

## Bodenfruchtbarkeit – mehr denn je gefragt



### Inhalt

Bericht der Präsidentin	3
Diskussion von Projektthemen in der VBB	5
Das VBB-Bulletin mit neuem Web-Auftritt	7
Cercle Sol	8
Messung der Lagerungsdichte und anderer physikalischer Parameter bei landwirtschaftlichen Böden des FRIBO-Netzes mit der Plastikbeutelmethode	9
Bioindikatoren und Ökosystemleistungen der Stadtböden: Vorschläge zur Bewirtschaftung	14
Weniger ist mehr: reduzierte Bodenbearbeitung aktiviert das Bodenleben	23
BetterGardens: Bodenqualität, Biodiversität und Sozialer Wert von Stadtgärten	26

## Impressum VBB-Bulletin Nr. 17/2017

Herausgeberin: VBB (Arbeitsgruppe «Vollzug Bodenbiologie»)

Die kantonalen Bodenschutzfachstellen und das Bundesamt für Umwelt (BAFU) haben zusammen mit Forschungsinstitutionen die Arbeitsgruppe VBB 1995 gegründet. Diese widmet sich Fragen zur Bodenbiologie im Hinblick auf den Vollzug des Bodenschutzes und die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit nach der Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBo).

### Vorsitzende 2015/16

Dr. Elena Havlicek  
Sektion Boden  
Bundesamt für Umwelt (BAFU)  
CH-3003 Bern  
Tel. 058 465 14 97  
E-Mail: elena.havlicek@bafu.admin.ch

### Sekretariat und Bezug

Dr. Andreas Fliessbach  
Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL)  
Ackerstrasse  
CH-5070 Frick  
Tel. 062 865 72 25  
Fax 062 865 72 73  
E-Mail: andreas.fliessbach@fibl.org

Titelbild: © Thomas Alföldi, FiBL

Diese und auch frühere Ausgaben des VBB-Bulletins finden sich auf der Webseite des Bundesamts für Umwelt:

*Weblink: <http://www.bafu.admin.ch/bodenschutz/> > Fachinformationen > Massnahmen für den Bodenschutz > Bodenbiologie*

# 1. Editorial

## **Bericht der Präsidentin**

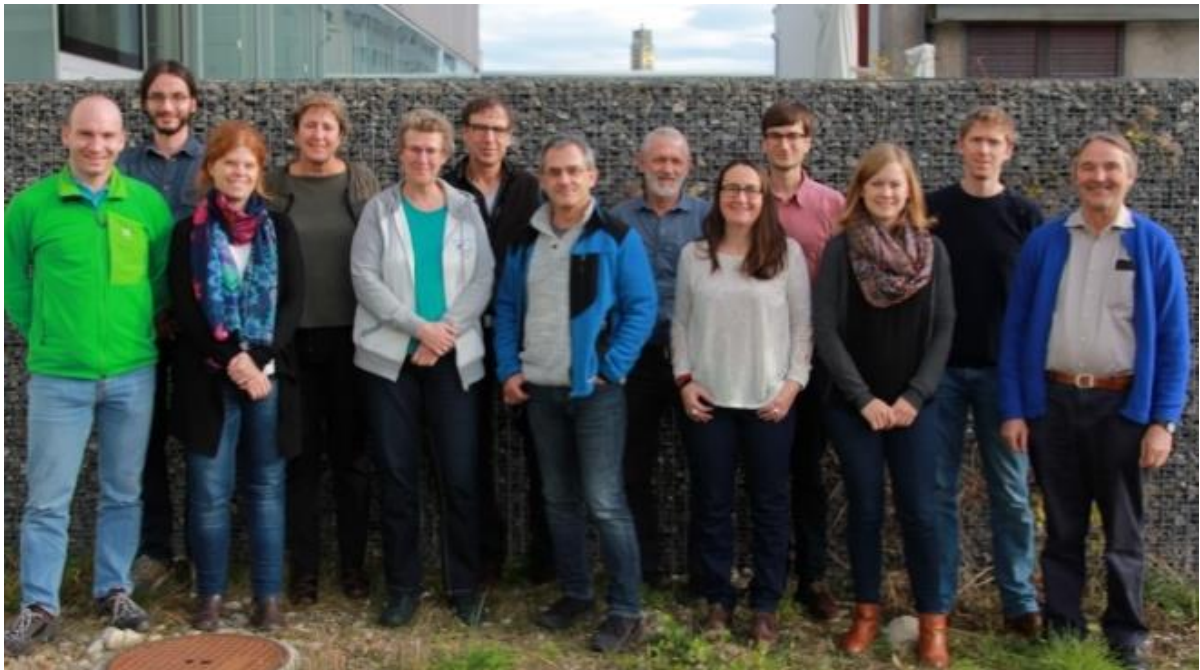
**Elena Havlicek**

*Bundesamt für Umwelt, BAFU, Abteilung Boden und Biotechnologie*

*elena.havlicek@bafu.admin.ch*

Die Restrukturierung der Arbeitsgruppe «Vollzug Bodenbiologie» VBB, die 2015 – 20 Jahre nach der Gründung – eingeleitet worden war, nahm 2016 Gestalt an. Die VBB hatte beschlossen, den Schwerpunkt auf konkrete, befristete Projekte zu legen.

An den Sitzungen der VBB im April und November 2016 wurde dies umgesetzt: Die VBB-Mitglieder beurteilten Themenvorschläge für Projekte und wählten ein prioritäres Projekt (siehe Kapitel 2).



**Abbildung 1: Die Mitglieder der VBB und Gäste an der Sitzung im November 2016 in Olten.**

Der Gehalt an organischem Kohlenstoff ist ein wesentlicher und zentraler Faktor, der die massgeblichen Eigenschaften der Böden beeinflusst. Zudem steht der Gehalt an organischem Material in unmittelbarem Zusammenhang mit der biologischen Vielfalt: Die Erhaltung eines angemessenen Kohlenstoffgehalts im Boden oder allenfalls dessen Erhöhung ist somit eine Massnahme mit vielfachem Nutzen (Ertragssteigerung, Biologie, Wasserhaushalt, Kohlenstoffspeicherung). Der optimale Gehalt an organischer Bodensubstanz variiert je nach

Bodentyp und hängt von den Boden- und Klimaverhältnissen sowie der Bodennutzung ab. Heute gibt es dafür keine Referenzwerte. Im 2009 publizierten Sonderbulletin «Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter» wurden aufgrund der Kartierung der FAL nur Gehaltsklassen an organischer Bodensubstanz definiert. Die VBB wählte daher zunächst ein Projekt, das einen ersten Schritt in Richtung einer möglichen Festlegung von Referenzwerten für organische Bodensubstanz darstellen soll (siehe Kapi-

tel 2). Überdies präsentierten an den Sitzungen von 2016 mehrere Gäste und Mitglieder der VBB verschiedene Aspekte in diesem Zusammenhang (siehe z. B. Kapitel 3.1, Hategekimana und Rossier). Der Vertreter von «Boden-Humus» (Benjamin Seitz), einer neu gebildeten Arbeitsgruppe der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz, stellte die damit verbundenen Ziele und Stossrichtungen vor. Eine Zusam-

menarbeit zwischen dieser Arbeitsgruppe und der VBB ist wünschenswert.

2016 traten zwei Mitglieder der VBB in den Ruhestand: Hansruedi Oberholzer (Agroscope) und Nicolas Rossier (Vertreter des Kantons Freiburg), die besonders aktiv mitgewirkt und wesentlich zur Entwicklung der VBB beigetragen haben. Wir danken Ihnen an dieser Stelle ganz herzlich!

## 2. Ausgewählte Projekte der VBB

### **Diskussion von Projektthemen in der VBB**

**Elena Havlicek**

Bundesamt für Umwelt, BAFU, Abteilung Boden und Biotechnologie

[elena.havlicek@bafu.admin.ch](mailto:elena.havlicek@bafu.admin.ch)

**Andreas Fliessbach**

Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL), Ackerstrasse 113, 5070 Frick

An ihrer Frühjahrssitzung in 2015 listete die VBB Schwerpunktthemen auf für Projekte die im Rahmen des Bodenschutz-Vollzugs für relevant erachtet werden. Einige dieser Themen wurden von Mitgliedern der VBB weiter ausgearbeitet und an der Frühjahrssitzung in 2016 vorgestellt und diskutiert. In Abbildung 2 sind die Themen den einzelnen Ebenen des Vollzugs zu geordnet.

Der Themenvorschlag **Soil Food Web** sieht vor eine Vielzahl von Bodenorganismen, die auch als Indikatoren der Bodenqualität verwendet werden, sowie Bestimmungen der mikrobiellen Biomasse, Aktivität und Diversität im Boden zu ermitteln. Ausserdem werden Barcodes der erfassten Spezies von Bodenorganismen mit molekulargenetischen Methoden erstellt. Diese würden in eine Datenbank eingestellt und bei weiteren Erhebungen eine präzise und rasche Artbestimmung der Bodenorganismen erlauben. Dieser Vorschlag zielt auf Grundlagen für eine innovative Technik ab, die die Artbestimmung vereinfacht (Abbildung 2). Sie erfordert jedoch ein grosses Mass an methodischer Verfeinerung und Standardisierung um für den Vollzug bereit zu sein. Obwohl noch Grundlagenforschung nötig ist um diese Methodik im breiteren Rahmen anzuwenden, haben sich einige VBB-Mitglieder zusammengetan um am Standort Kocherpark, der bereits vor zwei Jahren beprobt worden war (Maurer et al. VBB-Bulletin 16) Regenwürmer, mikro-Arthropoden und vielleicht auch Nematoden zu bestimmen und mit einem Barcode zu versehen.

Für **Regenwürmer** in Ackerböden fehlen noch **Vergleichswerte** wie sie bereits für Grünlandböden bestehen. Die Datenbasis für die Biomasse und Anzahl von Regenwürmern in Ackerböden ist sehr klein und daher wäre es wünschenswert beurteilen zu können ob ein Standort relativ reich oder arm an Regenwürmern ist. Um dieses Ziel zu erreichen ist jedoch eine breite Datenbasis nötig und dies erfordert ein breit abgestütztes Projekt mit einem hohen Finanzvolumen. Die Relevanz des Projekts für die Bewertung von Ackerstandorten ist hoch, daher scheinen die Chancen für eine Finanzierung gut zu sein.

Die Entwicklung und Bewertung sensibler Indikatoren für die biologische Bodenschädigung bei Richt- und Sanierungswertüberschreitung durch potentiell toxische Substanzen ist Ziel des Projektvorschlags „**Ökotox**“. Etablierte und neu entwickelte Testsysteme oder Bioindikatoren sollen auf ihre Eignung geprüft werden die Auswirkungen von Schadstoffen im Boden anzuzeigen. Dabei werden nicht nur eine Vielzahl von Indikatoren, sondern auch die ganze Bandbreite möglicher Schadstoffe in Erwägung gezogen. Das Projekt hat eindeutig einen Vollzugscharakter und betrifft die Nutzungseinschränkung von Böden für bestimmte Zwecke.

Ein Vorschlag mit hoher politischer Relevanz im Rahmen der Revision der VBBo zielt ab auf die Definition eines **Referenzwertes für Humus** in Ackerböden. Das BAFU hat auch dieses Thema für relevant erachtet und ein Inputpapier der VBB und des Cercle Sol befürwortet, in welchem die

Möglichkeiten und Grenzen dafür diskutiert werden um die politische Relevanz hervorzuheben. In dem Projekt werden bisher existierende Humusrichtwerte im Zusammenhang mit ihren jeweiligen Nutzung dargestellt und diskutiert um die Anwendbarkeit und Risiken der Einführung eines solchen Wertes im Vollzug abschätzen zu können. Bewirtschaftungsbedingte Veränderungen der Boden-typischen Humusgehalte müssen methodisch abgesichert werden können. In den Schweizer Düngungsrichtlinien sind Humusgehalte erwähnt, da spezifische Düngungsempfehlungen gelten bei hohen oder tiefen Humusgehalten. Im Vollzug ist

dies aber noch nicht eingeführt worden, da zwar Bewirtschaftungseffekte auf den Gehalt des Bodens an Humus bekannt sind, aber keine eindeutige Beurteilung möglich ist. Die Veränderung des Humusgehalts vollzieht sich nach einer Änderung der Bewirtschaftung nur langsam, so dass die Dynamik in einem Zeitraum von wenigen Jahren kaum abgesichert werden kann. Das Projekt, welches vom FiBL ausgeführt wird, den Wissens- und Erfahrungsstand darstellt und die Ergebnisse in einem Workshop mit Experten diskutiert, soll die Grundlage liefern für eine etwaige Änderung bestehender Verordnungen und Gesetze.

