

BULLETIN

33

Congresso annuale dal 2 al 3 febbraio 2012 a Bellinzona

L'UOMO E IL SUOLO: UN CONFLITTO RISOLVIBILE?

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 044 635 51 14 oder 044 635 51 21 (Sekretariat) **Fax** 044 635 68 48

E-Mail markus.egli@geo.uzh.ch

Internet <http://www.soil.ch>

Postcheck-Konto BGS Bern 30-22131-0 Bern

Vorstand / Comité 2013

Präsident / Président:	R. Meuli, Zürich	044 377 75 45	reto.meuli@art.admin.ch
Vizepräsident / Vice-président:	S. Burgos, Nyon	022 363 40 52	stephane.burgos@eichanchins.ch
Beisitzer/innen / Assesseurs:	R. Bono, Liestal	061 552 61 11	roland.bono@bluewin.ch
	R. Krebs, Wädenswil	058 934 57 90	rolf.krebs@zhaw.ch
Sekretär / Secrétaire:	M. Egli, Zürich	044 635 51 14	markus.egli@geo.uzh.ch
Rechnungsführer / Comptable:	A. Kayser, Frauenfeld	052 724 24 79	bgs.caissier@soil.ch
Redaktorin / Rédactrice	F. Favre Boivin, Fribourg	026 429 66 87	fabienne.favre@hefr.ch

Geschäftsstelle / bureau exécutif

BGS Geschäftsstelle, Beatrice Kulli und Christine Rupflin
c/o Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften
IUNR, Fachstelle Bodenökologie
Postfach
8820 Wädenswil

Tel. 058 934 53 55
Fax 058 934 58 53
E-Mail bgs.gs@soil.ch

Dokumentationsstelle / Service des documents

ELVADATA AG Tel. 031 910 61 20 E-Mail info@elvadata.ch
Schützenstrasse 10 Fax 031 910 61 49 Internet <http://www.elvadata.ch>
3052 Zollikofen

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

Klassifikation und Nomenklatur:	M. Zurrer, Uster	043 399 03 80	zuerrer@myx.ch
BGS-Plattform Bodenschutz:	S. Tobias, Birmensdorf	044 739 23 49	silvia.tobias@wsl.ch
Bodenkartierung:	M. Knecht, Zürich	044 383 70 71	ambio@bluewin.ch
Reflexion/Strategie	R. Bono, Liestal	061 552 61 11	roland.bono@bluewin.ch

Redaktion / Rédaction

M. Müller Telefon 031 910 21 24/11
Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft Fax 031 910 22 99
3052 Zollikofen E-Mail moritz.mueller@bfh.ch

Redaktionskomitee / Comité de rédaction

M. Egli, Zürich	markus.egli@geo.uzh.ch
C. Keller, Aix-en-Provence	keller@cerege.fr
J.-A. Neyroud, Lausanne	lytj-neyroud@bluewin.ch
H. Sticher, Zug	hans.sticher@bluewin.ch
S. Zimmermann, Birmensdorf	stefan.zimmermann@wsl.ch

Publikationen der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz

Bestellungen, Versand: ELVADATA AG
Schützenmattstrasse 10
3052 Zollikofen
Tel. 031 910 61 20
Fax 031 910 61 49
E-Mail info@elavadata.ch
Internet <http://www.elvadata.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	22	1998	970 819
5	1981	970 802	23	1999	970 870
6	1982	970 803	24	2000	970 871
8	1984	970 805	25	2001	970 872
11	1987	970 808	26	2002	970 873
12	1988	970 809	27	2004	970 874
14	1990	970 811	28	2005	970 875
15	1991	970 812	29	2006	970 876
16	1992	970 813	30	2007-2009	970 877
17	1993	970 814	31	2011	970 878
18	1994	970 815	32	2011	970 879
19	1995	970 816	33	2013	970 880
20	1996	970 817			
21	1997	970 818			

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	970840
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, 2 und 5 deutsch vergriffen

No. 2 und 9 französisch 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

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

**BULLETIN 33
2013**

**Congresso annuale dal 2 al 3 febbraio 2012 a Bellinzona
L'UOMO E IL SUOLO: UN CONFLITTO RISOLVIBILE?
Referate, Texte zu den Postern**

Editor: Fabienne Favre Boivin

ISSN 1420-6773
ELVADATA AG
Zollikofen 2013

Druck ELVADATA AG, Zollikofen

ISSN 1420-6773

Copyright: 2013 Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz / Société Suisse de Pédologie

L'UOMO E IL SUOLO: UN CONFLITTO RISOLVIBILE?**Congresso annuale dal 2 al 3 febbraio 2012 a Bellinzona**

R. COMOLLI & C. BALLABIO Soil sealing in Lombardy: historical trend and consequences	5
S. BAGGI Renaturierungsvarianten der AlpTransit Ablagerung Sigirino: Einsatz verschiedener Boden- und Substrattypen	15
W. WILCKE & C. VALAREZO Reaktion des Bodens unter einem tropischen Bergregenwald in Ecuador auf Umweltveränderungen	21
S. FISCHLIN, R. KREBS & U. GASSER Barium in Familiengartenböden: Gehalte und bodenschutz-rechtliche Bedeutung	27
D. HILTBRUNNER, P. A. NIKLAUS, M.W.I. SCHMIDT, F. HAGEDORN, S. ZIMMERMANN Beweidung verändert die Bodeneigenschaften und die Treibhausgasflüsse in einer voralpinen Weide der Schweiz	31
R. REES MERTINS, C. LE BAYON, J.-M. GOBAT, R. SCHULIN Do-It-Your-Soil 2.0 - revision, extension and translation of the established e-learning course.	37

Soil sealing in Lombardy: historical trend and consequences

Roberto Comolli and Cristiano Ballabio*

Environment and Land Dept., Milan Bicocca University, p.zza della Scienza 1, I-20126 Milan (ITA), roberto.comolli@unimib.it

* Now at EC Joint Research Centre, I-21027 Ispra (ITA), cristiano.ballabio@jrc.ec.europa.eu

Abstract

Soil sealing defines the total loss of soil which arises when land use shifts from agriculture, forestry and other open space forms to urban, industrial and transport infrastructures.

In Lombardy, the urbanized surface grew from 4.2% in 1955 to 14.1% in 2007, however for the area immediately north of Milan (the Monza-Brianza province) this increase was from 15.9% to 53.3%.

The effect of such widespread soil sealing is intensified by the spatial patterns of land use change. The spreading of diffuse urbanization ("urban sprawl") produces wide expanses of highly fragmented land, with no definite urban or rural character.

To assess the trend of the increase in soil sealing, maps of the CORINE land cover categories for four time thresholds, 1955, 1980, 1999, and 2007, were compared. The soils lost to urbanization in the 1955-2007 period were identified by their taxonomical (according to the World Reference Base classification - WRB) and functional (according to the US Land Capability Classification - LCC) features. Thirty-five percent of the soils lost to urbanization were of very good quality (I and II LCC class, mainly Luvisols). This loss produced serious consequences on agriculture. Soil sealing and rural land fragmentation heavily hindered agricultural practices in the study area, particularly in the plain north of Milan, where in some areas these activities are virtually ceased.

Keywords: soil sealing, urban sprawl, Lombardy, LCC.

Résumé

Le phénomène d'imperméabilisation des sols est défini par la perte totale de sol consécutive à un changement d'utilisation des sols passant de l'agriculture, foresterie ou espaces ouverts à une utilisation urbaine, industrielle ou propre aux infrastructures de transport.

En Lombardie, la surface urbanisée du territoire est passée de 4.2% en 1955 à 14.1% en 2007. Durant la même période, un accroissement de 15.9% à 53.3% fut observé dans la province de Monza-Brianza (région située au nord de Milan).

Les effets de l'imperméabilisation des sols sont intensifiés par la distribution géographique des changements d'utilisation du territoire. En effet, l'étalement urbain a pour conséquence la fragmentation du paysage en de vastes étendues au caractère urbain ou rural difficile à déterminer.

Afin d'étudier la tendance à l'augmentation du phénomène d'imperméabilisation des sols, les cartes de CORINE land cover furent comparées pour les quatre années suivantes: 1955, 1980, 1999 et 2007. Les sols perdus au profit de l'urbanisation entre 1955 et 2007 furent identifiés d'un point de vue taxonomique (selon la classification World Reference Base - WRB) et fonctionnel (selon la classification américaine Land Capability Classification - LCC).

Les résultats montrent que 35% des sols perdus au profit du développement urbain sont de très bonne qualité (classe d'aptitude LCC I et II; surtout des Luvisols). Ces pertes ont engendré de sérieuses conséquences sur la pratique agricole.

Pour conclure, l'imperméabilisation des sols et la fragmentation des territoires ruraux représentent une réelle entrave à la pratique agricole dans la zone d'étude, et en particulier dans la plaine située au nord de Milan, où les dites-activités ont parfois pratiquement cessé.

Mots-clefs: imperméabilisation des sols, étalement urbain, Lombardie, LCC.

1. Study area description

Our study area (fig. 1) consists of the plains of Lombardy Region and has a surface of 13,400 km².

From the point of view of landscapes, much of the area is made up by Würmian fluvio-glacial and fluvial deposits. The plain is crossed by river valleys with recent alluvial deposits. In the northern parts of the plain, and above the plain main level, fluvio-

glacial terraces are what remains of terraces older than the Würmian. North of them are the moraine hills and the first reliefs of the Alpine range.

The climate is continental, with precipitation lower than those of the Prealps: on average rainfall amounts to 600-1200 mm per year. Luckily for the agricultural sector, there is great availability of water for irrigation, supplied by the main rivers crossing the plain.

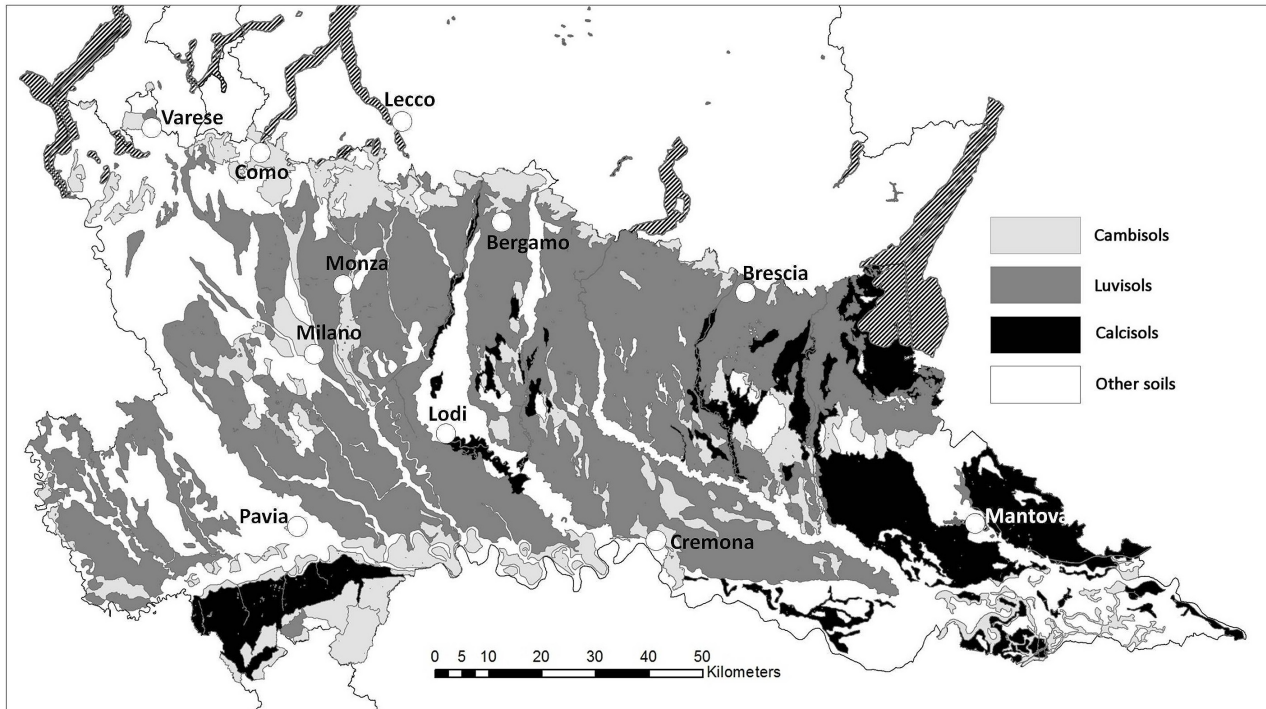


Fig. 1: The study area and its main soil types

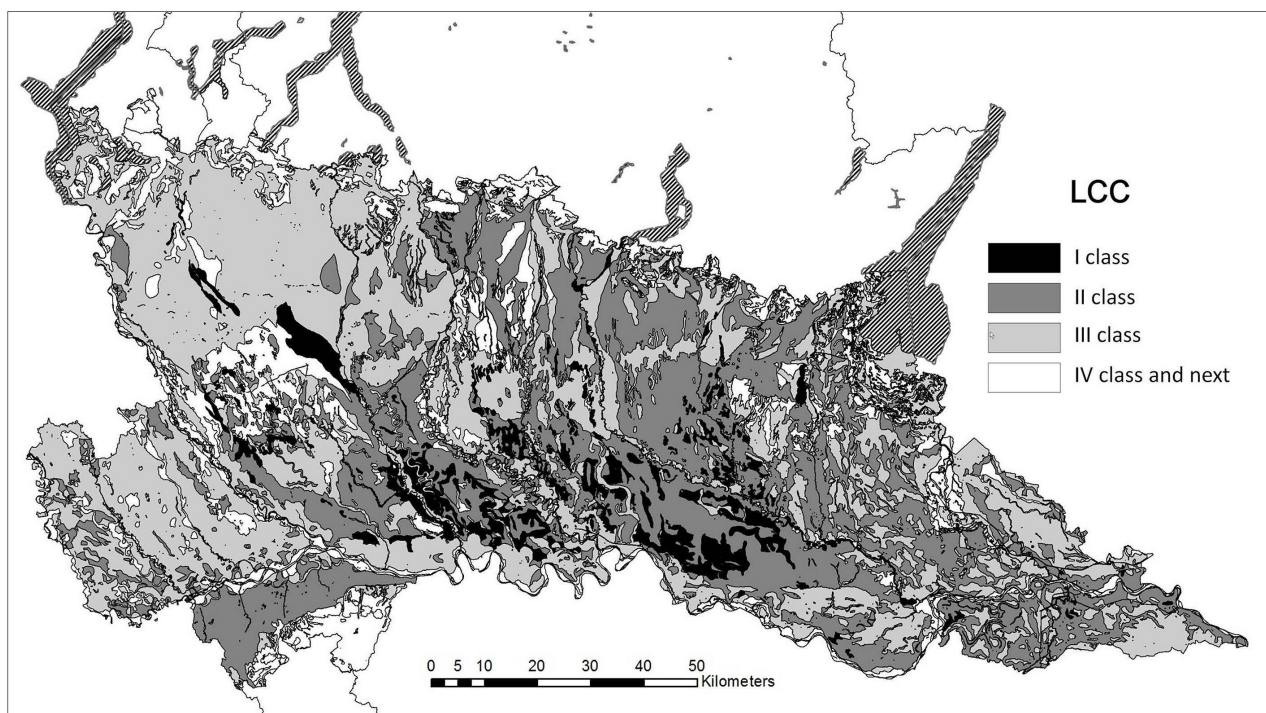


Fig. 2: Land Capability Classification classes

1.1 Soil characteristics and map

Soil texture is mostly sandy in the western part of the Po plain, loamy in the central part, and tends to finer textures (even clay) in the eastern part. The pH of the topsoil is rather acidic in the west, neutral in the central part and alkaline in the east: this is mostly due to the amount of rainfall and to the nature of the parent material.

Topsoil organic matter content decreases going from north to south, especially for climatic (temperature) and land use reasons (meadows in the north, arable land in the south).

A soil map of the whole Lombardy is available at a 1:250.000 scale. However for the plain area the map has a 1:50.000 scale, produced by ERSAF (Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste).

According to the WRB taxonomic system (IUSS WORKING GROUP WRB, 2007), the main soil types of the Po plain are Luvisols, Cambisols and Calcisols (fig. 1). Luvisols cover 42% of the study area, followed at a distance (13%) by Cambisols and Calcisols; Fluvisols and Umbrisols are even less common; Gleysols and Vertisols have little importance. Umbrisols are located mainly in the northwestern part of the area, the most cold and wet (ERSAF, 2004a). Vertisols and Calcisols are widespread in the southeastern part, warmer and dry, with fine textured materials (ERSAF, 2004b e 2004c).

In the Lombardy plain, Luvisols, are widespread. They are often deep, with little gravel, with a pH close to neutrality, and are fertile and very productive.

Calcisols are located mainly in the southeastern part of the plain and in the Oltrepò; they have rather fine texture and often good agricultural quality.

Cambisols are largely distributed and are important especially in the areas connecting the mountain range and the plain. They often contain an high gravel quantity and have a medium agricultural quality.

Umbrisols are widespread in the northwestern portion of the plain, on the moraine deposits and also on the meadowlands. They usually have a medium agroforestry quality but have great importance as carbon sinks.

Vertisols are found only in lower, clay rich and relatively dry parts of the southeastern plain. They have a medium agroforestry quality.

Gleysols are fairly common in the middle hydro-morphic plain (the belt, about the latitude of Milan, where water resurgences are widespread), although not covering a large surface. They are often planted with rice and their agricultural quality is often low to medium.

Fluvisols, related to fluvial deposition of the Po, Adda and Oglio, are young soils, not developed, which often have good agronomic characters.

1.2 Land Capability Classification

The quality of Lombardy soils was evaluated using the Land Capability Classification System, which was developed by the United States Soil Conservation Service (DENT and YOUNG, 1993). According to this classification, widely used in the world, soils can be evaluated in terms of their agricultural and forestry production capacity, but also in terms of their multifunctionality. The system includes 8 classes, with restrictions gradually increasing from the first through the eighth. The first class includes land with great potential, suitable for any agricultural application, the eighth class corresponds to soils that, due to some strong limitation, cannot be used for economic purposes but should be left to natural use.

The LCC map (fig. 2) shows how the plain of Lombardy would be if devoid of urbanized areas. The plain is almost completely covered by the first 4 LCC classes. The remaining classes are present only at the margins of the study area. Only 5% of the surface is occupied by first-class soils, while the second class covers 34%. The third class is the most prevalent, covering 44%, while the fourth amounts to 12% of the plain.

The first LCC class is made up almost completely of Luvisols (fig. 3); in the second class Luvisols are still prevalent, but Calcisols tend to play a more relevant role; only in the fourth class there is an even distribution among soil types. In the subsequent classes, Cambisols tend to be prevalent.

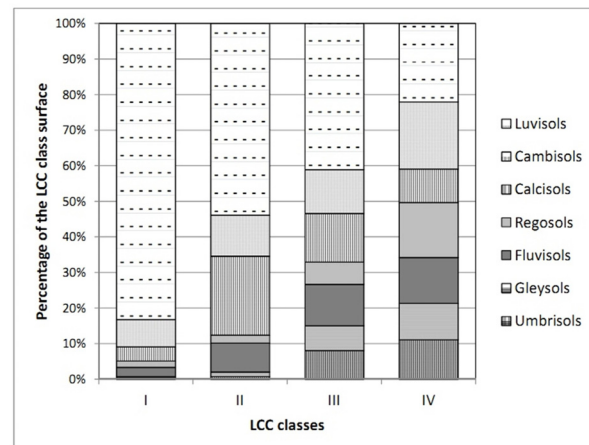


Fig. 3: Land Capability Classification classes vs. Soil types

1.3 Lombardy agriculture and livestock

Agriculture and livestock (table 1) are extremely important in the Lombardy plain, where crop yields are high (INEA, 2011): for example, kernel corn produces about 11 t/ha, while rice and wheat yields are around 6 t/ha. The production of rice and waxy corn in Lombardy is almost one half of the entire Italian production. The corn is used mostly for dairy and pig farming, where Lombardy produces 30-40% of the national one. Dairy production is very high, on average 9100 kg milk per year per cow. These high productions are due to a

Crop	Total surface area (ha)	Yield (t/ha)	Lombardy/Italy % production
Soft wheat	61775	5,8	16,8
Rice	104434	6,3	42,5
Kernel corn	229396	10,9	30,1
Waxy corn	120083	54,6	45,5
Soybeans	24567	3,9	18,3
Livestocks farms	Number of heads	Production (t)	Lombardy/Italy % production
Cattle - beef meat	1607403	367750	26,6
Swine - pig meat	4114437	824400	42,3
Cows - cow milk	566064	4200200	34,2

Table 1: Lombardy agriculture and livestock data (averages 2009-2010; from INEA)

favorable combination of factors: the relatively high temperatures in the growing season, widespread water availability and farmers' excellent technical skills, but also the presence of highly productive soils, with little agronomic constraints, plays an important role.

