

# VBBio-Bulletin-BioSA Nr. 21, 2024

## Die Plastisphäre des Anthropozäns



## Inhalt

|  |          |
|--|----------|
| <b>1. Editorial .....</b>  | <b>2</b> |
| <b>2. Ausgewählte Projekte der VBBio</b>   |          |
| 2.1 Herleitung von Referenzwertgleichungen zur Beurteilung von mikrobiologischen Messwerten auf Graslandstandorten ..... | 3        |
| 2.2 Die Rohdaten zur Bodengebundenheit von Rote Liste Arten sind publiziert und abrufbar! .....                          | 7        |
| <b>3. Forum Bodenbiologie in der Praxis</b>  |          |
| 3.1 Progrès sol. Innovationspol für Bodenfruchtbarkeit: Selbstdiagnose und Beratung .....                                | 8        |
| 3.2 Mikroplastik entlang Solothurner Strassen .....  | 15       |

# 1. Editorial

**Gaby von Rohr**

Amt für Umwelt, Abteilung Boden – Bodenschutz, 4509 Solothurn

Die Vielfältigkeit der Bodenlebewesen und ihre zentrale Bedeutung für die natürlichen Kreisläufe haben in den letzten Jahren in der Forschung und in der öffentlichen Wahrnehmung Boden gut gemacht. Diese wachsende Sensibilisierung ist sehr erfreulich. Leider ist der Einbezug der Bodenbiologie bei bodenschützerischen Fragestellungen trotz bestehenden und neuen Methoden noch immer selten. Hier will das VBBio-Bulletin Anstösse geben, indem sowohl neue Arbeiten zu methodischen Themen wie auch Beispiele aus der Praxis vorgestellt werden.

Für die Interpretation von mikrobiellen Parametern steht seit 2009 die VBBio-Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter zur Verfügung. Nun hat die NABO das System der Referenzwerte zur Beurteilung von mikrobiellen Messwerten auf Grünlandstandorte ausgeweitet, dies dank der breiteren Datengrundlagen aus NABO und KABOs. Diese neue Beurteilungsgrundlage wird demnächst publiziert, und im Bulletin vorgestellt. Ebenfalls begonnen wurde mit einer kompletten Überarbeitung der fast 15-jährigen VBBio-Arbeitshilfe, basierend auf der grossen Zahl neuer Messergebnisse seit 2009. Diese breitere Datenbasis ermöglicht es, die bestehenden Referenz- und Vergleichswerte zu präzisieren. Zudem sollen die besagten Referenzwerte für Grünlandstandorte sowie neue Methoden ergänzt werden. Diese Aktualisierung der VBBio-Arbeitshilfe ist sehr erfreulich, da sie die einzige Beurteilungsgrundlage für bodenbiologische Untersuchungen im Boden-Monitoring und im Vollzug darstellt.

Das Bulletin stellt weiter zwei Projekte vor, die mit unterschiedlichen Ansätzen bodenbiologische Untersuchungen in Praxisfragen einbinden.

Im anwenderorientierten Projekt Progrès Sol haben sich im Kanton Waadt während fünf Jahren 42 Landwirte mit der Bodenfruchtbarkeit auseinandergesetzt. Mit einem partizipativen Ansatz wurden neben pflanzenbaulichen Massnahmen einfach anwendbare Feldmethoden getestet, mit denen die Landwirte fortlaufend die Fruchtbarkeit ihrer Böden und den Erfolg ihrer pflanzenbaulichen Massnahmen beurteilen können. Der Bericht gibt Auskunft darüber, welche Feldmethoden durch die Landwirte als praktikabel und hilfreich beurteilt wurden. Beim zweiten Praxisprojekt werden Wissensgrundlagen zu Mikroplastik erarbeitet. Obwohl klar ist, dass Mikroplastik nicht nur in Gewässern, sondern in deutlich grösseren Mengen in den Böden landet, ist noch sehr wenig bekannt über die Mengen und über die Auswirkungen von Mikroplastik auf die Bodenfruchtbarkeit. Im vorgestellten Projekt des FiBL wurden u.a. an 15 Standorten entlang von Kantonsstrassen im Kanton Solothurn die Mikroplastik-Gehalte in den Böden bestimmt und parallel dazu in Topfversuchen die Auswirkung von Mikroplastik auf die Bodenbiologie und das Pflanzenwachstum untersucht. Erste Ergebnisse werden nun im VBBio-Bulletin vorgestellt. Mit diesem Bulletin verabschiedet sich Andreas Fliessbach aus der VBBio. Während Jahren hat er aktiv in der Arbeitsgruppe und in vielen Projekten mitgearbeitet. Dazu hat er während den letzten 12 Jahren das Sekretariat der VBBio geführt und die Bulletins verantwortet. Wir danken ihm herzlich für seinen grossen Einsatz in unserer Arbeitsgruppe und für die Bodenbiologie.

## 2. Ausgewählte Projekte der VBBio

### 2.1 Herleitung von Referenzwertgleichungen zur Beurteilung von mikrobiologischen Messwerten auf Graslandstandorten

**Anna-Sofia Hug, Janine Moll-Mielewczik**

Agroscope, Nationale Bodenbeobachtung NABO, 8046 Zürich Reckenholz

#### 1 Einleitung und Hintergrund

Bodenorganismen sind für die Bodenfruchtbarkeit und viele Ökosystemleistungen von zentraler Bedeutung. Durch die Zersetzung und den Abbau von organischem Material produzieren sie pflanzenverfügbare Nährstoffe, stabilisieren die Bodenstruktur oder bearbeiten die oberen Bodenschichten und sorgen so für aerobe Verhältnisse im Boden. Sie können aber auch Schadorganismen fressen und Schadstoffe abbauen. Informationen über den Zustand dieser Organismen sind deshalb essentiell. Auch in der Schweiz sind sich Bund und Kantone einig, dass bodenbiologische Messgrößen wann immer möglich im Rahmen eines Monitorings erfasst werden sollten (vgl. auch Gubler et al., 2020). Für die Bodenbeobachtung wie auch für den Vollzug im Bodenschutz ist jedoch nicht nur das Messen der Bodenbiologie, sondern auch die Beurteilung der gemessene Werte von Bedeutung. Eine Beurteilung ist nicht nur entscheidend für die Wissenschaft und den Vollzug, sondern auch für die Kommunikation mit umweltpolitischen Entscheidungsträgern, Bewirtschaftenden und Laien.

Für Ackerstandorte steht zur Beurteilung der mikrobiellen Biomasse (gemessen mit der Fumigations-Extraktionsmethode *B-BM-FE*, FAL, 1998) und Basalatmung *B-BA-IS* (FAL, 1998) bereits ein Instrument zur Verfügung: In Abhängigkeit von Standorteigenschaften können Referenzwertgleichungen hergeleitet, zu erwartende standorttypische Werte berechnet und damit gemessene Werte beurteilt werden (Oberholzer et al., 1999; Oberholzer und Scheid, 2007;

VBB/BSA, 2009). Mikrobielle Messwerte auf Graslandstandorten (mikrobielle Biomasse gemessen mit der Fumigations-Extraktionsmethode und Basalatmung) konnten bis anhin nicht beurteilt werden. Im Rahmen der hier vorgelegten Studie soll diese Lücke geschlossen werden. Um die gemeinsame Auswertung von Daten aus Messnetzen mit unterschiedlichen Beprobungstiefen mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren zu ermöglichen wurde zudem geprüft, ob Messwerte aus einer Beprobungstiefe von 0-10 cm auf Werte aus einer Beprobungstiefe von 0-20 cm umgerechnet werden können.

#### 2. Methoden

##### 2.1 Referenzwertgleichungen

Mit Daten von Ackerstandorten aus verschiedenen Messnetzen (NABO, KABO, Agroscope, Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL) wurde zunächst mit dem Statistikprogramm R eine Referenzwertgleichung für Ackerstandorte sowohl für die Basalatmung als auch für die mikrobielle Biomasse hergeleitet und diese mit den bestehenden Gleichungen von Oberholzer et al. (1999) und VBB/BSA (2009) verglichen. Damit konnte die in dieser Studie angewandte Methodik resp. statistische Umsetzung zur Herleitung von Referenzwertgleichungen geprüft werden.

Die anhand der neu hergeleiteten Referenzwertgleichungen für Ackerstandorte berechneten Werte für die mikrobielle Biomasse und Basalatmung stimmen mit einer Genauigkeit von  $R^2 = 0.68$  resp. 0.57 mit den Messwerten überein. (Dies im Vergleich zum bestehenden Modell mit einem  $R^2$  von 0.67 resp. 0.57). In dieser Studie wurden

nach derselben statistischen Methode nun auch Referenzwertgleichungen für Graslandstandorte hergeleitet.