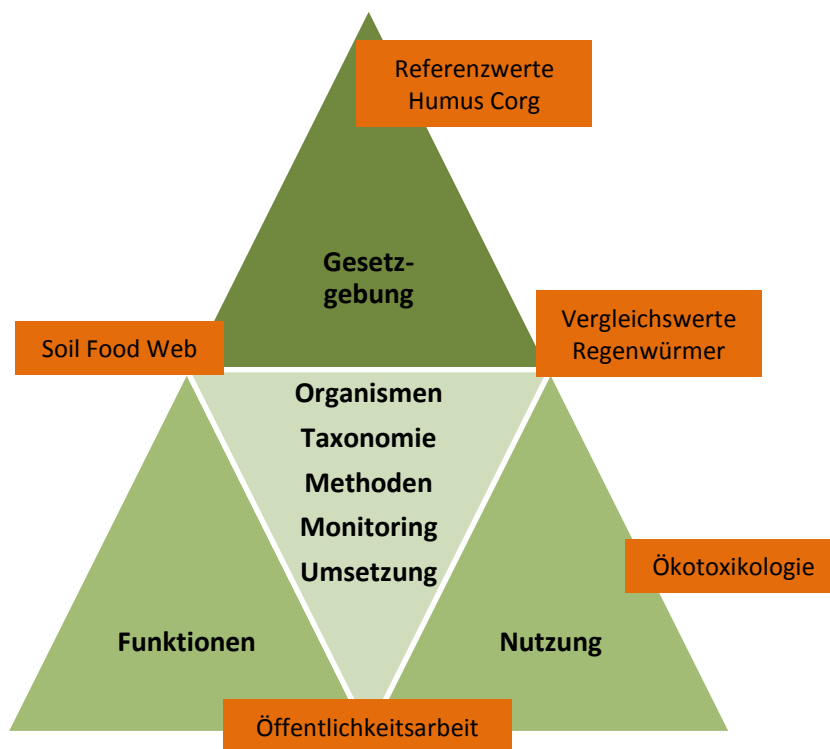


Abbildung 2: Zuordnung der Projektvorschläge zu den Vollzugs-Ebenen des Bodenschutzes.

## Das VBB-Bulletin mit neuem Web-Auftritt

Elena Havlicek

Bundesamt für Umwelt, BAFU, Abteilung Boden und Biotechnologie

[elena.havlicek@bafu.admin.ch](mailto:elena.havlicek@bafu.admin.ch)

Das erste Bulletin der Arbeitsgruppe VBB erschien 1997 – also vor 20 Jahren! Oberstes Ziel war, eine breitere Öffentlichkeit über die Tätigkeiten der neu gebildeten Arbeitsgruppe zu informieren. Seither erschienen die Bulletins praktisch in einem Jahresrhythmus, wobei der Aufbau im Wesentlichen unverändert blieb. Der erste Teil ist den Aktivitäten und der Entwicklung der VBB gewidmet. Der zweite Teil befasst sich mit einzelnen, von der VBB ausgewählten Forschungsprojekten und bietet Informationen zur Bodenbiologie in der Schweiz (Forum). 2006 folgte ein Meilenstein: Die bis dahin erschienenen Bulletins wurden digitalisiert und im PDF-Format auf der Website

des Bundesamts für Umwelt publiziert ([www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch): Themen > Boden > Fachinformationen > Massnahmen für den Bodenschutz > Bodenbiologie). Die Bulletins waren jedoch nur in chronologischer Reihenfolge aufgeführt, und es gab keine leicht zugänglichen Hinweise zu deren Inhalt. Jedes Dossier musste einzeln geöffnet werden, um das jeweilige Inhaltsverzeichnis einsehen zu können. 2016 wurde die Internetseite neu gestaltet: Nun findet sich bei jedem Bulletin ein Auszug aus dem Inhaltsverzeichnis mit den Titeln und den Autorinnen/Autoren der Artikel zu den Projekten (siehe Abbildung 3).

 [VBB-Bulletin Nr. 11 / 2008](#) (PDF, 323 kB, 05.06.2008)

### NABO-Bio

*Hans-Rudolf Oberholzer, Susanne Scheid, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Reckenholzstrasse 191, CH - 8046 Zürich*

### Auswirkungen pflugloser Anbausysteme im Biolandbau auf die Bodenfruchtbarkeit

*Paul Mäder, Alfred Berner, FiBL, Fachgruppe Bodenwissenschaften, Ackerstrasse, CH - 5070 Frick*

### Das Projekt „Von Bauern - für Bauern“ aus transdisziplinärer Sicht

*Flurina Schneider, Silvano Allenbach, Stephan Rist, Centre for Development and Environment (cde), Geographisches Institut, Universität Bern, Steigerhubelstrasse 3, CH-3008 Berne*

*Patricia Fry, Knowledge Management Environment, Idaplatz 3, 8003 Zürich*

### Weinreben: eine ausserordentliche und erfolgreiche Monokultur dank spezifischer wurzelkolonisierender Bakterien?

*Miroslav Svercel, Geneviève Défago, Pflanzenpathologie, Institut für Integrierte Biologie\*, IBZ, ETH Zürich, CH-8092 Zürich*

### Entwicklung der bodenbiologischen Messungen des FRIBO in den letzten 20 Jahren

*Nicolas Rossier, Institut agricole de Grangeneuve, CH - 1725 Posieux*

Abbildung 3: Darstellung der Artikel des VBB-Bulletins auf der BAFU-Website.

## **Cercle Sol** **Gaby von Rohr**

Amt für Umwelt, Abteilung Boden, Werkhofstrasse 5, 4509 Solothurn  
gaby.vonrohr@bd.so.ch

Die Vereinigung der Bodenschutz-Fachleute der Kantone, des Bundes und des Fürstentums Lichtenstein, besteht seit 1998 und wurde 2015 unter dem Namen Cercle Sol und als Arbeitsgruppe der Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzämter der Schweiz (KVU) neu organisiert.

Der Cercle Sol ist die Koordinations-Plattform für Fragen des Bodenschutz-Vollzugs und bringt die Anliegen des kantonalen Vollzugs bei Bundesstellen und bei der KVU ein. Er unterstützt das BAFU und weitere Bundesstellen bei der Erarbeitung von Vollzugshilfen und nimmt an Vernehmlassungen teil, um die Interessen des Bodenschutzes vertreten zu können.

Der Cercle Sol bezweckt die Stärkung der Zusammenarbeit im Bodenschutz-Vollzug durch eine verbindliche Organisation und

eine bessere Positionierung und damit Wahrnehmung des Bodenschutzes. Die verstärkte Zusammenarbeit soll weiter zu einer Steigerung der Effizienz der Bodenschutz-Fachstellen und zur Vermeidung widersprüchlicher Vollzugspraxen beitragen. Der Cercle Sol pflegt in seinen vier Regionalgruppen und im Plenum den Austausch von praxisorientierten Erfahrungen und Informationen und koordiniert Vollzugsthemen. Fünf Fachgruppen, unter anderem die Fachgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB, kümmern sich schwerpunktmässig um Vollzugsgrundlagen und Arbeitshilfen. Der neu geschaffene Vorstand ist Ansprech- und Koordinationsstelle und verantwortlich für Stellungnahmen. Abbildung 4 stellt die Organisation der verschiedenen Gremien dar.

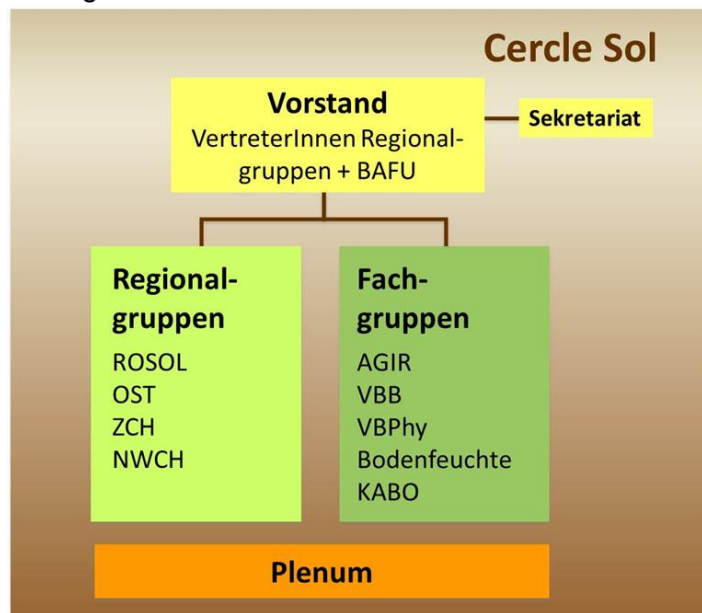


Abbildung 4: Organigramm des Cercle Sol. Regionalgruppen: ROSOL (BE, FR, GE, JU, NE, VD, VS, TI), Ost (AR, AI, GL, GR, SG, SH, TG, ZH, Fürstentum Lichtenstein), ZCH (LU, NW, OW, SZ, UR, ZG), NWCH (AG, BE, BL, BS, LU, SO); Fachgruppen: AGIR (chemischer Bodenschutz), VBB (Vollzug Bodenbiologie), VBphy (physikalischer Bodenschutz), Bodenfeuchte (Kantonale Bodenmessnetze), KABO (Bodenbeobachtung).



### 3. Forum Bodenbiologie in der Praxis

#### **Messung der Lagerungsdichte und anderer physikalischer Parameter bei landwirtschaftlichen Böden des FRIBO-Netzes mit der Plastikbeutelmethode**

**Anastase Hategekimana, Nicolas Rossier**

*Landwirtschaftliches Institut des Kantons Freiburg, 1725 Posieux*

#### **Versuchsziel**

Ziel des Versuchs ist, die feuchte und trockene Lagerungsdichte, die Gesamtporosität, den gravimetrischen Wassergehalt und den Luftgehalt sowie die Quellfähigkeit der Böden im FRIBO-Netz mit der Plastikbeutelmethode zu bestimmen. Damit soll letztlich beurteilt werden, wie effizient diese physikalischen Messungen bei der Langzeitbeobachtung der physikalischen Bodenfruchtbarkeit sind, insbesondere was die Stabilität gegenüber Verdichtung, die Durchlässigkeit und die Verfügbarkeit von Luft und Wasser für die Pflanzen anbelangt. Besonders geachtet wird auf signifikante Korrelationen zwischen diesen physikalischen Parametern und den biologischen Parametern, um herauszufinden, inwieweit diese Korrelationen sich für die Vorhersage dieser physikalischen Parameter aufgrund der biologischen Parameter verwenden lassen.

#### **Material und Methoden**

Diese physikalischen Parameter wurden anhand von Proben aus ungestörtem Boden bestimmt, die im obersten Horizont (0–5 cm) des Bodens von Ackerflächen (acht Standorte: 20, 83, 95, 97, 185, 187, 194, 198) und Dauerwiesen (drei Standorte: 90, 92, 168) erhoben wurden. Das scheinbare Volumen dieser Proben wurde im feuchten und im trockenen Zustand mit der Plastikbeutelmethode gemessen (Boivin et al. 1990). Diese basiert auf der Messung der Auftriebskraft, die nach dem archimedischen Prinzip auf

eine Bodenprobe in einem Plastikbeutel ausgeübt wird, dem die Luft mit einer Wasserstrahlpumpe entzogen wurde (Abbildung 5c). Vor den Messungen wurden die Bodenproben während mindestens fünf Tagen auf eine Saugspannung von  $-10\text{hPa}$  abgeglichen (standardisiert) (Abbildung 5b). Danach wurden sie in einem Wärmeschrank bei  $105\text{ °C}$  getrocknet, bis sich ein konstantes Gewicht einstellte, das es ermöglichte, die trockene Lagerungsdichte zu messen. Durch die Standardisierung der Bodenproben auf eine einheitliche Saugspannung ergibt sich ein maximaler Quellungszustand, der mit dem maximalen Wasserrückhalt im Boden im Gleichgewicht steht. Auf diese Weise lassen sich die Auswirkungen der Volumenschwankungen aufgrund der Phänomene des Quellens und Schrumpfens, die von der Feuchtigkeit des Bodens und seinen Bestandteilen abhängen, vermindern, sodass die Ergebnisse vergleichbar werden (Heuscher et al. 2005, Goutal et al. 2013). Die Befeuchtung der Bodenproben findet in zwei übereinander liegenden Becken statt, wobei das erste Wasser enthält, das zweite Sand (Abbildung 5a). Ein synthetisches Gewebe («Gaze»), das für Wasser durchlässig und für Sand undurchlässig ist, isoliert den Sand im zweiten Becken. Für die statistische Analyse der Ergebnisse wurde die Software STATISTICA verwendet.



Abbildung 5: Apparatur zur Befeuchtung der Proben aus ungestörtem Boden: (a) Becken zur Befeuchtung der Proben; (b) Proben während der Befeuchtung; (c) Wasserstrahlpumpe zur Erzeugung eines Vakuums im Plastikbeutel.

## Ergebnisse

### Trockene Lagerungsdichte als Indikator für die Bodenverdichtung?

Die Lagerungsdichte des Bodens widerspiegelt allgemein den Zustand der Bodenverdichtung und indirekt die Gesamtporosität (Saffih-Hdadi et al. 2009). Die trockene Lagerungsdichte der Böden der 11 FRIBO-Standorte schwankt zwischen  $1.06 \text{ g cm}^{-3}$  und  $1.57 \text{ g cm}^{-3}$  (Abbildung 6a). Mit der nach dem Tongehalt gewichteten trockenen Lagerungsdichte, auch effektive Lagerungsdichte ( $LD_{\text{eff.}}$ ) genannt, lässt sich der Grad der Bodenverdichtung nach folgender Formel beurteilen:  $LD_{\text{eff.}} = \text{trockene Lagerungsdichte} + 0.009 \times \% \text{ Ton}$  (Diserens und Spiess 2004). Die Arbeitsgruppe «Physikalischer Bodenschutz» der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (BGS) hat den Richtwert für die effektive Lagerungsdichte auf  $1.70 \text{ g cm}^{-3}$  festgelegt. Wird der Wert von  $1.85 \text{ g cm}^{-3}$  überschritten, sind Korrekturmessungen erforderlich (Maître 2014). Nur an einem der 11 untersuchten FRIBO-Standorte (187) wird der Richtwert von  $1.70 \text{ g cm}^{-3}$  leicht überschritten (Abbildung 6b). Es handelt sich um einen schweren Boden mit einem Tongehalt von 58.10 %. Die Anwendung dieses Gewichtungskriteriums bei der trockenen Lagerungsdichte zur Beurteilung der Bodenverdichtung ist nur zuverlässig, wenn der optimale Gehalt des Bodens an organischem Kohlenstoff berücksichtigt wird.