2. Population, soil sealing and urban sprawl

In the study area, population amounted to 5.6 million in 1951, and grew to 8.6 million in 2010 (ISTAT). In the northern parts of the area the population density tends to be very high (over 600 and up to over 1000 inhabitants per km² with the municipality of Milan having more than 7000 inhabitants/km²). The northern areas differ from the southern plains which have a population density of

about 100-300 inhabitants per km²: so, the Lombardy plain could be easily divided in two parts: a northern one and a southern one, in relation to population density (fig. 4).

3. Methodology

Soil sealing is the term used within the EU Thematic Strategy for Soil Protection (COM(2006) 231) to summarize the total loss of soil that arise from changing the land use from agriculture and forestry, to urban, industrial and transport infrastructures. Soil sealing is considered to be a major threat to soil functions: food production, water storage, filtering and transformation, carbon stock, biodiversity conservation, etc. (BURGHARDT, 2006; SCALENGHE and AJMONE MARSAN, 2009).

The process of soil sealing is often expressed as urban sprawl (SQUIRES, 2002). The main urban sprawl features are: porous and dispersed urban configuration; highly fragmented land; expansion of single-family homes; commercial areas along major roads; urban settlements isolated from the main town; dependence on private cars (JOHNSON, 2001).

To assess the increase of soil sealing in the Lombardy plain, maps of the CORINE land use categories for four time thresholds, 1955, 1980, 1999, and 2007, were compared. The maps were made available by the Lombardy Region Mapping Service (REGIONE LOMBARDIA, 2010).

According to the CORINE (CoORDination of INformation on the Environment) Land Cover legend (EIONET, 2011), the anthropized areas include: urbanized areas, production plants, commercial

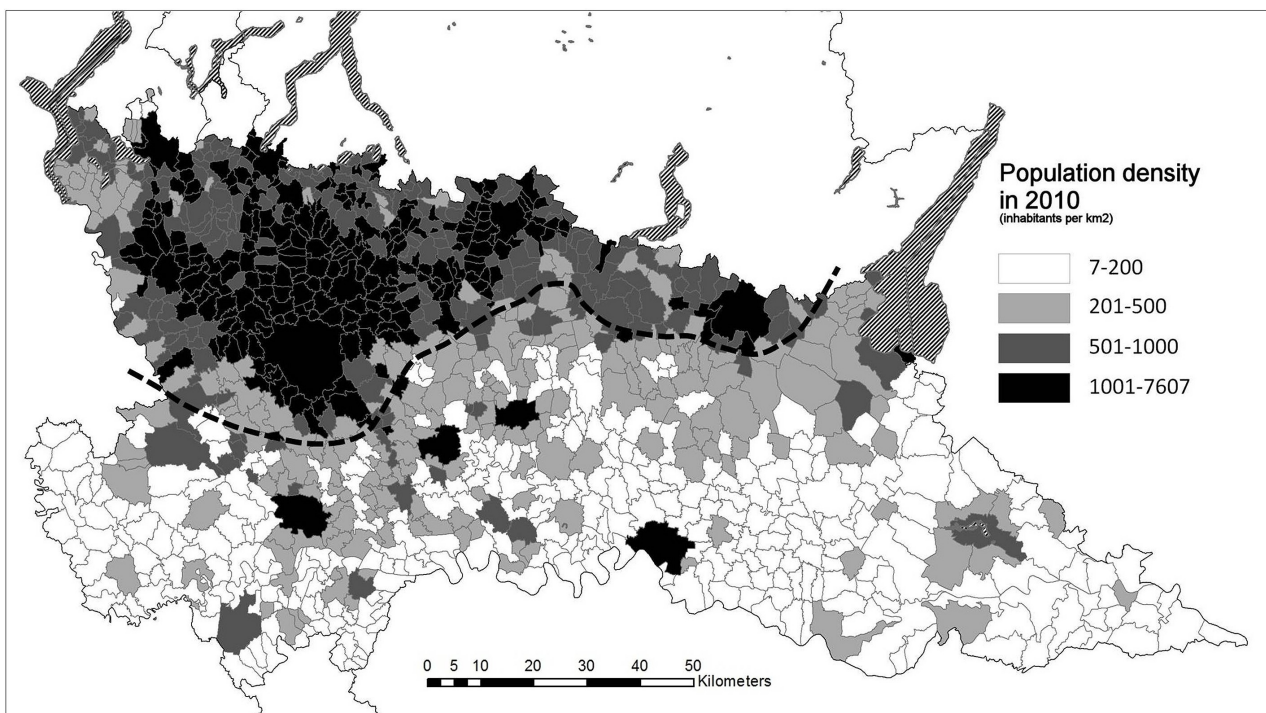


Fig. 4: Population density in 2010 (municipal level) and separation line between north-western and southern part of the Lombardy plain

centers and communication networks, quarries, landfills and degraded areas, and non-agricultural green (parks, gardens, recreational areas).

To better understand the historical evolution of soil sealing in the Lombardy plain and to verify the degree of urban sprawl, we searched for an indicator of the phenomenon. A large number of urban sprawl indicators are available (FRENKEL and ASKENAZI, 2008), based on geometric measures and changes in land use types. We applied the Statistical Sprawl Index (SSI) (PILERI, 2011), which is a very simple indicator, at the municipal (communes) level, of the extent of sprawl. Values below 1 indicate that the increase in land consumption is below the increase in population, values above 1 indicate urban sprawl.

From the point of view of the land use types and their related extensions, we used the transition matrices to help us in assessing the change from a certain land use to another one between two time thresholds.

To verify the connectivity of the agricultural land, we applied the fragmentation method (RIITTERS et al., 2002), using a raster with 25 m resolution and a moving window of 7x7 pixels.

4. Results

4.1 Evolution of the sealed surfaces

As a result of the population growth and also of the improving living standards, the process of soil sealing was significantly increased (ONCS, 2009). The evolution of the anthropized areas and of the soil sealing in the Lombardy plain from 1955 to 2007 highlights the seriousness of the phenomenon.

Eurostat estimates the sealed surface in Western Europe to be about 8.5% of the total land area. In the Lombardy plain, urbanized surface grew from 6.5% in 1955 to 21.5% in 2007; however for the area immediately north of Milan (Monza-Brianza province) it rose from 16% to 53%.

The situation of the urbanized surface in 2007 (map not shown) is very similar to the map of population density in 2010 (fig. 4): a higher population density corresponds to higher soil sealing and the relation is polynomial ($R^2 = 0.87$).

The amount of the anthropized areas seems related also to the taxable income (data not shown). However, the relation is not as strong ($R^2 = 0.24$) as the one with population density. It is interesting to note that in 1955 the relation between population density and soil sealing was not so strong ($R^2 = 0.69$) as it is nowadays.

4.2 Land Capability Classes of the sealed soils

The anthropization of the land leads to the sealing of soils of different LCC capacity. The chart in fig. 5 shows the surface decrease of the first 4 classes of LCC (the most widespread and important in the Lombardy plain) from 1955 to 2007. Soil sealing affects all the classes, but to a greater extent

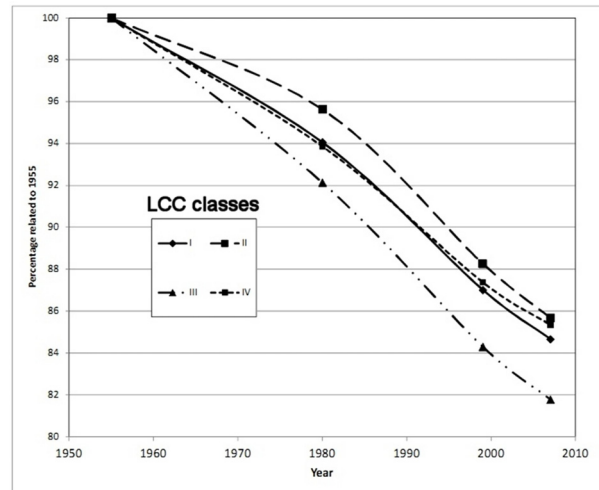


Fig. 5: Area covered by the first four Land Capability Classification classes from 1955 to 2007

the third. In any case, a large part (35%) of the soils lost to urbanization were of good or very good quality (I and II LCC class, mainly Luvisols). This loss produced serious consequences on the agricultural sector and on the soil functions.

4.3 Evolution of the sprawl

The application of the Statistical Sprawl Index (SSI) (PILERI, 2011) showed that in the first period (1955-1980) the sprawl is very high in the northern part of the area, but much lower in the south (fig. 6); later (1980-1999) the index is high everywhere (map not shown); and finally (1999-2007) the situation is reversed and the sprawl is higher in the south (fig. 7). This behavior seems to reflect the principle of ecosystem carrying capacity. In the north, the maximum carrying capacity seems to be almost reached, while it is not yet in the south.

4.4 Evolution of the agricultural soils

According to the results of the transition matrices, we can say that from 1955 to 1980 the agricultural soils that were converted became mainly continuous urban and industrial areas. From 1999 to 2007, on the contrary, the agricultural soils that were converted became mainly discontinuous urban and degraded areas.

In the north-western sector, the area covered by forest (map not shown) is higher than in the remaining parts of the plain: therefore, agriculture is taking place nowadays on a limited surface, sometimes below 15% of the total area (fig. 8).

In the area north of Milan, the degree of fragmentation of the small residual agricultural land has reached very high levels (fig. 9) In these conditions, farming is very threatened and in many municipalities has virtually ceased. In some cases, farms moved from forage crops to horticulture and floriculture or to educational and recreational farms, but the situation of the sector nowadays is very difficult.

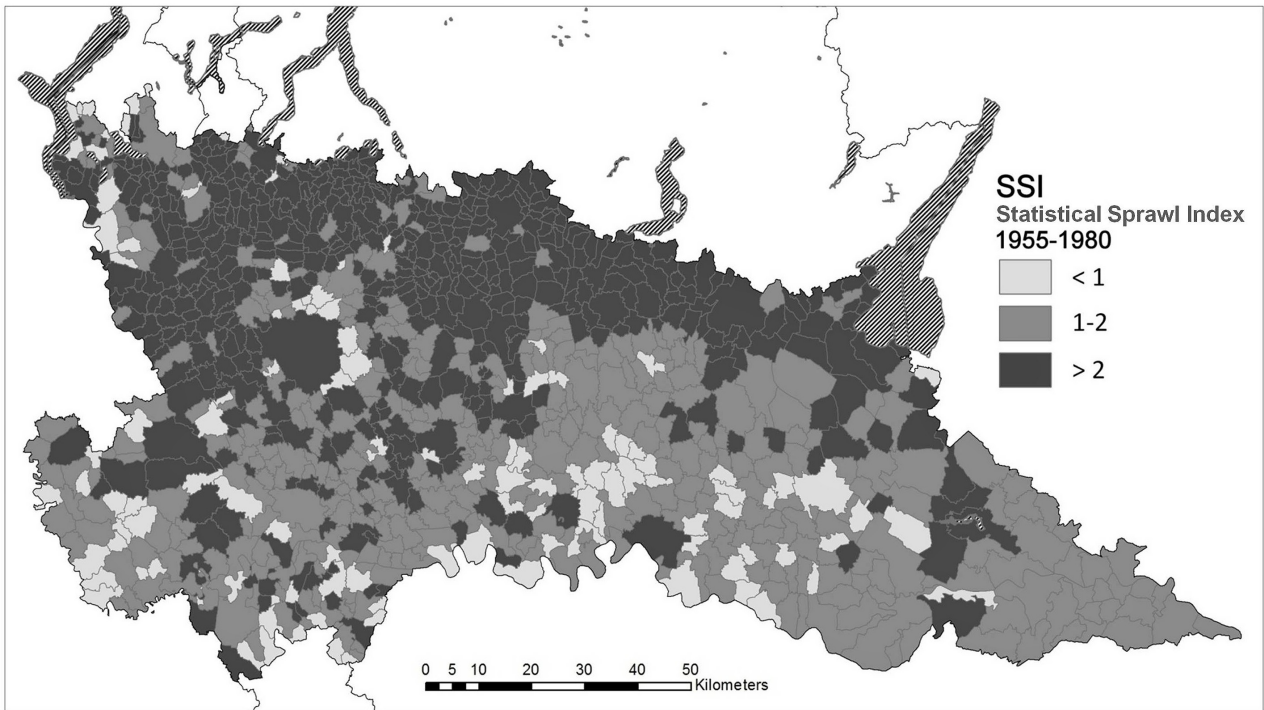


Fig. 6: Statistical Sprawl Index (municipal level): 1955-1980 period

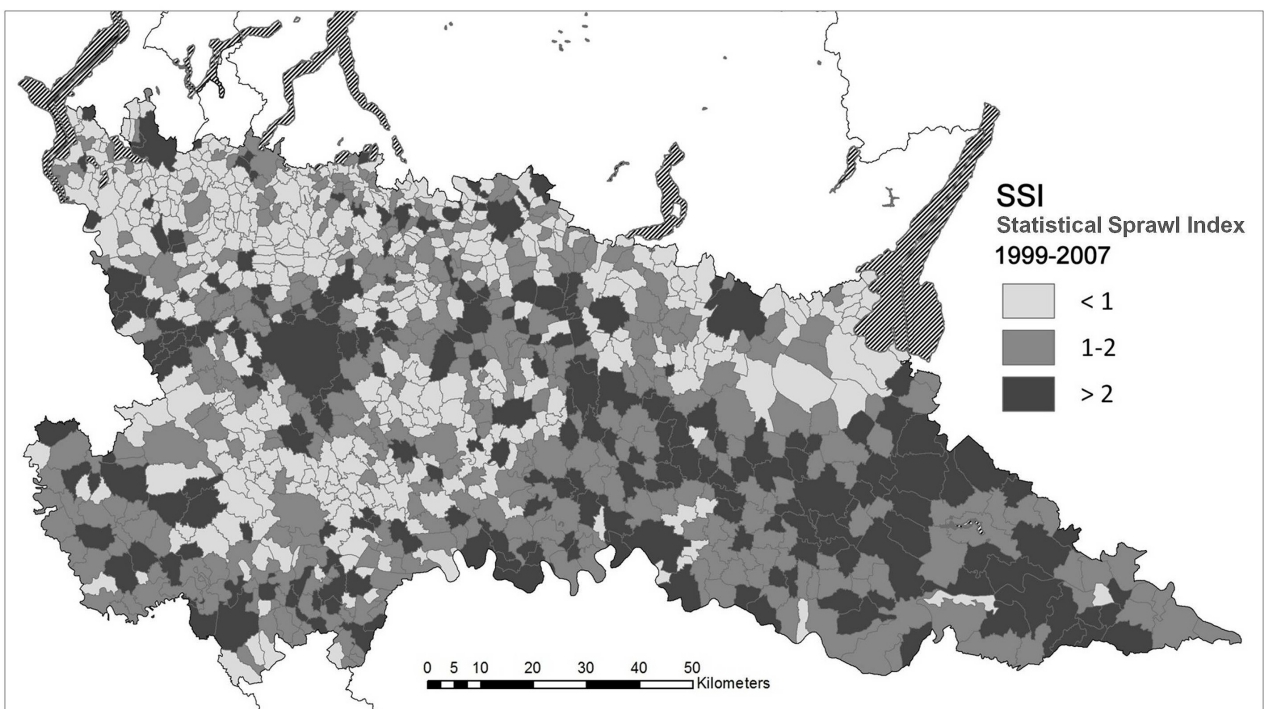


Fig. 7: Statistical Sprawl Index (municipal level): 1999-2007 period

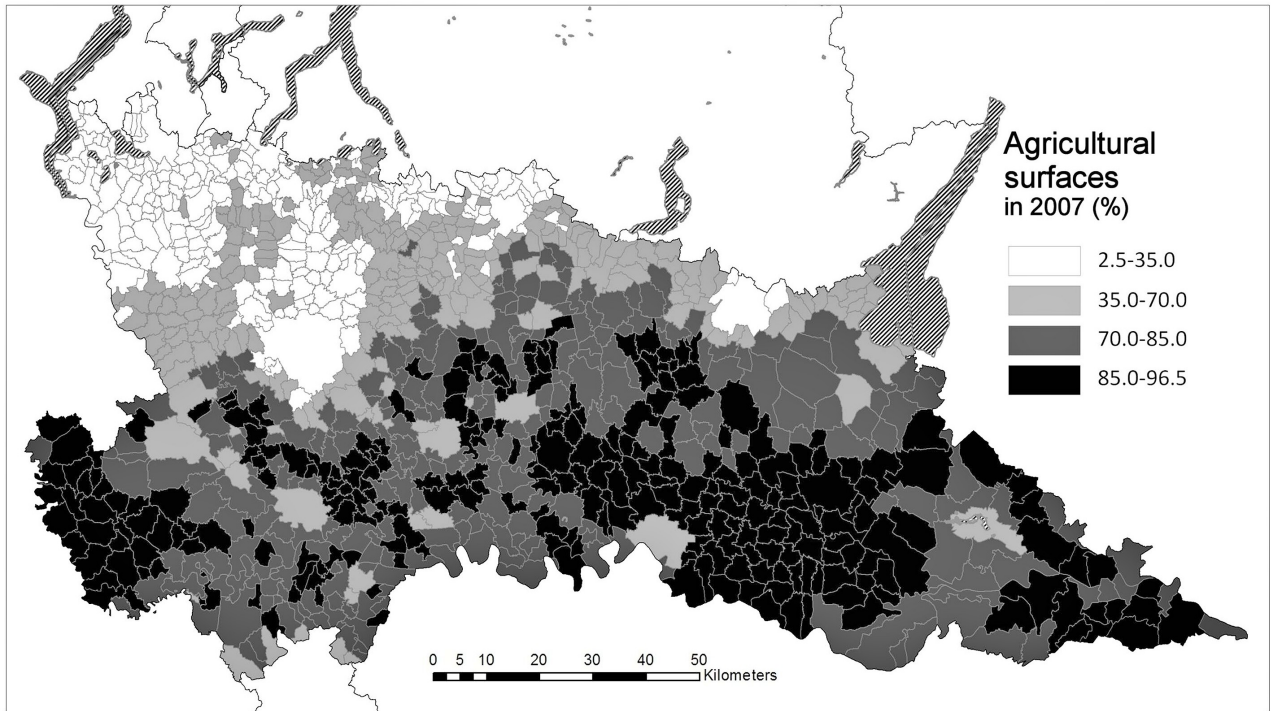


Fig. 8: Agricultural surfaces in 2007 (% of the municipal area)