## 2.2 Datensätze

Für folgende Datensätze wurde eine Referenzwertgleichung erstellt (n=Anzahl Standorte):

- Acker 0-20 cm (n=111) (zur Validierung der angewendeten statistischen Methode)
- Grasland 0-20 cm (n=62)
- Grasland 0-10 cm (n=33),

## 2.3 Unterschiedliche Beprobungstiefen

Je nach Bodenbeobachtungsprogramm werden Graslandstandorte bis in 10 cm oder bis in 20 cm Tiefe beprobt. Damit beziehen sich die Messwerte auf unterschiedliche

Bodenhorizonte resp. Volumina, was eine gemeinsame Auswertung solcher Daten erschwert. Im KABO Bern werden beide Tiefen gleichzeitig beprobt. Mit diesem Datensatz (n=18) wurde geprüft, ob die Werte aus 0-10 cm in die von 0-20 cm umgerechnet werden können.

## 3. Resultate

### 3.1 Mikrobielle Biomasse

Für die mikrobielle Biomasse auf Graslandstandorten aus einer Beprobungstiefe von 0-20 cm konnte die Gleichung (1) hergeleitet werden. Die Gleichung (1) wurde anhand eines Subsets von 50 Standorten hergeleitet. Mit der Gleichung (1) berechnete Werte korrelieren mit einem  $R^2$  von 0.86 mit gemessenen Werten (Abbildung 1).

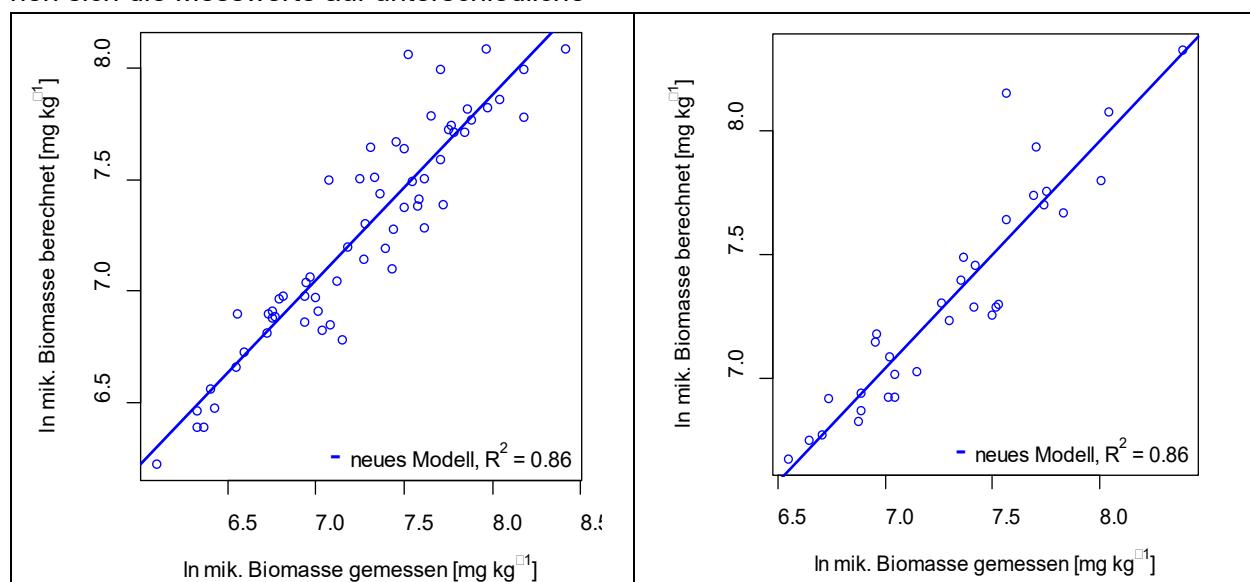


Abbildung 1: Berechnete gegenüber gemessenen Werten für mikrobielle Biomasse (logarithmiert) basierend auf dem Datensatz Grasland 0-20 cm (n = 62). Blau: lineare Beziehung der gemessenen und berechneten Werte ( $R^2 = 0.86$ ).

**Gleichung (1): Grasland, 0-20 cm Bodentiefe:**  
**Mikrobielle Biomasse FE (mg C<sub>mik</sub> kg<sup>-1</sup> TS)**  
 $\ln(\text{BM-FE}) = 1.0460 * \ln(\text{C}_{\text{org}}) + 0.0188 * \text{pH} + 0.65741 * \ln(\text{Ton}) + 0.5879 * \ln(\text{Sand}) + 1.7448$

Abkürzungen: C<sub>org</sub>: organischer Bodenkohlenstoff [%], pH: pH-Wert (CaCl<sub>2</sub>), Ton: Tongehalt [%], Sand: Sandgehalt [%], ln: natürlicher Logarithmus, TS: Trockensubstanz

Für die mikrobielle Biomasse auf Graslandstandorten aus einer Beprobungstiefe von 0-10 cm konnte die Gleichung (2) hergeleitet werden. Die Gleichung (2) wurde wieder-

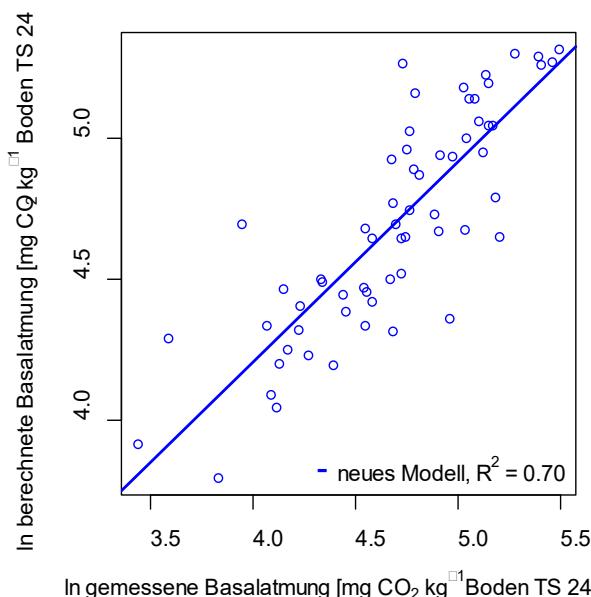
Abbildung 2: Berechnete Werte gegenüber den gemessenen Werten der mikrobiellen Biomasse (logarithmiert) des Datensatz Grasland 0-10 cm (n = 33). Blau: lineare Beziehung der gemessenen und berechneten Werte ( $R^2 = 0.86$ ).

**Gleichung (2): Grasland, 0-10 cm Bodentiefe:**  
**Mikrobielle Biomasse FE (mg C<sub>mik</sub> kg<sup>-1</sup> TS)**  
 $\ln(\text{BM}) = 0.7495 * \ln(\text{C}_{\text{org}}) + 0.0133 * \text{pH} + 0.5646 * \ln(\text{Ton}) + 0.0252 * \ln(\text{Sand}) + 4.5245$

rum anhand eines Subsets von 25 Standorten hergeleitet. Mit der Gleichung (2) berechnete mikrobielle Biomassewerte korrelieren mit einem  $R^2$  von 0.86 mit gemessenen Werten (Abbildung 2).

### 3.2 Basalatmung

Für die Basalatmung auf Graslandstandorten aus einer Beprobungstiefe von 0-20 cm konnte Gleichung (3) hergeleitet werden, die anhand eines Subsets von 50 Standorten berechnet wurde. Mit der Gleichung (3) berechnete Basalatmungswerte korrelieren mit einem  $R^2$  von 0.70 mit gemessenen Werten (Abbildung 3).

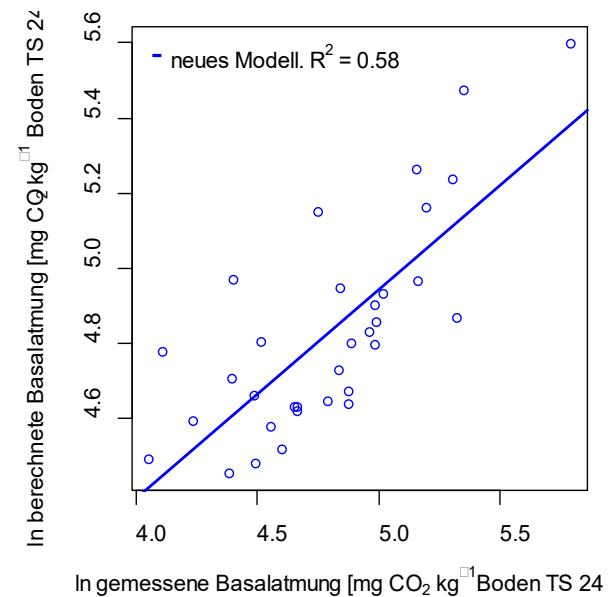


**Abbildung 3: Berechnete gegenüber gemessenen Werten für Basalatmung (logarithmiert) basierend auf dem Datensatz Grasland 0-20 cm (n = 62). Blau: lineare Beziehung der gemessenen und berechneten Werte ( $R^2 = 0.70$ ).**

**Gleichung (3): Grasland, 0-20 cm Bodentiefe: Basalatmung (mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> TS 24 h<sup>-1</sup>)**

$$\ln(\text{BA}) = 0.9176 * \ln(\text{Corg}) + 0.1172 * \text{pH} + 0.0329 * \ln(\text{Ton}) + 0.2989 * \ln(\text{Sand}) + 1.7480$$

Für die Basalatmung auf Graslandstandorten aus einer Beprobungstiefe von 0-10 cm konnte die Gleichung (4) hergeleitet werden, die anhand eines Subsets von 25 Standorten berechnet wurde. Mit der Gleichung (4) berechnete Basalatmungswerte korrelieren mit einem  $R^2$  von 0.58 mit gemessenen Werten (Abbildung 4).