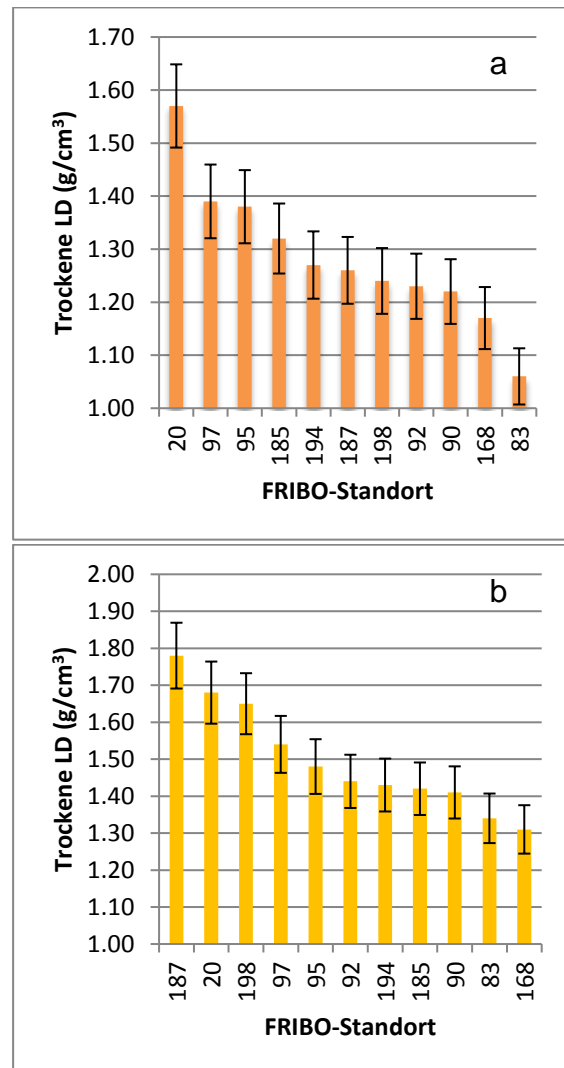


Abbildung 6: Trockene Lagerungsdichte (LD) (a) und nach dem Tongehalt gewichtete Lagerungsdichte (b) der Böden der 11 FRIBO-Standorte, die 2015 beprobt wurden.

### Optimaler Gehalt an organischem Kohlenstoff im Zusammenhang mit dem Verdichtungswiderstand des Bodens

Gemäss einigen Studien (Dexter et al. 2008, Boivin 2014) gibt es für die Komplexbildung zwischen organischem Kohlenstoff und Ton ein optimales Verhältnis, bei dem ein bestimmter Boden sein Produktionspo-

tenzial, das heisst seine optimale physikalische Qualität, erreicht. Aufgrund dieses Verhältnisses und allgemein betrachtet entspricht das gewünschte Optimum für das organische Material 18 % des Tongehalts. Bis zu diesem Optimum hat die organische Substanz einen linearen und positiven Einfluss auf fast alle physikalischen Bodeneigenschaften. Überschreitet sie dieses Optimum, ist sie nicht mehr vom Ton geschützt. Bei gemässigtem Klima lässt sich dieses Optimum nur bei Dauerwiesen (DW) und einigen langjährigen Direktsaaten beobachten; Ackerflächen (AF) erreichen meistens nur 50 % ihres Potenzials (Boivin 2014). Die Formel wurde auf die Proben aus den 11 untersuchten FRIBO-Standorten angewendet, wobei die bis 2003 erhobenen Daten des FRIBO-Netzes herangezogen wurden (Rossier et al. 2003). Wie sich zeigte, liegen nur vier Standorte (drei AF: Standorte 20, 97, 187; eine DW mit sehr saurem Boden: Standort 90) unter dem gewünschten Optimum. In solchen Böden mit wenig organischem Material lässt sich die Verdichtung nur schwer feststellen, weil die Unterscheidung zwischen mechanischer Verdichtung und struktureller Degradation schwierig ist (Boivin 2014). Dies zeigt sich bei Standort 187, dessen Boden aufgrund der Gewichtung der trockenen Lagerungsdichte nach dem Tongehalt leicht verdichtet erscheint, wobei jedoch die Makroporosität höher ist als an den anderen Standorten (26 %!

### Beziehung zwischen organischem Kohlenstoff und den anderen physikalischen Parametern

Eine lineare Zunahme der für den Boden günstigen physikalischen Eigenschaften wurde in mehreren Studien nachgewiesen (Boivin 2014). Die Erhöhung des Gehalts an organischer Substanz geht einher mit einer Verminderung der trockenen Lagerungsdichte (Abbildung 7a) und einer Zunahme der strukturellen Porosität (Abbildung 7b). Daraus lässt sich schliessen, dass die organische Substanz wesentlichen Anteil an

der Tragfähigkeit, Durchlüftung und Entwässerung des Bodens hat. Die Porosität des Bodens ist eine wichtige Grösse, die die hydrodynamischen Eigenschaften des Bodens und die Entwicklung der Pflanzenwurzeln massgeblich bestimmt. Sie ist aber auch ein Indikator für die physikalische Qualität von Böden, die durch verschiedene Bearbeitungsarten beeinflusst worden sind.

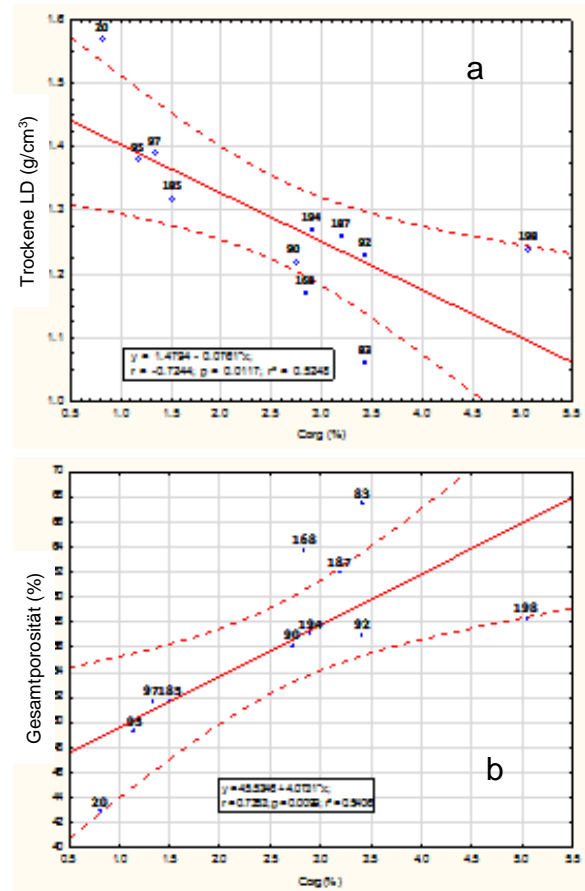
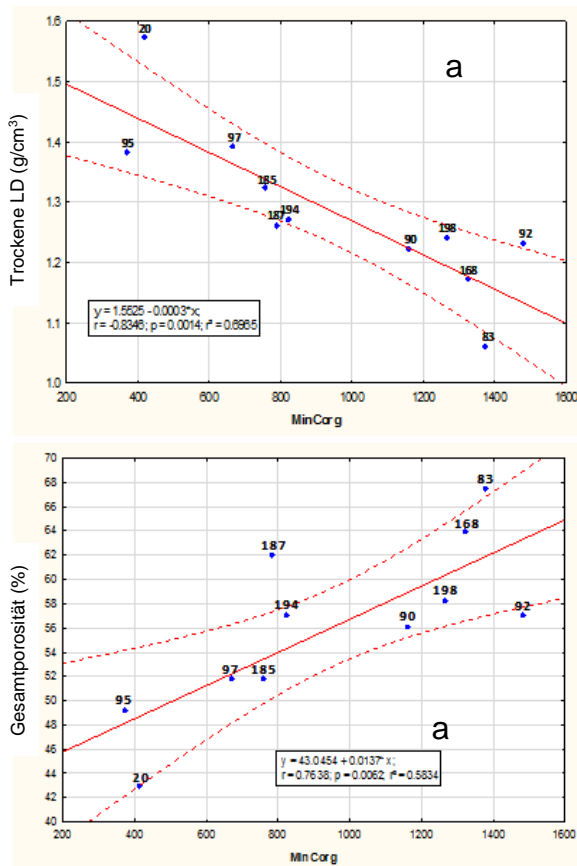


Abbildung 7: Positive Korrelation zwischen organischem Kohlenstoff und trockener Lagerungsdichte (a) bzw. Gesamtporosität (b) der Böden der 11 FRIBO-Standorte, die 2015 beprobt wurden (Vertrauensintervall 95 %).

Die Gesamtporosität des Bodens umfasst die strukturelle Porosität und das Plasma oder die Textur-bedingte Porosität und ist abhängig vom Gehalt des Bodens an organischem Kohlenstoff (Boivin 2014). Die beiden Porensysteme funktionieren unterschiedlich und werden von der Verdichtung in unterschiedlicher Weise beeinflusst: Die Bodenbearbeitung wirkt sich auf die strukturelle, aber nicht auf die Textur-bedingte Porosität aus (Guérif et al. 2001, Boivin 2014).

## Korrelation zwischen biologischen und physikalischen Parametern

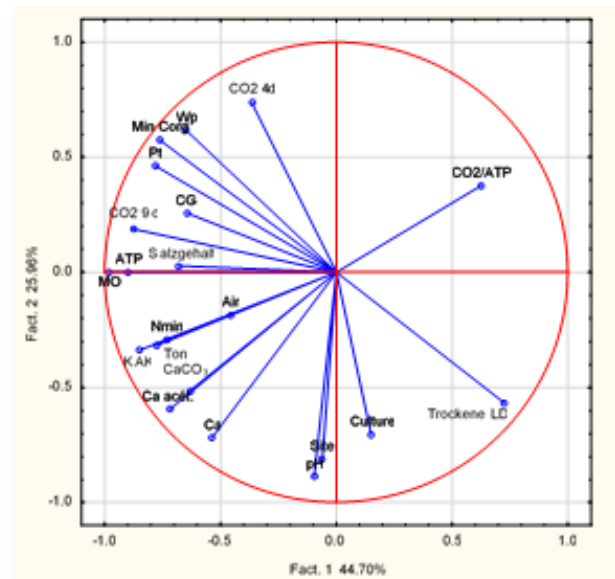
Die Mineralisierung des organischen Kohlenstoffs ( $\text{Min C}_{\text{org}}$ ) korreliert signifikant mit der trockenen Lagerungsdichte (Abbildung 8a), der Gesamtporosität (Abbildung 8b) und dem gravimetrischen Wassergehalt. Die  $\text{Min C}_{\text{org}}$  entspricht der Menge des organischen Materials, das von den Bodenmikroorganismen während einer Inkubationszeit von 15 Tagen mineralisiert wird. Höhere Werte der  $\text{Min C}_{\text{org}}$  weisen auf einen aktiven Boden hin, der seine typischen Funktionen effizient ausüben kann (Rossier 2013). Auch eine positive Korrelation zwischen ATP (Adenosintriphosphat) und organischem Material wurde beobachtet.



**Abbildung 8:** Positive Korrelation zwischen  $\text{Min C}_{\text{org}}$  und trockener Lagerungsdichte (a) bzw. Gesamtporosität (b) der Böden der 11 FRIBO-Standorte, die 2015 beprobt wurden (Vertrauensintervall 95 %).

## Analyse der physikalischen, chemischen und biologischen Hauptkomponenten

Der Korrelationskreis (Abbildung 9) zeigt, dass die Variablen sich anhand von zwei Achsen unterscheiden lassen: Die Abszisse erklärt 44,70 %, die Ordinate 25,96 % der totalen Varianz. Die Abszisse wird hauptsächlich bestimmt durch die organische Bodensubstanz (OM), ATP,  $\text{CO}_2$  9d, KAK, Gesamtporosität, Ton, Mineralisierung des organischen Kohlenstoffs ( $\text{Min C}_{\text{org}}$ ),  $\text{N}_{\text{min}}$ , trockene Lagerungsdichte und Calcium (AA-EDTA). Sie illustriert die enge Beziehung zwischen dem Ton-Humus-Komplex und der Bodenbiologie, die bereits in anderen Studien festgestellt worden ist (Rossier und Dessureault 2004). Die Ordinate wird hauptsächlich durch Parameter bestimmt, die leicht durch menschliche Aktivitäten beeinflusst werden, nämlich pH, Standort,  $\text{CO}_2$  4d, Calcium und Kulturart.



