

3. Forum Bodenbiologie in der Praxis

Messung der biologischen Aktivität am Dauerbeobachtungsstandort «Oberacker» anhand des Köderstreifentests

Sophie Campiche,

Émilie Grand, Caroline Gachet Aquillon, Nadzeya Homazava,

Etienne Vermeirssen, Inge Werner, Benoît J.D. Ferrari

*Schweizerisches Zentrum für angewandte Ökotoxikologie Eawag-EPFL (Ökotoxzentrum),
Lausanne*

sophie.campiche@centreecotox.ch

Claudia Maurer, Andreas Chervet, Wolfgang G. Sturny

Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern, Fachstelle Bodenschutz, Zollikofen

Rodolphe Schlaepfer

*Eidgenössische Technische Hochschule Lausanne (EPFL), Labor für Ökologische System
(ECOS), Lausanne; Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft
(WSL), Lausanne*

Einführung

Bodenorganismen sind entscheidend für die Fruchtbarkeit des Bodens. Sie sind an zahlreichen wichtigen Prozessen und Funktionen beteiligt, so etwa am Abbau von organischem Material, am Nährstoffrecycling und an der Bildung und Erhaltung der Bodenstruktur. Physikalische oder chemische Beeinträchtigungen des Bodens haben unmittelbare Auswirkungen auf die Bodenorganismen. Der Einsatz von organismenbezogenen Methoden zur Identifikation und Quantifizierung solcher Beeinträchtigungen im Rahmen der Bioindikation ist daher für die Beurteilung der Bodenqualität von Vorteil.

Unter den verfügbaren Hilfsmitteln zur Bestimmung biologischer und ökologischer Organismenparameter bietet sich der Einsatz von Köderstreifen als einfache Methode zur *in-situ*-Messung der funktionalen Aspekte des Ökosystems Boden an. Dabei werden mit Köder befüllte PVC-Stäbchen vertikal in den Boden gesteckt. Der Abbau des Ködermaterials gibt Aufschluss über die gesamt-haftige Frassleistung (biologische Aktivität) der Bodenorganismen wie Regenwürmer, Enchyträen, Springschwänze und Milben

(von Törne, 1990; Kratz, 1998). Die Methode eignet sich zur Evaluation der Auswirkungen von Chemikalien auf den Boden (z. B. durch Vergleiche belasteter Standorte mit Referenzstandorten), aber auch zur langfristigen Beobachtung der biologischen Bodenqualität. Eine internationale ISO-Norm wird gegenwärtig ausgearbeitet (ISO, 2015). Anthropogene Beeinträchtigungen des Bodens (Verunreinigung, Verdichtung, Erosion) äussern sich in den meisten Fällen in einem Rückgang der Frassleistung der Bodenorganismen (Kula & Römbke, 1998; Filzek et al., 2004). Aber auch abiotische Faktoren wie die Bodenbeschaffenheit oder das Klima beeinflussen die Versuchsergebnisse. Temperatur und Bodenfeuchtigkeit beispielsweise haben nachweislich einen starken direkten Einfluss auf die Aktivität der Organismen (Larink & Kratz, 1994) und somit auf die Ergebnisse, was deren Interpretation erschwert. Über den Einfluss abiotischer Faktoren ist noch wenig bekannt, und es sind nur wenige Daten dazu verfügbar.

Im Rahmen dieses Projekts wurde mithilfe des Köderstreifentests auf den Dauerbeobachtungspartellen «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen (BE) die biologische

Aktivität der Bodenorganismen bei verschiedenen Direktsaatkulturen mit und ohne Anwendung von Glyphosat und bei zwei Düngungsvarianten verglichen. Zur Charakterisierung der Variabilität der Ergebnisse wurde die Bodenfeuchtigkeit mitberücksichtigt.