**Abbildung 4: Berechnete und gemessene Basalatmungswerte (logarithmiert) des Datenset «Grasland 0-10 cm» (n = 33). Blau: lineare Beziehung der gemessenen und berechneten Werte ( $R^2 = 0.58$ ).**

**Gleichung (4): Grasland, 0-10 cm Bodentiefe: Basalatmung (mg CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> TS 24 h<sup>-1</sup>)**

$$\ln(\text{BA}) = 0.5794 * \ln(\text{Corg}) + 0.1421 * \text{pH} - 0.3540 * \ln(\text{Ton}) - 0.1655 * \ln(\text{Sand}) + 4.9952$$

### 3.3 Umrechnungsfaktoren für Werte aus unterschiedlichen Beprobungstiefen

Im Rahmen dieser Studie wurde zudem geprüft, ob Werte für die Beprobungstiefe 0-20 cm aus Messwerten aus der Beprobungstiefe 0-10 cm berechnet werden können. Die hohen Korrelationen der Basalatmung, der mikrobiellen Biomasse, des C<sub>org</sub> und des pH zwischen den beiden Beprobungstiefen ermöglichen die Herleitung von Um-

rechnungsfaktoren (Tabelle 1). Damit können Daten aus unterschiedlichen Messnetzen mit unterschiedlichen Beprobungstiefen umgerechnet, harmonisiert und gemeinsam ausgewertet werden. Dies vergrößert einerseits die Datenbasis. Andererseits erlaubt dies die Fortsetzung einer Zeitreihe, auch wenn die Beprobungstiefe geändert würde. Die Körnungswerte aus beiden Tiefen zeigen jedoch eine schwächere Korrelation, weshalb hierfür keine Umrechnungsfaktoren abgeleitet wurden (Tabelle 1).

**Tabelle 1: Umrechnungsfaktoren von 0-10 cm auf 0-20 cm Beprobungstiefe für Grasland (n=18).**

| Messparameter  | Rho, p (10 cm vs.20) | Umrechnung 10 cm auf 20 cm Tiefe                         |
|--|----------------------|--|
| Basalatmung [mg CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> Boden TS 24 h <sup>-1</sup> ] | 0.82, p<0.001        | BA(20cm) = 0.64 * BA(10cm)                               |
| Mikrobielle Biomasse (FE-C) [mg kg <sup>-1</sup> ]                             | 0.93, p<0.001        | BM(20cm) = 0.73 * BM(10cm)                               |
| C <sub>org</sub> FAL [Gew. %]  | 0.93, p<0.001        | C <sub>org</sub> (20cm) = 0.80 * C <sub>org</sub> (10cm) |
| pH (CaCl <sub>2</sub> )  | 0.99, p<0.001        | pH(20cm) = 0.99 * pH(10cm)                               |
| Ton  | 0.46, p<0.06         |  |
| Sand   | 0.84, p<0.001        |  |

#### 4. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorliegende Studie liefert erste Referenzwertgleichungen zur Beurteilung von mikrobiellen Biomasse- und Basalatmungswerten für Graslandstandorte im Schweizer Mittelland. Eine Überprüfung der Anzahl notwendiger Messwerte zur Herleitung von Referenzwertgleichungen ergab, dass die für diese Studie zur Verfügung stehende Datenmenge für Grasland sehr gering resp. nicht ausreichend ist (hier nicht gezeigt), insbesondere für Grasland 0-10 cm mit nur 33 Standorten. Die Arbeiten sollten damit als noch nicht abgeschlossen betrachtet werden.

In dieser Arbeit zeigte sich auch, dass sich die mikrobielle Biomasse zuverlässiger herleiten lässt, als die Basalatmung. Eine vertiefende Studie über mögliche weitere Inputvariablen (Klima, Kohlenstofffraktionen, Bodenphysik etc.), die die Basalatmung beeinflussen, könnte die Genauigkeit von hergeleiteten standorttypischen Erwartungswerten möglicherweise verbessern, dies insbesondere auf Ackerstandorten. Die Herleitung von nutzungsspezifischen Referenzwertgleichungen, z.B. für Alpstandorte, intensiv genutzte Graslandstandorte im Mittelland oder getreideorientierten Ackerbau, könnte deren Qualität ebenfalls verbessern. Aufgrund der relativ geringen Datenmenge (n = 18), welche für die Herleitung der Umrechnungsfaktoren genutzt wurde, wird empfohlen, zeitgleich Beprobungen von 0-10 cm und von 0-20 cm Bodentiefe auf den gleichen Standorten durchzuführen und zu analysieren. Damit könnte einerseits die Genauigkeit des Umrechnungsfaktors von Messwerten aus unterschiedlichen Tiefen

verbessert werden. Andererseits könnte die damit vergrösserte Datenbasis zur Validierung resp. verbesserten Herleitung von Referenzwertgleichungen, insbesondere für Graslandstandorte 0-10 cm verwendet werden.

Für die Erarbeitung von Referenzwerten und Beurteilungsinstrumenten ist eine genügend grosse Datengrundlage von grosser Bedeutung. Wie schon in der gemeinsamen Auswertung von kantonalen und nationalen Bodenbeobachtungsdaten (Hug et al., 2021) hat sich erneut gezeigt, wie wichtig die einheitliche Verwendung von standardisierten Beprobungs- und Messmethoden ist. Da bodenbiologische Messwerte stark von den angewendeten Methoden abhängen, sollten nur Werte, die mit derselben Methode gemessen wurden, gemeinsam ausgewertet oder interpretiert werden. Mit einer Schweiz- oder gar Europa-weiten Standardisierung der Methoden können die raren bodenbiologischen Daten der Schweiz und auch vom Ausland bestmöglich genutzt werden. Dies würde die Datenbasis zur Herleitung von Interpretationsgrundlagen erheblich vergrössern.

#### Literatur:

- FAL, FAW, RAC (1998). Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten, Band 2, Bodenuntersuchung zur Standortcharakterisierung.
- Gubler, A., Meuli, R., Keller, A. 2020. Bedürfnisse der Kantone und des Bundes rund um ein Monitoring der Ressource Boden. Nationale Bodenbeobachtung, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Verfügbar unter: [www.nabo.ch](http://www.nabo.ch).
- Hug, A.S., Moll, J., Gubler, A., 2021. Monitoring Bodenbiologie. Auswertung bodenmikrobiologischer Daten von kantonalen und nationalen Bodenbeobachtungsstandorten. AgroscopeScience 110, 2021.

- Oberholzer, H.-R., Rek, J., Weisskopf, P., Walther, U. 1999. Evaluation of soil quality by means of microbiological parameters related to the characteristics of individual arable sites. *Agribiological Research* 52 (2), 113–125.
- Oberholzer, H.-R. & Scheid, S. 2007. Bodenmikrobiologische Kennwerte. Erfassung des Zustands landwirtschaftlicher Böden im NABO-Referenzmessnetz anhand biologischer Parameter (NABO-bio). Umwelt-Wissen Nr. 0723. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- VBB/BSA 2009. Arbeitshilfe zur Anwendung und Interpretation bodenbiologischer Parameter. Arbeitsgruppe Vollzug Bodenbiologie VBB/BSA, Frick.

## 2.2 Die Rohdaten zur Bodengebundenheit von Rote Liste Arten sind publiziert und online verfügbar!

**Beat Frey**

*Eidg. Forschungsanstalt WSL, Waldböden und Biogeochemie 8903 Birmensdorf*

**Claudia Maurer**

*Fachstelle Boden Kanton Bern, 3052 Zollikofen*

Die einzigartige Studie von Claudia Maurer und Beat Frey über die Rote Liste Arten, welche eine Phase ihres Lebenszyklus im Boden verbringen ist nun als Rohdatensatz publiziert und auf dem Datenserver Envidat einsehbar.

Frey B., Maurer C., Schneider K. (2023) Informationen zum Boden anhand der Gebundenheit der

Rote-Liste Arten BAFU. Bundesamt für Umwelt BAFU. 26 p.