**Abbildung 9:** Korrelationskreis für die verschiedenen physikalischen, biologischen und chemischen Variablen der Böden der 11 FRIBO-Standorte, erstellt mittels Faktorenanalyse.

## Schlussfolgerungen

Mit der Plastikbeutelmethode lassen sich die trockene und feuchte Lagerungsdichte sowie andere physikalische Parameter bei den Böden des FRIBO-Netzes effizient messen.

Die Beurteilung der Bodenverdichtung anhand der trockenen Lagerungsdichte, die

nach dem Tongehalt gewichtet wird (effektive Lagerungsdichte), ist schwierig, wenn organisches Material und Ton nicht in einem optimalen Verhältnis zueinander stehen. Das organische Material korreliert signifikant mit mehreren physikalischen Parametern, insbesondere der trockenen Lagerungsdichte, der Gesamtporosität, dem Ton, dem gravimetrischen Wassergehalt und dem spezifischen Volumen. Diese physikalischen Parameter korrelieren signifikant mit biologischen Parametern, insbesondere der Mineralisierung des organischen Kohlenstoffs. Diese korreliert signifikant mit der trockenen Lagerungsdichte ( $r=0.83$ ), der Gesamtporosität ( $r=0.76$ ) und dem gravimetrischen Wassergehalt ( $r=0.80$ ). Trotz dieser positiven Korrelationen sind ähnliche Versuche mit einer Vielzahl von Bodenproben erforderlich, um beurteilen zu können, ob einige dieser physikalischen Parameter sich anhand von biologischen Parametern abschätzen lassen. Der Zeitraum der Erhebung der Bodenproben ist zu überprüfen, um den Einfluss der Bodenbearbeitung auf Lagerungsdichte, Gesamtporosität und gravimetrischen Wassergehalt zu minimieren.

## Literatur

Boivin, P., 2014. Physique des sols: matières organiques et compaction des sols, quels liens faut-il

faire? *Agronomie, écologie et Innovations* n° 79, septembre/octobre: 9–12.

Boivin, P., Brunet, D., Gascuel-Oudou, C., 1990. Densité apparente d'échantillon de sol: méthode de la poche plastique. *Milieux poreux et transferts hydriques*, juillet 1991, *Bulletin du GFHN* N° 28: 59–71.

Dexter, A.R., Richard, G., Arrouays, D., Czyz, E.A., Jolivet, C., Duval, O., 2008. Complexed organic matter controls soil physical properties. *Geoderma* 144 (3-4): 620–627.

Diserens, E., Spiess, E., 2004. Interactions entre train de roulement et sol en grandes cultures. TASC: une application informatisée pour juger et optimiser les charges infligées au sol. *Rapport FAT* N° 613, 16 S.

Goutal, N., Bottinelli, N., Gelhaye, D., Bonnaud, P., Nourrisson, G., Demaison, J., Brêthes, A., Capowicz, Y., Lamy, L., Johannes, A., Boivin, P., Ranger, J., 2013. Le suivi du fonctionnement de la restauration de deux sols forestiers après tassement dans le Nord-Est de la France. *Etude et gestion des sols*, volume 20 (2): 163–177.

Guérif, J., Richard, R., Dürr, C., Machet, J.M., Recous, S., Roger-Estrade, J., 2001. A review of tillage effects on crop residue management, seedbed conditions and seedling establishment. *Soil Tillage Research* 61: 13–32.

Heuscher, S.A., Brandt, C.C., Jardine, P.M., 2005. Using soil physical and chemical properties to estimate bulk density. *Soil Science Society of America Journal* 69: 51–56.

Maître, V., 2014. Indicateurs de développement durable: matière organique et activité biologique dans les sols agricoles du canton de Vaud. *Bureau pEaudSol*, Bex, 84 S.

Rossier, N., 2013. Analyse de l'activité biologique des sols, *Grangeneuve*, 4 S.

Rossier, N., Dessureault, J., 2004. Evolution des paramètres biologiques des sols agricoles fribourgeois. *Revue suisse Agric.* 36(2): 77–82.

## **Bioindikatoren und Ökosystemleistungen der Stadtböden: Vorschläge zur Bewirtschaftung**

**Joël Amossé**

*Laboratoires d'Écologie fonctionnelle et de Biodiversité du Sol, Université de Neuchâtel*

**Elena Havlicek**

*Sektion Boden, Bundesamt für Umwelt*

**Jean-Michel Gobat**

*Laboratoire d'Écologie fonctionnelle, Université de Neuchâtel*

**Edward Mitchell**

*Laboratoire de Biodiversité du Sol, Université de Neuchâtel, und Jardin Botanique de Neuchâtel*

**Claire Le Bayon**

*Laboratoire d'Écologie fonctionnelle, Université de Neuchâtel*

### **Eine Untersuchung der Stadtböden in Neuenburg (Schweiz)**

Wie in anderen Lebensräumen bilden Böden einen der Hauptbestandteile des städtischen Ökosystems. Sie spielen eine Rolle bei der Klimaregulierung, als Pflanzenstandort und in geringerer Masse bei der Versorgung mit Nahrungsmitteln und Rohstoffen. In der Stadt entwickeln sich Böden selten unter natürlichen Bedingungen, sondern werden oft teilweise oder vollständig vom Menschen beeinflusst. Die urbanen Bedingungen können die natürlichen bodenbildenden Faktoren verändern, zumal der städtische Wärmeinseleffekt ein anderes (trockeneres und/oder wärmeres) Mikroklima entstehen lässt. Auch die physikalischen, chemischen oder biologischen Eigenschaften der Böden können sich verändern, namentlich infolge ihrer intensiven Nutzung (Verdichtung) oder der Anhäufung von Schadstoffen (Pflanzenschutzmittel, Salzen der Strassen, Luftverschmutzung usw.). Je nach historischem Kontext der Städte können vielfältige Bodenarten vorhanden sein (natürliche, quasi-natürliche und künstlich hergestellte Böden), die innerhalb des städtischen Lebensraums unterschiedliche Ökosystemleistungen erbringen (MA 2005, BAFU 2011, Morel et al. 2014).

In der Stadt lassen sich vier ökologische Hauptfunktionen ausmachen:

- **Pflanzenproduktion** zur Verschönerung und Beschattung in Parks und Gärten oder zur Herstellung von Nahrungsmitteln;
- **Klimaregulierung** über Evaporation (Mikroklima) und Kohlenstoffspeicherung (Makroklima);
- **Kontrolle der Verschmutzung** mittels Rückhalt von Schadstoffen durch Bodenpartikel und teilweise ihr Abbau durch Mikroorganismen;
- **Erhaltung der pflanzlichen und tierischen Biodiversität**, was auch kulturelle Aspekte des städtischen Erbes aufwertet und Möglichkeiten für die Umweltsensibilisierung und -erziehung bietet.

Alle diese Funktionen sind in unterschiedlichem Grad von der Tätigkeit der Bodenlebewesen abhängig. Aufgrund ihrer Abundanz und Diversität (Arten, Taxa, Grösse usw.) gelten Bodenorganismen als wichtige Zeiger für den menschlichen Einfluss auf den Zustand oder die Funktionsfähigkeit der Böden. Sie geben somit Aufschluss über das Ausmass anthropogener Beeinträchtigungen der Böden (durch Bearbeitung, Einbringen fremder Substanzen usw.). An ihnen lassen sich chemische (z. B. hoher Stickstoffgehalt, Schadstoffe), physikalische (z. B. Verdichtung, Einbringen von Material) und biologische Belastungen (z. B. invasive Arten) ablesen. Im städtischen Kontext bietet die Entwicklung von Bioindikatoren (messbare Einheiten wie Abundanz oder

Vielfalt der Fauna) die Möglichkeit, den Herausforderungen im Zusammenhang mit der nachhaltigen Bewirtschaftung von Stadtböden und den damit verbundenen Leistungen gerecht zu werden. Ausgehend von der Untersuchung von Stadtböden und deren Fauna in Neuenburg, die im Rahmen eines vom BAFU finanzierten Doktorats durchgeführt wurde (Amossé 2014), bestand unser Ziel darin, einen Beitrag zur Entwicklung von Bioindikatoren für die Bodenfruchtbarkeit (im Sinne von Art. 1 und 2 VBBö) zu leisten. Es ging darum, faunistische Indikatoren zu finden, die sich bei Technosolen (anthropogene Böden) verwenden lassen. In dieser Studie konnten mögliche Indikatorengruppen in der Bodenfauna bestimmt und Möglichkeiten für die Bewirtschaftung und Erhaltung der Stadtböden aufgezeigt werden.

#### **Stadtböden und Ökosystemleistungen**

Es wurden drei Haupttypen von Stadtböden ermittelt, die in unterschiedlichem Mass von menschlichen Eingriffen geprägt sind. Der erste Typ sind **natürliche** Böden, der zweite **halbnatürliche** Böden. Diese beiden Typen von Stadtböden finden sich vornehmlich in Wäldern oder ehemaligen Landwirtschaftszonen (Weinberge, Ackerflächen, Gärten). Natürliche Böden sind meist gekennzeichnet durch eine grössere Bodenmächtigkeit und einen höheren Tongehalt, halbnatürliche Böden durch eine geringere Mächtigkeit und eine lehmige Textur. Die wichtigsten Funktionen dieser Böden sind Pflanzenproduktion, Klimaregulierung und Erhaltung der Biodiversität.

Der dritte Typ sind **künstlich hergestellte Böden**, die teilweise (Référéntiel pédologique: Anthroposols transformés, Anthroposols artificiels; WRB: Technosole) oder vollständig (Référéntiel pédologique: Anthroposols construits; WRB: Technosole) vom Menschen gemacht wurden. Diese Böden wurden meistens angelegt, um rasch eine Vegetation wachsen zu lassen (Parks und Gärten). Das regelmässige Einbringen von Material (z. B. Kompost, chemische Dünger)

kann jedoch die Nahrungsnetze verändern und vereinfachen, was manchmal eine Veränderung der Bodenfunktionen nach sich zieht. Mögliche Folgen sind Biodiversitätsverlust, Auswaschung von Nährstoffen und Verminderung der Pufferkapazität. Eine geringere Bodenmächtigkeit und ein höherer Gehalt an Sand und verschiedenartigen Artefakten (z. B. Mörtel, Altmetall, Plastik, Glas, Teer) zeugen von einem in jüngerer Zeit angelegten Boden (Amossé et al. 2014).

Die einzelnen Typen von Stadtböden sind in unterschiedlichem Mass fähig, die Ökosystemleistungen (nach der Klassifikation des Millenium Ecosystem Assessments, MA 2005) zu erbringen, die im städtischen Ökosystem erwünscht sind (Abbildung 10):

1. **Versorgungsleistungen** dienen zum Beispiel zur Bereitstellung von Nahrung, Rohstoffen und Energie: Pflanzen in Familiengärten, Brennholz, Erzeugung von Biogas usw. Die am weitesten entwickelten Böden (natürliche und halbnatürliche Böden) sind meistens auch die produktivsten und am besten geeignet für die Bereitstellung von Rohstoffen.
2. **Unterstützungsleistungen** sorgen für einen geeigneten Lebensraum für die Vegetation sowie die Bodenfauna und -flora. Sie umfassen auch die Wirkung der Lebewesen auf die grossen biogeochemischen Kreisläufe (Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor) über die Zerkleinerung, Umwandlung, Mineralisierung und Speicherung von organischem Material im Boden und in der Biomasse. Die räumliche und zeitliche Heterogenität der (mehr oder weniger entwickelten) Stadtböden ermöglicht die Entstehung einer Vielfalt von Lebensräumen, in denen sich zahlreiche Arten ansiedeln und entwickeln können.
3. **Regulierungsleistungen** beeinflussen insbesondere die Infiltration und Speicherung von Wasser, die Temperatursteuerung über die Evapotranspiration, die Verminderung von Erosion und Hochwasser sowie die Zunahme der Fil-

terung von Luft und Wasser. Die Böden tragen auch zur Behandlung von Staub und von metallischen und organischen Schadstoffen bei (Verlagerung, Speicherung und Dekontamination), indem sie als Filter und Bioreaktor wirken. Entwickelte Böden sind häufig geeigneter für die Klimaregulierung und Luftreinigung. Dagegen können die Entwässerungsleistung und die Infiltration von Oberflächenwasser bei den verschiedenen Bodentypen ähnlich sein.

4. **Kulturelle Leistungen** beinhalten einen spirituellen, ästhetischen und Erholungswert. Ältere Böden erbringen diese Leistungen ebenso gut wie neu angelegte Böden. Die Funktion der historischen und archäologischen Archivierung in Stadtböden kann ebenfalls in diese Kategorie fallen.

#### **Faunistische Indikatoren der Stadtböden**

Im städtischen Kontext wurden die relevanten Tiergruppen aufgrund der bestehenden Kenntnisse (Taxonomie, Ökologie), der leichten Bestimmbarkeit, der Kosten für ihre Identifizierung und ihrer bereits bei anderen Bodentypen nachgewiesenen Eignung als Bioindikatoren ausgewählt. Ringelwürmer (Regenwürmer und Enchyträen) und Fadenwürmer gelten als relevante Bioindikatoren in landwirtschaftlichen und natürlichen Böden. Daher wurde geprüft, inwieweit sie auch für Stadtböden nutzbar sind.