Material und Methode

Biologische Aktivität: Die Köderstreifenversuche auf den Direktsaat-Parzellen des Standorts «Oberacker» wurden 2011 in Kulturen von Mais (Frühling, vor und nach der Saat) und Wintergerste (Sommer-Herbst, nach der Saat) durchgeführt. Die beiden Kulturen wurden je zur Hälfte konventionell

nach GRUDAF (Grundlagen für die Düngung im Acker- und Futterbau) (Sinaj et al., 2009) beziehungsweise nach Kinsey (Kinsey & Walters, 2014) gedüngt, und dies mit und ohne Anwendung von Glyphosat (Toxer Total®, 360 g/l Aktivsubstanz (AS)). In jeder Kultur wurde die Frassleistung der Bodenorganismen zweimal gemessen, und zwar kurz nach (0-3 Wochen) beziehungsweise mehrere (3-9) Wochen nach der Anwendung von Glyphosat (Anwendungsmenge 5 l/ha bzw. 1800 g AS/ha). Insgesamt wurden somit 4 Versuchsvarianten getestet. Abb. 10 zeigt einen Überblick über die Varianten.

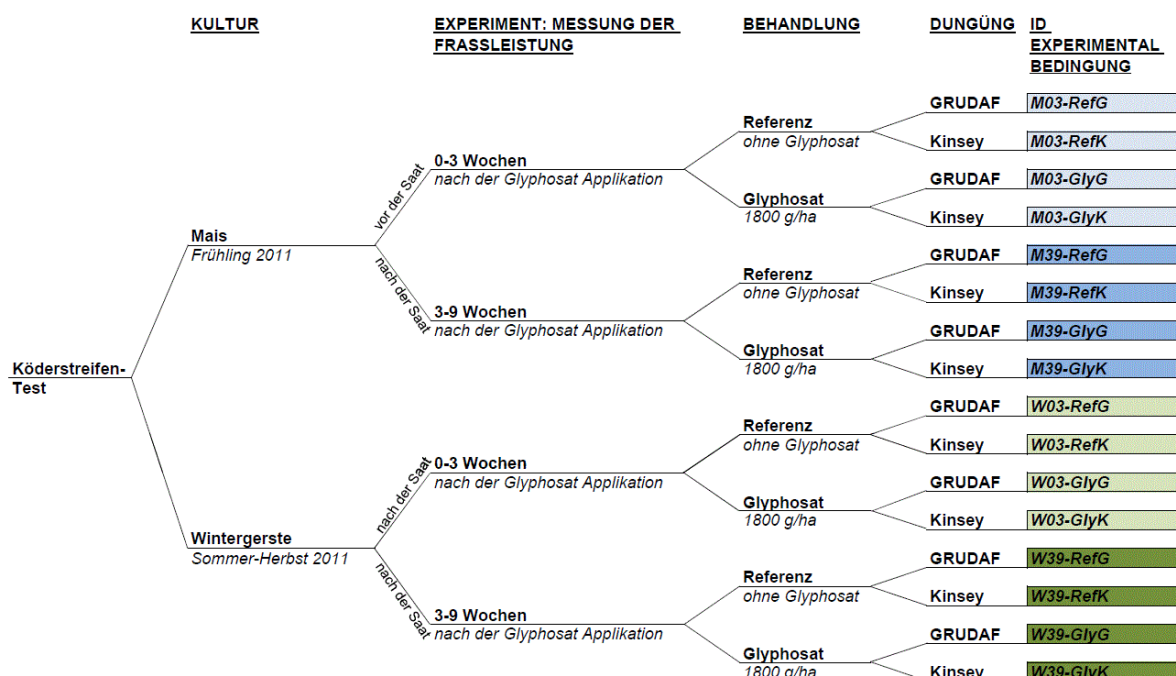


Abbildung 10: Köderstreifentests im Jahr 2011 auf zwei Direktsaat-Parzellen des Standorts «Oberacker» am Inforama Rütli in Zollikofen (BE) zur Messung der Frassleistung der Bodenorganismen in Mais- und Wintergerste bei unterschiedlicher Düngung und mit oder ohne Herbizidapplikation. Für jede Kultur wurde die Frassleistung innerhalb von 0 bis 3 Wochen nach der Applikation von Glyphosat («03») und zum zweiten Mal 3 bis 9 Wochen nach der Applikation («39») ermittelt.