Frey, B., Maurer, C., Schneider, K. (2023). Information on soil based on the soil dependency of the FOEN red list species. *EnviDat*. <https://www.doi.org/10.16904/envidat.465>

Einsehbar hier:

<https://envidat.ch/#/metadata/soil-dependency-of-red-list-species>

### 3. Forum Bodenbiologie in der Praxis

#### 3.1 Progrès sol. Innovationshub für Bodenfruchtbarkeit: Selbstdiagnose und Beratung

**Raphaël Charles, Marina Wendling**

*Institut de recherche de l'agriculture biologique FiBL ; Av. des Jordils 3, CP 1080 ; 1001 Lausanne*

**Emilie Carrard, Edouard Cholley**

*Proconseil Sàrl, Av. des Jordils 3, 1001 Lausanne*

**François Füllemann**

*Direction générale de l'environnement, Avenue de Valmont 30b, 1014 Lausanne*

##### 1. Einführung

Die Projekte des NFP68 "Schutz der Ressource Boden" haben eine Standortbestimmung zu den prioritären Handlungsfeldern im Bereich des Bodenschutzes ermöglicht: Verdichtung, Erosion, Verlust organischer Substanz, Verlust der Biodiversität und Schadstoffbelastung. Vor der Durchführung von Bodenschutzmaßnahmen sind Diagnoseinstrumente unerlässlich, um die Risiken zu messen und die festgestellten Probleme durch die Festlegung effizienter technischer Lösungen zu bewältigen. Insbesondere gibt es viele Instrumente, die sich auf die Bodenfruchtbarkeit beziehen. Aus Gründen der Eigenverantwortung und des Autonomiegewinns ist der Landwirt am besten in der Lage, eine Auswahl aus diesen Instrumenten zu treffen. Er muss jedoch auf technischer und wissenschaftlicher Ebene begleitet werden.

Um die Fähigkeit zu verbessern, die Bodenfruchtbarkeit zu diagnostizieren und geeignete Maßnahmen zu ihrem Schutz zu ergreifen, lohnt es sich, einen schrittweisen Prozess in Betracht zu ziehen, um zunächst die tatsächlichen Probleme und den zukünftigen Bedarf zu ermitteln, dann die richtigen Werkzeuge zu identifizieren, sie anzupassen und schließlich zugänglich zu machen, wobei die wissenschaftliche und technische Relevanz für die angestrebten Ziele gewährleistet sein muss.

##### 2. Ziele des Projekts

Im Rahmen des Projekts Progrès sol wurde der Zustand des Bodens in einem Netz von Parzellen im Kanton Waadt analysiert und ein Verfahren entwickelt, um die Prioritäten für Maßnahmen im Bereich der Bodenfruchtbarkeit festzulegen und die Diagnose- und Beratungsinstrumente zu identifizieren, die für eine größere Selbstständigkeit erforderlich sind. Das Projekt umfasste drei Ziele:

- Aufbau eines Referenznetzwerks zur Überwachung des Zustands der Bodenfruchtbarkeit.
- Entwicklung eines Instrumentariums zur Selbstdiagnose des Bodens für Landwirte.
- Ausbau der Beratung zum Thema Bodenfruchtbarkeit.

##### 3. Vorgehensweise

Das vom Kanton Waadt finanzierte lief von 2017 bis 2022 im Kanton Waadt und umfasste zwei Komponenten: i) Ein Thema, das sich mit der Bodenqualität befasste, wurde jedes Jahr in Arbeitskreisen bearbeitet, um schließlich über eine Toolbox zur Selbstdiagnose zu verfügen. ii) Die Beobachtung von Parzellen über mehrere Jahre (5 Jahre) ermöglichte die Entwicklung der Praktiken und eine Bewertung der Bodenfruchtbarkeit, so dass ein Referenznetz zur Verfügung stand.

Die Projektaktivitäten basierten auf einem Netzwerk von Betrieben, die hauptsächlich

Ackerbau betrieben. Die Landwirte des Netzwerks entschieden sich jedes Jahr in einer Vollversammlung für ein gemeinsames Thema, die Anforderungen an die Diagnose der Bodenqualität und ein Programm für die Aktivitäten. Die spezifischen Aktivitäten wurden zunächst in regionalen, später in thematischen Arbeitskreisen organisiert.

FiBL und Pro Conseil begleiteten die Landwirte während des gesamten Prozesses. Sie waren für die Bereitstellung von Wissen und anwendbaren Werkzeugen, Material und Methoden für die jährlichen Studien sowie für die Zusammenstellung und Synthese der jährlichen und mehrjährigen Ergebnisse verantwortlich.

Für die drei Ziele des Projekts wurden spezifische Ansätze gewählt.

### **3.1. Ein Referenznetz für die Bodenqualität**

- Aufbau eines Netzwerks von etwa 40 Landwirten, die an der Bewertung von Diagnoseinstrumenten beteiligt sind.
- Aufbau eines Netzwerks von Bezugspersonen, die bei der Umsetzung von Strategien zur Erhaltung und Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit eine treibende Kraft sind.
- Innovative Ansätze zusammenführen und ihre Entwicklung und Verbreitung unterstützen.
- Aufbau eines langfristigen Netzwerks von Parzellen, um ein Monitoring des Bodenzustands zu etablieren.
- Öffnung des Arbeitskreises für interessierte Personen und Institutionen aus der Praxis, Beratung, Forschung, Lehre und Politik.

### **3.2. Entwicklung einer Toolbox zur Untersuchung der Bodenfruchtbarkeit**

- Handlungsprioritäten ermitteln mithilfe von Arbeitskreisen und auf der Grundlage neuer technischer und wissenschaftlicher Erkenntnisse.
- Werkzeuge identifizieren, die den Zielen der Diagnose und des selbstständigen Arbeitens entsprechen. Vergleich

der Werkzeuge auf der Grundlage bereits verfügbarer Informationen. Anpassungen und Verbesserungen vornehmen, um sie den Landwirten zur Verfügung zu stellen.

- Schulung der Nutzer der Instrumente. Vorbereitung und Unterstützung des Einsatzes der Werkzeuge in den Referenzparzellen. Die zur Bewertung der Werkzeuge notwendigen Erhebungen begleiten.
- Daten aus den Feldern sammeln, aufbereiten und interpretieren. Vergleichen Sie die vorgeschlagenen Werkzeuge mit der Praxis. Die Ergebnisse den Teilnehmern der Netzwerke und der wissenschaftlichen Kritik vorlegen.

### **3.3. Ausbau der Beratung im Bereich Bodenfruchtbarkeit**

- Begleitung der Landwirte und Entwicklung der Beratung im Bereich der Bodenfruchtbarkeit.
- Zusammenstellung und Erweiterung der Methoden zur Selbstdiagnose unter Einbeziehung der verschiedenen getesteten Methoden zu einem Werkzeugkasten, der es ermöglicht, Probleme auf der Parzelle effizient zu erkennen und die Verbesserungen zu verfolgen (Diagnose, Entscheidungshilfe, Monitoring).
- Einen Katalog von technischen Maßnahmen und Steuerungsinstrumenten vorschlagen, die eine Verbesserung ermöglichen.
- Identifizierung von Unterstützungsressourcen, die für Landwirte verfügbar sind und den verschiedenen Arten von Bedürfnissen entsprechen (Labor, Berater, Spezialisten).

## **4. Resultate**

Die Ergebnisse umfassen die Animation und den Verlauf des Projekts während der sechs Jahre, die Ergebnisse der Bodenanalysen und deren Interpretation, die verschiedenen zur Verfügung gestellten Werkzeuge sowie die Mittel, die zur Verbreitung der Ergebnisse eingesetzt wurden.

#### **4.1. Animation und Ablauf des Projekts**

Im ersten Jahr des Projekts wurde eine erste Charakterisierung des Zustands der 210 Parzellen der 42 Teilnehmer des Netzwerks anhand von Bodenanalysen vorgenommen, die aus den GRUD-Grundsätzen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz (Sinaj und Richner, 2017) oder aus prospektiven oder sich in Entwicklung befindlichen Ansätzen ausgewählt wurden. Das Analysenset umfasste chemische Eigenschaften (pH, Ca, N, lösliche und Reserve-PKMg, KAK, Sättigungsgrad, Cu, Zn), Korngrösse und organische Substanz (einschliesslich labiler und stabiler Fraktionen), biologische Parameter (mikrobielle Biomasse ATP und CFE, Respiration, Mineralisierung) sowie eine Humusbilanz der Betriebe.

Im zweiten Jahr des Projekts wurden der Zustand und die Funktion des Bodens mithilfe verschiedener Methoden wie dem Spatentest und visuellen Bewertungen des Untergrunds (Bodenprofil, Mini-Stirnprofil) vor Ort beobachtet. Es wurden spezielle Praxisleitfäden entwickelt, um die Landwirte bei der Durchführung dieser Bewertungen zu unterstützen.

Das dritte Jahr konzentrierte sich auf das Thema der organischen Bodenverbesserungsmittel, die von den Landwirten verwendet werden. Es wurden eine Analysekampagne durchgeführt, um mehr über die verfügbaren Düngemittel zu erfahren, sowie drei Workshops zu diesem breiten Thema organisiert.