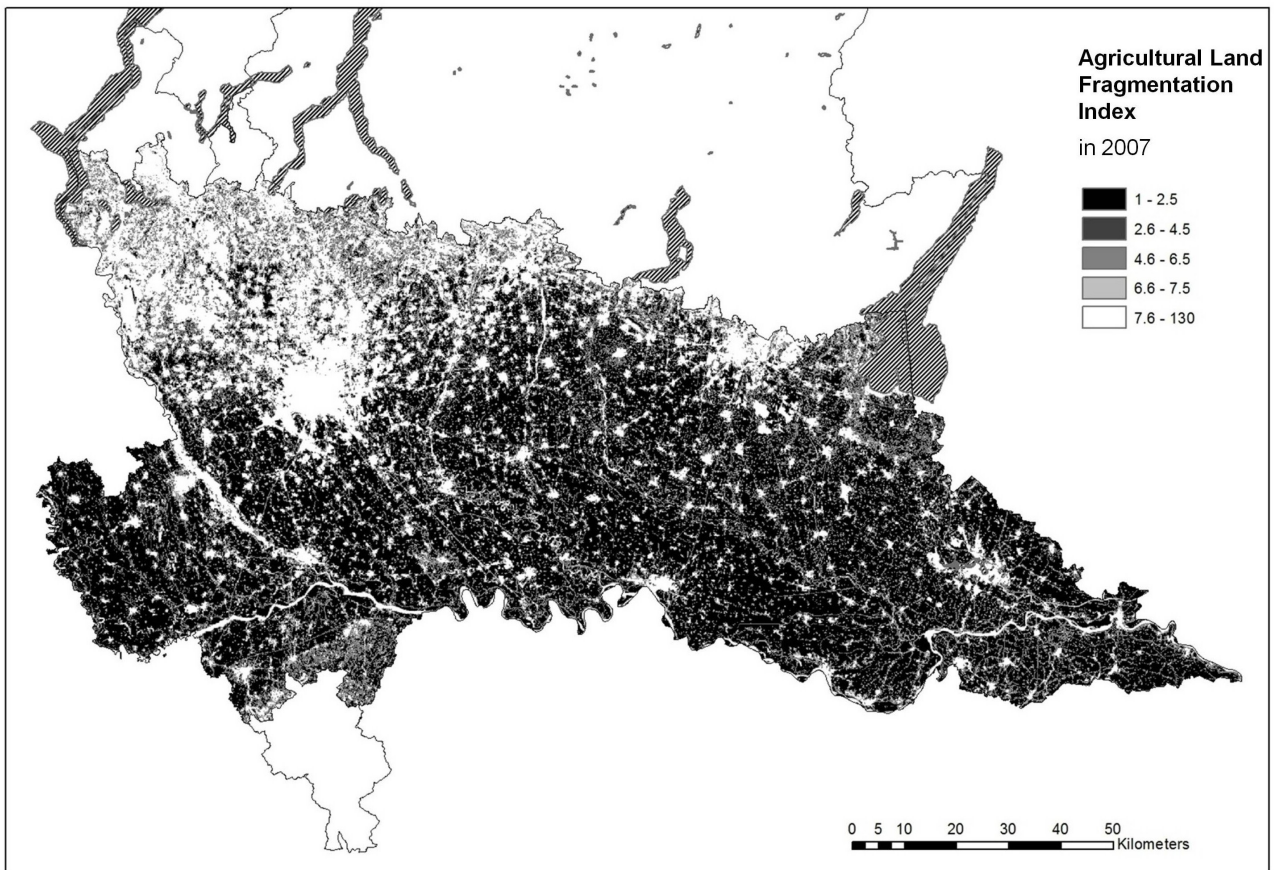


Fig. 9: Agricultural Land Fragmentation Index in 2007

5. Conclusions

Fig. 10 shows a synthesis of the situation for the past half century, taking into account the whole plain area of Lombardy. In the first period considered (1955-1980) the soils lost for urbanization increase according to the population increase. In the second period (1980-1999) the population remains constant, but there is a strong increase of the soil sealing. This is the period which coincides with a diffuse and sparse urbanization, favored by increased economic affluence, and also the time of the worst urban sprawl. In the last period (1999-2007) the population increases again, but the residential surface remains nearly the same. The higher increase is the one of the degraded areas and of the non-agricultural green. It is interesting to note that in this period the population growth appears to be strictly linked to immigration. Probably, the immigrants, due to limited economic resources, settle for living in houses of city centers, without contributing to urban sprawl.

In the considered period many I and II LCC class soils were lost (693 km² – 35% - out of a total of 2006 km²), those of better quality for agriculture. From the production point of view, this loss was offset by the increase in agricultural yields, which however requires more energy inputs (fertilizer,

irrigation, weed control, etc.). Without considering the quality of soil (LCC), soil sealing has so affected the north-western part of Lombardy, with a strong increase of the fragmentation of farmland, that now agriculture is carried out there in a precarious way: moreover, because of the difficulty in performing agricultural activities, many soils previously cultivated have been abandoned and have returned to natural vegetation (forest).

It is difficult at present to predict what will be the trend of soil loss in the Lombardy plain, in part because of the recent developments following the 2008's and 2011's financial crisis.

Possible future developments, if restrictive measures will not be taken, could be:

- a slight increase of urban sprawl in the north-western part and further decline of traditional agriculture;
- a strong increase of soil sealing in the southern part of the Lombardy plain.

It is possible to suggest some future actions and policies to undertake, in order to control the phenomenon of soil sealing in the Lombardy plain:

- take note of the disappearance of traditional agriculture in the north-western plain, but strongly preserve the last remaining soils for their environmental functions;
- defend the soils of the southern plain to support productive agriculture;

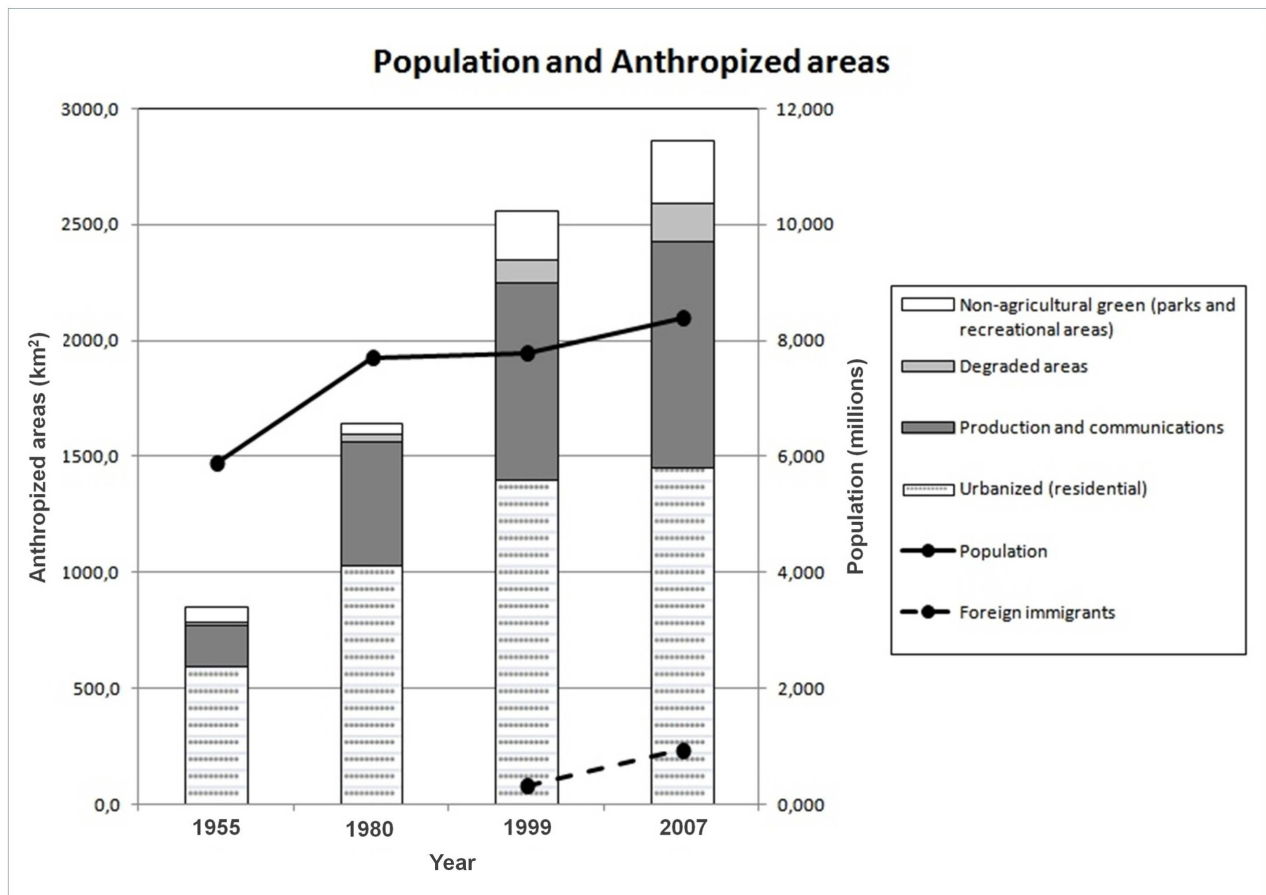


Fig. 10: Population and anthropized areas from 1955 to 2007

- adopt regional laws more restrictive than the current ones with respect to soil loss and urbanization of agricultural soils;
- when selecting surfaces to be urbanized, point to the recovery of areas used for industry and commerce but currently semi-abandoned (check the need to reclaim these surfaces if polluted).

References

- BURGHARDT W., 2006: Soil sealing and soil properties related to sealing. Geological Society, London, Special Publications v. 266, 117-124.
- DENT D. and A. YOUNG (1993); Soil survey and land evaluation. E. & F.N. Spon, London, 278 p.
- EIONET (2011): <http://www.sia.eionet.europa.eu/CLC2006>
- ERSAF: <http://www.ersaf.lombardia.it>
- ERSAF (2004a): Suoli e paesaggi delle province di Como, Lecco e Varese. ERSAL, Milano, 52 p.
- ERSAF (2004b): Suoli e paesaggi della provincia di Cremona. ERSAL, Milano, 52 p.
- ERSAF (2004c): Suoli e paesaggi della provincia di Mantova. ERSAL, Milano, 50 p.
- FRENKEL A. and M. ASKENAZI, 2008: Measuring urban sprawl: how can we deal with it? Environment and Planning B 35, 56-79.
- INEA (2011): Lombard agriculture in figures – 2011. CSR, Roma, 118 p.
- ISTAT: <http://www.istat.it>
- IUSS Working Group WRB (2007): World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome, 115 pp.
- JOHNSON M.P., 2001: Environmental impacts of urban sprawl: a survey of the literature and proposed research agenda. Environment and Planning A, 33, 717-735.
- ONCS (2009): Report 2009 sul consumo di suolo. Maggioli editore, Rimini, 128 p.
- PILERI P. 2011: Suolo bene comune? Per una conoscenza strutturata e condivisa degli usi dei suoli. In: REGIONE LOMBARDIA: L'uso del suolo in Lombardia negli ultimi 50 anni. Milano, pp. 185-204
- REGIONE LOMBARDIA (2010): Uso del suolo in Regione Lombardia: i dati DUSAF. <http://www.cartografia.regione.lombardia.it>.
- RIITTERS, K., J. WICKHAM, R. O'NEILL, B. JONES, E. SMITH, J. COULSTON, T. WADE and J. SMITH, 2002: Fragmentation of Continental United States Forests. Ecosystems 5, 815-822.
- SCALENGHE R. and F. AJMONE MARSAN, 2009: The anthropogenic sealing of soils in urban areas. Landscape and Urban Planning 90, 1-10.
- SQUIRES G.D. (ed.) (2002): Urban sprawl: causes, consequences, & policy responses. The Urban Institute Press, Washington, DC, 364 p.

Renaturierungsvarianten der AlpTransit Ablagerung Sigirino: Einsatz verschiedener Boden- und Substrattypen

Stefano Baggi

IFEC consulenze sa, CH-6802 Monteceneri-Rivera

Zusammenfassung

In Sigirino befindet sich die grösste AlpTransit Baustelle des 15.4 km langen Ceneri-Basistunnels (CBT), der zwischen 2006 und 2019 gebaut wird.

Wie beim Gotthard-Basistunnel wird das Ausbruchmaterial soweit wie möglich wieder verwertet oder, um lange Transportwege zu vermeiden, mittels Geländemodellierungen in der Nähe der Baustelle abgelagert. Aus dem Bau des CBT fallen rund 3.5 Mio. m³ nicht verwertbares Ausbruchmaterial an, die am südlichem Rand der AlpTransit Baustelle von Sigirino definitiv abgelagert werden. Dieses Endlager wird insgesamt eine neue Fläche von 16 ha erreichen, die renaturiert werden muss.

Um die zu erwartenden Wuchsbedingungen der Vegetation auf dem Endlager zu untersuchen, wurde 2007 auf der AlpTransit Baustelle in Sigirino eine Versuchsfläche eingerichtet, wo verschiedene Renaturierungsvarianten überprüft. Ein Schwerpunkt der Untersuchungen ist die Überprüfung alternativer Wuchssubstrate, da die Wiederverwertung des abgetragenen Waldbodens zur Renaturierung der neu geschaffenen Ablagerungsfläche nicht ausreichen würde.

Aus der 5-jährigen Beobachtung konnte man feststellen, dass die Vegetationsentwicklung auf dem Ausbruchmaterial mit Kompost sehr ähnlich jener auf nährstoffreicheren Bodensubstraten ist. Hingegen scheint das reine Ausbruchmaterial (ohne Zufuhr organischer Substanz) extreme Wuchsbedingungen zu schaffen, die das Pflanzenwachstum erschweren. Trotz den z.T. extremen Bedingungen zeigen die angepflanzten Baum- und Sträucherarten bis heute eine grosse Anpassungsfähigkeit auf, die sich in einer hohen Überlebensrate von rund 70% auf der gesamten Versuchsfläche widerspiegelt.

Die Wuchssubstrate weisen in diesen ersten 5 Jahren der Beobachtung keine wesentlichen Änderungen der chemischen und physikalischen Eigenschaften auf. Nur die pH Werte der Substrate aus reinem Ausbruchmaterial zeigen mit der Zeit eine deutliche Abnahme (von pH 8.0 auf 6.5-7.0), wobei sich die Werte rasch den pH Verhältnissen der fruchtbaren Bodensubstrate nähern.

Diese Untersuchungen stellen einen wichtigern Ausgangspunkt für die Auswahl einer angemessenen Renaturierungsvariante dar. Mit den erhobenen Daten wurden wichtige Erkenntnisse gewonnen, die im Rahmen des Renaturierungskonzept-

tes der Ablagerung umgesetzt werden können.

Abstract

The main construction site of the 15.4 km long Ceneri Base Tunnel has been set up around the middle of the tunnel in Sigirino. The Ceneri Base Tunnel has been under construction since 2006, and is due to be operational by 2019. As for the Gotthard Base Tunnel, in order to avoid long transportation distances, as much excavated rock as possible will be recycled or used for landscaping the area around the construction site.

The construction of the Ceneri Base Tunnel will produce about 3.5 million m³ of unrecyclable excavated rock, which is transported to a landfill near the Sigirino construction site. This landfill will be constituted by a 16 ha surface requiring renaturation.

In order to investigate the vegetation growth conditions on this site, an experimental area near the landfill was set up in 2007. Within this area, several renaturation typologies have been tested. One of the experiment's priority is the test of alternative growth substrates to compensate for the forest soil deficit. After 5 years of experimentation, it has been observed that vegetation growth on a substrate of excavated rock mixed with compost is very similar to the one on substrates made by fertile soils. On the other hand, the excavated material without any additional organic substance generates extreme environmental conditions that heavily limit the vegetation growth.

Despite these extreme conditions, planted bushes and trees have been demonstrating high adaptation capabilities. This is shown by a high survival rate, reaching values of 70% of the total number of plants within the whole experimental area.

The growth substrates have not been showing any remarkable variation of their chemical and physical properties within the first 5 years. Only substrates made exclusively by excavated rocks have demonstrated a meaningful decrease of pH values (from the initial value of pH 8.0 to pH 6.5-7.0).

The outcome of the current studies represents an important starting point for the correct choice of renaturation typology for the landfill. The collected data and the acquired knowledge have thus been applied to the present renaturation project.

Keywords: tunneling, excavated rock, growth substrate, renaturation

1. Einführung

Die Schweiz setzt auf eine umweltgerechte und effiziente Verkehrspolitik. In diesem Zusammenhang stehen die Grossprojekte der Neuen Eisenbahn-Alpentransversale (NEAT) am Lötschberg und am Gotthard im Zentrum. Nach dem Gotthard und dem Lötschberg Basistunnel ist der Ceneri Basistunnel die drittlängste Bahntunnelstrecke im Rahmen des NEAT-Projektes, der voraussichtlich Ende 2019 in Betrieb gehen wird.

Für den Bau des 15.4 km langen Ceneri-Basistunnels (CBT) wurde in Sigirino eine sogenannte Zwischenangriff-Baustelle eingerichtet. Die Bauarbeiten erfolgen zwischen 2006 und 2019 und das ganze Ceneri Tunnelsystem wird primär im Sprengvortrieb ausgebrochen. Auch beim Ceneri-Basistunnel, wie beim Gotthard-Basistunnel, wird das Ausbruchmaterial soweit wie möglich verwertet. Aus dem Bau des CBT fallen aber rund 3.5 Mio. m³ nicht verwertbares Ausbruchmaterial an, die, um lange Transportwege zu vermeiden, mittels Geländemodellierungen in der Nähe der Baustelle definitiv abgelagert werden. Daraus entsteht ein Endlager, das insgesamt eine neue Fläche von 16 ha aufweist. Da diese Materialablagerung auf einer ursprünglich bewaldeten Fläche liegt, mussten angemessene Ersatzmassnahmen getroffen werden. Zum Ersatz der gerodeten Flä-

che, sowie zum Wiederherstellen des natürlichen Landschaftselementes mit den entsprechenden ökologischen Funktionen, wurden auf der neu geschaffenen Ablagerung Renaturierungsmassnahmen vorgesehen. Grundsätzlich besteht die Renaturierung aus der Anpflanzung einheimischer und standortgerechter Baum- und Straucharten. Zur Erhöhung des ökologischen Wertes der Renaturierung werden zwischen den angepflanzten Flächen offene Trockenwiese geschaffen, die mit ökologischen Strukturen wie Stein- oder Holzhaufen und erratische Blöcke versehen werden.

Die Renaturierung der Endlagerfläche ist eine komplexe Aufgabe, da das Wuchssubstrat nährstoffarm ist und durch die besonderen chemischen Eigenschaften des Ausbruchmaterials beeinflusst wird. Um die zu erwartenden Wuchsbedingungen des Endlagers zu untersuchen, wurde 2007 auf der AlpTransit Baustelle in Sigirino eine Versuchsfläche eingerichtet. Dort wurde das Pflanzenwachstum, sowie die Vegetationsentwicklung auf verschiedenen Wuchssubstraten überprüft. Dazu wurden alternative Wuchssubstrate überprüft, um das Defizit um Waldboden auszugleichen.

Ziel dieser Versuche ist die Gewinnung von praxisorientierten Erkenntnissen, die der Vorbereitung einer optimalen Renaturierungsvariante des AlpTransit-Endlagers von Sigirino dienen werden.



Abb. 1: Übersicht der AlpTransit Baustelle von Sigirino. Im Hintergrund befindet sich die Ablagerung (Kreis), während im Vordergrund links liegt die Renaturierungsversuchsfläche (Rechteck).

2. Untersuchungsmethoden

2.1 Versuchsfläche

Die Versuchsfläche wurde 2007 auf dem Baustellen-Areal in Sigirino eingerichtet, ungefähr 600 m nördlich von dem zu renaturierenden Endlager. Das Endlager und die Versuchsfläche weisen damit ähnliche lokale Klimabedingungen, Expositionen und Höhenlage (400-500 m ü. M.) auf (siehe Abbildung 1).

Die Versuchsfläche besteht aus 17 Parzellen. 15 Parzellen wurden auf einer Böschung mit einer Neigung von ca. 30° eingerichtet (was der Steilheit der Ablagerungshängen entspricht). Dazu wurden 2 flache Parzellen angelegt, die repräsentativ für die Bermen und die flachen Gebiete der Ablagerung sind.