Der Standort «Oberacker» ist gekennzeichnet durch eine tiefe, humose Braunerde; Der Oberboden ist ein sandiger Lehm (Chervet et al., 2001). Zur Messung der Frassleistung wurden Köderstreifen von Terra Protecta GmbH, Berlin, Deutschland (www.terra-protecta.de) verwendet. Die 16 cm langen Stäbchen aus PVC mit je 16 Löchern wurden mit einer Mischung aus

Zellulose, Weizenkleie und Aktivkohle im Verhältnis 70:27:3 befüllt. Sie wurden vertikal in den Boden gesteckt und während 1 bis 3 Wochen – abhängig von den verschiedenen landwirtschaftlichen Arbeiten, die auf den Parzellen durchgeführt wurden – am Ort belassen. Für jede Versuchsvariante wurden insgesamt 64 Köderstreifen verwen-

det. Diese waren in 4 Blöcken (Wiederholungen) mit je 16 Stäbchen auf einer Fläche von 30 × 30 cm angeordnet (Abb. 11). Am Ende des Versuchs wurde die Frassleistung anhand der an- oder leergefressenen Löcher pro Stäbchen ermittelt, d. h. die Anzahl der von den Bodenorganismen gefressenen Köder wurde gezählt. Die Frassleistung wird durch den prozentualen Anteil der gefressenen Köder ausgedrückt. In anderen Worten: Sie beträgt 100 %, wenn sämtliche Löcher eines Streifens weggefressen sind. Für die Auswertung der Versuchsvarianten wurden die Gesamtfressleistung (GFL), aller 64 Köderstreifen pro Variante berechnet, sowie deren Verteilung (VFL) in den obersten 8 cm des Bodens. Zuletzt wurden die Werte für die durchschnittliche tägliche Gesamtfressleistung (GFLt) sowie die tägliche Verteilung der Frassleistung (VFLt) berechnet, um einen Vergleich der verschiedenen Versuche zu ermöglichen.

Physikalisch-chemische Parameter: Ergänzend zum Köderstreifentest wurden für jede Versuchsbedingung Bodenproben bis in eine Tiefe von 10 cm entnommen, um die physikalisch-chemischen Bodenparameter zu bestimmen, insbesondere die Bodenfeuchtigkeit (gravimetrisch, 105 °C) und die Glyphosat-Konzentration. Die in den Bodenproben vorhandenen Glyphosat-Rückstände wurden gemäss der von Ibanez et al. (2005) entwickelten Methode analysiert. Die Bodenproben wurden während 96 Stunden luftgetrocknet (20 °C) und auf 2 mm gesiebt. Anschliessend wurde mit 0.6 M KOH extrahiert und mit Fluorenylmethyloxycarbonylchlorid (Fmoc-Cl) in einem Boratpuffer derivatisiert. Der Nachweis erfolgte mittels Flüssigkeitschromatografie kombiniert mit Tandem-Massenspektrometrie mit Elektrospray-Ionisation (LC-MS/MS).



Abbildung 11: senkrecht in den Boden gesteckte Köderstreifen zur Messung der biologischen Aktivität der Organismen in den obersten 8 cm des Bodens in Mais- (a) und Wintergerstekulturen (b).

Resultate und Diskussion

Glyphosat-Konzentration im Boden: Die chemischen Analysen zeigten, dass Glyphosat nicht nur im Boden der mit dem Herbizid behandelten Mais- und Wintergerstekulturen, sondern in geringerer Masse auch in den unbehandelten Flächen vorhanden war. Abb. 12 gibt Aufschluss über die in den Bodenproben nachgewiesenen Glyphosat-Konzentrationen. Die höchste Glyphosat-Konzentration (AS) wurde bei der Maiskultur gemessen, und zwar in den Proben, die wenige Stunden nach der Applikation des Herbizids entnommen wurden. Die gemessenen Konzentrationen betragen 1.6 mg/kg Boden Trockensubstanz (TS) am Standort M-GlyK (Code siehe Abb. 10) und 1.2 mg/kg Boden TS am Standort M-GlyD