#### **Regenwürmer**

Regenwürmer (Makrofauna), die als «Bodeningenieure» wirken (Jones et al. 1994), sind die weitaus am besten untersuchten Bodenlebewesen. Ihre grosse Verbreitung und ihre Aufteilung in ökologische Kategorien (epigäische, endogäische und anözische Arten) (Bouché 1977) liefern genaue Informationen über den allgemeinen Zustand der Bodenfunktionen. In Stadtböden geben Regenwurmpopulationen wertvollen Aufschluss über die Entstehungsbedingungen von Böden, da sie in engem Bezug zur Bodenmächtigkeit stehen (z. B. anözische

Würmer) (Amossé et al. 2016). Epigäische Regenwürmer, die vorwiegend in organischen Auflagehorizonten leben, sind in Stadtböden oft nur spärlich vorhanden, mit Ausnahme einiger widerstandsfähiger Arten wie *Lumbricus rubellus*. Endogäische Regenwürmer (z. B. *Allolobophora chlorotica*) sind besonders aufschlussreiche Bioindikatoren für die Strukturbildung in Stadtböden, da sie ständig neue Gänge anlegen (bis zu einer durchschnittlichen Länge von 2 km pro Quadratmeter nach dreimonatiger Inkubation in Mikrokosmen; persönliche Beobachtung im Rahmen der Arbeiten von Amossé et al. 2015). Diese starke Bioturbation fördert zahlreiche ökologische Funktionen des Bodens wie die Wasserregulierung (z. B. Infiltration und Wasserspeicherung), die Einbindung von organischem Material im Boden (z. B. Kohlenstoffspeicherung) oder den Nährstoffkreislauf. Letzterer ist hervorgerufen durch die gesteigerte Bakterientätigkeit, mit der sich Pflanzenwachstum und -produktion verbessern (Lavelle et al. 2006). Die Fähigkeit endogäischer Regenwürmer, in flachgründigen, nährstoffarmen Böden zu leben, ihre geringe Empfindlichkeit gegenüber Bodentransport und -lagerung sowie ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit (z. B. erhöhte Kokonproduktion) sind häufig besser angepasst als bei anözischen Würmern wie z. B. *Lumbricus terrestris*. Damit gehören sie zu den wichtigsten Strukturbildnern in neu angelegten Böden.



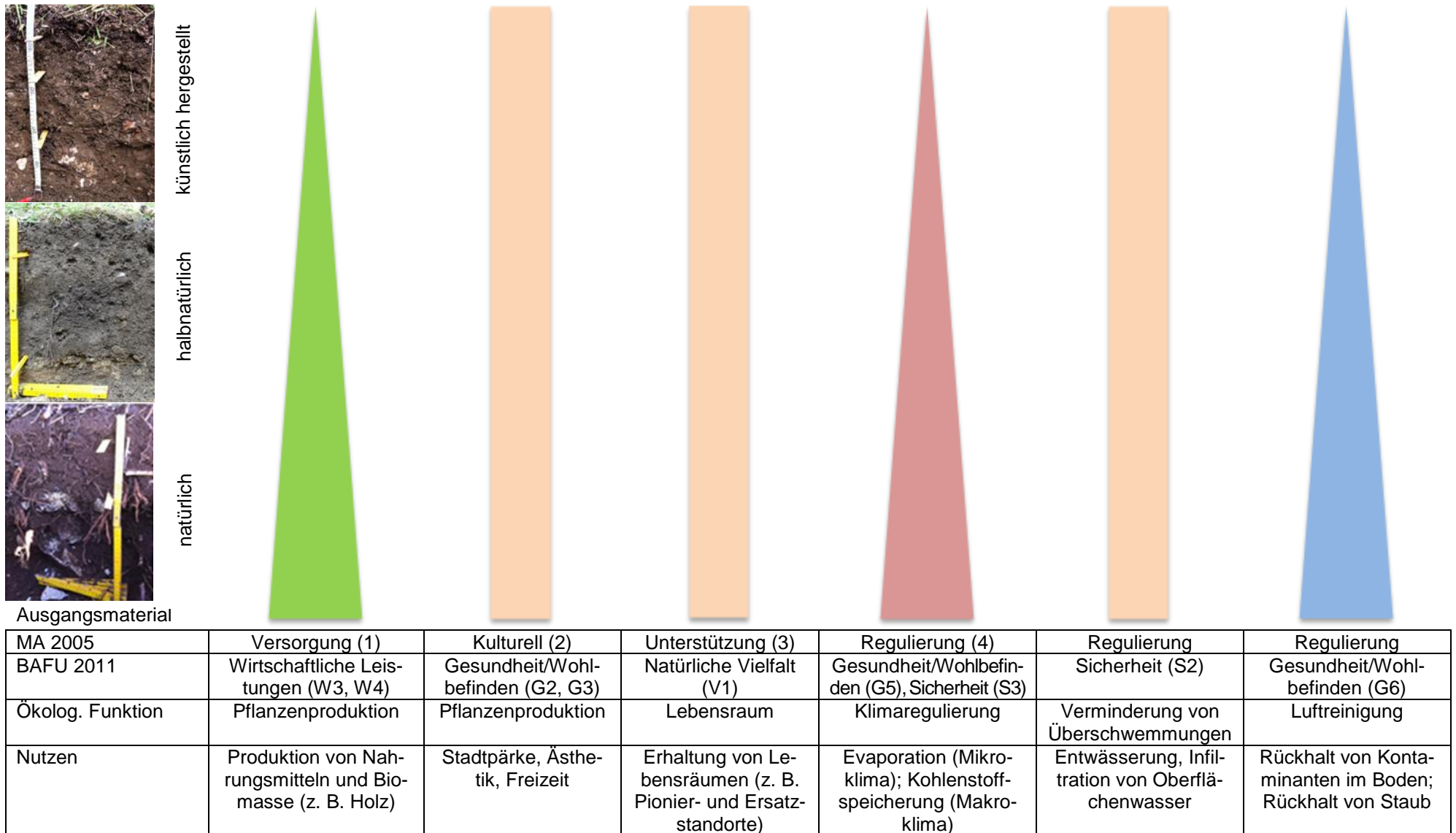


Abbildung 10: Übersicht über Ökosystemleistungen, ökologische Funktionen und Nutzen, die je nach Typ von Stadtboden möglich sind.

## Enchyträen

Enchyträen (Mesofauna) waren Gegenstand einiger Untersuchungen in natürlichen und landwirtschaftlichen Lebensräumen, doch sind sie immer noch deutlich weniger gut untersucht als Regenwürmer. Als Destruenten kommt ihnen im Prozess der Zerkleinerung und Zersetzung des organischen Materials eine Schlüsselrolle zu (Didden et al. 1997). Im städtischen Raum korrelieren die Enchyträenpopulationen eng mit dem Karbonatgehalt ( $\text{CaCO}_3$ ) der Böden (Amossé et al. 2016) und widerspiegeln damit die häufigen Praktiken des Vermischens oder Einbringens von Karbonat-haltigem Material in Stadtböden. Der Artenreichtum, die Zusammensetzung der Populationen und die verschiedenen Fortpflanzungsstrategien (*r* vs. *K*) (Graefe und Schmelz 1999) der Enchyträen geben Aufschluss über den Grad der Störungen der Bodenoberfläche. Einige halbnatürliche Böden weisen einen grösseren Artenreichtum auf als künstlich hergestellte Böden. Unsere Studie hat auch gezeigt, dass der Anteil der Arten mit *r*-Strategie (mehrheitlich *Buchholzia* sp. und *Enchytraeus* sp.) in künstlich hergestellten Stadtböden höher ist (Amossé et al. 2016). An den untersuchten Standorten wurden grossenteils ähnliche Arten identifiziert, wie sie in anderen europäischen Städten vorkommen (Schulte et al. 1989; Pižl und Schlaghamersky 2007). Damit ist es möglich, die Ergebnisse zu verallgemeinern und globale Indikatoren auf europäischer Ebene festzulegen. Es braucht jedoch zusätzliche Untersuchungen, um die Verbreitung der Arten und ihre Funktionen (epigäisch, epi-endogäisch, epi-anözisch und endogäisch) im Boden näher zu bestimmen.

## Fadenwürmer (Nematoden)

Fadenwürmer (Mikrofauna) liefern wertvolle Informationen über den Zustand der Nahrungsnetze im Boden, indem sie rasch auf Störungen reagieren (Ritz et al. 2009, Yeates 2003, Yeates et al. 1995). Aufgrund verschiedener Hinweise im Zusammenhang mit den funktionellen Gruppen (Pflanzen-, Bakterien-, Pilz-, Fleisch- und Allesfresser) und ihren Fortpflanzungsstrategien gelten sie als relevante Bioindikatoren für die Qualität von landwirtschaftlichen Böden und kontaminierten Böden (Bongers 1990, Yeates et al. 1993, Bongers und Bongers 1998, Yeates 2003). Im städtischen Bereich geben der Strukturindex (SI, basierend auf der Komplexität der Nahrungsnetze) und die Vielfalt der Gattungen Aufschluss über die Bodenstabilität, wobei in halbnatürlichen Böden oft höhere Werte beobachtet wurden als in künstlich hergestellten Böden. Beispielsweise wurden Gattungen wie *Aporcelaimellus* (Fleischfresser mit langem Lebenszyklus, niedriger Fortpflanzungsrate und geringer Stresstoleranz; Bongers und Ferris 1999), die als Indikatoren für komplexe trophische Strukturen dienen, hauptsächlich in quasi-natürlichen Stadtböden gefunden. Dies bestätigt, dass die Komplexität der Nahrungsnetze mit der Stabilität und fortgeschrittenen Entwicklung der Ökosysteme zusammenhängt. Dagegen wurde eine als Indikator für Vielfalt geltende Gattung wie *Rhabditis* (Bakterienfresser mit kurzem Lebenszyklus, hoher Fortpflanzungsrate und geringer Störungsempfindlichkeit; Bongers und Ferris 1999) in neu angelegten, mit Kompost angereicherten Böden in grosser Zahl gefunden. Dies zeigt teilweise die Wirkung einer reichlichen Nährstoffzufuhr auf die Zusammensetzung der Fadenwurmpopulationen.

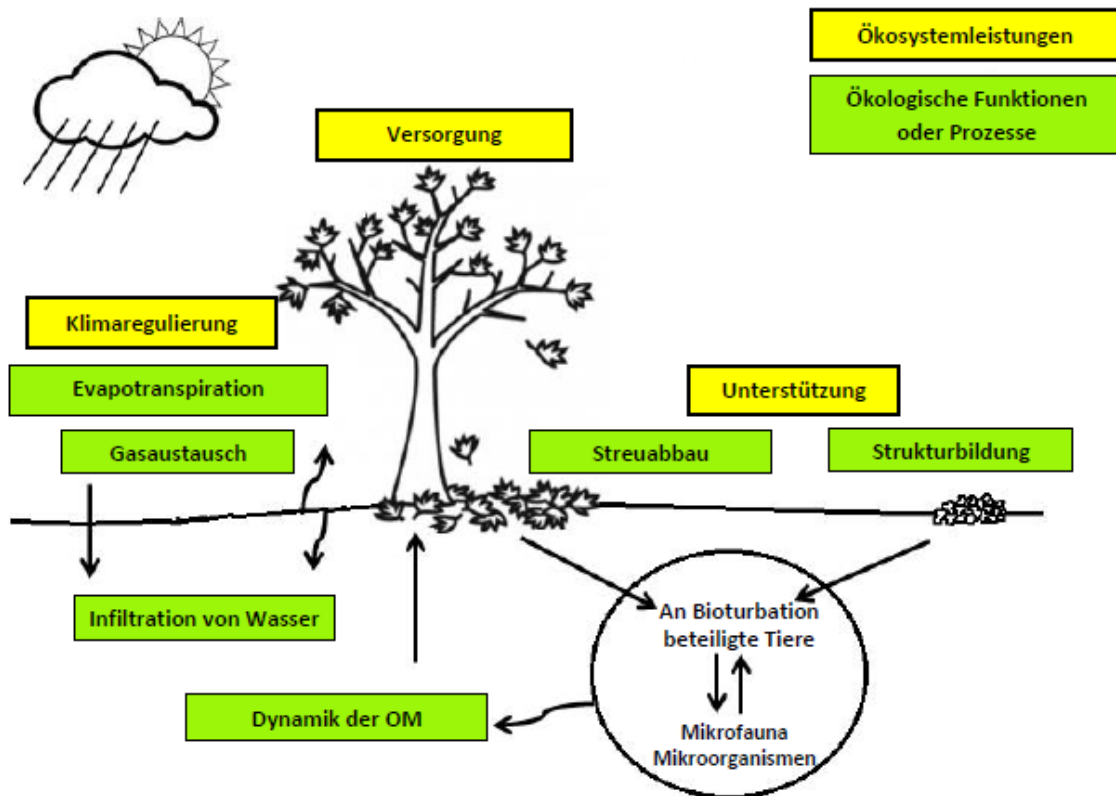


Abbildung 11: Ökologische Funktionen und Prozesse sowie Ökosystemleistungen, welche die Bodenfauna im städtischen Lebensraum übernehmen kann (OM: organische Bodensubstanz).