Auf 16 Parzellen wurden 4 verschiedene Wuchssubstrate überprüft (jedes Substrat wiederholt sich 4 mal) während 1 Parzelle als sogenannte „Null-Variante“ dient, wo auf reinem Ausbruchmaterial keine Renaturierungsmassnahmen durchgeführt wurden. Die Renaturierungsvarianten wurden auf folgenden 4 Wuchssubstraten überprüft:

- Reines Ausbruchmaterial, Abk. MSF oder SPV (reiner zerbrochener Fels aus dem Tunnelbau, Ø 0-150 mm);
- Ausbruchmaterial mit Zufuhr von organischem Kompost, Abk. MSA (org. Kompost 30 % in Vol.);
- Waldboden (rein), Abk. SF;
- Landwirtschaftsboden (rein), Abk. SA.

Der Waldboden wurde aus der für die Materialablagerung gerodeten Waldfläche abgetragen, während der Landwirtschaftsboden aus dem Baustel-

len-Areal in Sigirino gewonnen wurde. Der Kompost wurde von einer anerkannten Firma nach einem Pasteurisierungsvorgang produziert und dem Ausbruchmaterial beigefügt. In der folgenden Tabelle wurden die Hauptmerkmale der verwendeten organischen Wuchssubstrate zusammengefasst.

Die Wuchssubstrate weisen eine Dicke von ca. 20 cm (40 cm auf den flachen Parzellen) auf und wurden alle auf einem Untergrund aus reinem Ausbruchmaterial verlegt.

Auf 6 der 16 Parzellen wurden je 2 Erosionsmesser (Erosionsbecken) aufgelegt, die der Messung oberflächiger Erosionsvorgänge im Verhältnis zum

	Waldboden	Landwirtschaftsboden	Ausbruchmaterial mit Kompost	Ausbruchmaterial	Kompost
Raumgewicht (g/cm ³)	1.3	1.1	1.6	1.9	0.9
pH	6.4	6.0	7.1	7.5	8.2
Org. Substanz (%)	5.2	3.6	8.6	0.0	31.3
C/N - Verhältnis (%)	14.5	11.4	11.9	8.2	19.0
Stickstoff (N) (mg/kg TS)	-	-	-	-	9.6
Ammonium (N-NH ₄) (mg/kg TS)	-	-	-	-	0.6
Phosphat (P ₂ O ₅) (mg/kg TS)	-	-	-	-	4.9
Kalk (Ca) (mg/kg TS)	-	-	-	-	35.5
Magnesium (Mg) (mg/kg TS)	-	-	-	-	7.2
Textur	Tonanteil (%) [Ø < 0.2 µm]	11.5	10.9	11.3	5.0
	Lehmanteil (%) [Ø < 0.2 µm]	28.4	22.3	15.6	9.6
	Sandanteil (%) [Ø < 0.2 µm]	60.1	66.8	73.1	85.4

Tabelle 1: Hauptmerkmale der verwendeten organischen Wuchssubstrate.



Abb. 2: Detailplan der Versuchsfläche mit den 17 verschiedenen Parzellen und den entsprechenden Untersuchungsvarianten.

Vegetationswachstum dienten (siehe Abbildung 2).

Insgesamt wurden auf den 16 Parzellen 950 Bäume und Sträucher aus 9 verschiedenen einheimischen Arten angepflanzt (ca. 60 Pflanzen pro Parzelle), die in Tabelle 2 aufgelistet sind.

Die Begrünung der einzelnen Parzellen erfolgte

Deutsche Name	Lateinische Name
Weissdorn	<i>Crataegus monogyna</i>
Mehlbeere	<i>Sorbus aria</i>
Vogelbeere	<i>Sorbus aucuparia</i>
Winterlinde	<i>Tilia cordata</i>
Edelkastanie	<i>Castanea sativa</i>
Haselnuss	<i>Corylus avellana</i>
Zitter-Pappel	<i>Populus tremula</i>
Sanddorn	<i>Hippophäe rhamnoides</i>
Beseginster	<i>Cytisus scoparius</i>

Tabelle 2: Auf der Renaturierungsversuchsfläche angepflanzte Baum- und Sträucherarten.

mit 2 verschiedenen Varianten: Heugrassaten und speziell zusammengesetzter Samenmischung. Mit der Heugrassaten-Methode wird das Saatgut aus naheliegenden Wiesen geerntet. Die Samenmischungen bestehen dagegen aus Samenarten, die aufgrund Biodiversitäts- und Standortgerechtigkeitskriterien ausgewählt wurden.

2.2 Datenerhebung

Zur Untersuchung der Wuchsbedingungen und der ökologischen Entwicklung auf den verschiedenen Parzellen wurden ab 2007 Daten über die Substrateigenschaften, die Erosionsvorgänge, die Bepflanzung (Baum- und Sträucherarten), die Begrünung (Krautschicht) und die Fauna erhoben.

Die Substrateigenschaften wurden anhand von Probenaufnahmen und Profilen untersucht. Am Anfang der Versuche (2007) und nach vier Jahren (2011) wurden Proben aus den vier verschiedenen verlegten Substrattypen genommen und deren physikalischen und chemischen Eigenschaften im Labor untersucht (untersuchte Hauptparameter: pH, Kationenaustauschkapazität, C/N-Verhältnis, C organisch, Körnung und Saugspannung). Dazu wurden im 2011 Profile auf den Parzellen mit organischen Substraten (Boden und Ausbruchmaterial mit Kompost) gegraben.

Die Erosionsmessung erfolgte am Anfang regelmässig alle drei Monate. In den letzten Jahren wurde die Erosion nur nach starken Regenereignissen untersucht. Die Erosionsmessung besteht aus dem Abwiegen des getrockneten erodierten Materials, das sich in den Erosionsbecken gesammelt hat.

Für die Bepflanzung wurden zwei Feldaufnahmen pro Jahr durchgeführt: im Frühling (Anfangs der

Vegetationszeit) und im Herbst (Ende der Vegetationszeit). Im Frühling wurde die Überlebensrate (Zählen der lebenden, bzw. gestorbenen Pflanzen) erhoben. Im Herbst, neben der Erhebung der Überlebensrate, wurden die Pflanzenhöhe und der Durchmesser (30 cm ob. Boden) gemessen. Dazu wurde im Herbst das Vorkommen von Neophyten auf den verschiedenen Parzellen überwacht, d.h. die Arten bestimmt und gezählt; danach wurden die unerwünschten Pflanzenarten entfernt.

Zur Bewertung der Begrünungsvarianten wurden 1 bis 2 Feldaufnahmen pro Jahr durchgeführt (in der Frühlings- oder Sommerperiode). Die Erhebungen erfolgten innerhalb Stichprobenflächen mit einem Radius von 2.5 m, die auf jeder Parzelle festgesetzt wurden. Die Biodiversität wurde anhand der Braun-Blanquet Methode erhoben. Neben der Biodiversität wurde innerhalb derselben Stichprobenfläche der Deckungsgrad der Krautschicht geschätzt.

Die Kolonisierung durch die Fauna wurde mit 1 bis 2 Begehungen pro Jahr untersucht. Es wurde das Vorkommen folgender Haupttiergruppen untersucht: Schmetterlinge, Geradflügler und Reptilien. Zur Untersuchung der Wuchsbedingungen und der ökologischen Entwicklung auf den verschiedenen Parzellen wurden ab 2007 Daten über die Substrateigenschaften, die Erosionsvorgänge, die Bepflanzung (Baum- und Sträucherarten), die Begrünung (Krautschicht) und die Fauna erhoben.

3. Ergebnisse

Folgende Ergebnisse beziehen sich auf eine 5 jährige Periode (2007-2011).

3.1 Substrateigenschaften und Erosion

In den ersten 5 Jahren wurden keine wesentlichen Änderungen der chemischen und physikalischen Eigenschaften der Wuchssubstrate festgestellt. Nur die pH Werte der Substrate aus reinem Ausbruchmaterial zeigten mit der Zeit eine deutliche Abnahme (von pH 8 auf 6.5-7), wobei sich die Werte rasch den pH-Verhältnissen der fruchtbaren Bodensubstrate näherten (siehe Tabelle 2).

Die Profile haben gezeigt, dass nach 5 Jahren die oberen organischen Wuchssubstrate und der Untergrund aus reinem Ausbruchmaterial immer noch gut unterscheidbar sind. Das bedeutet, dass die Auswaschung von den oberen zu den unteren Substratschichten deutlich beschränkt war. Das Wurzelwachstum der Pflanzen blieb demzufolge in den oberen organischen Schichten begrenzt.

Die Erosionsvorgänge haben nur im ersten Jahr stattgefunden (siehe Abbildung 3). Das entspricht der Grössenordnung der Zeitspanne, die die Krautschicht braucht, um einen genügenden Deckungsgrad zu erreichen (ca. 80%).

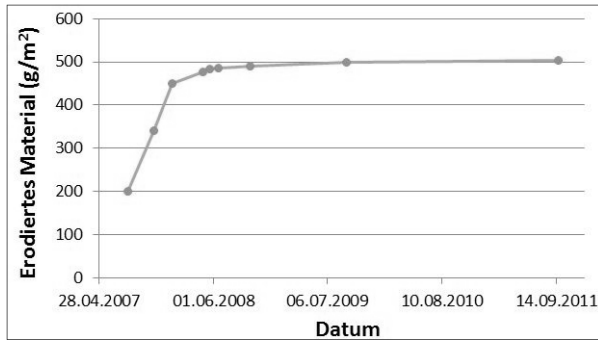


Abb. 3: Entwicklung der mittleren Erosion auf den untersuchten Parzellen in der Periode 2007-2011.

3.2 Vegetationsentwicklung

Die angepflanzten Baum- und Sträucherarten zeigten auf allen Substrattypen eine erstaunliche Anpassungsfähigkeit, die sich in einer hohen Überlebensrate von rund 70% auf der gesamten Versuchsfläche widerspiegelte (siehe Abbildung 4).

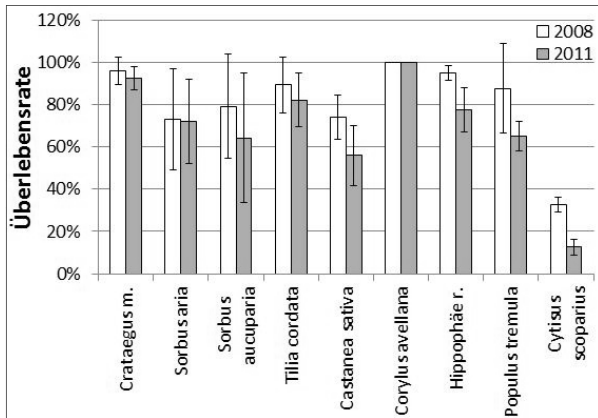


Abb. 4: Überlebensrate der angepflanzten Pflanzenarten.

Unter den Gehölzen zeigt der Weissdorn (*Crataegus monogyna*) auf allen Wuchssubstraten die höchste Anpassungsfähigkeit. Die Mehlsbeere (*Sorbus aria*) und v.a. der Besenginster (*Cytisus scoparius*) weisen dagegen auf allen Substraten eine hohe Mortalität auf. Alle anderen Pflanzenarten zeigen eine gute Anpassung an die z.T. extremen Bedingungen der nährstoffärmeren Substrate, mit einem Verlust von insg. 20-30% der angepflanzten Individuen.

Als Neophytenarten wurden in diesen ersten 5 Jahren nur Robinie (*Robinia pseudoacacia*) und Sommerflieder (*Buddleja davidii*) beobachtet. Erstaunlicherweise ist das Pflanzenwachstum (qualitativ und quantitativ) auf dem Ausbruchmaterial mit Zugabe von Kompost sehr ähnlich zu jener auf nährstoffreicheren Bodensubstraten. Hingegen scheint das reine Ausbruchmaterial (ohne Zufuhr organischer Stoffen) extreme Wuchsbedingungen zu schaffen, die die Vegetationsentwicklung stark erschweren. Die Pflanzen bilden auf diesem nährstoffarmen Substrattyp kleinere, hellere Blätter und lockere Kronen. Wie in Abbildung 5 dargestellt ist, widerspiegeln sich diese extremen

Wuchsbedingungen auch in einer geringeren jährlichen Höhenzuwachsrate.

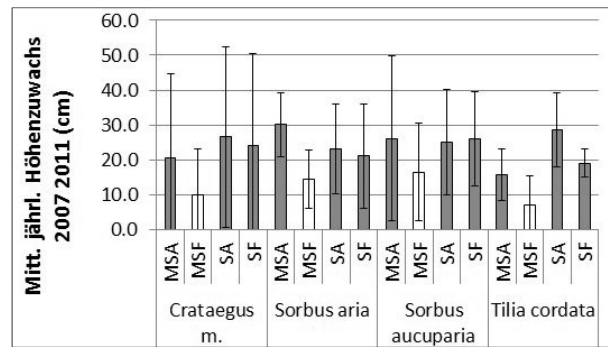


Abb. 5: Mittlerer jährlicher Höhenzuwachs in der Periode 2007-2011. Das Höhenzuwachs auf dem reinem Ausbruchmaterial (MSF, hellere Spalten) erscheint für alle Bazumarten beschränkt zu sein.

Der Erfolg der Begrünung hängt stark vom Substrattyp ab. Bei allen Begrünungsvarianten scheint das reine Ausbruchmaterial keine gute Wuchsbedingungen zu bieten, was zu einem deutlich reduzierten Deckungsgrad führt. Dazu treten oft auf diesen nährstoffarmen Substraten Neophyten oder unerwünschte Pflanzenarten auf (siehe Abbildung 6).

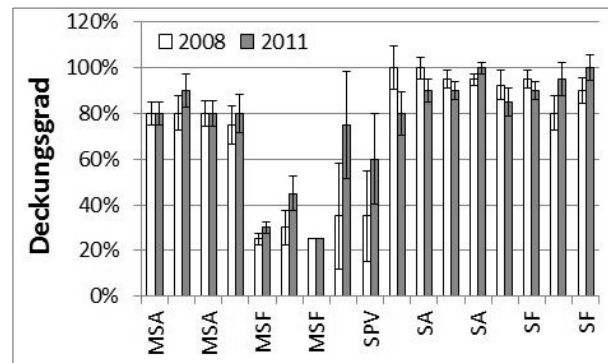


Abb. 6: Entwicklung des Deckungsgrades der Begrünung. Die Deckungsgrade auf dem reinem Ausbruchmaterial (MSF und SPV) erscheinen deutlich kleiner. Höhere Werte auf den SPV-Substrate sind auf das Vorhandensein grosser Neophytenpflanzen zurückzuführen.

Die Begrünung der Substrate aus Ausbruchmaterial mit Zugabe von Kompost zeigte eine gute Vegetationsentwicklung, die ähnlich zu jener der Bodensubstrate ist. Dazu wurde festgestellt, dass auf dem Ausbruchmaterial mit Kompost ein breites Artenspektrum vorkommt, was zu einer höheren Biodiversität führt.

3.3 Fauna

Es wurde festgestellt, dass das Vorhandensein der erhobenen Tierarten mit der Zeit zunimmt. Schmetterlinge und Geradflügler sind die am meisten vertretenen Arten. Reptilien brauchen dagegen eine längere Periode, um die Flächen weitgehend zu kolonisieren.

4. Schlussfolgerungen

Die Wiederverwertung des aus der Rodungsfläche abgetragenen Waldbodens kann den Bedarf an Wuchssubstrat nicht ausgleichen. Da hat sich das Ausbruchmaterial mit Kompostzugabe als gute Variante für die Renaturierung gezeigt. Neben einer raschen und gleichförmigen Vegetationsentwicklung, schafft dieser Substrattyp trockenwiesenartige Bedingungen, die zu einem höheren ökologischen Wert führen (kombiniert mit der Heugrassat-Begrünungsmethode). Dazu hat die Anwendung dieses Substrates weitere Vorteile. Insbesondere ermöglicht sie die Wiederverwertung von Ausbruchmaterial (auf den Baustellen in grossen Mengen vorhanden) und von Kompost (Verwertung von Pflanzenresten). Dadurch wird der Bedarf von zusätzlichem Bodensubstrat, eine wertvolle Ressource, beschränkt.

Aus den Bepflanzungsuntersuchungen konnte man schliessen, dass einheimische Arten eine hohe Überlebenschance aufweisen und sich daher für die Renaturierung der Ablagerung gut eignen.

Reaktion des Bodens unter einem tropischen Bergregenwald in Ecuador auf Umweltveränderungen

Wolfgang Wilcke

Geographisches Institut, Universität Bern, Hallerstrasse 12, 3012 Bern

Carlos Valarezo

Dirección General de Investigaciones, Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

Zusammenfassung

Der globale Umweltwandel erreicht auch die abgelegensten Ökosysteme wie tropische Bergregenwälder. Im Rahmen einer Langzeit-Ökosystemstudie in Südecuador untersuchen wir seit Mai 1998 alle wichtigen Wasser- und Elementflüsse eines nahezu ungestörten Bergregenwaldes. Zwischen 1998 und 2010 wurde das Ökosystem zunehmend trockener und erhielt ansteigende N-Einträge vor allem als NH_4^+ . Die steigenden N-Einträge führten zum einen zu einer Versauerung des Bodens, reflektiert durch steigende H^+ -Flüsse aus der organischen Auflage in den Mineralboden. Wir interpretieren diese Versauerung als Folge der Nitrifikation von NH_4^+ und der gleichzeitig auftretenden steigenden NO_3^- -Auswaschung aus der organischen Auflage. Zum anderen sanken die gelösten organischen C (TOC)-Konzentrationen in den Bodenlösungen unter der organischen Auflage und im Mineralboden (0.15 und 0.30 m Tiefe) und das C/N-Verhältnis der gelösten organischen Substanz wurde weiter. Eine wahrscheinliche Erklärung für diese Beobachtung ist die beschleunigte Mineralisierung der gelösten organischen Substanz, weil die N-Einträge sowie seltenerer Wasserstau im Boden die Nährstoffversorgung der Mikroorganismen verbessern. Unsere Ergebnisse zeigen, dass sich selbst in einem sehr abgelegenen Ökosystem bereits biogeochemische Elementkreisläufe verändern.

Abstract: Response of the soil under a tropical montane rain forest in Ecuador to environmental changes

Global environmental change even reaches the remotest ecosystems such as tropical montane forests. In the framework of a long-term ecosystem study in south Ecuador, we determine since May 1998 all major water and element fluxes in a nearly undisturbed montane rain forest. Between 1998 and 2010, the ecosystem became increasingly dry and received rising N deposition mainly as NH_4^+ . The rising N inputs resulted on one hand in soil acidification as reflected by increasing H^+ fluxes from the organic layer into the mineral soil. We interpret the acidification as the consequence of nitrification of NH_4^+ and the simultaneous increase in NO_3^- -leaching from the organic layer. On the other hand, the dissolved organic C (TOC) concentrations of the soil solutions below the organic layer and in the mineral soil (at the 0.15 and 0.30 m depths) decreased while the C/N ratio of the dissolved organic matter increased. A likely explanation of this observation is the enhanced mineralization of the dissolved organic matter because N deposition and less frequent waterlogging improved the nutrient supply of microorganisms. Our results demonstrate that even in a very remote ecosystem biogeochemical element cycles are changing.