Ab dem vierten Jahr und bis zum Ende des Projekts wurden die Arbeiten in Arbeitskreisen durchgeführt, die sich mit der Suche nach kollektiven oder individuellen Lösungen zur Verbesserung der Bodenqualität in sechs als vorrangig eingestuften Themenbereichen befassten: controlled traffic farming, Verdichtung, Düngung, Kohlenstoffsequestrierung (2 Kreise), Bodenstörungen, Begrünung. Die Arbeiten zur Entwicklung von Diagnoseinstrumenten und zur Entwick-

lung technisch-wissenschaftlicher Referenzen wurden im Rahmen von Feldbesuchen und mit Hilfe von Experten fortgesetzt. Die Kommunikation über die Projektinhalte konzentrierte sich zunächst auf die Bereitstellung von Projektdokumenten auf der Website [www.progres-sol.ch](http://www.progres-sol.ch) sowie auf die aktive Teilnahme an Fachtagungen zum Thema Ackerbau. Im letzten Jahr wurde die Kommunikation mit einer Reihe von fünf Konferenzen, Podcasts und einer Abschlussveranstaltung verstärkt.

#### **4.2. Boden-, Pflanzen- und Bodenverbesserungsanalysen**

Die Ergebnisse der verschiedenen Analysen (Boden, Pflanzen, Bodenverbesserer) und die Anwendung von Diagnoseinstrumenten (Bodenprofile, Humusbilanz, Bodenstörungen) lieferten ein umfassendes Bild der Situation.

Sie ermöglichen es auch, ihre Interpretationen mit den Teilnehmern zu diskutieren, die Grundlagen einiger komplexer Analysen wie der KAK zu wiederholen oder neue Methoden wie die Analyse des Bodenlebens, die Charakterisierung der Fraktionen der organischen Substanz oder die Analyse von Pflanzensaft zu erforschen. Die Interpretation der Faktoren, die am meisten mit den Praktiken in Verbindung stehen, ermöglichte es, die Qualität der Parzellen des Netzwerks zu charakterisieren und die wichtigsten Strategien für das Management der Bodenfruchtbarkeit zu identifizieren.

##### **4.2.1. Gehalt an organischer Bodensubstanz (OBS)**

Der Gehalt an organischer Substanz der 210 Parzellen ist nach den Interpretationsrastern der GRUD insgesamt zufriedenstellend bis gut. Die Interpretation des Verhältnisses von OBS zu Ton (Johannes et al. 2016) führt hingegen zu einer ganz anderen Einschätzung der Situation: Nur ein Viertel der Parzellen erreicht den Zielwert von 17. Der OBS-Gehalt muss also normalerweise verbessert werden, um die Anfälligkeit der Bodenstruktur zu begrenzen. Der Zusammenhang zwischen dem Verhältnis von

OBS zu Ton und der Qualität der Bodenstruktur, die durch den visuellen Indikator VESS ermittelt wird, konnte auch hier überprüft werden.

#### 4.2.2. Nährstoffe

Die Böden des Netzwerks sind laut GRUD gut mit Nährstoffen versorgt. Eine Interpretation des verfügbaren Phosphors auf der Grundlage einer kritischen Konzentrationschwelle (Hirte et al., 2020) zeigt, dass die Böden ausreichend Phosphor enthalten, um optimale Erträge zu erzielen. Kein Feld erreichte die kritische Konzentration für Weizen, und nur vier Felder erreichten den Schwellenwert für Kartoffeln, eine anspruchsvolle Kultur. Diese Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den Ergebnissen verschiedener Schweizer Studien (Fliesch et al. 2001), die davon ausgehen, dass mehr als die Hälfte der Schweizer Böden einen zu geringen P-Gehalt aufweisen.

#### 4.2.3. Humusbilanz

Die Humusbilanzen wiesen Werte zwischen -113 und 2726 kg OBS  $ha^{-1}$  und einen Mittelwert von 852 kg OBS  $ha^{-1}$  auf. Laut Weisskopf (2021) entspricht dies einem kritischen Wert ( $> 800$  kg OBS  $ha^{-1}$ ), bei dem die Gefahr eines Nährstoffverlustes durch Auswaschung mit Belastung des Grundwassers besteht. Im Vergleich dazu sollte die empfohlene Humusbilanz zwischen 200 und 400 kg OBS  $ha^{-1}$  pro Jahr liegen, um die Risiken zu begrenzen und gleichzeitig eine gute Bodenfunktion aufrechtzuerhalten. Weniger als 20% der Landwirte im Netzwerk wiesen eine solche Bilanz auf. Die zahlreichen im Rahmen des Projekts diskutierten Bilanzüberschüsse sind in der Regel das Ergebnis von Korrekturmaßnahmen, nachdem man sich der unzureichenden Gehalte an organischer Substanz bewusst wurde, und zwar bei mangelnder Verfügbarkeit von organischen Bodenverbesserern auf Betriebsebene.

#### 4.2.4. Strategien zum Management der Bodenfruchtbarkeit

Auf der Grundlage der Komponenten der Humusbilanz und der Ergebnisse der Bodenanalysen wurden drei Strategien für das Management der OBS identifiziert. Die erste Strategie besteht darin, dass die Landwirte eine große Anzahl von Gründüngungen und Leguminosen anbauen, aber nur wenige organische Bodenverbesserer einbringen. Die zweite Strategie basiert auf der Konservierung von Pflanzenrückständen (Stroh), beinhaltet aber weniger Gründüngung und Leguminosen. Die dritte Strategie weist einen hohen Anteil an organischen Bodenverbesserern, die Abfuhr von Pflanzenrückständen und einen hohen Anteil an Grünland auf, was auf Viehzucht oder Bioanbau hindeutet. Insgesamt hatten Landwirte, die große Mengen an organischen Bodenverbesserern einbringen, eine bessere Bodenqualität. Beträgt man die einzelnen Parameter, so zeigt sich, dass diese Strategie ein signifikant höheres MO/Ton-Verhältnis, eine signifikant höhere mikrobielle Aktivität und eine signifikant höhere mikrobielle Biomasse aufweist. Dieses Ergebnis unterstreicht die Bedeutung von organischen Bodenverbesserern und Grünland zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit. Die Strategie mit Gründüngung oder Einarbeitung von Pflanzenrückständen zeigt weniger günstige Ergebnisse. Es ist jedoch nicht möglich zu sagen, ob diese Strategien, die als wichtige Hebel erkannt wurden, noch keine Früchte tragen, weil sie erst vor kurzem eingeführt wurden, oder ob sie weniger effektiv sind. Im Gegensatz dazu gab es beim Phosphorgehalt keine Unterschiede zwischen den drei Gruppen, obwohl die Gehalte unabhängig von der Strategie des OBS-Managements hoch waren.

### 4.3. Zur Verfügung gestellte Hilfsmittel

Die getesteten Tools wurden manchmal auf Wunsch der Teilnehmer angepasst. Sie verfügen über eine vollständige Dokumentation für ihre Anwendung, die auf der Website <https://www.progres-sol.ch/> verfügbar ist.

Das Toolset deckt physikalische, chemische und biologische Eigenschaften der Bodenqualität ab.

### Bodenstörungsindex STIR

Das STIR (Soil Tillage Intensity Rating) beschreibt die Störung der Bodenstruktur durch verschiedene Arten von Bodenbearbeitungsmaßnahmen. Er umfasst die Faktoren Arbeitsgeschwindigkeit der Bodenbearbeitungsgeräte, Arbeitstiefe und Anteil der durch Bodenbearbeitung und mechanische Unkrautbekämpfung gestörten Oberfläche. Je höher der Indikator, desto stärker ist der Boden gestört. Dieses Tool zur Bewertung des STIR für eine Kultur, eine Fruchfolge oder einen ganzen Betrieb ist online (<https://www.progres-sol.ch/stir.html>) verfügbar.



**Eine der Stärken des Projekts bestand darin, dass die Landwirte zur Beschreibung ihres Bodens in das Profil hinabsteigen und nicht Pedologen oder Agronomen.**

### Bodenprofil

Die vereinfachte Anleitung zur Beschreibung eines Bodenprofils greift die Methoden auf, die von Bodenspezialisten (Pedologen, Agronomen) praktiziert werden. Es ermöglicht den Landwirten, den Zustand und die Funktion ihres Bodens selbst zu beschreiben. Die Beschreibungsbögen ermöglichen es, die Zusammenhänge zwischen der Bodenbeschaffenheit und den landwirtschaftlichen Aktivitäten zu diagnostizieren. Die Kriterien sind die Wasser- und Luftzirkulation, die biologische Aktivität von Wurzeln und Regenwürmern, die Strukturqualität und die

Anfälligkeit des Bodens gegenüber den Anbaumethoden.

