgende Gründe sprechen dafür:

- Die befragten Lohnunternehmer sind motiviert bodenschonend zu arbeiten. Sie meinen, dass ein verdichteter Boden schlechte Werbung für sie sei. Gute Resultate sprechen sich herum.
- Lohnunternehmer verfügen in der Regel über einen grossen Kundenstamm zu denen sie eine mehr oder weniger persönliche Beziehung pflegen (zwischen 300 und 600 Bauern).
- Sie arbeiten auf unterschiedlichen Böden, profitieren vom Austausch mit den Kunden und können diesen Erfahrungsschatz wieder einsetzen.

- Das gegenseitige Vertrauen sei wesentlich für eine gute Beziehung zwischen Lohnunternehmer und Kunde, meinen alle befragten Bauern übereinstimmend. Dieses entsteht, weil sie selber als Landwirt arbeiten und über viel praktische Erfahrung verfügen, weil sie die Sprache der Bauern sprechen, weil sie als Vorbild dienen, da sie erfolgreich einen Betrieb führen, und weil sie im Dorf und in der Region eingebunden und angesehen sind.
- Bei allen befragten Lohnunternehmern spielt die Beratung ihrer Kunden eine wichtige Rolle. Viele Kunden würden den Lohnunternehmer um Rat fragen. Oft werden ihnen sogar die Entscheidungen auf dem Feld überlassen. Der Erfahrungsaustausch wird von den Lohnunternehmern sogar gefördert, indem neue Kunden mit erfahrenen vernetzt werden.

Die Gespräche mit den Lohnunternehmern haben bestätigt, dass bäuerliche Netzwerke für die Wissensvermittlung eine grosse Bedeutung haben. Ein Lohnunternehmer beschrieb dies folgendermassen: Die Bauern sehen zuerst ein funktionierendes Beispiel, dann folgen persönliche Gespräche, und schliesslich wird es einmal ausprobiert. Bei allen diesen Schritten ist das persönliche Netzwerk ausschlaggebend. Durch den Projektansatz „Von Bauern – für Bauern“ werden diese Lernprozesse gefördert.

Netzwerke wie die Kundenkreise von Lohnunternehmern, Flurbegehungen und Maschinenringe haben sich als geeignet erwiesen für die Wissensvermittlung „Von Bauern - zu Bauern“. Weil dies wichtige gesellschaftliche Kontakte für die Bauern sind, werden damit auch Bauern erreicht, die mit herkömmlichen Massnahmen nicht erfasst werden.

6. Ausblick Hauptphase

Der Einsatz von professionellen Filmmodulen an bäuerlichen Versammlungen in Kombination mit der anschliessenden Diskussion mit erfahrenen Landwirten und Beratern eröffnet ein neues Potential für die Vermittlung bodenschutzrelevanter Wissens in der Landwirtschaft.

In der Hauptphase des Projektes „Von Bauern für Bauern“ werden weitere bodenschonende Verfahren in verschiedenen Regionen der deutschen und französischen Schweiz gefilmt. Es werden Aussagen über den bodenschonenden Anbau mit dem Pflug ermittelt, zum Beispiel die Wahl des richtigen Zeitpunktes, die geeignete Maschinengrösse, Anpassung des Reifendruckes und der Doppelradeinsatz. Beim pfluglosen Anbau werden weitere Argumente, Lernprozesse und Erfolgsgeschichten mit der Mulchsaat, der Streifenfrässaat und der Direktsaat gesucht. Daraus entstehen vier Filmmodule, in denen sowohl die Vorteile als auch die Nachteile be-

leuchtet werden. Diese werden an bäuerlichen Veranstaltungen und in der Ausbildung gezeigt und diskutiert. Die Begleitung bäuerlicher Netzwerke baut auf den Kontakten von bäuerlichen Organisationen, der Landwirtschaftlichen Beratung und den Kontakten der Fachstellen auf.

Die Hauptphase wird durch das Bundesamt für Landwirtschaft, das Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, etwa zehn Kantone (Landwirtschaft und Bodenschutz), die Sophie und Karl Binding Stiftung, Biosuisse und IP-Suisse finanziert. In der Trägerschaft sollen Institutionen der Landwirtschaft und des Bodenschutzes Einsitz nehmen. Es ist vorgesehen, das Projekt „Von Bauern – für Bauern“ wissenschaftlich zu begleiten, um die Wirkung des Ansatzes „Von Bauern – für Bauern“ zu überprüfen und wenn nötig zu verbessern. Nach der vierjährigen Hauptphase soll dieser Ansatz von bestehenden Institutionen weitergeführt werden können.