Keywords: tropical montane forest, climate change, N deposition, ecosystem research, soil acidification, C turnover

1. Einleitung

Ungestörte Naturwaldökosysteme befinden sich in einem dynamischen Fließgleichgewicht (Tansley 1935). Aufgrund der ausgeprägten globalen Aktivität des Menschen finden sich solche Ökosysteme heute allenfalls noch in sehr abgelegenen Regionen, z.B. in den tropischen Nordanden. Aber selbst vor diesen Regionen macht die globale Umweltveränderung, die unter anderem klimatische Änderungen (Vuille et al. 2003) und Änderungen des Stoffeintrags, vor allem der N-Deposition

(Galloway et al. 2008), mit sich bringt, nicht halt. Die für die Nordanden erwarteten Klimaveränderungen umfassen ansteigende Temperaturen und eine Änderung des Niederschlagsregimes (Vuille et al. 2003). Die ansteigenden N-Einträge lassen einen Düngereffekt, zunehmende N-Austräge in Grund- und Oberflächenwasser, eine Bodenversauerung aufgrund verstärkter Nitrifikation und folgender Nitratwaschung sowie einen in seiner Richtung unklaren Effekt auf den C-Kreislauf erwarten (Matson et al. 1999, Neff et al. 2002). Neff et al. (2002) beobachteten im Rahmen eines

Langzeit-Düngeexperimentes mit N in einem tropischen Tieflandregenwald in Panama einen beschleunigten Umsatz reaktiver Humus-Pools sowie eine Stabilisierung rekalkitranter Humus-Pools.

Seit 1998 erfassen wir auf einem Standort in Südecuador, der fernab von ausgeprägten direkten anthropogenen Einwirkungen (Industrie, Verkehr, Intensivlandwirtschaft) liegt, alle wichtigen Wasser- und Elementflüsse in einem tropischen Bergregenwald (Wilcke et al. 2001). Die Ziele unserer Arbeit sind (i) die Beobachtung der Umweltveränderung zwischen 1998 und 2010 sowie (ii) die Untersuchung der Bodenantwort auf die erwarteten Umweltveränderungen.

2. Material und Methoden

Unser Untersuchungsgebiet, ein 30-45° steiles, ca. 9 ha grosses Kleinzugsgebiet, liegt im Süden von Ecuador auf der ostexponierten Seite der Ostkordillere – also am Rand des Amazonasbeckens – zwischen den Provinzhauptstädten Loja und Zamora (4°00' S, 79°05' W) auf 1850-2200 m ü. NN. Der Wald ist nur im unteren Teil gering anthropogen gestört. Der mittlere Jahresniederschlag beträgt ca. 2500 mm, die mittlere Jahrestemperatur ca. 15°C (Bendix et al. 2008). Der Wald ist nach Bruijnzeel und Hamilton (2000) ein „tall-statured lower montane rain forest“ mit einem ausserordentlich hohen Pflanzenartenreichtum (Barthlott et al. 2007). Die vorherrschenden Böden sind saure Braunerden aus paläozoischen Tonschiefern und Metasandsteinen mit mächtigen Moder-Auflagen (Wilcke et al. 2001, 2002). Rutschungen treten häufig auf, sodass das Ausgangsmaterial der Bodenbildung oft aus Oberflächensedimenten besteht (Wilcke et al. 2003). Im Jahr 1998 haben wir Freiland- und Bestandesniederschlagssammler sowie Streulysimeter an der Grenze zwischen organischer Auflage und Mineralboden installiert. Im Jahr 2000 folgte die Installation von Saugkerzen aus Mullit und von Hand abgelesenen Tensiometern in 0,15 und 0,3 m Bodentiefe. Die beiden Messstationen für den Freilandniederschlag lagen auf Freiflächen in der Nähe des untersuchten Einzugsgebietes und umfassten je fünf Hellmann-Sammler. Die drei Messstationen für Bestandesniederschlag (mit 20 Hellmann-Sammlern), Bodenlösungen (je drei Lysimeter pro Bodentiefe) und Tensiometern (je ein Gerät in 0,15 und 0,3 m Mineralbodentiefe) befanden sich auf 1900, 1950 und 2000 m ü. NN. Die Beprobung erfolgte wöchentlich. Chemische Analysen wurden in Deutschland und der Schweiz durchgeführt. Transport und Lagerung der Wasserproben erfolgten in gefrorenem Zustand nach Filtration (< 1 µm für die Mineralbodenlösungen, < 4-7 µm für alle übrigen). Die Konzentrationen der N-Spezies in den Lösungen wurden mit Continuous Flow-Analyse, diejenigen des TOC mit einem TOC-Analysator bestimmt.

Wasserflüsse mit Freiland- und Bestandesniederschlag wurden direkt gemessen. Wasserflüsse aus der organischen Auflage in den Mineralboden wurden mit einem Wasserbilanzmodell berechnet (DVWK 1996). Dazu wurde der Wassergehalt in der Auflage mit einer FDR-Sonde gemessen und die Evapotranspiration mit dem Modell REF-ET (ALLEN 1991) unter Verwendung von Klimadaten von einer meteorologischen Station auf einer Freifläche auf 1952 m ü. NN berechnet und auf die einzelnen Wochen entsprechend der Anteile der jeweiligen Woche an der Jahresinterzeptionsverdunstung verteilt. Die direkte Evaporation vom Boden wurde vernachlässigt und die Bodentiefe, aus der das Transpirationswasser entnommen wurde, entsprechend der Wurzelverteilung geschätzt (Soethe et al. 2006). Fehlende Werte wurden durch eine Regression der wöchentlichen Bestandesniederschläge auf die Wasserflüsse im Boden ersetzt ($R^2 = 0.88$). Wasserflüsse im Boden wurden nur für eine Messstation berechnet und als repräsentativ für das gesamte Kleinzugsgebiet betrachtet.

In unsere Analysen flossen Monatswerte der Wasser- und Elementflüsse bzw. –konzentrationen ein. Dazu wurden wöchentliche Wasserflüsse summiert und Konzentrationen arithmetisch gemittelt. Zeitliche Trends wurden mit dem „seasonal Mann-Kendall-Test“ überprüft (Hirsch et al. 1982). Dazu haben wir „Kendall's τ “, das ein Mass für die Stärke des Trends (ähnlich dem linearen Korrelationskoeffizienten) ist, und die Irrtumswahrscheinlichkeit P berechnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

Der mittlere jährliche Freilandniederschlag zwischen 1999 (dem ersten vollständig erfassten Jahr) und 2010 betrug 2332 mm (Standardabweichung: 202 mm) und der mittlere jährliche Bestandesniederschlag 1422 (192) mm. Daraus ergab sich eine mittlere jährliche Interzeptionsverdunstung von 879 (120) mm oder 38% des Freilandniederschlags. Zwischen 1998 und 2010 beobachteten wir einen signifikant abnehmenden Trend des monatlichen Bestandesniederschlags und zunehmende Anteile des Freilandniederschlags, die von der Waldkrone als Interzeptionsverdunstung direkt wieder in die Atmosphäre zurückkehren. Diese Veränderung reflektieren die für das Untersuchungsgebiet erwartete Klimaänderung mit ansteigenden Temperaturen und zurückgehenden, stärker konzentrierten Niederschlägen, die längere wolkenfreie Phasen mit verstärkter Evaporation ermöglichen (Vuille et al. 2003, Abb. 1).

Parallel zu den abnehmenden Bodenwassereinträgen beobachteten wir einen Rückgang der Häufigkeit, mit der Wassersättigung im Boden auftrat (Abb. 2). Während Wassersättigung im Oberboden in den ersten Messjahren in bis zu 30% der wöchentlichen Messungen auftrat, war

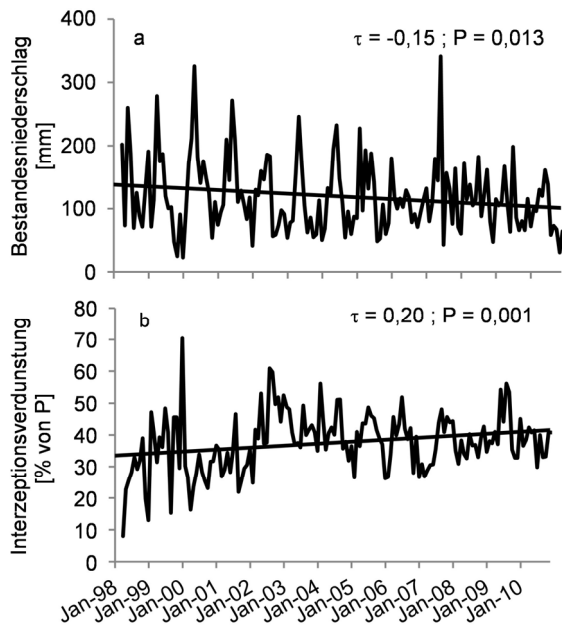


Abb. 1: Verlauf des monatlichen Bestandesniederschlags (a) und der Interzeptionsverdunstung (b) in einem Kleineinzugsgebiet zwischen 1998 und 2010. Die Trends wurden mit dem „Seasonal Mann-Kendall-Test“ geprüft. Die Regressionsgeraden dienen der Illustration.

ab dem Jahr 2005 der Boden nur noch sehr selten wassergesättigt. Diese Austrocknung zeigte sich ausgeprägter für den Oberboden als den Unterboden (Abb. 2). Da in tropischen Bergregenwäldern die Hemmung des Abbaus der organischen Substanz als ein wichtiger Grund für reduzierte Nährstoffnachlieferung in die Bodenlösung gilt (Schuur und Matson 2001), kann davon ausgegangen werden, dass eine reduzierte Häufigkeit von Bodenwassersättigung den Abbau der organischen Substanz stimuliert und es damit zu einer Verbesserung der Nährstoffversorgung kommt.

Gleichzeitig mit den klimatischen Änderungen stieg der Eintrag der anorganischen N-Verbindungen NH_4^+ und NO_3^- in der letzten Dekade signifikant an (Abb. 3). Dies war besonders ausgeprägt für NH_4^+ , dessen Einträge mit dem Freilandniederschlag sich von $3,0$ auf $7,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ zwischen den hydrologischen Jahren 1998/1999 und 2009/2010 (jeweils Mai-April) mehr als verdoppelten. Die gesamten N-Einträge mit dem Freilandniederschlag stiegen im gleichen Zeitraum von $9,6$ auf $14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ an. Die Gründe für ansteigende N-Einträge sind wahrscheinlich zunehmende Waldbrände im Amazonasbecken, deren Emissionen mit den vorherrschenden östlichen Winden in unser Untersuchungsgebiet eingetragen werden (Boy et al. 2008). Darüber hinaus kam es auch in der unmittelbaren Umgebung des Untersuchungsgebietes zu einer zunehmenden Siedlungs- und landwirtschaftlichen Aktivität mit vermutlich ebenfalls (geringfügig) ansteigenden N-Emissionen. Diese Beobachtung befindet sich im Einklang mit von Galloway et al. (1998) prognostizierten generell ansteigenden N-Depositionsraten in den Tropen.

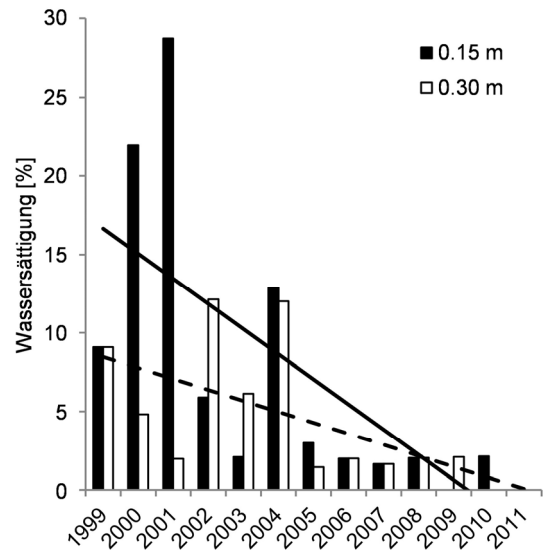


Abb. 2: Häufigkeit von Wassersättigung (angezeigt durch ein Matrixpotenzial von 0 MPa) in 0.15 und 0.30 m Mineralbodentiefe zwischen 1999 und 2011. Die Regressionsgeraden dienen der Illustration (durchgezogen für 0.15 m und gestrichelt für 0.30 m Tiefe).

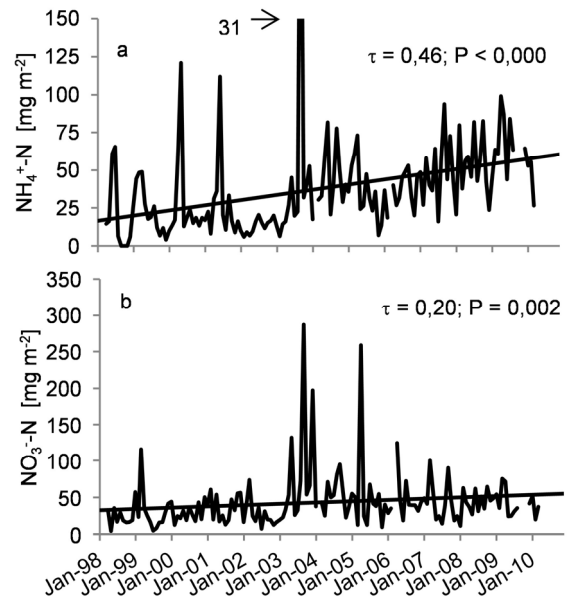


Abb. 3: Verlauf der mittleren monatlichen Einträge von (a) $\text{NH}_4^+\text{-N}$ und (b) $\text{NO}_3^-\text{-N}$ mit dem Freilandniederschlag („bulk deposition“) in das Untersuchungsgebiet zwischen 1998 und 2010 ($n = 2$ Messstationen). Die Trends wurden mit dem „Seasonal Mann-Kendall-Test“ geprüft. Die Regressionsgeraden dienen der Illustration.

In der Bodenlösung stiegen zwischen 1998 und 2010 sowohl die H^+ - als auch die NO_3^- -Austräge aus der organischen Auflage in den Mineralboden signifikant an (Abb. 4). Im Mittel betrug zwischen 1998 und 2010 die jährlichen H^+ -Flüsse 243 (Standardabweichung ± 131) $\text{g ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ und die NO_3^- -Flüsse 15 (± 8.1) $\text{kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Die durch die ansteigenden H^+ -Flüsse reflektierte Bodenversauerung führen wir vor allem auf die Nitrifikation der NH_4^+ -Einträge zurück, da sich die H^+ -Einträge

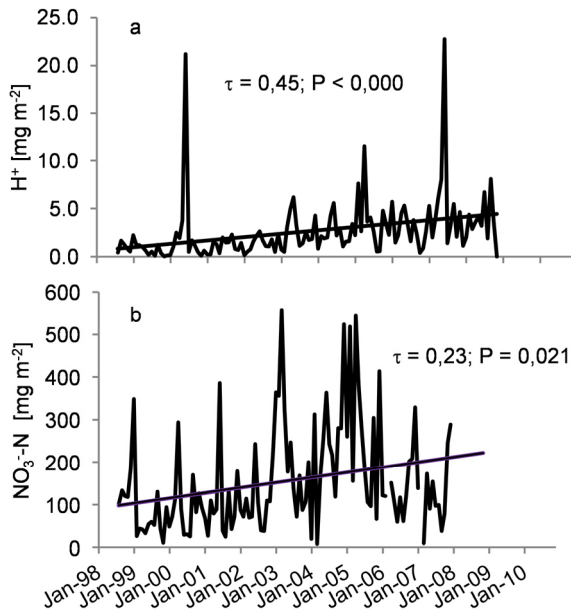


Abb. 4: Verlauf der monatlichen (a) H^+ - und (b) NO_3^- -N-Austräge aus der organischen Auflage zwischen 1998 und 2010 (N-Messungen an $n = 3$ Messstationen, Wasserflüsse nur für das ganze Kleinzugsgebiet berechnet). Die Regressionsgeraden dienen der Illustration

über den Bestandesniederschlag nicht signifikant veränderten und deutlich niedriger lagen als die H^+ -Austräge aus der organischen Auflage (Mittelwert: $10, \pm 4.8 \text{ g ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Durch die Nitrifikation von NH_4^+ werden Protonen freigesetzt, die entweder mit NO_3^- wieder durch die Organismen aufgenommen werden oder aber nach Auswaschung von NO_3^- im Boden verbleiben. Da wir eine ansteigende Auswaschung von NO_3^- beobachten, verbleiben die Nitrifikations-Protonen im Boden und führen zu einer Versauerung (Matson et al. 1999). Diese Versauerung wird allerdings im Untersuchungsgebiet episodisch durch alkalische Staubeinträge aus der Sahara kompensiert (Boy und Wilcke 2008), sodass sie allenfalls kurzfristig zu einer Basenverarmung führt. Die ansteigenden NO_3^- -Austräge aus der organischen Auflage stehen im Einklang mit weltweiten Beobachtungen eines zunehmend offeneren N-Kreislaufs in tropischen Ökosystemen (Hietz et al. 2011).

Des Weiteren beobachteten wir abnehmende TOC-Konzentrationen in allen Bodentiefen und zunehmende C/N-Verhältnisse der gelösten organischen Substanz (Abb. 5). Wir interpretieren diese Beobachtung als Konsequenz der verbesserten Nährstoffverfügbarkeit, die die mikrobielle Aktivität stimuliert und dadurch zu einem verstärkten Abbau der organischen Substanz führt. Vergleichbare Beobachtungen wurden von Neff et al. (2002) in einem tropischen Tieflandregenwald in Panama berichtet, in dem der Umsatz reaktiver Humus-Pools durch N-Düngung beschleunigt wurde.

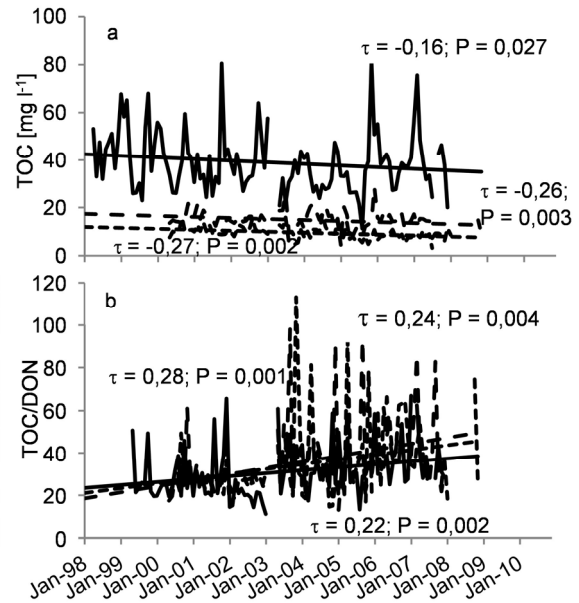


Abb. 5: Verlauf der mittleren monatlichen (a) TOC-Konzentrationen und (b) C/N-Verhältnisse im Streuperkolat sowie in den Mineralbodentiefen 0,15 und 0,3 m der gelösten organischen Substanz zwischen 1998 und 2010 ($n = 3$ Messstationen). Die Regressionsgeraden dienen der Illustration.

4. Schlussfolgerungen

Unsere Ergebnisse zeigen, dass ein sehr abgelegenes tropisches Hochgebirgsökosystem in der vergangenen Dekade deutlichen Umweltveränderungen in Form zunehmender Trockenheit und Düngung durch N-Einträge unterlegen ist. Der Boden des untersuchten Bergwaldökosystems reagierte mit ansteigenden Säure- und NO_3^- -Flüssen aus der organischen Auflage in den Mineralboden und einer beschleunigten Mineralisation der gelösten organischen Substanz. Die Folgen sind zum einen eine ansteigende Eutrophierung von Grund- und Oberflächenwässern aufgrund des zunehmend offeneren N-Kreislaufs und zum anderen eine Rückkoppelung für das Klimasystem aufgrund ansteigender CO_2 -Freisetzung. Letztere wird möglicherweise durch die gegenläufig ansteigende C-Sequestrierung zumindest teilweise kompensiert, falls der Düngeeffekt der N-Einträge und der verstärkten Humusmineralisation im Boden auch die Biomasseproduktion der Vegetation stimuliert.