### Visuelle Bewertung der Bodenstruktur (VESS)

Die Spatenprobe ist ein schneller Ansatz zur visuellen Bewertung der strukturellen Qualität des Bodens. Dieses Werkzeug konzentriert sich auf die Porosität und die vertikale Zirkulation von Wasser und Luft sowie auf die Besiedlung des Bodens. Die VESS-Methode (Visual Evaluation of Soil Structure) bewertet die Strukturqualität in 5 Klassen, basierend auf verschiedenen Kriterien: Klumpen, Aggregate, Härte, Porosität, Durchwurzelung. Die Ergebnisse werden mit dem Gehalt an organischer Substanz korreliert, die in ihrem Verhältnis zum Ton ausgedrückt wird.



**Den Spaten durch einen Frontlader zu ersetzen, war eine der Möglichkeiten, die Beurteilung der Bodenstruktur zugänglicher und sympathischer zu machen**

### Miniprofil 3D

Die Methode besteht darin, einen Bodenblock mit einem Front- oder Teleskoplader zu entnehmen. Dieses Werkzeug, das zwischen dem Spatentest und dem Kulturprofil angesiedelt ist, wurde von den Praktikern bevorzugt, da es den Vorteil hat, dass es schnell und wenig mühsam ist und gleichzeitig einen Block von beträchtlicher Größe (70 x 40 cm) entnimmt. Die Beschreibung des Blocks erfolgt wie bei der Spatenprobe oder beim Bodenprofil.

## **Kalkung und Kationenaustauschkapazität KAK**

Die Methoden zur Interpretation der Kationenaustauschkapazität KAK und des Basisästigungsgrades sowie die Bewertung des Kalkbedarfs (pH-Wert,  $\text{CaCO}_3$  des Bodens) werden in einem Dokument zusammengefasst, das Fragen zum Gleichgewicht zwischen den verschiedenen Nährstoffen im Boden beantwortet. Dieses Dokument soll die praktischen Grundkenntnisse (Collaud, 1990) wieder aufgreifen, die in den letzten Versionen der GRUD-Düngprinzipien vergessen wurden.

## **Zählung von Regenwürmern**

Regenwürmer sind wichtige Ingenieure für einen gesunden Boden. Eine einfache Methode zur Messung ihrer Biomasse und Abundanz wurde entwickelt, um ihr Vorkommen unter dem Einfluss landwirtschaftlicher Praktiken zu quantifizieren (Fischer, 2019), mit einer allgemein akzeptierten Interpretationsschwelle von mindestens 120 Individuen/ $\text{m}^2$  für offenen Boden.

## **Biologische Bodenaktivität**

Die Bodenbiologie ist ein wesentlicher Bestandteil der Gesundheit eines Bodens. Es gibt verschiedene Methoden zu ihrer Bewertung, die jedoch hauptsächlich für die Forschung relevant sind. Das Projekt hat das Interesse der Praktiker an dieser Art von Analyse bestätigt. Außerdem wurde der Bedarf an routinemäßigen Laborleistungen erörtert, der noch nicht gedeckt ist.

## **Biomasse und Nährstoffe aus Deckfrüchten**

Pflanzendecken erbringen zahlreiche Dienstleistungen, die in der Regel mit der Menge an produzierter Biomasse zusammenhängen, die mindestens 35 dt TM/ha betragen sollte. Um diesen Richtwert zu messen, haben sich zwei bestehende Methoden (Merci, Büchi et al. 2016) als nützlich erwiesen. Beide bewerten die produzierte Biomasse, entweder durch Probenahme (Merci) oder durch Berechnung (Büchi: Höhe, Bodenbedeckung, Dichteindex).

Sie liefern auch Referenzwerte für die Nährstoffentnahme aus der Biomasse.

## **Bodenverdichtungsrisiko: Terranimo**

Die Bedeutung der Bewertung des Verdichtungsrisikos durch das Terranimo-Tool wurde im Projekt erneut hervorgehoben. Der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens ist einer der wichtigsten Faktoren und kann mithilfe eines Tensiometers gemessen werden. Die Verwendung des Tensiometers wurde im Rahmen des Projekts beschrieben. Ein vereinfachtes Schema zur Offline-Interpretation des Verdichtungsrisikos auf der Grundlage des augenscheinlichen Bodenzustands wurde für die Hauptkategorien von Maschinen erstellt.

## **Bodenanalysen für Betriebe**

Der Zustand der Bodenfruchtbarkeit wird mit Hilfe von chemischen Bodenanalysen beurteilt, die als Grundlage für die Düngungsplanung dienen. Sie müssen regelmäßig erneuert werden, um den Anforderungen des Ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) zu genügen. Ein Merkblatt erläutert die Grundprinzipien der Bodenprobenahme und hilft bei der Interpretation der Ergebnisse.

## **5. Synthese und Ausblick**

Nach Abschluss des Projekts steht den Landwirten eine Toolbox zur selbständigen Bewertung des Bodens zur Verfügung. Der Inhalt dieser Toolbox wurde vorgestellt, aber auch die notwendigen Anpassungen, um sie für die Praxis zugänglicher zu machen. Nun geht es darum, sie weiter zu verbreiten, sie in anderen Projekten einzusetzen und sie auf landwirtschaftlichen Veranstaltungen zu demonstrieren.

Die Methodik der Arbeitskreise bestätigte den Wert partizipativer Ansätze, bei denen die Landwirte weitgehend einbezogen werden. Trotz sehr unterschiedlicher Motivationen und Zielen konnte jeder Teilnehmer an einer persönlichen Problematik arbeiten und durch die gemeinsamen Veranstaltungen von der Arbeit der anderen Gruppen profitieren. Es wurde jedoch deutlich, dass die-

ser methodische Ansatz eine sorgfältige Begleitung verdient, um die Arbeitsdynamik während des gesamten Projekts aufrechtzuhalten. Die Arbeitskreise bieten zwar die Möglichkeit, auf verschiedene Problematiken einzugehen, ersetzen jedoch nicht die individuelle Beratung.

Schließlich wurde im Rahmen des Projekts ein Referenznetzwerk geschaffen, das sich mit der Bodenqualität, bodenschonenden Praktiken und den Menschen, die sich dafür engagieren, befasst. Während jedes Projekt ein Ende hat, müssen die im Rahmen von Progrès sol aufgebauten Netzwerke verlängert werden, um die fruchtbarsten Dynamiken aufrechtzuerhalten und die begonnenen

Arbeiten an den kritischsten Punkten fortzusetzen. Das Projekt zeigte deutlich, dass die Böden unter einem Mangel an organischer Substanz litten und durch landwirtschaftliche Maschinen bedroht waren, zeigte aber auch eine Vielzahl von Lösungsmöglichkeiten.

## Literatur

Alle bibliographischen Hinweise, Projektwerkzeuge und Dokumentationen sind auf der folgenden Website verfügbar [www.progres-sol.ch](http://www.progres-sol.ch).

## 3.2 Mikroplastik entlang Solothurner Strassen

**Dominika Kundel, Andrea Wiget, Andreas Fliessbach**

Forschungsinstitut für Biologischen Landbau (FiBL), 5070 Frick

**Moritz Bigalke**

TU Darmstadt, Institut für angewandte Geowissenschaften, D-64287 Darmstadt

**Adrian Grunder**

Geografisches Institut der Universität Bern, 3012 Bern

**Gaby von Rohr**

Amt für Umwelt, Abteilung Boden – Bodenschutz, 4509 Solothurn

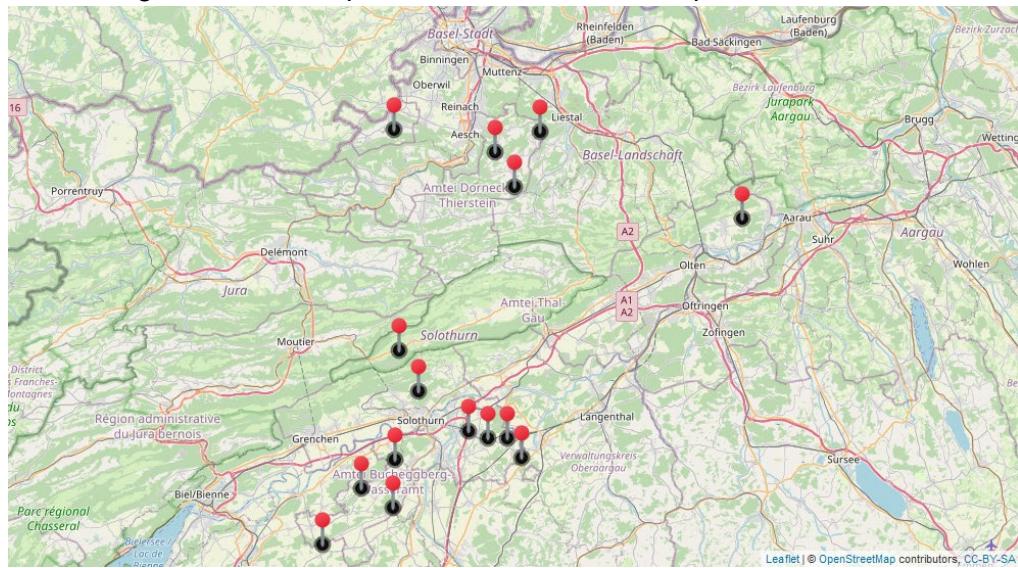
Mikroplastik ist in aller Munde: Die winzigen Kunststoffpartikel mit einem Durchmesser von weniger als 5 Millimetern werden zunehmend als eine bedeutende Ursache der Bodenverschmutzung angesehen. Mikroplastik ist mittlerweile in allen Böden der Schweiz nachweisbar, selbst in Böden abgelegener Naturschutzgebiete (Scheurer und Bigalke, 2018). Neben Quellen wie Kosmetika, Kunststoffabfällen und der Zersetzung grosser Plastikteile stellt der im Strassenverkehr entstehende Reifenabrieb einen der grössten Eintrittspfade für Mikroplastik in die Umwelt dar.