### Faunistische Indikatoren von Stadtböden: ökologische Funktionen und Prozesse sowie Ökosystemleistungen

Ökosystemleistungen sind abhängig von den ökologischen Funktionen oder Prozessen, welche bodenbildende Organismen wie Pflanzen und die Bodenfauna übernehmen (Abbildung 11). Anhand der Grösse der faunistischen Indikatoren lässt sich ihre spezifische Funktion bestimmen (Abbildung 12):

- Die Bildung und Erhaltung der physikalischen Bodenstruktur durch (endogäische und anözische) Regenwürmer begünstigt die Infiltration und Speicherung von Wasser, die Einbindung von organischem Material im Boden (z. B. Kohlenstoffspeicherung) und die Entstehung von Lebensräumen für andere Bodenorganismen.
- Die Zersetzung und physikalische Zerkleinerung des organischen Materials durch Enchyträen (zusammen mit im Boden lebenden Gliederfüsslern) spielen

eine Schlüsselrolle bei der Umwandlung von organischem Material in der Stadt.

- Die Dynamik des organischen Bodenmaterials und der Nährstoffkreislauf, die von Mikroorganismen und Fadenwürmern gesteuert werden, ermöglichen das Wachstum der Vegetation und die Temperaturregulierung in der Stadt (Evapotranspiration).

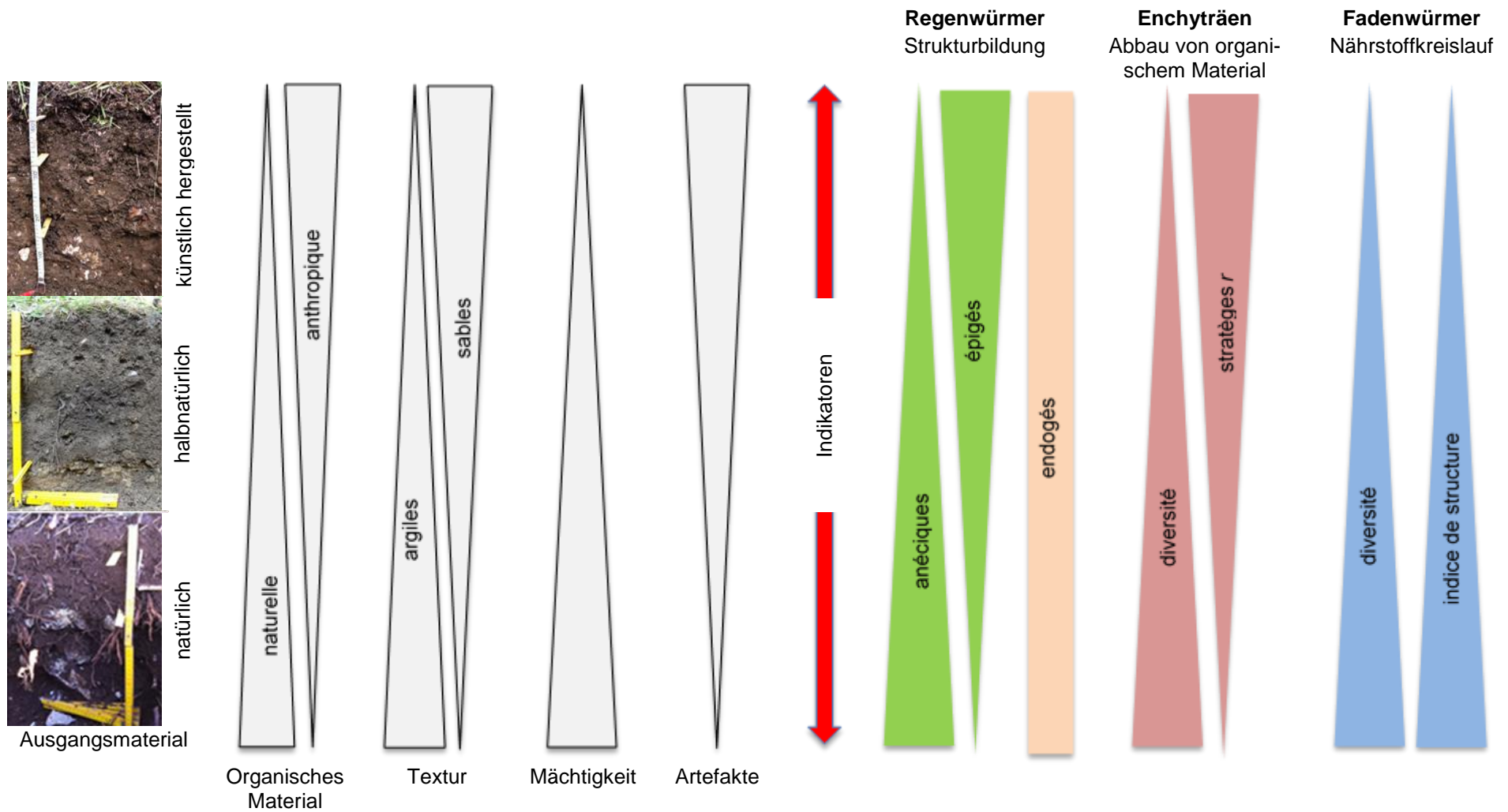


Abbildung 12: Übersicht über die physikalisch-chemischen und biologischen Eigenschaften der verschiedenen Typen von Stadtböden.

## Vorschläge für die Bewirtschaftung von Stadtböden

Die Vegetation hat aufgrund ihrer Landschaftsfunktion (z. B. Parks, Gärten, Alleen) im Stadtmanagement einen hohen Stellenwert. Dennoch wird dem Stadtboden als Vegetationsträger nach wie vor nur wenig Beachtung geschenkt. Je nach Art des Ausgangsmaterials und ihrem Entwicklungsgrad weisen Stadtböden andere physikalisch-chemische (Mächtigkeit, Tongehalt, pH) und biologische Eigenschaften auf als natürliche Böden. Regenwürmer, Enchyträen und Fadenwürmer sind geeignete Bioindikatoren, die die funktionellen Besonderheiten von Stadtböden in physikalischer (Strukturbildung durch Regenwürmer und Abbau von organischem Material durch Enchyträen) und chemischer Hinsicht (Beteiligung von Fadenwürmern am Nährstoffkreislauf) widerspiegeln. Sie fördern die Pflanzenproduktion, die Klimaregulierung und andere damit verbundene Leistungen. Weil sie überall verbreitet sind, in grosser Zahl vorkommen, leicht zu extrahieren und auf Stufe Art, Gattung oder funktionelle Gruppe einfach zu identifizieren sind, lassen sich mit diesen Organismen zuverlässige Methoden zur Beurteilung der Qualität von Schweizer Stadtböden entwickeln.

Diese Ergebnisse lassen sich für eine Reihe von Vorschlägen für die Bewirtschaftung von Stadtböden verwenden:

- Anlegen von Stadtböden in Anlehnung an die natürlichen Gegebenheiten der Ausgangsböden, insbesondere an ihre horizontale Schichtung (Bodentechnik);
- Vergrösserung der Bodenmächtigkeit mit Bodenmaterial<sup>1</sup> (organisch-mineralisches Material) und technisch aufbereitetem Material (Kompost), um den Trockenstress zu vermindern und die Ansiedlung

<sup>1</sup> Im städtischen Raum ist es möglich, abgetragenen Ober- oder Unterboden von Baustellen zu verwerten, sofern das Bodenmaterial nicht am Abtragungsort wiederverwendet werden kann und dieses sich aufgrund seiner (physikalischen, chemischen und biologischen) Qualität für die vorgesehene Verwertung eignet (siehe Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen, VVEA, Art. 17 und 18).

- der Bodenfauna (z. B. endogäische und anözische Regenwürmer) zu fördern;
- Einschränkung der Kompostzufuhr auf längere Sicht, um die Entwicklung der Bodenfauna im Gleichgewicht mit der Art der Bodenpflege zu ermöglichen;
- Liegenlassen der Streu oder eines Teils des Rasenschnitts, um die biologische Aktivität im Boden zu stimulieren;
- Einschränkung der Störungen in der obersten Bodenschicht (z. B. Verdichtung, Pflügen) durch Vermeidung wiederholter Überfahrten mit Unterhaltungsgeräten. Diese Schicht enthält den Grossteil der Bodenlebewesen und spielt eine wesentliche Rolle als Schnittstelle zwischen dem Luftbereich und dem Gesamtboden (Transitzone für die Fauna, Wasser- und Gasaustausch);
- Förderung der Vernetzung zwischen Böden im urbanen Raum (z. B. ungeteerte Wege, Kopfsteinpflaster, Grasstreifen), um die Funktionalität der Böden durch den Artentransfer zu steigern;
- Verzicht auf den Einsatz von Pestiziden<sup>2</sup>, die teilweise oder grossenteils nicht die anvisierten Schädlinge treffen, sondern direkt in den Boden gelangen und deren negative Auswirkungen auf den Boden bekannt sind (Bünemann et al. 2006);
- Einrichtung eines Biomonitorings der relevanten faunistischen Indikatoren, um die Wirksamkeit der durchgeführten Massnahmen zu beurteilen oder zu messen.

Die Verschiedenartigkeit der Böden zeigt sich auch im städtischen Raum. Dementsprechend sind die Vorschläge zur Bewirtschaftung je nach den örtlichen Gegebenheiten und unter Berücksichtigung ökologischer wie auch finanzieller und sozialer Aspekte zu beurteilen. Die Information der Bevölkerung ist von entscheidender Bedeutung für die Akzeptanz eines differenzierten Unterhalts, zumal damit häufig eine landschaftliche Veränderung einhergeht (z. B.

<sup>2</sup> In einigen Schweizer Städten wurde der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln bereits vermindert oder ganz aufgegeben.

Umwandlung von Rasen in einen vielfältigen Lebensraum). Die für städtische Parks und Promenaden zuständigen Stellen, die über kein bodenkundliches Fachwissen verfügen, können sich für die Wiederherstellung von Stadtböden mit abgetragenem Bodenmaterial und die Umsetzung geeigneter Massnahmen an bodenkundliche Baubegleiter wenden<sup>3</sup>. Zudem besteht die Möglichkeit, in Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten im Rahmen von Dissertationen ein Biomonitoring durchzuführen.

## Literatur

Amossé, J., 2014. La faune du sol comme indicateur de la qualité des sols urbains. Université de Neuchâtel, Faculté des sciences.

Amossé, J., Dózsa-Farkas, K., Boros, G., Rochat, G., Sandoz, G., Fournier, B., Mitchell, E.A.D., Le Bayon, R.-C., 2016. Patterns of earthworm, enchytraeid, and nematode diversity and community structure in urban soils of different ages. *European Journal of Soil Biology*, 73: 46–58.

Amossé, J., Jelmini, J.-P., Havlicek, E., Mitchell, E.A.D., Le Bayon, R.-C., Gobat, J.-M., 2014. Mille ans d'extension urbaine à Neuchâtel: évolution des paysages et des sols. *Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles*, 133: 5–26.

Amossé, J., Turberg, P., Milleret-Kohler, R., Gobat, J.-M., Le Bayon, R.-C., 2015. Effects of endogeic earthworms on the soil organic matter dynamics and the soil structure in urban and alluvial soil materials. *Geoderma*, 243–244: 50–57.

Bundesamt für Umwelt (BAFU), 2011. Indikatoren für Ökosystemleistungen. Systematik, Methodik und Umsetzungsempfehlungen für eine wohlfahrtsbezogene Umweltberichterstattung, 14 S.

Bünemann, E. K., Schwenke, G. D., Van Zwieten, L., 2006. Impact of agricultural inputs on soil organisms—a review. *Soil Research*, 44(4): 379–406.

Bongers, T., Ferris, H., 1999. Nematode community structure as a bioindicator in environmental monitoring. *TREE*, 14(6): 224–228.

Bongers, T., 1990. The maturity index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia* 83: 14–19.

Bongers, T., Bongers, M., 1998. Functional diversity of nematodes. *Applied Soil Ecology* 10: 239–251.

<sup>3</sup> Die Bodenkundliche Gesellschaft der Schweiz hat ein Verfahren zur Anerkennung von Personen mit bodenkundlichen Kenntnissen als «Bodenkundliche BaubegleiterInnen» eingeführt. Die Anerkennung richtet sich nach einem Reglement, das in enger Zusammenarbeit zwischen der BGS, den kantonalen Bodenschutzfachstellen, dem Baugewerbe und dem BAFU erstellt wurde.

Bouché, M.B., 1977. Stratégies lombriciennes. *Ecological Bulletins* (25), 122–132.

Didden, W.A.M., Fründ, H.C., Graefe, U., 1997. Fauna in Soil Ecosystems. Chapter 5: Enchytraeids. Edited by Gero Benckiser. Marcel Dekker, Inc. New York. ISBN-10: 0824797868. 400 S.

Graefe, U., Schmelz, R., 1999. Indicator values, strategy types and life forms of terrestrial Enchytraeidae and other microannelids. *News Enchytraeidae*, 6: 59–68.

Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M., 1994. Organisms as ecosystem engineers, *Oikos*, 69: 373–386.

Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J.P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. ICSZ – Soil Animals and Ecosystems Services, Proceedings of the XIV<sup>th</sup> International Colloquium on Soil Biology. *European Journal of Soil Biology*, 42: 3–15.

Millenium Ecosystem Assessment (MA), 2005. Ecosystems and human well-being: biodiversity synthesis. World Resources Institute, Washington, DC, 86 S.

Morel, J.L., Chenu, C., Lorenz, K., 2014. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs), *Journal of Soils and Sediments*, special issue: SUITMA 7, DOI 10.1007/s11368-014-0926-0.