7. Literatur

BERNET, A. 2003: Erosion und Verdichtung: Analyse des Ist-Zustandes in Bildung, Beratung und Vollzug in der schweizerischen Landwirtschaft. Semesterarbeit, Departement für Agrar- und Lebensmittelwissenschaften, ETH Zürich.

CANDINAS, A., J.A. NEYROUD, H.R. OBERHOLZER und P. WEISSKOPF, 2002: Ein Bodenkonzzept für die Landwirtschaft in der Schweiz: Grundlagen für die Beurteilung der nachhaltigen landwirtschaftlichen Bodennutzung. Bodenschutz 3, 02.

DAVENPORT, T.H., L. PRUSAK (1998): Working Knowledge. How Organizations Manage What They Know. Harvard Business School Press. Boston Massachusetts.

FLECK, L. (1980): Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache. Einführung in die Lehre vom Denkstil und Denkkollektiv. Erstveröffentlichung 1935. 3. Auflage 1994. Suhrkamp Taschenbuch. Frankfurt am Main. 190 S.

FLICK, U. (1998): Qualitative Forschung. Theorie, Methoden, Anwendung in Psychologie und Sozialwissenschaften. 3. Auflage. Rowohlt. Reinbek bei Hamburg.

FRY, P., I. SEIDL, C. THÉATO, A. KLÄY, F. BACHMANN 2003: Vom Wissenstransfer zum Wissensaustausch: Neue Impulse für den Boden- und Biodiversitätsschutz in der Landwirtschaft. GAIA 12, no.2:148-150.

FRY, P. (2001): Bodenfruchtbarkeit – Bauernsicht und Forscherblick. Reihe Kommunikation und Beratung, Hrsg. H. BOLAND, V. HOFFMANN und U.J. NAGEL. Margraf Verlag, Weikersheim.

VBBO, 1998: Verordnungen über Belastungen des Bodens. 814.01.

LWVG, 1998: Bundesgesetz Landwirtschaft 910.1.

DZV, 1998: Direktzahlungsverordnung. 910.13.

Der folgende Beitrag wurde bereits im Bulletin 26 (2002) publiziert. Leider ging beim Druck der letzte Teil von Tabelle 1 (Division 4 mit den Kommissionen 4.1 bis 4.5) verloren, weshalb der vollständige Artikel hier nochmals erscheint.

Le 17ème congrès mondial de sciences du sol donne une nouvelle structure scientifique à l'Union Internationale des Sciences du Sol.

Emmanuel Frossard

Station de Recherche d'Eschikon, Institut des Sciences Végétales, École Polytechnique Fédérale de Zurich, CH-8315 Lindau

Suite aux réflexions qui ont eu lieu au sein de l'Association Internationale de Science du Sol (AISS) pendant les dernières décades et plus particulièrement pendant ces dernières années au sein de son comité permanent «statut et structure», le nom de l'association a été changé en Union Internationale des Sciences du Sol (IUSS) et possède depuis le 16ème congrès mondial de nouveaux statuts (IUSS, 1998). Une différence majeure avec les anciens statuts est qu'à présent ce sont les sociétés nationales qui sont membres de l'IUSS et, au travers d'elles, tous leurs membres. Le nouveau nom reflète le statut de membre de l'IUSS dans l'International Council of Science (ICSU) et ses nouveaux statuts, et il souligne les multiples facettes des sciences du sol (VAN BAREN et al., 2000).

Après une période de transition pendant laquelle les nouveaux statuts étaient appliqués mais pendant laquelle la structure scientifique était restée similaire à celle de l'AISS, les nouvelles structures scientifiques de l'IUSS ont été adoptées en août 2002 à la fin du 17ème congrès mondial de sciences du sol à Bangkok. L'IUSS est à présent structurée en 4 divisions au sein desquelles sont regroupées des commissions. Les thèmes des divisions et des commissions ainsi que les noms et adresses électroniques des présidents de ces instances sont donnés dans le tableau 1. Les noms des vice-présidents et des secrétaires des divisions et des commissions peuvent être obtenus à partir du site web de l'IUSS (www.iuss.org). Cette nouvelle structure scientifique, plus charpentée que la précédente, reflète les importants développements des sciences du sol. Ce petit nombre de divisions permettra à chacune d'atteindre une masse critique et de développer une forte activité tout en gardant des contacts étroits avec le bureau de l'IUSS et avec les différentes commissions qui feront l'essentiel du travail scientifique, les divisions gardant un rôle plus stratégique.