Reifen bestehen aus synthetischen Kunststoffen wie Polybutadien und Styrol-Butadien-Kautschuk. Darüber hinaus enthalten Reifen eine Vielzahl von Schwermetallen

wie Zink, Kupfer, Blei und Cadmium als Zusatzstoffe sowie eine Reihe organischer Verbindungen, darunter Kohlenwasserstoffe Weichmacher und Stabilisatoren. Im Verlauf ihrer Nutzung verschleissen Reifen beim Kontakt mit der Straße und setzen dabei winzige Kunststoffpartikel frei. Faktoren, wie die Art und das Alter des Fahrbahnbelaags, die Fahrgeschwindigkeit, häufiges Bremsen und Beschleunigen sowie der Typ der Reifen und Fahrzeuge, beeinflussen die Menge des beim Fahren entstehenden Reifenabriebs. Schätzungen gehen davon aus, dass jeder Mensch weltweit jährlich zwischen 0,23 und 4,5 kg Reifenabrieb erzeugt (Kole et al., 2017). Wagner et al. (2018) schätzten den jährlichen Reifenabrieb pro Einwohner in Deutschland auf 1,7 kg. In der Schweiz

wurde der jährliche Eintrag von Reifenabrieb auf etwa 8.900 Tonnen geschätzt, was mehr als 60 % der gesamten Mikroplastik-

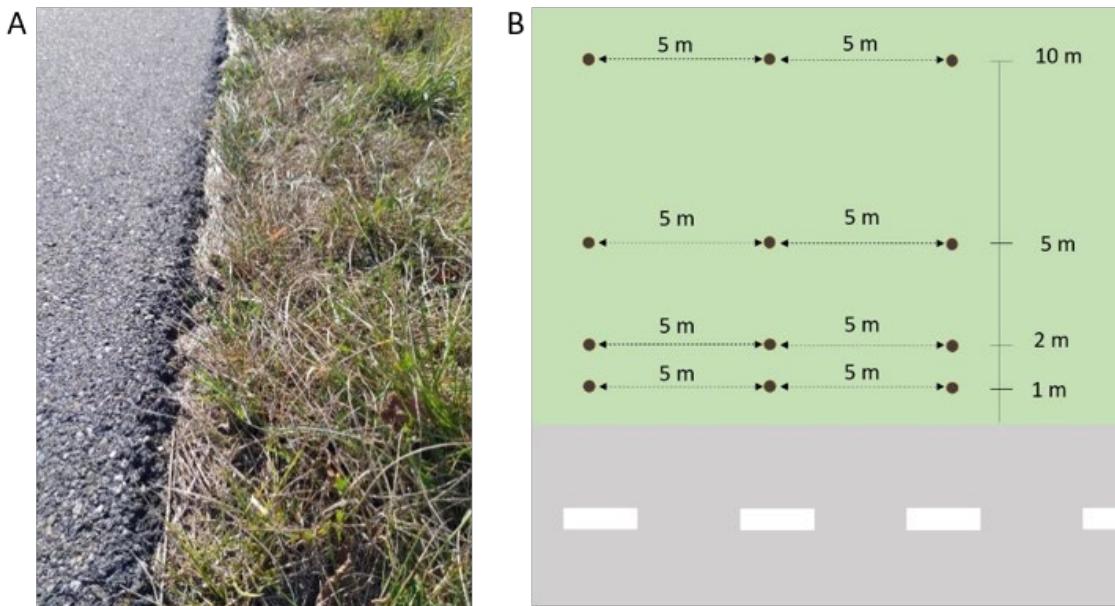
menge entspricht, die in der Schweiz erzeugt wird. Dies entspricht etwa 1 kg Reifenabrieb pro Einwohner im Jahr 2020.



**Abbildung 1: An 15 Standorten im Kanton Solothurn wurden Bodenproben entnommen und auf die Kontamination mit Reifenabrieb untersucht.**

Der im Verkehr generierte Reifenabrieb kann mit dem Wind oder mit den Strassenabwässern in die angrenzenden Böden gelangen, wobei letzteres insbesondere entlang vom Straßen, die nicht an ein geeignetes Abwassersystem angeschlossen sind, zu erheblichen Einträgen führen kann und Böden somit zu einer zentralen Senke für Reifenabrieb werden können. Aktuell gibt es allerdings nur sehr wenige direkte Messungen zur Belastung von Böden durch Reifenabrieb. Dieser Mangel an Daten ist zum Teil auf die begrenzte Verfügbarkeit allgemein zugänglicher und kostengünstiger Extraktions- und Analysemethoden beziehungsweise auf das Fehlen einer allgemein anerkannten Standardmethode zurückzuführen. Dies führt dazu, dass die wissenschaftliche Gemeinschaft in Bezug auf präzise Werte zur Bodenbelastung durch Reifenabrieb noch auf unsicherem Terrain agiert.

Zusätzlich fehlt es auch an Untersuchungen zu den Auswirkungen von Reifenabrieb auf das Pflanzen-Bodensystem und die Nahrungsmittelproduktion in angrenzenden landwirtschaftlichen Anbaugebieten. Eine der wenigen veröffentlichten Studie zeigt, dass die Zugabe von Reifenabrieb mehrere biogeochemische Bodenparameter beeinflusst und sich negativ auf das Pflanzenwachstum auswirken kann (Leifheit et al. 2021). Insbesondere Zink, das aus den Reifenpartikeln freigesetzt wird (Schulz, 1987; Bowman et al., 1994; Kim et al., 2022; Ding et al., 2023), könnte hier eine Rolle spielen. Aber auch andere Chemikalien wie polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe können z.B. die enzymatische Aktivität von Bodenmikroben beeinflussen, was Nährstoffkreisläufe in Ökosystemen stören kann (Liu & Xu et al., 2023).



**Abbildung 2: Übergang der Strasse zum permanenten Grasland an einem der beprobten Standorte (A) und Probenahmeschema. An jedem ausgewählten Standort wurden 4 Proben 1 m, 2 m, 5 m und 10 m entfernt von der Straße genommen. Jede Probe bestand aus 3 Einzelproben, die in Abständen von 5 m gestochen und zu einer Gesamtprobe vereint wurden (B).**

Um eine umfassende wissenschaftliche Risikobewertung durchzuführen, ist es dringend notwendig und entscheidend, die Datenlage zur Bodenkontamination durch Reifenabrieb zu erweitern und die damit verbundenen Auswirkungen auf die Bodenfunktionen zu bewerten. Dies erfordert dringend weitere Forschungsprojekte. Ein solches Forschungsprojekt, das durch Mittel des Bundesamts für Landwirtschaft (BLW) finanziert wird und in Zusammenarbeit zwischen dem Forschungsinstitut für biologischen Landbau, der Uni Bern und der Technischen Universität Darmstadt durchgeführt wird, zielt darauf ab, die Datengrundlage zur Bodenkontamination durch Reifenabrieb anhand realer Messdaten zu erweitern und potenzielle Auswirkungen auf das Boden-Pflanzensystem zu identifizieren.