(Abb. 12a). Bis 39. Tage nach der Applikation von Glyphosat hatten sich die Konzentrationen halbiert und lagen an beiden Standorten bei rund 0.7 mg/kg Boden TS. Tomlin (2000) schätzt die durchschnittliche Halbwertszeit (DT50) von Glyphosat unter Feldbedingungen auf 3 bis 174 Tage. Die gemessenen Werte befinden sich in diesem Bereich. Bei der Wintergerste zeigten die am Tag nach der Herbizidapplikation entnommenen Proben tiefere Glyphosat-Konzentrationen als beim Mais, in der Größenordnung von 0.4 mg/kg Boden TS (Abb. 12b). Ein Grund dafür könnte eine im Vergleich zur Maiskultur dickere Mulchschicht der Vorkultur Ackerbohne gewesen sein, die das Verlagern des Herbizids in den Boden erschwert haben mag. Ferner zeigte sich, dass die unmittelbar nach der Anwendung im Boden gemessenen Glyphosat-Konzentrationen im Bereich der (durch Modelle) vorausgesagten Konzentrationen in der Umwelt (Initial Predicted Environmental Concentration, initial PEC) lagen. Diese werden nach einmaliger Anwendung auf 0.3

bis 2.4 mg/kg Boden TS geschätzt und ausgehend vom FOCUS-Modell (Forum for the coordination of pesticide fate models and their use) (FOCUS, 2006) berechnet. Auch in den Bodenproben der nicht mit Glyphosat behandelten Referenzflächen beider Kulturen wurden schwache Glyphosat-Konzentrationen zwischen 0.004 und 0.06 mg/kg Boden TS gemessen (Abb. 12a und 12b). Diese rühren wahrscheinlich von früheren Glyphosat-Applikationen her, auch wenn diese auf den fraglichen Parzellen mehr als 2 Jahre zurückliegen. Geht man von der höchsten für Glyphosat erwähnten Halbwertszeit aus, ist es durchaus möglich, dass nach der gegebenen Zeitspanne noch geringe Mengen des Herbizids nachgewiesen werden können. Auch 27 Monate nach der Applikation können noch Glyphosat-Mengen von 0.08 % der ursprünglichen Konzentration nachgewiesen werden. Im vorliegenden Fall entspräche dies einer Konzentration von 0.001 mg/kg Boden TS (Simonsen *et al.*, 2008.)

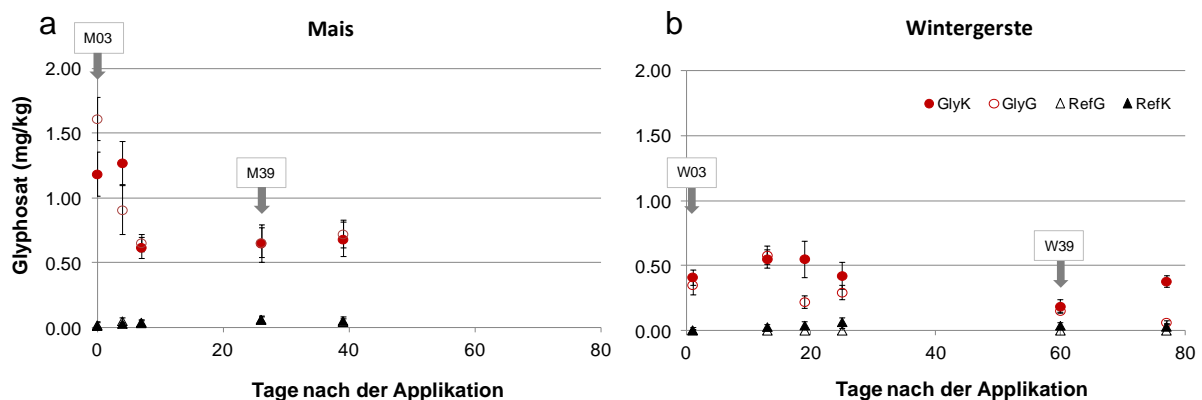


Abbildung 12: Gemessene Glyphosatkonzentrationen (mg/kg Boden TS; Mittelwert \pm Standardabweichung) in Bodenproben, die unmittelbar nach sowie zu verschiedenen Zeitpunkten nach der Applikation in den vier Versuchsvarianten entnommen wurden. GlyK = mit Glyphosat behandelte und nach Kinsey gedüngte Fläche; GlyG = mit Glyphosat behandelte und nach GRUDAF gedüngte Fläche; RefG = nicht behandelte, nach GRUDAF gedüngte Referenzfläche; RefK = nicht behandelte, nach Kinsey gedüngte Referenzfläche. Der Beginn der Köderstreifen-Versuche ist jeweils mit Pfeilen gekennzeichnet.