BLUM (2002) a esquissé les grandes orientations de chacune des divisions. En ce qui concerne la

division 1 «Soil in Space and Time», il rappelle que nous sommes encore loin de comprendre correctement le rôle de la morphologie du sol et la distribution des sols dans le paysage et que le développement et l'amélioration des systèmes de classifications du sol au niveau global, régional et local reste une priorité. En ce qui concerne la division 2 «Soil Properties and Processes» BLUM (2002) rappelle que la compréhension du système sol a comme pré requis une connaissance fine des processus chimiques, physiques, biologiques et minéralogiques se déroulant à différentes échelles d'espace et de temps. Le développement de nouvelles techniques, en particulier à l'échelle moléculaire (SPARKS, 2002), devrait permettre de rapides avancées dans ces domaines. Cela suppose une collaboration très étroite avec les sciences de bases comme la physique, la chimie, la biologie, l'écologie et les mathématiques, qui devrait être facilitée par le nouveau statut de l'IUSS comme membre de l'ICSU. La troisième division «Soil Use and Management» a pour but de donner des bases scientifiques et des outils permettant d'atteindre une utilisation durable des sols (agricoles, forestiers, urbains) afin de répondre aux besoins de la population croissante de la planète. Enfin la quatrième division «The Role of Soils in Sustaining Society and the Environment» sera avant tout une plate-forme ayant pour mission de faciliter les discussions et les coopérations entre les chercheurs en science du sol d'un côté et les scientifiques d'autres disciplines ainsi que les autres acteurs de la société de l'autre.

Cette structure est toute fraîche. Elle demande à être rôdée! N'oubliez pas que en tant que membre de la société suisse de pédologie vous êtes aussi membre de l'IUSS. Donc n'hésitez pas à contacter les responsables des différentes divisions et commissions si vous désirez faire des propositions!

BLUM, W.E.H., 2002: The role of soils in sustaining society and the environment: realities and challenges for the 21st century. Plenary session, Keynote lecture at the 17th WCSS, 14-21 August 2002, Thailand, 66-86.

IUSS, 1998: Rules of the International Union of soil sciences. IUSS, Vienna.

SPARKS, D.L., 2002: It's about scales and interfaces: frontiers in basic soil science research. Plenary session, Keynote lecture at the 17th WCSS, 14-21 August 2002, Thailand, 26-51.

VAN BAREN, H., A.E. HARTEMINK, and P.B. TINKER, 2000: 75 years The International Society of Soil Science. *Geoderma* 9, 1-18.

Tableau 1: Structures de l'union internationale de science du sol

IUSS Officers

PRESIDENT: Prof. D. SPARKS; USA; dlsparks@udel.edu

VICE-PRESIDENT: Prof. G. PETERSEN; USA; gwp2@psu.edu

SECRETARY-GENERAL: Dr. S. NORTCLIFF; UK; IUSS@rdg.ac.uk

DEPUTY SECRETARY GENERAL: Dr. A. HARTEMINK; The Netherlands; Hartemink@isric.nl

TREASURER: Dr. P. LUESCHER; Switzerland; peter.luescher@wsl.ch

List of divisions and commissions

DIVISION 1 Soil in Space and Time: A. MERMUT; Canada; mermut@sask.usask.ca

COMMISSION 1.1 Soil Morphology: G. HUMPHREYS; Australia; ghumphre@els.mq.edu.au

COMMISSION 1.2 Soil Geography: R. JAHN; Germany, jahn@landw.uni-halle.de

COMMISSION 1.3 Soil Genesis: V. TARGULIAN; Russia, targul@centro.ru

COMMISSION 1.4 Soil Classification: R. AHRENS; USA; bob.ahrens@nssc.nrcs.usda.gov

DIVISION 2 Soil Properties and Processes: N. SENESI; Italy; senesi@agr.uniba.it

COMMISSION 2.1 Soil Physics: M. PAGLIAI; Italy; pagliai@issds.it

COMMISSION 2.2 Soil Chemistry: A. PICCOLO; Italy; alpiccol@unina.it

COMMISSION 2.3 Soil Biology: V. GUPTA; Australia; gupta.vadakattu@csiro.au

COMMISSION 2.4 Soil Mineralogy: R. FITZPATRICK; Australia; rob.fitzpatrick@csiro.au