### Teilprojekt 1

In Zusammenarbeit mit dem Amt für Umwelt des Kantons Solothurn haben Forschende des FiBL, der Uni Bern und der TU Darmstadt 15 Straßen mit angrenzendem Grünland für eine Beprobung und eine Analyse der Belastung mit Reifenabrieb ausgewählt (siehe Abbildung 1). In Abständen von 1m,

2m, 5m und 10m von der Straße wurden Bodenproben entnommen (siehe Abbildung 2B). Die ausgewählten Abschnitte der Straße wiesen keine bauliche Abtrennung zum Grünland auf (siehe Abbildung 2A), es gab keine Kurven oder Gefälle. Im Rahmen des EU-Projekts MINAGRIS (siehe Kasten) wurde eine Methode zur Extraktion und Quantifizierung von Mikroplastik und Reifenabrieb entwickelt, basierend auf den Arbeiten von Scheurer & Bigalke (2018), Hurley et al. (2018) und Olsen et al. (2020). Diese Methode umfasst aufeinanderfolgende Schritte der Dichtefraktionierung und Filtration, die spezifische Oxidation des organischen Materials sowie die Analyse der extrahierten Partikel unter einem Stereomikroskop. Die Partikel werden vergrößert fotografiert und mithilfe eines Algorithmus zur Pixelsegmentierung quantifiziert. Die Extraktion und Quantifizierung des Reifenabriebs aus den insgesamt 60 Proben ist abgeschlossen. Die bereits vorliegenden Daten aus dieser Studie stammen von vier der insgesamt 15 Standorte. Es wurde festgestellt, dass an allen Standorten bis zu einer

Entfernung von 5 m vom Straßenrand erhöhte Mengen an Reifenabrieb zu finden sind, wobei die Anzahl der Partikel in den ersten zwei Metern deutlich abnimmt. Auch zwischen den verschiedenen Standorten wurden Unterschiede in der Menge des gefundenen Reifenabriebs gefunden, jedoch handelt es sich bisher nur um statistisch nicht signifikante Trends. Die genaue Quantifizierung dieser Unterschiede und die Möglichkeit, Schlussfolgerungen aus begleitenden Daten wie der Verkehrsfrequenz oder dem Alter der Straßen zu ziehen, werden im Detail untersucht, sobald der vollständige Datensatz vorliegt.

Das EU-finanzierte Forschungsprojekt MINAGRIS (Micro- and Nano-plastics in AGRicultural Soils) analysiert die Auswirkungen von Mikro- und Nanoplastik im landwirtschaftlichen Kontext. Zwanzig europäische Institutionen aus zwölf europäischen Ländern untersuchen in elf Fallstudien, davon zwei in Österreich und eine in der Schweiz, den Einsatz von Plastik (Mulchfolien und andere landwirtschaftliche Plastikmaterialien) in verschiedenen landwirtschaftlichen Systemen und deren Auswirkungen auf die Bodengesundheit. An jeder Fallstudie ist ein regionales Netzwerk von landwirtschaftlichen Betrieben beteiligt. Ziel des Projekts ist es, Landwirten und ihren Interessenvertretern Instrumente und Anleitungen an die Hand zu geben, um die Verschmutzung ihrer Böden zu bewerten. Außerdem soll es Praktiker dabei unterstützen, den Einsatz von Kunststoffen zu reduzieren, um deren Eintrag in die Umwelt zu verringern.

Mehr Infos:

<https://minagris.eu/>,  
[facebook.com/minagriseu](https://facebook.com/minagriseu)  
[twitter.com/minagriseu](https://twitter.com/minagriseu)



Abbildung 3: Reifenabrieb wurde aus Altreifen hergestellt. Anschliessend wurden die Auswirkungen auf das Boden-Pflanzen-System untersucht. Foto: FiBL

## Teilprojekt 2

In einem Gewächshausexperiment am FiBL wurde ein landwirtschaftlicher Boden mit künstlich hergestelltem Reifenabrieb (Abbildung 3) in Konzentrationen von 0% bis 3% kontaminiert. Anschließend wurden die Auswirkungen des Reifenabriebs auf Lauch und

Kopfsalat sowie wichtige Bodenfunktionen über mehrere Wochen untersucht. Der Fokus der Studie lag darauf, zu untersuchen, wie sich die Aktivität von Mikroorganismen verhält, und ob sich die Qualität und Quantität der Ernteerträge verändert. Die Studie zeigte, dass Reifenabrieb sich sowohl auf

das oberirdische als auch das unterirdische Pflanzenwachstum negativ auswirken kann und dass es vor allem zu einer Zunahme der Zink- und Kupfergehalte in der Pflanze kam, die allerdings nicht in einem für Pflanze toxischen Bereich waren. Ausserdem zeigten sich durch hohe Reifenabriebskonzentrationen auch Veränderungen in der mikrobiellen Gemeinschaft, was sich durch eine Verschiebung in der Substratnutzung der Mikroben zeigte, wenn sie hohen Reifenabriebskonzentrationen ausgesetzt wurden. Zusätzlich zeigte sich eine Veränderung in der Aktivität verschiedener Bodenenzyme. Während die Aktivität von Enzymen, die am Kohlenstoffkreislauf beteiligt sind, tendenziell abnahm, beobachtete man ein entgegengesetztes Muster bei Enzymen, die in den Stickstoffkreislauf eingebunden sind. Weitere Details sollen noch dieses Jahr in einer Fachzeitschrift publiziert werden.

Es steht mittlerweile ausser Frage, dass Böden im Zentrum der Fragestellungen zu möglichen Umweltauswirkungen von Mikroplastik und Reifenabrieb stehen müssen. Dennoch bestehen erhebliche Wissenslücken bezüglich der Konzentrationen von Reifenabrieb im Boden sowie möglicher Strategien zur Vermeidung weiterer Einträge und den Auswirkungen dieser Einträge. Obwohl weitere Untersuchungen erforderlich sind, um im Detail zu verstehen, wie und wo Reifenabrieb in das Bodensystem eingreift, unterstreichen die ersten Daten die dringende Notwendigkeit von Maßnahmen zur Reduzierung der Einträge von Reifenabrieb aus dem Straßenverkehr. Diese Maßnahmen sind entscheidend, um die Bodenqualität zu schützen.

## Literatur

- Scheurer, M., & Bigalke, M. (2018). Microplastics in Swiss floodplain soils. *Environmental science & technology*, 52(6), 3591-3598.
- Kole, P. J., Löhr, A. J., Van Belleghem, F. G., & Rargas, A. M. (2017). Wear and tear of tyres: a stealthy source of microplastics in the environment. *International journal of environmental research and public health*, 14(10), 1265.
- Wagner, S., Hüffer, T., Klöckner, P., Wehrhahn, M., Hofmann, T., & Reemtsma, T. (2018). Tire wear

particles in the aquatic environment-a review on generation, analysis, occurrence, fate and effects. *Water research*, 139, 83-100.

- Leifheit, E. F., Kissener, H. L., Faltin, E., Ryo, M., & Rillig, M. C. (2022). Tire abrasion particles negatively affect plant growth even at low concentrations and alter soil biogeochemical cycling. *Soil Ecology Letters*, 4(4), 409-415.
- Bowman, D. C., Evans, R. Y., & Dodge, L. L. (1994). Growth of chrysanthemum with ground automobile tires used as a container soil amendment. *HortScience*, 29(7), 774-776.
- Kim, L., Lee, T. Y., Kim, H., & An, Y. J. (2022). Toxicity assessment of tire particles released from personal mobilities (bicycles, cars, and electric scooters) on soil organisms. *Journal of Hazardous Materials*, 437, 129362.
- Ding, J., Lv, M., Zhu, D., Leifheit, E. F., Chen, Q. L., Wang, Y. Q., ... & Zhu, Y. G. (2023). Tire wear particles: An emerging threat to soil health. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 53(2), 239-257.
- Hurley, R. R., Lusher, A. L., Olsen, M., & Nizzetto, L. (2018). Validation of a method for extracting microplastics from complex, organic-rich, environmental matrices. *Environmental science & technology*, 52(13), 7409-7417.
- Olsen, L. M. B., Knutsen, H., Mahat, S., Wade, E. J., & Arp, H. P. H. (2020). Facilitating microplastic quantification through the introduction of a cellulose dissolution step prior to oxidation: proof-of-concept and demonstration using diverse samples from the Inner Oslofjord, Norway. *Marine Environmental Research*, 161, 105080.

## Impressum VBBio-Bulletin Nr. 21/2024

### **Herausgeberin: VBBio**

#### **(Arbeitsgruppe «Vollzug BodenBiologie»)**

Die kantonalen Bodenschutzfachstellen und das Bundesamt für Umwelt (BAFU) haben die Arbeitsgruppe unter dem Namen 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 2022-24**

Gaby von Rohr  
Abteilungsleiterin Stv., Bodenschutz  
Amt für Umwelt  
Abteilung Boden  
Werkhofstrasse 5  
Tel +41 32 627 28 05  
gaby.vonrohr@bd.so.ch  
afu.so.ch

### **Sekretariat und Bezug**

Andreas Fliessbach  
Forschungsinstitut für biologischen Landbau  
(FiBL)  
Ackerstrasse  
CH-5070 Frick  
Tel. 062 865 72 25  
[www.fibl.org](http://www.fibl.org)  
E-Mail: [andreas.fliessbach@fibl.org](mailto:andreas.fliessbach@fibl.org)

### **Titelfotos:**

Das Bulletin ist auch im Internet verfügbar:  
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/boden/fachinformationen/massnahmen-fuer-den-boden-schutz/arbeitsgruppe-vollzug-bodenbiologie--vbb-.html>