5. Literatur

- Allen, R.G., 1991: REF-ET Reference Evapotranspiration Calculator. (User's Manual). Department of Biology and Irrigation Engineering, Utah State University Logan, UT, U.S.A., 37 S.
- Barthlott, W., A. Hostert, G. Kier, W. Küper, H. Kreft, J. Mutke, M.D. Rafiqpoor und J.H. Sommer, 2007: Geographic patterns of vascular plant diversity at continental to global scales. *Erdkunde* 61, 305-315.
- Bendix, J., R. Rollenbeck, M. Richter, P. Fabian und P. Emck (2008): Climate. In: Beck, E., J. Bendix, I. Kottke, F. Makeschin und R. Mosandl (Hrsg.): *Gradients in a Tropical Mountain Ecosystem of Ecuador*. *Ecological Studies* 198, Springer-Verlag, Heidelberg, S. 63-73.
- Boy, J. und W. Wilcke, 2008: Tropical Andean forest derives calcium and magnesium from Saharan dust. *Global Biogeochemical Cycles* 22, GB1027.
- Boy, J., R. Rollenbeck, C. Valarezo und W. Wilcke, 2008: Amazonian biomass burning-derived acid and nutrient deposition in the north Andean montane forest of Ecuador. *Global Biogeochemical Cycles* 22, GB4011.
- Bruijnzeel, L.A. und L.S. Hamilton (2000): Up in the clouds. In: IHP-UNESCO (Hrsg.): *Decision Time for Cloud Forests*. IHP Humid Tropics Programme Series 13, Paris.
- DVWK [Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau] (1996): *Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen*. Bonn, Deutschland.
- Galloway, J.N., A.R. Townsend, J.W. Erisman, M. Bekunda, Z. Cai, J.R. Freney, L.A. Martinelli, S.P. Seitzinger und M.A. Sutton, 2008: Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science* 320, 889-892.
- Hietz, P., B.L. Turner, W. Wanek, A. Richter, C.A. Nock und S.J. Wright, 2011: Long-term change in the nitrogen cycle of tropical forests. *Science* 334, 664-666.
- Hirsch, R.M., J.R. Slack und R.A. Smits, 1982: Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research* 18, 170-121.
- Matson, P.A., W.H. McDowell, A.R. Townsend und P.M. Vitousek, 1999: The globalization of N deposition: ecosystem consequences in tropical environments. *Biogeochemistry* 46, 67-83.
- Neff, J.C., A.R. Townsend, G. Gleixner, S.J. Lehman, J. Turnbull und W.D. Bowman, 2002: Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. *Nature* 419, 915-917.
- Schuur, E.A.G. and P.A. Matson, 2001: Net primary productivity and nutrient cycling across a mesic to wet precipitation gradient in Hawaiian montane forest. *Oecologia* 128(3), 431-442.
- Soethe, N., J. Lehmann und C. Engels, 2006: The vertical pattern of rooting and nutrient uptake at different altitudes of a south Ecuadorian montane forest. *Plant and Soil* 286, 287-299.
- Tansley, A.G., 1935: The use and abuse of vegetational concepts and terms. *Ecology* 16, 284-307.
- Vuille, M., R.S. Bradley, M. Werner und F. Keimig, 2003: 20th century climate change in the tropical Andes: Observations and model results. *Climate Change* 59, 75-99.
- Wilcke, W., S. Yasin, C. Valarezo und W. Zech, 2001: Change in water quality during the passage through a tropical montane rain forest in Ecuador. *Biogeochemistry* 55: 45-72.
- Wilcke, W., S. Yasin, U. Abramowski, C. Valarezo und W. Zech, 2002: Nutrient storage and turnover in organic layers under tropical montane rain forest in Ecuador. *European Journal of Soil Science* 53, 15-27.
- Wilcke, W., H. Valladarez, R. Stoyan, S. Yasin, C. Valarezo und W. Zech, 2003: Soil properties on a chronosequence of landslides in montane rain forest, Ecuador. *Catena* 53, 79-95.

Barium in Familiengartenböden: Gehalte und bodenschutzrechtliche Bedeutung

Sneha Fischlin¹, Rolf Krebs¹ und Ubald Gasser²

¹Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, 8820 Wädenswil; ²Fachstelle Bodenschutz, Baudirektion Kanton Zürich, 8090 Zürich

Abstract: Barium in soils of family gardens: Concentrations and legal relevance

Since 2005 Swiss soil legal guidelines exist for barium. The present study shows that in family gardens Ba contents may be beyond these guidelines. The enforcement of constraints of land use, however, is not well defined, yet. For legal purposes, soil samples may at least in some cases be extracted with the OIS-Method (VBBö) instead of the more expensive Aqua Regia method (Königswasser).

Keywords: family gardens, soils, barium, legal relevance, analytical methods

Zusammenfassung

Seit 2005 gibt es in der Schweiz für Barium bodenschutzrechtliche Vorgaben für Böden. Diese Untersuchung zeigt, dass in Familiengärten bodenschutzrechtlich relevante Bariumgehalte auftreten können. Die Umsetzung von Massnahmen (Nutzungseinschränkungen) ist jedoch noch nicht befriedigend geregelt. In diesem Zusammenhang können Bodenproben mindestens in einigen Fällen mit der etwas günstigeren VBBö-Methode auf Barium untersucht werden, anstelle der vorgesehenen Königswassermethode.

1. Ausgangslage

Mit der Einführung des Handbuchs GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG (HB-GfA) hat das Bundesamt für Umwelt (BUWAL 2005) den Vollzug des chemischen Bodenschutzes genauer vorgegeben und die stoffliche Palette gegenüber der VBBö (1998) erweitert, u.a. um das Element Barium.

Das chemische Verhalten dieses Erdalkalimetalls ist mit demjenigen von Calcium vergleichbar. In der Umwelt liegt Barium in seiner zweiwertigen Form vor. Wichtige natürliche Bariumquellen sind die schwer-löslichen Minerale Baryt (BaSO_4) und Witherit (BaCO_3). In gelöster Form, wie beispielsweise im Fall von Bariumchlorid, ist Barium für Menschen und Tiere toxisch (USDHH 2007).

Böden enthalten zwischen 100 und 5000 mg kg^{-1} Barium (ADRIANO 1986).

Die (unbelasteten) Böden der 48 Hauptstandorte der Zürcher Kantonalen Bodenüberwachung (KaBo, unveröffentlichte Daten) haben häufig (10-90% -il) folgende „echt totale“ Bariumgehalte [mg kg^{-1} Boden]:

Oberboden, 0-20 cm: 159-244 (Median: 199),

Unterboden 1, 40-60 cm: 167-263 (220),

Unterboden 2, ca. 80-120 cm: 162-296 (237).

Der maximale Bariumgehalt dieser KaBo-Böden beträgt 340 mg kg^{-1} .

Untersuchungen von Familiengärten im Kanton Zürich ergaben Hinweise auf eine Belastung gewisser Böden mit Barium, dessen Herkunft unbe-

kannt ist. Die vorliegende Arbeit prüft Methoden zur Untersuchung von Barium in solchen Böden und stellt die ermittelten Gehalte in Zusammenhang mit den Beurteilungswerten nach HB-GfA (FISCHLIN 2012).

2. Vorgehen

2.1 Feldarbeit

Beprobt wurden Standorte (hier: Entnahmestellen von ca. 0.5 m² Fläche) im Bereich von drei ausgewählten Familiengartenparzellen in der Stadt Zürich. Pro Parzelle von ca. 200 m² wurden 20 Standorte geplant. Bodenmischproben aus 5 Einzeleinstichen (Pürckhauerbohrer) wurden aus 0-20 cm Bodentiefe entnommen, sowie Unterbodenproben aus 40-60 cm Tiefe mit einem Einzeleinstich.

2.1 Analytik

An feldfrischen Bodenproben wurde geprüft, ob für die Bestimmung des Bariums im Feld auch die mobile Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie (m-XRF) eingesetzt werden kann.

Für die Beurteilung von Barium nach HB-GfA ist eine Extraktion mit Königswasser (AqReg) vorgegeben. Dieser Extrakt korreliert mit „echt totalen“ Gehalten“ von Barium wie eine vorausgehende Auswertung von ISE-Ringversuchsdaten zeigte (ISE 2006-2012). In der Schweiz wird üblicherweise die VBBö-Extraktion mit Salpetersäure (VBBö 1998) für Gefährdungsabschätzungen ein-

gesetzt. In der vorliegenden Studie wurden deshalb folgende Bestimmungen im Bereich der am stärksten belasteten Parzelle durchgeführt:

- „echt totale“ Gehalte mittels Labor-Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie (L-XRF; 30 Proben) so-wie nasschemisch nach dem ehemaligen Bayerischen Geologischen Landesamt (GLA; 12 Proben plus eine Referenzprobe, Standardboden 3);
- Als Grundlage für die Gefährdungsabschätzung dienen: Königswasser- sowie VBBö (total)-Extraktionen (die gleichen 13 Proben wie bei GLA).

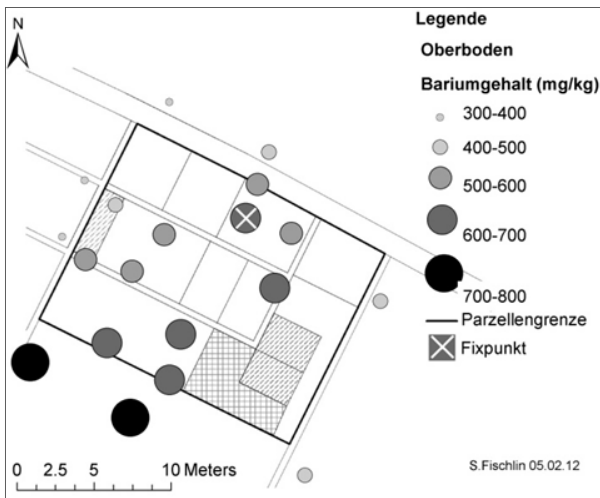


Abb. 1: Bariumgehalte von Familiengartenböden (mg kg⁻¹); Analytik: L-XRF: Gehalt

3. Ergebnisse

Beprobt wurden 58 Standorte: Zwei Standorte konnten wegen Bauten nicht beprobt werden. Die Untersuchung der 116 feldfrischen Proben mit m-XRF ergab nur vereinzelt quantitative Werte.

Das Verteilungsmuster von Barium beim vertieft untersuchten Familiengarten zeigte mit L-XRF maximale Gehalte südlich der betrachteten Parzelle auf (Abb. 1). Die Parzelle selber ist jedoch deutlich stärker belastet als die weiteren Nachbarparzellen. Die hier untersuchten Böden liegen mit Gehalten von ca. 220 bis 700 mg kg⁻¹ teilweise deutlich über dem Maximum der unbelasteten KaBo-Böden von 340 mg kg⁻¹.

Für die bodenschutzrechtliche Beurteilung der Böden sind allerdings die mit Königswasser bestimmten Bariumgehalte zu verwenden. Diese sind meist geringer als die „echt totalen“ Gehalte. Die mittels Regression berechneten Königswasser-Werte für die 30 Oberböden (0-20 cm) der untersuchten Anlage liegen zwischen 163 und 533 mg kg⁻¹ (Median 385). Diese Böden liegen damit stets über dem BW I nach HB-GfA (Basiswert) von 100 mg kg⁻¹ als auch meist über dem BW II (Prüfwert) von 200 mg kg⁻¹, aber immer unterhalb des BW III (Eingreifwert) von 1000 mg kg⁻¹ für diese Nutzung. Für die Bariumgehalte konnte zwischen den Königswasser- und dem totalen VBBö -Extrakten kein statistisch signifikanter Unterschied ermittelt werden (Abb.2).

Zur Umsetzung der von Massnahmen bei Prüf-

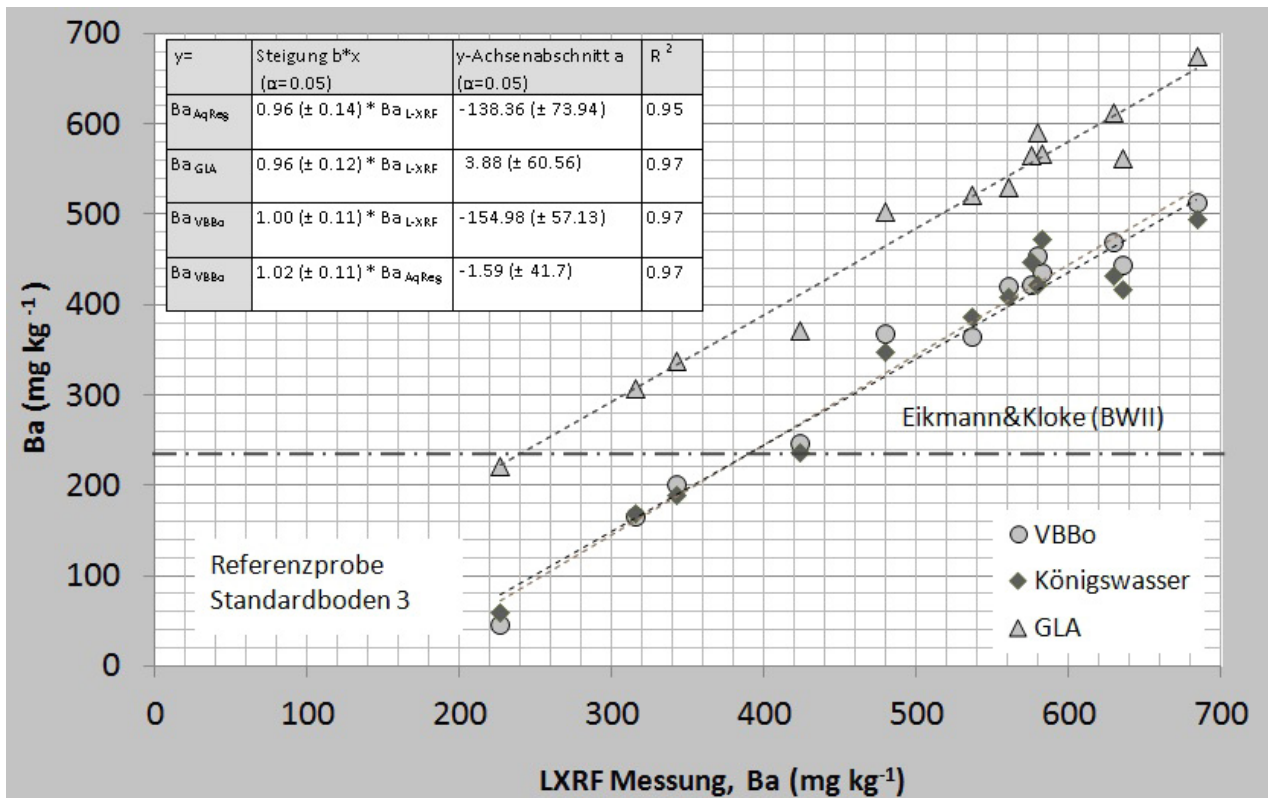


Abb. 2: Methodischer Einfluss auf den Bariumgehalt (mg kg⁻¹) von Familiengartenböden; Signifikanz von R² der Regressionsgleichungen: p<0.001 (***).

wert-über-schreitungen für Barium stehen von Seiten des Bundes noch keine Hilfsmittel wie das Expertensystem zur Verfügung. Die Massnahmen müssen nach Art. 5 Abs. 3 VBBo im vorliegenden Gartenareal also fallweise vorgenommen werden.

4. Fazit

- Das Verteilungsmuster (Abb. 1) ist nicht im Widerspruch mit einer Bewirtschaftungsbedingten Belastungsursache, da an den Grenzen der Parzelle deutliche Veränderungen der Bariumgehalte auftreten.
- In diesen Familiengärten kann bodenschutzrechtlich gesehen ein Problem vorliegen, denn die Bariumgehalte liegen im untersuchten Fall oft über dem Prüfwert HB-GfA. Die Herleitung von Massnahmen ist jedoch im Moment noch nicht befriedigend gelöst und wegen der Einzelfallbetrachtung zeitaufwändig.
- Die Regressionsgleichung von Königswasser (AqReg) vs. L-XRF zeigt, dass ab ca. 250 mg kg⁻¹ „echt totalem“ Barium mit einer Überschreitung des BW I-Wertes und ab ca. 350 mg kg⁻¹ mit einer Überschreitung des BW II-Wertes zu rechnen ist.
- Die Untersuchung von feldfrischen Proben auf Barium mit m-XRF hat für die vorliegende Arbeit keine brauchbaren Ergebnisse geliefert, weil meist die Gehalte unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen.
- Für Barium kann - mindestens in gewissen Fällen - auf die Extraktion mit Königswasser verzichtet werden und mit Salpetersäure nach VBBo gearbeitet werden.

5. Literatur

- ADRIANO, D. C., 1986: Trace Elements in Terrestrial Environments. ISBN 0-387-96158-5, Springer-Verlag. New York. 533 S.
- BUWAL, 2005: Handbuch – Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden – Gefährdungsabschätzung Boden. Dokument-Nr. VU-4817-D. Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft (BUWAL), 3003 Bern, 104 S.
- FISCHLIN, S., 2012: Bariumgehalte in Böden von Schrebergärten. Semesterarbeit. (Betreuung Rolf Krebs und Ubald Gasser). Life Sciences and Facility Management (Bereich Umwelt und Natürliche Ressourcen). 8820 Wädenswil, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften: 43 S.
- ISE, 2006-2012: International Soil-Analytical Exchange - Quaterly Reports of the continous laboratory-performance studies. WEPAL - Environmental Services - Wageningen University, NL-6700 EC Wageningen / Niederlande.
- USDHH, 2007: Toxicological Profile For Barium And Barium Compounds. U. S. Department of Health and Human Services - Public Health Service - Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) - Division of Toxicology and Environmental Medicine/Applied Toxicology Branch - 1600 Clifton Road NE - Mailstop F-32, Atlanta, Georgia 30333 USA, 184 S.
- VBBO, 1998: Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo). Der Schweizerische Bundesrat, Bern. SR 814.12: 12 S.

Beweidung verändert die Bodeneigenschaften und die Treibhausgasflüsse in einer voralpinen Weide der Schweiz

David Hiltbrunner^{1,3}, Pascal A. Niklaus², Michael W.I. Schmidt³, Frank Hagedorn¹, Stephan Zimmermann¹

¹Eidg. Forschungsanstalt WSL, 8903 Birmensdorf

²Inst. für Evolutionsbiologie und Umweltwissenschaften, Uni Zürich, 8057 Zürich

³Departement für Geographie, Uni Zürich, 8057 Zürich

Abstract: Grazing alters soil properties and green-house gas fluxes in a sub-alpine pasture in Switzerland

Grazing by cattle of a steep slope (~30°) above the community of Jaun led to compacted steps free of vegetation. These bare steps cover 10% of the surface of the research area. They build a perfect channel system for the overland flow and hence, are prone to surface erosion. The missing vegetation cover and the lacking rooting system as well as a strongly reduced growth of fungi further increase the surface erosion. The erosion leads to a loss of 0.2 kg C m⁻², which accounts for 2-3% of the total carbon stock in the uppermost 25 cm of the soil.

Soil respiration and methane oxidation were strongly reduced in the bare steps. This can be explained by the lower plant and microbial biomass in the bare steps (for the reduced soil respiration) and by the smaller pore volume in the bare steps compared to the unaffected soil (for the reduced methane oxidation).

Keywords: soil organic carbon, grazing, erosion, soil respiration, methane oxidation

Zusammenfassung

Die Beweidung des steilen Hanges (~ 30°) oberhalb der Gemeinde Jaun führte zur Bildung von Hangterrassen mit verdichteten, vegetationsfreien Trittkerben, welche im Untersuchungsgebiet einen Anteil von 10% der Gesamtfläche einnahmen. Diese Trittkerben bilden ein perfektes Kanalsystem für den Oberflächenabfluss, weshalb diese Böden einer überdurchschnittlichen Oberflächenerosion ausgesetzt sind. Die fehlende Pflanzendecke in den Trittkerben und damit die fehlende Durchwurzelung des Bodens sowie ein stark vermindertes Pilzwachstum verstärken die Erosion dieser ungeschützten Böden zusätzlich. Durch Erosion wurden 0.2 kg C m⁻² weggeschwemmt, was einem Anteil von 2-3% des Kohlenstoff-Gesamtvorrates in den obersten 25 cm des Bodens entspricht.