DIVISION 3 Soil Use and Management: W. BURGHARDT; Germany; wolfgang.burghardt@uni-essen.de

COMMISSION 3.1 Soil Evaluation and Land Use Planning: R. RALISCH; Brazil

COMMISSION 3.2 Soil and Water Conservation: D. SUAREZ; USA; dsuarez@ussl.ars.usda.gov

COMMISSION 3.3 Soil Fertility and Plant Nutrition: J. RYAN; Syria; j.ryan@cgiar.org

COMMISSION 3.4 Soil Engineering and Technology: R. HORN; Germany; rhorn@soils.uni-kiel.de

DIVISION 4 The Role of Soils in Sustaining Society and the Environment: E. FROSSARD;
Switzerland ; emmanuel.frossard@ipw.agrl.ethz.ch

COMMISSION 4.1 Soils and the Environment: L. BERGSTROM; Sweden; lars.bergstrom@mv.slu.se

COMMISSION 4.2 Soils, Food security, and Human Health: C. RICE ; USA ; cwrice@ksu.edu

COMMISSION 4.3 Soils and Land Use Change: A. SHARPLEY; USA; ans3@psu.edu

COMMISSION 4.4 Soil Education and Public Awareness; M. DOSSO ; France ; dosso@cnearc.fr

COMMISSION 4.5 History, Philosophy and Sociology of Soil Science: B. WARKENTIN ; USA ;
benno.warkentin@orst.edu

Publikationen der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz

Bestellungen, Versand: Landwirtschaftliche Lehrmittelzentrale LmZ
Länggasse 79
3052 Zollikofen
Tel. 031 911 06 68
Fax 031 911 49 25
E-Mail lmz@edition-lmz.ch
Internet <http://www.edition-lmz.ch>

BGS-Bulletins Preis: Fr. 15.- (ab No. 24 Fr. 25.-) pro Stück **ohne** Porto und Verpackung

Nummer	Jahr	Bestellnummer	Nummer	Jahr	Bestellnummer
3	1979	970 801	18	1994	970 815
5	1981	970 802	19	1995	970 816
6	1982	970 803	20	1996	970 817
8	1984	970 805	21	1997	970 818
11	1987	970 808	22	1998	970 819
12	1988	970 809	23	1999	970 870
14	1990	970 811	24	2000	970 871
15	1991	970 812	25	2001	970 872
16	1992	970 813	26	2002	970 873
17	1993	970 814	27	2004	970 874

No. 1, 2, 4, 7, 9, 10 und 13 vergriffen

BGS-Dokumente Preis: Fr. 15.- (ab No. 9 Fr. 25.-) pro Stück **ohne** Porto und Verpackung

Nummer	Jahr	Thema	Bestellnummer
1 f	1984	Exploitation du gravier et agriculture	970 840
2 f	1985	Estimation et protection des sols	970 841
3 d	1986	Bodenschädigung durch den Menschen	970 822
4 d	1989	Lysimeterdaten von schweizerischen Messstationen	970 823
5 d	1994	Aktuelle Bodenforschung in der Schweiz	970 824
6 d	1995	Aktuelle Bodenforschung in der Schweiz II	970 825
7 d	1995	Aktuelle Bodenforschung in der Schweiz III	970 826
8 d	1996	Aktuelle Bodenforschung in der Schweiz IV	970 827
9 d	1999	Physikalischer Bodenschutz	970 828
9 f	1999	Protection des sols contre les atteintes physiques	970 842
10 d	2000	Umfrage Bodenkartierung	970 829
11 d	2001	Bodenkunde und Bodenkundler in der Schweiz 1855 – 1962	970 830
12 d	2003	Sanfte Bodensanierung	970 831
13 d	2004	Definition und Erfassung von Bodenschadverdichtungen	970 832
14 d	2004	Bodeninformation Schweiz BI-CH - Schlussbericht 2003	970 833

No. 1 und 2 deutsch vergriffen

Weitere Publikationen Preis: Fr. 15.- pro Stück **ohne** Porto und Verpackung

Exkursionsführer ISSS 1986 (Alpentransversale)	Bestellnummer	970 860
Gefährdete organische Böden der Schweiz (1982)		970 861