Pižl, V., Schlaghamersky, J., 2007. The impact of pedestrian activity on soil annelids in urban greens. *European Journal of Soil Biology*, 43(1): S68–S71.

Ritz, K., Black, H.I.J., Campbell, C.D., Harris, J.A., Wood, C., 2009. Selecting biological indicators for monitoring soils: a framework for balancing scientific and technical opinion to assist policy development. *Ecological Indicators* 9: 1212–1221.

Schulte, W., Fründ, H.-Ch., Söntgen, M., Graefe, U., Ruzkowsky, B., Voggenreiter, V., Weritz, N., 1989. Zur Biologie städtischer Böden, Beispielraum: Bonn-Bad Godesberg. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz. – Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie, KILDA-Verlag F. Peking, Greven, ISBN: 3-88949-168-5. 192 S.

Schweizerischer Bundesrat, 2008. Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö) (SR 814.12) vom 1. Juli 1998 (Stand 1. Juli 2008), 12 S.

Yeates, G.W., 2003. Nematodes as soil indicators: functional and biodiversity aspects. *Biology and Fertility of Soils* 37: 199–210.

Yeates, G.W., Bongers, T., De Goede, R.G.M., Freckman, D.W., Georgieva, S.S., 1993. Feeding habits in soil nematode families and genera – an outline for soil ecologists. *Journal of Nematology* 25: 315–331.

Yeates, G.W., Orchard, V.A., Speir, T.W., 1995. Reduction in faunal populations and decomposition following pasture contamination by a Cu-Cr-As based timber preservative. *Acta Zoologica Fennica* 196: 297–300.

## Glossar

**Bodeningenieure (Bodenbildner):** Organismen, die durch physikalische Veränderungen des Bodens die Verfügbarkeit von Ressourcen für andere Arten beeinflussen und damit Lebensräume verändern, erhalten oder schaffen (Jones 1994).

**Epigäische Regenwürmer:** Kleine (1–5 cm), häufig rot gefärbte Pionierarten, die an der Bodenoberfläche leben und abgestorbenes Material zerkleinern.

**Endogäische Regenwürmer:** Arten von variabler Grösse (1–20 cm) und mit schwacher Pigmentierung (rosa, grau oder grün), die in den obersten 30 cm des Bodens leben. Sie schaffen eine krümelige Bodenstruktur, die die Wasserzirkulation begünstigt.

**Anözische Regenwürmer:** Wenig störungsempfindliche, grosse (10–30 cm) Arten, die im Kopfbereich eine dunkle Färbung (rot oder braun) aufweisen und zum Schwanz hin farblich abgestuft sind. Sie graben vertikale Gänge, die das Absinken des organischen Materials und dessen Vermischung mit dem Boden ermöglichen.

**r-Strategen:** Organismen, deren Strategie zur Anpassung an instabile Lebensräume auf der Produktion zahlreicher Nachkommen in einem kurzen Zeitraum und einer sehr hohen Sterblichkeit beruht.

**Strukturindex (SI):** Kennzahl für die Stabilität eines Lebensraums aufgrund der Abundanz der funktionellen Gruppen (Bakterien- und Pilzfresser, Prädatoren). Je höher der Index ist, desto weniger ist der Lebensraum beeinträchtigt.

## Weniger ist mehr: reduzierte Bodenbearbeitung aktiviert das Bodenleben

**Claudia Maurer, Wolfgang Sturny**

Fachstelle Bodenschutz des Kantons Bern, Rütli, 3052 Zollikofen  
claudia.maurer@vol.be.ch

**Andreas Fliessbach, Paul Mäder, Hansueli Dierauer**

Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL), Ackerstrasse 113, 5070 Frick

**Bodenleben fördern:** Eine ressourcenschonende Landwirtschaft stellt den Boden mit seinen vielfältigen Funktionen in den Mittelpunkt ihres Handelns. Bakterien, Pilze und Co arbeiten effizienter, wenn nur die obersten 5–8 cm des Bodens mechanisch bewegt werden. Reduzierte Bearbeitung stabilisiert und belebt den Boden und schützt damit vor Erosion.

### Einführung

Bodenlebewesen sind von zentraler Bedeutung für einen funktionierenden Boden: Während die Pflanzen Biomasse aufbauen, ernähren sich die Bodentiere von ihren Rückständen, und die Mikroorganismen (Bakterien, Pilze, Algen, Einzeller) erledigen den Abbau zu Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Mineralstoffen. Sie schliessen so den Nährstoffkreislauf und machen die Mineralstoffe für die wachsende Pflanze wieder verfügbar. Ein Teil des Kohlenstoffs wird von den

Mikroorganismen zum Aufbau ihrer Körpersubstanz verwendet. Ein anderer Teil verbleibt im Boden, wird in Humus (organische Substanz) umgewandelt und trägt durch die Verkittung der mineralischen Bodenpartikel zur Krümelbildung bei. Ein humoser, krümeliger Boden ist strukturstabil – Voraussetzung für eine gute Wasseraufnahme und Schutz vor Erosion und Verdichtung.

### Bodenqualität prüfen

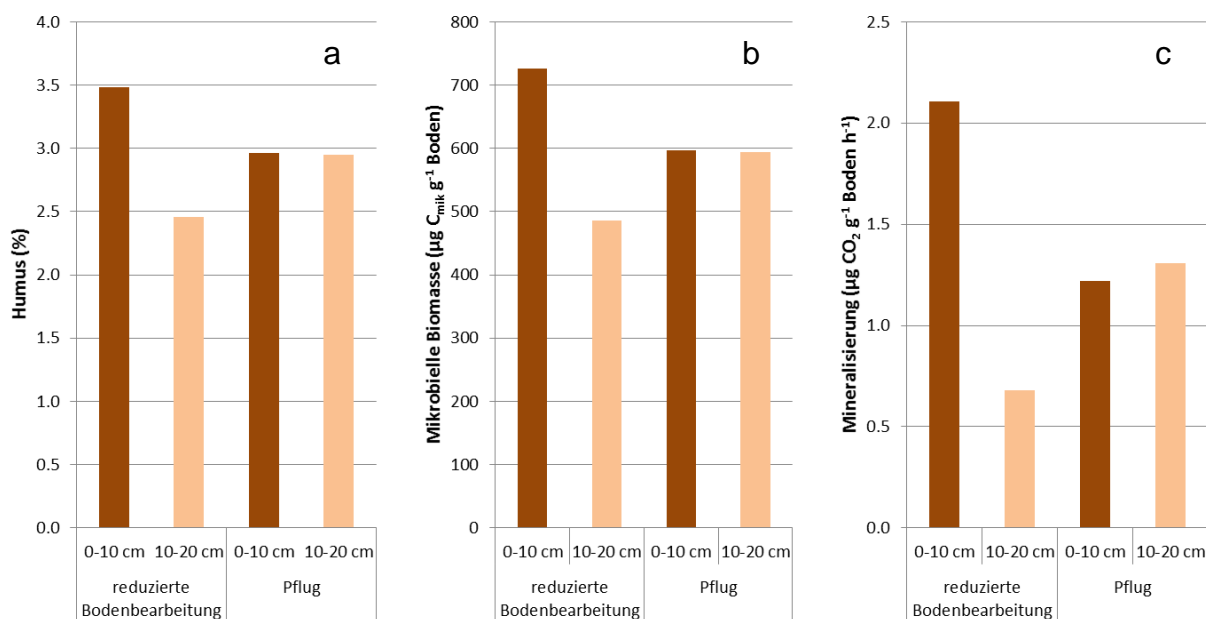
Die heutzutage eingesetzte schlagkräftige Mechanisierung, verbunden mit einer hohen Eingriffsintensität, führt oft zu einer Beeinträchtigung der Bodenstruktur. Verdichtung, Erosion und Abschwemmung gefährden neben der Fruchtbarkeit des Bodens auch unser Trinkwasser. Eine Verbesserung und Stabilisierung der Bodenstruktur sind daher von zentraler Bedeutung. Bodenschonende

Anbausysteme mit weniger tiefer und nicht wendender Bodenbearbeitung sollen den Humusgehalt und insbesondere die Menge und Aktivität der Mikroorganismen erhöhen und werden auf ihre Wirksamkeit hin überprüft. Veränderungen im Humusgehalt des Bodens erfolgen nur langsam und sind oft kaum oder erst nach Jahren differenzierter Bewirtschaftung messbar. Bakterien und Pilze hingegen, als Endersetzer und Nährstoffaufbereiter, reagieren schneller, wenn durch eine Reduzierung der Bodenbearbeitung mehr organisches Material an der Bodenoberfläche verbleibt.

Auf zwei Landwirtschaftsbetrieben im Kanton Bern, welche seit 2008 ihre Böden in Teilparzellen reduziert bearbeiteten, wurden 2011 und 2015 die Menge an Humus ( $C_{org}$ ), an Mikroorganismen (mikrobieller Kohlenstoff  $C_{mik}$ ) und deren Aktivität (Bodenatmung) gemessen und verglichen. Auf beiden Betrieben wurde je ein Teil der Parzelle mit dem On Land-Pflug 15 cm tief gepflügt.

Der andere Teil wurde reduziert 5–8 cm tief bearbeitet, und gleichzeitig wurde auf wendende Geräte verzichtet. Für die reduzierte Bodenbearbeitung kamen auf dem einen Standort Stoppelhobel, Kreiselegge und Striegel, auf dem anderen Standort Flügelschargrubber und Kreiselegge (für Kunstwiesenumbruch) sowie Scheiben-, Federzahn- und Spatenrollegge zum Einsatz. Alle Bodenproben wurden in den Tiefen 0–10 cm und 10–20 cm getrennt gezogen und analysiert.

Beide Standorte wurden nach den Richtlinien der Bio-Suisse bewirtschaftet. Die Fruchtfolgen sind typisch für Biobetriebe der Region mit dem Anbau von Kunstwiese, Mais, Getreide und Körnerleguminosen. An beiden Standorten ist die Bodenart ein sandiger Lehm mit leicht unterschiedlichen Ton und Schluff-Gehalten. Ein Standort war neutral (pH 6.8), der andere schwach sauer (pH 6.2).



**Abbildung 13: Humus ( $1.72 \times C_{org}$ ), mikrobielle Biomasse ( $C_{mik}$ ) und Mineralisierung (Bodenatmung) sieben Jahre nach Versuchsbeginn in den Bodenschichten 0 – 10 cm und 10 – 20 cm bei reduzierter Bodenbearbeitung und Pflugeinsatz (Durchschnitt beider Standorte).**

### Anreicherung von Humus

Nach nur vier bis sechs Jahren reduzierter Bodenbearbeitung änderte sich die Humus-Verteilung in den obersten 20 cm der reduziert bearbeiteten Böden gegenüber den

konventionellen Pflugverfahren. Zwar konnte summarisch über beide Tiefenstufen (0–10 cm und 10–20 cm) kein Unterschied zwischen den beiden Verfahren festgestellt werden, in den obersten 10 cm nahm je-



doch der Humus-Gehalt in den reduziert bearbeiteten Teilparzellen um 10–19 % zu, in der Schicht 10–20 cm hingegen um 6–21 % ab (Abbildung 13a). Je länger auf den Pflug verzichtet wurde, desto deutlicher zeigte sich eine Humus-Anreicherung in der obersten Bodenschicht. Mit dem Pflug werden hingegen pflanzliche Rückstände (Stoppeln, Wurzelrückstände), Hofdünger und der Boden homogenisiert und gleichmässig über die Pflugtiefe verteilt.

### **Mehr Bakterien, Pilze und Co in 0–10 cm**

Die mikrobielle Biomasse ist der biologisch aktive Teil der organischen Substanz. Sie umfasst alle Bakterien, Pilze, Algen und Einzeller im Boden. Die mikrobielle Biomasse reagiert empfindlich auf das Nahrungsangebot (Ernterückstände, organische Düngung), auf chemische (pH, Schadstoffe) und physikalische (Verdichtung) Veränderungen. Die Resultate der mikrobiellen Biomasse (Kohlenstoff  $C_{mik}$ ) zeigen eine noch deutlichere Schichtung als die organische Substanz: In den obersten 10 cm der reduziert bearbeiteten Teilflächen wurden 39–59 % mehr Mikroorganismen festgestellt als in der Schicht 10–20 cm; beim Pflugverfahren zeigten die Tiefenstufen nahezu identische Werte. Gegenüber dem Pflug war die mikrobielle Biomasse in der oberen Schicht der reduziert bearbeiteten Böden um 21–26 % erhöht, in der tieferen dagegen um 13–17 % vermindert (Abbildung 13b).

### **Nicht nur mehr, auch aktivere Mikroorganismen**

Neben der Menge ist insbesondere die Aktivität der Mikroorganismen ausschlaggebend für die Pflanzenernährung. Mit der Bodenatmung werden der Abbau des Kohlenstoffs und die damit verbundene Produktion von  $CO_2$  als Zeiger für die Mineralisationsaktivität gemessen. Auch bei diesem Parameter wiederholen sich die Effekte, jedoch in noch deutlicherer Form: In der oberen Schicht des Pflugverfahrens war die Atmungsrate um 15 % höher als in der unteren Schicht, bei reduzierter Bearbeitung betrug dieser Unterschied 187 %. Dies erklärt sich mit der

vermehrten mikrobiellen Biomasse und der höheren Menge an organischen Reststoffen. Bei reduzierter Bodenbearbeitung war die Atmung in 0–10 cm Tiefe um 47–71 % höher als im Pflugverfahren, in der unteren, 10–20 cm Schicht dagegen um 33–41 % tiefer (Abbildung 13c).