Die Bodenatmung und die Methanoxidation waren in den Tritten stark reduziert. Dies wird durch die in den Tritten reduzierte pflanzliche und mikrobielle Biomasse (für die geringere Respiration) bzw. durch das im Vergleich zum umliegenden Boden kleinere Porenvolumen in den Tritten (für die reduzierte Methanoxidation) erklärt.

1. Einführung

In steilen Hanglagen der Alpen und Voralpen führt eine Beweidung zu einem typischen Mikrorelief. Durch die immer gleichen Pfade der Rinder bilden sich hangparallele, oft horizontale oder nur schwach geneigte Terrassen aus, welche von dazwischenliegenden unbegangenen Hangabschnitten getrennt werden. Auf den Terrassen treten die Tiere immer in dieselben Tritte, was zu vertieften Trittkerben und nicht trittbelasteten Zwischentritten führt, welche sich in regelmässigen Abständen abwechseln.

Obwohl der Einfluss der Beweidung auf Bodeneigenschaften intensiv untersucht wurde (Greenwood und McKenzie 2001, Steffens et al. 2008), ist uns keine Arbeit bekannt, welche die Bildung des beschriebenen Mikroreliefs und dessen Einfluss auf die Bodenfunktionen untersucht. Es ist

nicht klar, ob sich die Trittkerben durch Verdichtung oder durch Erosion bilden, ob und wie sich der C-Haushalt in den Trittkerben von jenem in der weniger beeinflussten Wiese unterscheidet, und wie sich dies gegebenenfalls auf die Zusammensetzung und Funktionalität der Mikroorganismengemeinschaften auswirkt. Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Fläche von alpinen und voralpinen Weiden in der Schweiz (537'801 ha) 35% der Landwirtschaftsfläche entspricht (BFS 2005), können sich kleinräumige Unterschiede von Bodeneigenschaften zu grossen Gesamteffekten kumulieren.

Das Ziel unserer Arbeit war die Untersuchung der Ursachen der Entstehung des Mikroreliefs sowie die Abschätzung der Folgen von Viehtritt auf (I) physikochemische und (II) mikrobielle Bodeneigenschaften sowie (III) auf Treibhausgas-Flüsse.

2. Methoden

2.1 Untersuchungsgebiet und Beprobung

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Kanton Fribourg an einem gleichmässig geneigten, süd-exponierten Hang oberhalb der Gemeinde Jaun zwischen 1550 und 1650 m.ü.M. (N = 1250 mm ; $T_{\text{Sommer}} = 11.4^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{Winter}} = 0.6^{\circ}\text{C}$). Der Standort wird seit mindestens 150 Jahren als Weide genutzt, heute vor allem als Sommerweide (Juni – September) mit einer Viehdichte von ca. 4 Tieren ha^{-1} .

Für die Bodenbeprobung wurden entsprechend der Mikrotopographie drei verschiedene Straten gebildet: Auf den Terrassen wurden Trittkerben und Zwischentritte unterschieden; die nicht begangenen Wiesenstreifen zwischen den Terrassen dienten als Kontrollflächen (TK, ZT und KF in Abb. 1). Im gesamten Untersuchungsgebiet wurden 4 Blöcke (25 x 25 m) festgelegt und innerhalb jedes Blockes wurden zufällig 5 Plots gewählt. In jedem Plot wurde von jedem Stratum (TK, ZT und KF) ein Bohrkern (\varnothing 50 mm ; N = 60) entnommen und in die Tiefenstufen 0-5, 5-15 und 15-25 cm unterteilt (Abb. 1). An 60 weiteren Bohrkernen (20 pro Stratum) wurde die Lagerungsdichte bestimmt.

Für die mikrobiologischen Messungen wurden zwei zusätzliche Blöcke festgelegt und in jedem Block 15 statische Kammern (5 pro Stratum) zur Messung der Gasflüsse installiert. Nach der letzten Messung der Gasflüsse wurden vom Boden in jeder Kammer eine Probe (0-5 cm) für mikrobiologische Untersuchungen entnommen und nach dem Transport in einer Kühlbox innerhalb von vier Stunden bei minus 20°C eingelagert.

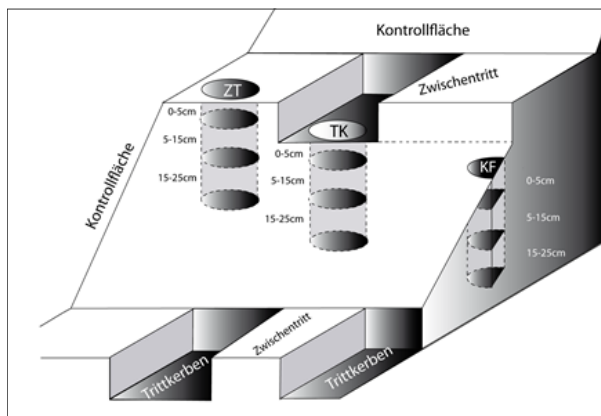


Abb. 1: Schema des auf der Weide ausgebildeten Mikroreliefs. Durch die Beweidung entstehen hangparallele, fast ebene Terrassen, welche durch unbeeinflusste Wiesenstreifen getrennt sind. Die Terrassen wurden weiter in Tritte und Zwischentritte eingeteilt. Tritte, Zwischentritte und Kontrollflächen wurden in drei Tiefenstufen beprobt.

2.2 Flächenanteile der verschiedenen Straten

Ein georeferenziertes, multi-channel RGB Luftbild mit einer räumlichen Auflösung von 25 cm wurde ins GIS (ArcGis Desktop version 9.3 ; ESRI Inc. 2009) geladen. Alle Terrassen des Untersuchungsgebietes wurden als kontinuierliche Linien

vektoriert und anschliessend mit der mittleren Terrassenbreite als Polygone abgespeichert, welche die Lokalisierung und die Gesamtfläche der Terrassen wiedergeben. Die mittlere Terrassenbreite wurde durch die Messung der Breite bei je 90 aufeinanderfolgenden Trittkerben und Zwischentritten auf zwei zufällig gewählten Terrassen bestimmt. Trittkerben- und Zwischentrittflächen wurden anhand von 160 Photos (kommerzielle Digitalkamera) eines auf die Terrassen ausgelegten Holzrahmens (50 x 50 cm) ausgemessen. Mit Adobe Photoshop (Adobe Systems Inc. 2009) wurden die Photos geometrisch korrigiert und die Pixel, nach Trittkerben und Zwischentritten unterteilt. Die prozentualen Anteile der beiden Pixel-Kategorien wurden mit der Histogrammfunktion bestimmt (Klassen et al. 2003). Zur Validierung dieser Methode wurden 20 Photos mit Hilfe eines darüber gelegten 1cm^2 -Gitters manuell kategorisiert.

2.3 Bodenphysikalische und -chemische Messungen

Totale C- und N-Gehalte wurden mit einem C/N-Analyser (CE Instruments NA 2500) gemessen. C-Vorräte wurden unter Berücksichtigung des effektiven Feinerdevolumens und der Feinerdedichte berechnet. Das Stickstoff-Isotopenverhältnis ($\delta^{15}\text{N}$) wurde mit einem Elementanalyser-IRMS (Euro-EA, Hekatech GmbH, gekoppelt mit einem Delta-V Advanced IRMS, Thermo GmbH) bestimmt. Die Lagerungsdichte wurde als das Verhältnis von Bodengewicht und -volumen von 105°C getrockneten Proben bestimmt. Die Porosität wurde als eins minus das Verhältnis von Lagerungsdichte und reeller Dichte berechnet.

2.4 Bodenatmung und Treibhausgasflüsse

CO_2 -, N_2O - und CH_4 -Flüsse wurden mit statischen Kammern bestimmt. PVC-Kammern (32 cm Durchmesser, 30 cm Höhe) wurden zwei Monate vor der ersten Messung ca. 15 cm tief in den Boden getrieben und das freie Volumen jeder Kammer individuell bestimmt. Bei jeder Messung wurden die Kammern gasdicht verschlossen und durch ein Septum wurden nach 0, 15 und 30 Minuten mit einer Spritze je ca. 40 ml Luft entnommen, in vorevakuieren exetainers ins Labor überführt und am Gaschromatographen (Agilent 6890, mit FID für CO_2 und CH_4 , bzw. ECD für N_2O) die Gaskonzentrationen bestimmt. Aus den Konzentrationsveränderungen über die Zeit wurde auf die Gasflüsse geschlossen (Hiltbrunner et al. 2012).

2.5 Lipid-Extraktion und PLFA-Analyse

Die Zusammensetzung der bodenmikrobiologischen Gemeinschaften wurde anhand von Phospholipid-Fettsäure-Mustern charakterisiert (Frostegard et al. 2011). Die Fettsäuren wurden gemäss Bligh und Dyer (1959), adaptiert nach Zelles (1997), extrahiert und gemäss Thiel et al. (2001) methyliert. Die Analyse erfolgte auf einem

GC/MS (Agilent HP 6890 N Plus Gaschromatograph verbunden mit einem 5973 N MSD Detektor) mit der Fettsäure 19:0 als internem Standard. Die totale Konzentration an PLFA (nmol PLFA pro g Boden) wurde als Mass für die lebende mikrobielle Biomasse und das Pilz/Bakterien-Verhältnis (18:2ω6.9 / Gram positive + Gram negative + 17:0 + 15:0) als Indikator für die mikrobielle Zusammensetzung verwendet.

3. Resultate und Diskussion

3.1 Flächenanteil der Tritte und Ursachen ihrer Entstehung

Die gesamte Untersuchungsfläche (2 ha) bestand aus 0.87 ± 0.11 ha Terrassen und 1.13 ± 0.11 ha unbeeinflussten Hangstreifen zwischen den Terrassen. Die Gesamtlänge der Terrassen betrug 12.4 km (bei einer durchschnittlichen Breite von 72 cm). Auf den Terrassen nahmen die Tritte eine Fläche von 0.21 ± 0.01 ha ein, während 0.66 ± 0.01 ha auf Zwischentritte entfielen. Insgesamt bestand das Untersuchungsgebiet aus 57% unbeeinflusster Hangfläche, 33% Zwischentrittfläche und 10% Trittfläche (Hiltbrunner et al. 2012).

Beim Abbau organischer Substanz im Boden findet infolge Diskriminierung des schwereren N-Isotops eine natürliche Anreicherung von ^{15}N statt. In einem ungestörten Bodenprofil nimmt das Alter der organischen Substanz mit zunehmender Bodentiefe zu, was sich in einem zunehmend positiveren $\delta^{15}\text{N}$ Wert manifestiert. Der Vergleich der ^{15}N -Anreicherungs-Tiefenprofile verschiedener Straten gibt Information darüber, ob vor allem Erosion oder Verdichtung die Ursache für die Vertiefung in den Tritten ist. Aus Abb. 2 ist ersichtlich, dass in den Tritten der $\delta^{15}\text{N}$ -Wert in allen Tiefenstufen positiver war als in den Zwischentritten und Kontrollflächen. In den Tritten wies die Mineralerde in 0-5 cm Tiefe dieselbe Isotopensignatur auf wie in 5-15 cm Tiefe in den Zwischentritten und Kontrollflächen, was auf Erosion des Oberbodens in den Tritten hinweist. Allerdings war auch die Dichte in den Tritten signifikant grösser als in den

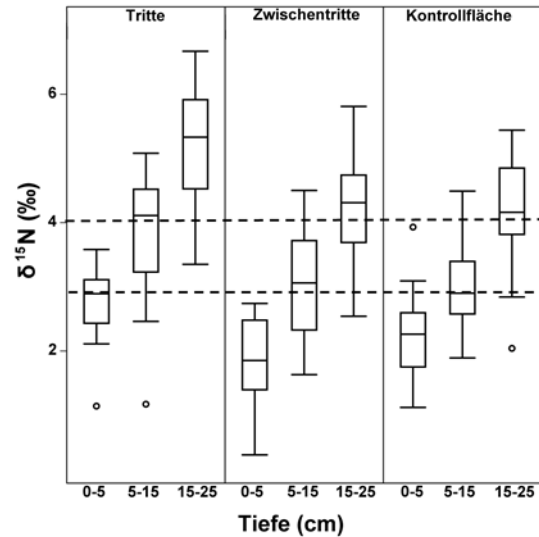


Abb. 2: $\delta^{15}\text{N}$ -Werte in drei Tiefenstufen der Tritte, Zwischentritte und Kontrollflächen. Die gestrichelten Linien geben korrespondierende Werte in den drei Straten an.

anderen Straten (Tab. 1), was auf eine kombinierte Wirkung von Verdichtung und Erosion hindeutet, wobei die Erosion wegen der relativ geringen Dichte und der grossen Vertiefung in den Tritten den grösseren Einfluss gehabt haben dürfte.

3.2 Auswirkungen auf den Kohlenstoffgehalt

In den vegetationslosen Tritten war der Kohlenstoffgehalt in den obersten 5 cm gegenüber den bewachsenen Zwischentritten um 35% reduziert. In den Tiefenstufen 5-15 cm und 15-25 cm betrug die Reduktion noch 25%. Dies führte zu einem geringeren Kohlenstoffvorrat in den obersten 25 cm des Mineralbodens (Abb. 3). In den Tritten betrug dieser 6 kg m^{-2} , während er sich in den Zwischentritten und den Kontrollflächen zwischen 7.4 und 7.6 kg m^{-2} bewegte. Der reduzierte Kohlenstoffgehalt und -vorrat in den Tritten kann als das Resultat von drei verschiedenen Prozessen interpretiert werden: (I) Erosion des ungeschützten, vegetationslosen Bodens, (II) reduzierter Streuinput infolge fehlender Vegetation und (III) Zerstörung der Bodenstruktur durch Viehtritt. Der vegetationslose Boden in den Tritten ist gegenüber der erosiven Kraft des Regens ungeschützt und zudem bilden die Trittkerben bevorzugte Fliesswege für den Oberflächenabfluss. Dadurch wurde über Jahrzehnte C-reicher Oberboden erodiert und die C-Gehalte im verbleibenden Mineralboden entsprechend der C-Abnahme mit der Bodentiefe vermindert. Zudem fällt im Mineralboden durch die fehlende Vegetation weniger organische Substanz an, was im Vergleich zu grasbewachsenen Böden zu geringeren C-Gehalten führt. Ausserdem ist die physikalische Stabilisierung der organischen Substanz in den Tritten reduziert. In Bodenaggregaten eingeschlossene organische Substanz ist für Mikroorganismen kaum zugänglich und somit gegen mikrobiellen Abbau geschützt (Six et al. 2002). Durch Viehtritt werden Aggregate zerstört und die vor-

	Tritte	Zwischentritte	Kontrollfläche
Lagerungsdichte [g cm ⁻³]	1.01 ^a (0.04)	0.84 ^b (0.07)	0.83 ^b (0.03)
Reelle Dichte [g cm ⁻³]	2.43 ^a (0.03)	2.38 ^b (0.02)	2.39 ^{ab} (0.02)
Porosität [%]	0.58 ^a 0.03	0.65 ^b (0.03)	0.65 ^b (0.01)

Tab. 1 : Bodenphysikalische Messparameter in den drei Straten der Untersuchungsfläche (mit Standardfehler). Verschiedene Buchstaben in derselben Reihe zeigen statistisch signifikante Unterschiede gemäss Tukey HSD an ($p < 0.05$).

mals geschützte organische Substanz wird damit dem mikrobiellen Abbau ausgesetzt.

Aufgrund des Flächenanteils der Trittkerben von 10% lässt sich ein Verlust durch Erosion von 0.2 kg C m⁻² in den obersten 25 cm des Mineralbodens errechnen. Dies entspricht 2-3% des Gesamtvorrates in dieser Tiefenstufe. Im Vergleich zu anderen Studien ist dies relativ wenig. Steffens et al. (2008) schätzten die Reduktion des C-Vorrates in den obersten 4 cm des Mineralbodens einer während 35 Jahren intensiv beweideten Wiese auf 34%.

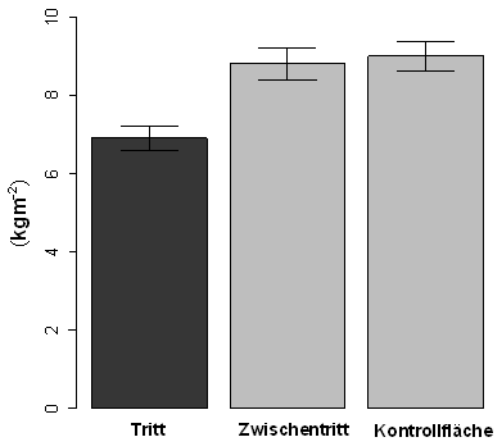


Abb. 3: Kohlenstoffvorräte in den obersten 25 cm des Mineralbodens der drei Straten (Tritte, Zwischenritte und Kontrollfläche)

3.3 Beeinflussung der Bodenmikroorganismen

Die signifikant unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften und C-Gehalte in den Tritten widerspiegeln sich auch in der Struktur der mikrobiellen Gemeinschaften und ihrer Biomasse. Es bestehen signifikant positive Beziehungen zwischen der Porosität, der C-Konzentration und der Konzentration totaler PLFA. Die totalen PLFA-Konzentrationen waren in den Tritten signifikant tiefer als in den bewachsenen Teilflächen (Abb. 4). Der Grund dafür lag wohl eher in den geringeren C-Gehalten als in der Verdichtung durch Viehtritt (Hiltbrunner et al. 2012).

Unsere Resultate zeigen, dass Viehtritt nicht nur die mikrobielle Biomasse sondern auch die Struktur der mikrobiellen Gemeinschaften verändern kann. Die Pilze waren in den Tritten überdurchschnittlich stark reduziert, was zu einem tieferen Pilz/Bakterien-Verhältnis führte (Abb. 4). Die geringere Abundanz der Pilze kann insbesondere auf die Zerstörung der Bodenstruktur und damit die Beeinträchtigung der Pilzmycelien zurückgeführt werden (Potthoff et al. 2006). Weitere Gründe könnten die schlechtere Qualität der organischen Substanz, die fehlende Durchwurzelung und der geringe Streuinput sein. In den Tritten war das C/N-Verhältnis enger, was meistens mit einer grösseren Abundanz von Bakterien verbunden ist

(Bossuyt et al. 2004). Ausserdem kann die fehlende Durchwurzelung zu einem geringeren Vorkommen von Mykorrhizen geführt haben, und als erste Besiedler von frischer Streu sind Pilze besonders stark von reduziertem Streuinput betroffen (Bowen und Harper 1990).

Eine Abnahme der pilzlichen Biomasse hat in der Regel Auswirkungen auf die Ausbildung und Stabilität der Aggregate. Die Hyphen der Pilze tragen zur mechanischen Stabilität der Aggregate bei und scheiden Glycoproteine aus, welche für die physikochemische Stabilität der Aggregate wichtig sind (Rillig et al. 2002). Deshalb führt der Rückgang der Pilzabundanz meist zu verstärkter mechanischer Instabilität und potentiell erhöhter Erosion (Hiltbrunner et al. 2012).

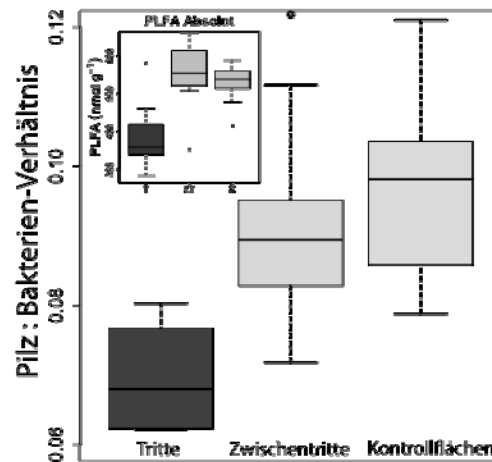


Abb. 4: Pilz/Bakterien-Verhältnisse in Tritten, Zwischenritten und Kontrollflächen sowie absolute Gehalte an PLFA im Boden der drei Straten (kleine eingesetzte Graphik).

3.4 Treibhausgase

Abbildung 5 zeigt die Gasflüsse, welche in den verschiedenen Straten gemessen wurden. In den Tritten war die Respiration um 30% reduziert. Wir sehen dafür zwei Gründe. Zum einen waren die Tritte praktisch vegetationsfrei, weshalb die autotrophe Respiration sehr gering war. Zum anderen war der C-Gehalt in den Tritten kleiner, und damit stand den Mikroorganismen weniger Substrat zur Verfügung als in den Zwischenritten und den Kontrollflächen. Die praktisch fehlende autotrophe Respiration und die reduzierte heterotrophe Respiration führten in der Summe zu einer relativ starken Reduktion der Bodenatmung.

Die Lachgasflüsse aus den Tritten waren grösser als aus den Böden der anderen beiden Straten. Das hing vermutlich mit der grösseren Dichte und dem damit reduzierten Porenraum zusammen. Dies kann bei Vernässung zu anaeroben und reduktiven Verhältnissen mit Bildung von Lachgas führen.

Bezüglich Methan wurden negative Flüsse gemessen. Dies lässt darauf schliessen, dass Methan im Oberboden durch methanotrophe Mikroorganismen oxidiert wurde, wodurch seine Konzentration

ration abnahm und aus der überstehenden Atmosphäre Methan entlang einem Konzentrationsgradienten in den Boden diffundierte. Diese Oxidation war in den Tritten signifikant reduziert. Das kann wiederum mit dem reduzierten Porenvolumen erklärt werden, indem es die Methandiffusion in den Boden erschwerte und durch verstärkte und verlängerte Wassersättigungsphasen die Aktivität der obligat aeroben Methanoxidierer reduzierte.

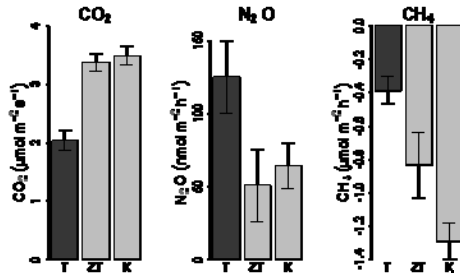


Abb. 5: Gasflüsse von CO_2 , N_2O und CH_4 in den drei Straten der Untersuchungsfläche. T = Tritte, ZT = Zwischentritte und K = Kontrollfläche.

4. Schlussfolgerungen

Unsere Resultate zeigen, dass Beweidung und Viehtritt die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften der untersuchten subalpinen Weide stark beeinflusst haben. Nach Jahrzehnten der Beweidung hatte sich ein typisches Mikorelief gebildet mit verdichteten, vertieften Tritts Spuren. Als bevorzugte Fließwege für den Oberflächenabfluss förderten diese mit der Erosion den Verlust an Nährstoffen und Kohlenstoff. Dadurch wird die Speicherfunktion des Mineralbodens sowie die Regelfunktion vor allem im Zusammenhang mit Treibhausgasen beeinträchtigt. Dies gilt es bei der Abschätzung der Auswirkungen von Beweidung zu berücksichtigen, zumal die Bestosung mit 4 Tieren pro Hektare noch keiner intensiven Beweidung entspricht und bei einem dichteren Tierbesatz mit entsprechend verstärkten Auswirkungen zu rechnen wäre.

5. Literatur

- Bligh, E.G. and W.J. Dyer, 1959: A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology* 37 (8), 911–917.
- Bowen, R.M. and S.H.T. Harper, 1990: Decomposition of wheat straw and related compounds by fungi isolated from straw in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry* 22 (3), 393–399.
- Bundesamt für Statistik (BfS), 2005: Arealstatistik Schweiz Zahlen Fakten Analysen 2005.
- Frostegard, A., A. Tunlid and E. Baath, 2011: Use and misuse of PLFA measurements in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 43 (8), 1621–1625.
- Greenwood, K.L. and B.M. McKenzie, 2001: Grazing effects on soil physical properties and the

consequences for pastures: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 41 (8), 1231–1250.

- Hiltbrunner, D., S. Schulze, F. Hagedorn, M.W.I. Schmidt and S. Zimmermann, 2012: Cattle trampling alters soil properties and changes soil microbial communities in a Swiss sub-alpine pasture. *Geoderma* 170, 369–377.
- Klassen, S.P., G. Ritchie, J.M. Frantz, D. Pinnock and B. Bugbee, 2003: Real-time imaging of ground cover: relationships with radiation capture, canopy photosynthesis, and daily growth rate. In: Van Toai, T., Major, D., McDonald, M., Schepers, J. and Tarpley, L. (Eds.), *Digital imaging and spectral techniques: applications to precision agriculture and crop physiology*. Am. Soc. Agronomy special publication No. 66. Madison, WI, pp. 3–15.
- Potthoff, M., K.L. Steenwerth, L.E. Jackson, R.E. Drenovsky, K.M. Scow and R.G. Joergensen, 2006: Soil microbial community composition as affected by restoration practices in California grassland. *Soil Biology and Biochemistry* 38 (7), 1851–1860.
- Rillig, M.C., S.F. Wright and V.T. Eviner, 2002: The role of arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin in soil aggregation: comparing effects of five plant species. *Plant and Soil* 238 (2), 325–333.
- Six, J., R.T. Conant, E.A. Paul and K. Paustian, 2002: Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. *Plant and Soil* 241 (2), 155–176.
- Steffens, M., A. Kolbl, K.U. Totsche and I. Kögel-Knabner, 2008: Grazing effects on soil chemical and physical properties in a semiarid steppe of Inner Mongolia (PR China). *Geoderma* 143 (1–2), 63–72.
- Thiel, V., J. Peckmann, H.H. Richnow, U. Luth, J. Reitner and W. Michaelis, 2001: Molecular signals for anaerobic methane oxidation in Black Sea seep carbonates and a microbial mat. *Marine Chemistry* 73 (2), 97–112.
- Zelles, L., 1997: Phospholipid fatty acid profiles in selected members of soil microbial communities. *Chemosphere* 35 (1–2), 275–294.

Do-It-Your-Soil 2.0 - revision, extension and translation of the established e-learning course.

Rainer Rees Mertins

ETH Zürich, Institute of Terrestrial Ecosystems, Universitätstrasse 16, 8092 Zürich

Claire Le Bayon

Université de Neuchâtel, Laboratoire Sol & Végétation, Rue Emile-Argand 11, 2000 Neuchâtel

Jean-Michel Gobat

Université de Neuchâtel, Laboratoire Sol & Végétation, Rue Emile-Argand 11, 2000 Neuchâtel

Rainer Schulin

ETH Zürich, Institute of Terrestrial Ecosystems, Universitätstrasse 16, 8092 Zürich

Zusammenfassung: Do-It-Your-Soil 2.0 – Überarbeitung, Erweiterung und Übersetzung des bestehenden e-learning Kurses.

Do-It-Your-Soil (DIYS) ist ein E-learning Kurs, der im Rahmen des Swiss Virtual Campus Programms der Rektorenkonferenz der Schweizer Universitäten (CRUS) zwischen 2000 und 2008 erstellt wurde. Ziel des Kurses ist es, Studierenden beizubringen wie sie ihr bodenökologischen Grundlagenwissen auf praktische Probleme anwenden können. Der modulare Aufbau von DIYS und das didaktische Konzept machen DIYS auf Bachelor und Masterebene anwendbar. Ziel der neuen Version von DIYS (DIYS 2.0) wird es sein, den Kurs um drei weitere Module zu ergänzen, den Kurs technisch und inhaltlich zu überarbeiten und ihn ins Englische zu übersetzen. Die neuen Module werden die Themenbereiche Bodenkontamination, Bodenversalzung und Bodenorganismen als Ökosystem-Ingenieure umfassen. Die Projektdauer ist auf 2 Jahre beschränkt und die den Projektzielen entsprechenden Änderungen sollten bis Frühjahr 2014 in den bestehenden Kurs implementiert sein. Da DIYS mittlerweile mehr als 10 Jahre alt ist braucht der Kurs auch eine inhaltliche Überarbeitung um ihn auf den aktuellen Stand der Forschung zu bringen. Die Übersetzung ins Englische ist nötig um den Kurs weiterhin auf Master-Ebene einsetzen zu können.

Abstract: A practical evaluation of the possibility of increasing the organic carbon content of agricultural soils

Do-It-Your-Soil (DIYS) is an e-learning course which was developed in the framework of the Swiss-Virtual-Campus program from 2000- 2008. The course aims to teach the application of basic soil ecological knowledge to real-world case studies. The didactic concept of DIYS and the modular design makes DIYS suitable for both bachelor and master students. The new version of DIYS aims to extend the existing version of DIYS by three new modules, revise the existing course technically and content-wise and translate it into English, thereby creating DIYS version 2.0. The modules to be created for the new version are Soil Organisms as Ecosystem Engineers, Soil Contamination and Soil Salinization. The time frame for the project schedules the completion of DIYS 2.0 for spring 2014. Due to its age the course needs a content-wise revision to improve the vividness of its contents. For the future use of DIYS in master level courses the translation into English is compulsory.

Keywords: e-learning, Do-It-Your-Soil, applied soil ecology

1. Introduction

Do-It-Your-Soil is a browser based e-learning software, designed as a guided self-teaching course in applied soil ecology to substitute existing teaching units in the study plans of the three partner universities. Prof. Dr. Jean-Michel Gobat and Prof. Dr. Michel Aragno from Université de Neuchâtel (leading house), Prof. Dr. Peter Fitze from Universität Zürich and Prof. Dr. Rainer Schulin from ETH Zürich were the project partners who took the initiative to create of the first version of DIYS. The framework for the development of DIYS from 2000 – 2008 was the Swiss Virtual

campus program of the Rectors' Conference of the Swiss Universities (CRUS). Each of the project partners contributed to the course with 2 modules according to the focus of their field. This resulted in a total number of 6 modules and had the advantage of making best use of the specific competences of the project partners. One of the prerequisites for the funding of the original project through the CRUS was the availability of the course in two official languages of Switzerland. Given the composition of the project team the languages of choice were German and French. Today there are more than 20 international license holders of DIYS, in 7 countries (Table 1). Being free of char-

ge makes the course also very attractive for universities and educational institutions from emerging and developing countries.

Country	No. of Users
Switzerland	11
Germany	3
Ivory Coast	2
France	2
Algeria	1
Austria	1
Belgium	1

Table 1. Usage of DIYS in different countries.

However, until now the international use of DIYS has been limited to French and German speaking countries and a further hindrance for its international spread is the lack of use of the international soil classification (WRB) in the course.

As the course is completely browser based it can be used freely via the internet by students. Students using DIYS strongly appreciate that they do not have to conform to a schedule and are also free to choose their learning environment as teaching evaluations at ETH showed. However, through the distribution of DIYS via an e-learning platform it is still possible for the teacher to track the learning behavior of the students and the time spent on the course. The use of DIYS in teaching is not restricted to blended-learning. It can also be combined with other forms of teaching and the implementation of mandatory learning assessments has proven to be a successful measure to reduce the drop-out rate of students during the semester at ETH (SCHILTZ et al. 2011). The problem-focused didactic design of DIYS favors the use of Web 2.0 technologies (SCHIEFNER et al. 2011) and Web 2.0 components such as a forum are already implemented in DIYS via the e-learning platform moodle. However, the use of the existing Web 2.0 features by the students is rather sparse and a stronger use should be encouraged. DIYS is a stand-alone program that only needs a browser to be displayed and is not bound to a specific learning platform. This property of DIYS has proven to be helpful for the distribution, management and maintenance of DIYS in the past and the high flexibility of DIYS with regards to technical developments was shown during the 2010 migration of DIYS from the commercial e-learning platform Blackboard to the open source platform Moodle. However, there are some challenges emerging for the future use of DIYS in the teaching of soil science students. Therefore, a new project was initialized to further improve DIYS, aiming at the creation of DIYS version 2.0. The first aim of this project will be to revise DIYS content-wise to improve the vividness of some of its contents and to bring the course up to date with the latest developments in the scientific disciplines covered. The framework conditions of the educati-

onal policy, e.g. the Bologna reform, but also the aim to broaden the international use of DIYS led to the second aim of the project, namely the translation of DIYS into English. The third objective is the extension of the existing course material by three new modules which will lead to an enhanced attractiveness of the course.

2. Structure and content of the current course

The course is not designed for beginners, but for students who already have a basic knowledge in soil science including their first experience with soil profiles in the field. The objective of the course is to show and practice how theoretical knowledge of soil ecology can be used to solve applied problems with respect to the sustainable management and protection of soils as a valuable environmental resource. The use of the course in teaching is quite flexible due to its modular structure. One can employ single modules of the course, combinations of different modules or the whole course. Each module starts with a thematic introductory movie and a flash movie on the content of the module. The sub-units of the modules are the so-called sequences. These start with a definition of their overall learning objective and consist of several so-called bricks which contain the actual learning content. At the end of each sequence the student will then find a reflection, the learning assessment and the case study. Paralleling the interactive track, there is also a theory track, which can be accessed by the student whenever needed. The theory track is available in the form of .pdf files which are linked throughout the course at positions fitting the interactive tracks content. The modules are structured in such a way that the students are guided step by step through the problem following the didactic concept of a "Leitprogramm", i.e. "guided learning by solving structured problems" (FREY et al. 2004). To allow for more flexibility this didactic concept was partially softened in DIYS. Further details on the didactic concept and the modular structure are given in SCHÖNBORN (2005). Although the course was already created in the last decade it is still up to date with respect to its didactic concept as a comparison with the recently published soil science teaching principles shows (FIELD et al. 2011). Most of the teaching principles defined here are met or partially met by DIYS, even though the principles did not exist when DIYS was created. With the Bologna reform English has become the standard language for teaching at the master level in many universities. As well as the implementation of new modules, the translation of DIYS to English will be an important innovation in DIYS 2.0 and will largely expand the number of potential users.

Currently there are six modules in DIYS. The Uni-

Module		
Water Household of Soils	Dynamics of Soil Organic Matter	Soil Erosion
<ul style="list-style-type: none"> - Soil water - Pore volume - Desorption curves - Capillary model - Real soils Case study: local form Hau, Urdorf 	<ul style="list-style-type: none"> - Properties of peat soils - Peat horizons - Formation and development of peat soils - Pedogenetic factors - Destruction of peat soils - Case study: Seeland 	<ul style="list-style-type: none"> - Forms of erosion - Process model - General Soil erosion formula - ABAG - Agricultural measures - Legal aspects Case study: Baldegersee
Module		
Soil Aeration and Compaction	Soil Acidification	Soil Fertility and Sustainability
<ul style="list-style-type: none"> - Soil air - Gas transport - The influence of the water household - Soil mechanics - Porosity - Case study: gas pipeline construction site 	<ul style="list-style-type: none"> - Carbonate dissolution loss - Acidity model - Variable charge - Buffers system - Case study: Steig, Irchel, Canton Zürich 	<ul style="list-style-type: none"> - Roots and their environment - Mycorrhiza - Soil fertility and organic substance - Influence of cultivation techniques on soil fertility - Case study: none yet

Table 2. Content of the 6 modules of DIYS and case studies employed in each module.

versité de Neuchâtel was responsible for the modules “Dynamics of Soil Organic Matter” and “Soil Fertility and Sustainability”, the University Zürich for the modules “Soil Acidification” and “Soil Erosion” and ETH Zürich for the modules “Soil Aeration and Compaction” and “Water household of Soils”. An overview of the content of the modules as well as the case studies employed is given in Table 2.

3. Improved version 2.0

In DIYS 2.0 the existing modules will be amended by three new modules. These will be modules on soil contamination, soil salinization and soil organisms as ecosystem engineers. The subjects of the modules were chosen in such a way that they complement DIYS thematically with subjects not yet covered and fit well in the curricula of the students using DIYS at ETH Zurich and at Université de Neuchâtel. The modules to be created at ETH Zürich are soil contamination and soil salinization. The contamination of soils is a major environmental problem and therefore an important topic for students of environmental sciences and environmental engineering. The new module covering the topic soil contamination will deal with differences in the behavior and fate of contaminating trace elements in soils, caused by the interactions between soil chemical properties and the specific properties of the trace element considered. Simple models will help the students to assess the fate of trace elements and see if there is a danger of

groundwater contamination, if grazing animals would be at risk or if trace elements could be accumulated at hazardous levels in the food chain. In a case study with field data from a Swiss shooting range soil, the students will then rate the severity of the contamination based on the respective guideline values and propose management measures. Soil salinization is an important problem in arid and semi-arid areas worldwide and with the growth of irrigated farming is becoming increasingly important. The focus of this module will be to show the causes and the role different factors play in salinization, such as irrigation water quality, irrigation regime, climatic parameters and soil properties. Furthermore, the principles of how salinization impairs plant growth would be included into the module. The module will then deal with techniques and measures to avoid and to counteract salinization. In a case study, data from the Rhone valley in the Valais would be employed. The module Université de Neuchâtel will contribute to DIYS 2.0 is soil organisms as ecosystem engineers and will introduce ecosystem engineering as a concept for the understanding of the development and functioning of soils and ecosystems. This module will focus on biological aspects of soils and the soil macrofauna (2 to 20 mm). Therefore it will investigate the macrofauna species which have the highest impact on nutrient and carbon fluxes in soils, like earthworms and termites. Anthropogenic influences on soil life, such as cultivation measures will also be covered.

4. Time frame of implementation and targeted user group

The time frame for the implementation of DIYS 2.0 schedules the release of the revised existing modules and the English version for Spring 2013. The 3 new modules will then be released after excessive testing in Spring 2014. To evaluate the usability of the new version an evaluation scheme has been developed involving two international universities, namely Lincoln University, NZ and UC California, Berkeley, CSU Fresno, U.S.. Potential users of DIYS 2.0 are mainly educational institutions like universities and institutes of technology. However, when employed only in parts other institutions such as museums or national parks could use DIYS 2.0 to make their visitors aware of soil ecological problems. For such purposes the use of single animations or a few selected slides would probably be preferable to providing whole modules.

5. Concluding remarks

It has been clearly shown in the last years that DIYS works very well as in complimenting traditional teaching methods to teach students the application of basic soil ecological knowledge to real-world problems. However, as with any teaching material DIYS also needs maintenance and development. Adaptions towards the scientific progress and the curricula of the institutions employing DIYS in teaching are to be especially important. After its completion DIYS 2.0 should ensure the future use of DIYS at Swiss universities and extend its reach to a broader user community.

The course is open to guest users and can be found under: <https://moodleapp1.let.ethz.ch/lms/course/category.php?id=29> (choose: Do It Your Soil and confirm the user agreement on the following page).

References

- FIELD, D. J., A. J. KOPPI, L. E. JARRETT, L. K. ABBOTT, S. R. CATTLE, C. D. GRANT, A. B. MCBRATNEY, N. W. MENZIES and A. J. WEATHERLEY, 2011: Soil Science teaching principles: *Geoderma* 167–168(0): 9-14.
- FREY, K. and A. FREY-EILING, 2004: *Allgemeine Didaktik- Arbeitsunterlagen zur Vorlesung*. Zürich, Institut für Verhaltenswissenschaft, ETH Zentrum.
- SCHIEFNER, M. and M. KERRES, 2011: Web 2.0 in der Hochschullehre. In: U. DITTLER (Eds.): *E-Learning: Einsatzkonzepte und Erfolgsfaktoren des Lernens mit interaktiven Medien*. München, Oldenbourg, p.127-138.
- SCHILTZ, G., U. BRÄNDLE, A. REINHARDT and M. VALKERING, 2011: *Lehr- und Lerntechnologie an der ETH Zürich*. In: U. DITTLER (Eds.): *E-Learning : Einsatzkonzepte und Erfolgsfaktoren des Lernens mit interaktiven Medien*. München, Oldenbourg, p.35-45.
- SCHÖNBORN, A. and R. SCHULIN, 2005: Do-It-Your-Soil – a Virtual Course in Applied Soil Science: *BGS Bulletin* 28: 47-51.