**Abbildung 14:** Die Spatenprobe erlaubt eine visuelle Bewertung der Bodenfruchtbarkeit. Der Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung führt zu einer humosen, krümeligen und biologisch aktiven obersten Bodenschicht.

### **Schlussfolgerungen**

Alle drei dargestellten Messungen weisen in ihrer Aussage in die gleiche Richtung, die absoluten Zahlen und damit die Empfindlichkeit der Indikatoren sind aber verschieden: Der Humusgehalt charakterisiert die Gesamtmenge an organischer Substanz im Boden, die zur Strukturstabilität beiträgt und damit ein wichtiger Erosions- und Verdichtungsschutz ist. Die mikrobielle Biomasse und Bodenatmung repräsentieren den belebten Teil des Bodens, der die Nährstoffaufbereitung steuert. Mit zunehmendem Verzicht auf tiefe Bodenbearbeitung reichert sich das organische Material in der obersten Bodenschicht in Form von Humus an, wie das auch für eine Naturwiese charakteristisch ist (Abbildung 14).

Die Mikroorganismen finden in der obersten Schicht bei reduzierter Bodenbearbeitung einen gedeckten Tisch und passen sich in ihrer Menge und Aktivität an diese veränderten Bedingungen an. Die Bedeckung der Bodenoberfläche mit Ernterückständen oder Mulch, die Verbesserung der Strukturstabilität durch eine vermehrte Krümelbildung, die Auflösung der Pflugsohle sowie eine erhöhte Aktivität der Bodenmikroorganismen in der wurzelnahen Zone haben zahlreiche positive Auswirkungen: Schutz vor Erosion und Verdichtung, erhöhte Wasserinfiltration und -speicherkapazität sowie eine bessere Nährstoffversorgung der Pflanze. Als allfällige Nachteile sind Ertragseinbussen um durchschnittlich 8 % oder der vermehrte

Unkrautdruck zu erwähnen. In vielen Feldversuchen waren jedoch nicht die Unkräuter der wichtigste Faktor für die geringeren Erträge, sondern vielmehr scheint sich der Boden im Frühjahr infolge der reduzierten Bearbeitung langsamer zu erwärmen, was die Mineralisierung und damit die Nachlieferung von Stickstoff limitieren kann. Inwieweit sich die positiven Auswirkungen – verbesserte Bodenstruktur, aktiveres Bodenleben – einer reduzierten Bodenbearbeitung auf lange Sicht auch zu Gunsten eines gleich hohen oder gar höheren Ertrages auswirken könnten, müsste mit weiteren Untersuchungen abgeklärt werden.

## **BetterGardens: Bodenqualität, Biodiversität und Sozialer Wert von Stadtgärten**

**Robert Home, Matthias Stolze, Simon Tresch, Andreas Fliessbach, Olivia Lewis**

*Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL), Ackerstrasse 113, 5070 Frick*

*robert.home@fibl.org*

**Nicole Bauer, Marco Moretti, Christopher Young, Andrea Zanetti, David Frey**

*Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft (WSL),*

*Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf*

### **Einführung**

Grünflächen in der Stadt sind lebendige Inseln für Mensch und Natur. Sie beeinflussen die Lebensqualität und den Zusammenhalt in den Stadtquartieren und bieten Lebensraum für Tiere und Pflanzen. Mit zunehmender Verstädterung wird dies immer deutlicher. Gärten machen einen beträchtlichen Anteil dieser Flächen aus und geraten im Zuge der baulichen Verdichtung zunehmend unter Druck. Trotz steigender Anerkennung der gesellschaftlichen und ökologischen Bedeutung von städtischen Grünflächen gibt es noch viele Wissenslücken. Ziel des Projekts *BetterGardens* ist es deshalb herauszufinden, welchen Einfluss ökologische und soziale Faktoren auf die Biodiversität und Bodenqualität ausüben und welche Bedeutung die Gärten selber für

Natur und Stadtbewohnerinnen haben. Dieses Wissen ist wichtig, um die positiven Auswirkungen von städtischen Grünflächen zu kennen und Argumente für deren Schutz zu stärken, denn die Verdichtung steht in vielen Städten auf der Agenda.

*BetterGardens* untersucht von 2015 bis Ende 2017 in Zürich, Bern und Lausanne in Privat-, Gemeinschafts- und Familiengärten viele Formen des Gärtnerns. Da die Untersuchung des Bodens und der Biodiversität sehr aufwändig ist, wird dieser Teil der Studie nur in der Stadt Zürich durchgeführt. Die Studie wird vom Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL unter der Projektleitung von Matthias Stolze und Robert Home und in Zusammenarbeit mit der Eidg. Forschungsanstalt WSL durchgeführt. Das Projekt wird vom Schweizerischen National-

fonds im Rahmen des Sinergia-Programms finanziert. Eine grafische Zusammenfassung des Projekts findet sich in Abbildung 15. Das Hauptziel der Arbeit war eine Bio-stimulation zu bewirken durch die Einbringung von Regenwürmern kombiniert mit Gaben von organischem Material, um die Wiederherstellung eines A-Horizonts zu begünstigen. Die Untersuchung wurde von der Hypothese geleitet, dass Regenwürmer als «Ökosystem-Ingenieure» durch Bioturbation die Entstehung eines A-Horizonts beschleunigen, indem sie organisches Material einbauen, Bodenaggregate bilden und Gänge graben.

Das Projekt besteht aus vier Teilprojekten (TP). In einem TP „Entscheidungsfaktoren für Gärtner“ wird untersucht, welche Faktoren die Motivationen und Einstellungen der Gärtnerinnen beeinflussen (Beteiligte: Ingrid Jahrl (Doktorandin), Robert Home, Heidrun Moschitz und Olivia Lewis). Das zweite TP „Auswirkung auf den Gärtner“ evaluiert den

Effekt von Gärten auf die Lebensqualität von Gärtnerinnen und Stadtbewohnern (Beteiligte: Chris Young, Nicole Bauer). Im dritten TP „Auswirkung auf die Biodiversität“ werden Aspekte der Biodiversität und deren Auswirkungen auf Ökosystemdienstleistungen wie Bestäubung und natürliche Schädlingsbekämpfung erforscht (Beteiligte: David Frey, Marco Moretti, Andrea Zanetta, Matthias Albrecht und Jaboury Ghazoul). Das vierte TP „Auswirkung auf die Bodenqualität“ widmet sich der Untersuchung der Bodenqualität sowie der Interaktion zwischen Bodenorganismen und Ökosystemdienstleistungen (Beteiligte: Simon Tresch, Paul Mäder, Marco Moretti, Andreas Fliessbach und Claire Le Bayon). Die Synthese der Resultate der vier Teilprojekte soll „best-practice“-Strategien für Gartenflächen erarbeiten. Ausserdem soll eine Basis für die Diskussion über die Erhaltung von Stadtgärten geschaffen werden.



Abbildung 15: Projektüberblick

## Sozialwissenschaftliche Projektteile

Im ersten TP „Entscheidungsfaktoren für Gärtner“ wurden 18 qualitative Interviews mit Gartenbenutzerinnen durchgeführt. Dabei kristallisierten sich fünf Gärtner Typen heraus. Die grösste Gruppe stellten dabei die „ökologischen Produzenten“ dar, deren Hauptmotivation der Anbau gesunder Nahrungsmittel ist und welche der Meinung sind, dass Gärtnern eine ökologische Verantwortung haben. Ein erster Vergleich zeigt, dass grosse Unterschiede zwischen den Einstellungen der Gärtnerinnen sowie in der Qualität der Böden und der Pflanzenvielfalt bestehen. Dabei zeigte sich, dass die Gärten der „ökologischen Produzenten“ signifikant mehr Pflanzenarten aufweisen als die restlichen Gärten (Abbildung 16).

An 19 weiteren qualitativen Interviews, die im Rahmen von TP „Auswirkung auf den Gärtner“ in Zürich und Lausanne durchgeführt wurden, lässt sich rekonstruieren, dass Gärten für viele ihrer Benutzerinnen eine wichtige Ressource als Orte für soziale Kontakte und Erholung darstellen. Im Garten werden familiäre Beziehungen gepflegt, der Garten ist oft auch ein Ort, wo Vorstellungen und Praktiken einer idealisierten Familie stattfinden. In den Kleingärten werden auch die eher flüchtigen sozialen Kontakte positiv erlebt und oft als besser eingestuft als die im Wohnumfeld.

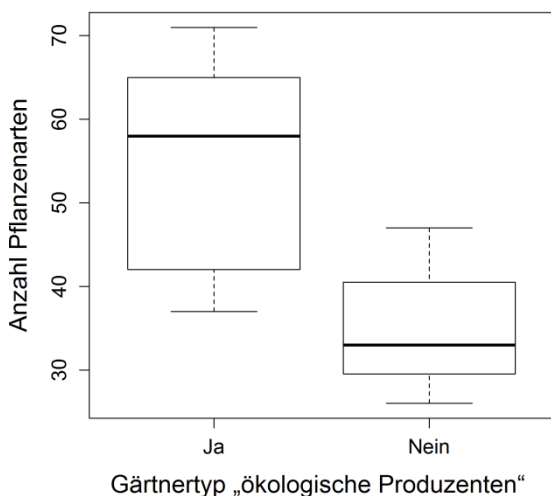


Abbildung 16: Anzahl Pflanzenarten in die Gärten der ökologischen Produzenten und andere Gärtner Typen

## Naturwissenschaftliche Projektteile

### Artenvielfalt

In 24 Gärten wurde ein Experiment zur natürlichen Schädlingsbekämpfung von Schmetterlingsraupen durch Vögel durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass Raupenattrappen in Gehölz-reichen Gärten der dicht bebauten Innenstadt signifikant mehr Schnabelspuren aufwiesen als in vergleichbaren Gärten in grünen Quartieren und in Gehölz-armen Gärten. Ein hoher Kontrast im Ressourcenangebot für Vögel zwischen Garten und Stadtlandschaft scheint also die natürliche Schädlingskontrolle zu fördern. Im Rahmen der Biodiversitäts-Erhebung sind bisher sechs Insektenarten zum ersten Mal in der Schweiz nachgewiesen worden (REFS). Dazu gehören die Zwergzikaden *Edwardsiana sociabilis* und *Laburrus pallax*. Bei letzteren gab es Anzeichen für einen Wechsel von einer seltenen Wirtspflanze auf eine häufige Gartenpflanze derselben botanischen Gattung. Zu den weiteren neuen Arten gehören der aus Neuseeland stammende aber nicht invasive Rüsselkäfer *Euphryum confine*, die amerikanische, auf Rhododendron-Schädlinge spezialisierte Raubwanze *Tupiocoris rhododendri* und die europäische Wanze *Chlamydatus saltitans*, welche zu ausserordentlich weiten Sprüngen fähig ist. Schliesslich wurde die sehr seltene, in Deutschland auf der Roten Liste stehende Grabwespe *Psenulus fulvicornis* zum ersten Mal nachgewiesen.

### Bodenqualität

Alle 84 Untersuchungsgärten wurden auf ihre chemischen, biologischen und physikalischen Bodeneigenschaften untersucht. Nährstoffe wie P, K, Mg aber auch physikalische Eigenschaften wie Lagerungsdichte, Tongehalt und Aggregatstabilität wurden erfasst und tragen zu einer Abbildung der Bodenqualität von Gartenböden bei. In einem grossen Abbauexperiment wurde mit Hilfe einer neuen wissenschaftlichen Methode die Abbauleistung der Bodenmikroorganismen untersucht. Erste Resultate zeigen, dass unterschiedliche Abbauleistun-

gen auch mit der Bewirtschaftungsweise der Gärten zusammenhängen. Bei der Methode werden Teebeutel von zwei unterschiedlichen Sorten verwendet. Für die Bodenmikroorganismen ist der Grüntee ein schnell abbaubares organisches Material und Rooibostee eher schwer abbaubar. Gerade beim leicht abbaubaren Grüntee konnten wir signifikante Unterschiede zwischen den intensiv und den weniger intensiv bewirtschafteten Bereichen in einem Garten feststellen. Nicht nur die Abbaurate war unterschiedlich, sondern auch die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft der Gartenböden, welche für eine gute Bodenqualität essentiell sind. Dies weist darauf hin, dass die Art und Weise, wie man einen Garten pflegt und bewirtschaftet, auch starke Einflüsse auf die Qualität des Bodens und dessen Vielfalt haben kann. Im Moment wird untersucht, welche Massnahmen, wie zum Beispiel der Ein-

satz von Kompost Einfluss auf die Bodenqualität haben.

### **Ausblick**

Das Projekt läuft noch bis Ende 2017, wobei die grossen Datenmengen im Moment analysiert werden und im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojekts zu weiteren spannenden Ergebnissen führen werden. Einige Publikationen sind bereits in Fachzeitschriften erschienen z.B. Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft (2015 & 2016). Weitere Veröffentlichungen und Vorträge sind geplant. Zusätzliche Informationen und eine Publikationsliste sind schon jetzt auf der Projekthomepage [www.bettergardens.ch](http://www.bettergardens.ch) oder auf Facebook <https://www.facebook.com/bettergardens.ch/> zu finden.