Auf Bodenlebewesen, wie z.B. *Eisenia fetida* (eine Regenwurmart), *Hypoaspis aculeifer* (eine Milbenart) und *Folsomia candida* (eine Springschwanzart) konnte bei Konzentrationen bis zu 473 mg/kg Boden TS für die Fortpflanzung unter Laborbedingungen genannt kein negativer Effekt nachgewiesen

werden (Glyphosate RAR, 2013). Die gemessenen Glyphosat-Konzentrationen (MEK) in den beiden Kulturen liegen somit in unserem Fall deutlich unter den unter konventionellen Laborbedingungen erhaltenen Toxizitätswerten. Eine signifikante Ver-

ringerung der Anzahl juveniler Regenwürmer von *Eisenia andrei* wurde jedoch beobachtet, wenn diese in Bodenproben Glyphosat-Konzentrationen von weniger als 0.05 mg/kg ausgesetzt waren (Casabé et al. 2007).

Gesamt-Frassleistung: Mit Hilfe dieses Köderstreifen-Tests konnte bei allen Versuchsvarianten eine biologische Aktivität der Bodenorganismen gemessen werden. Die Resultate belegen grosse Unterschiede zwischen den vier Versuchsvarianten. Über alle Varianten hinweg lag die GFLt (Abb. 13) zwischen 0,26 % (M39-RefK) und 5,44 % (M03-RefG). Diese beiden Werte wurden in einem Abstand von mehreren Wochen in der Maiskultur auf den Referenzflächen gemessen. Ein Vergleich der in verschiedenen Zeitfenstern bleibt schwierig, denn die Frassleistung wird massgeblich durch die Witterungsverhältnisse und insbesondere durch die Bodenfeuchte und -temperatur beeinflusst. Derzeit existieren für Köderstreifen-Tests noch keine Referenzwerte in Bezug auf abiotische Faktoren sowie auf Bodentyp und -nutzung. Die am Standort „Oberacker“ festgestellten GFLt-Werte liegen indessen im Bereich der im Rahmen anderer europäischer Untersuchungen auf Ackerflächen beobachteten Grössenordnung (Graenitz & Bauer, 2000; Larink & Sommer, 2002).

In den drei Wochen nach der Applikation von Glyphosat wurde zwischen den Referenzflächen und den Herbizid-behandelten sowohl beim Mais als auch bei der Wintergerste kein signifikanter Unterschied der GFLt festgestellt (Abb. 13a und 13c). Drei bis neun Wochen nach der Glyphosat-Applikation hingegen wurden bei beiden Kulturen zwischen behandelten Flächen und Referenzflächen signifikante Unterschiede in der täglichen Gesamt-Frassleistung beobachtet

(Abb. 13 b und 13 d). Allerdings konnte keine versuchsübergreifende Kohärenz festgestellt werden. Beim Mais wurden Unterschiede auf den nach Kinsey gedüngten Flächen festgestellt, nicht aber auf den nach GRUDAF gedüngten: Auf der Referenzfläche war die Frassleistung signifikant tiefer als auf der mit Glyphosat behandelten Fläche (Abb. 13b). Umgekehrt verhält es sich bei der Wintergerste: Auf der nach GRUDAF gedüngten Referenzfläche wurde eine höhere Frassleistung gemessen als auf der entsprechenden Glyphosat-Fläche. Zwischen den nach Kinsey gedüngten Flächen konnte kein Unterschied in der Frassleistung zwischen behandelt und unbehandelt festgestellt werden (Abb. 13d). Ferner vermögen die gemessenen Glyphosat-Konzentrationen (Abb. 12) die unterschiedliche Frassleistung bei den verschiedenen Versuchsbedingungen nicht zu erklären. Die Gesamtheit der Ergebnisse deutet darauf hin, dass gewisse Wirkungen möglicherweise durch andere Faktoren – beispielsweise die Feuchtigkeit – maskiert werden konnten.

Bei anderen Studien mit Köderstreifen-Tests und Glyphosat-Applikation in der Landwirtschaft zeigten sich vergleichbare Ergebnisse wie bei unserer Untersuchung. So wurde einerseits ein signifikanter Rückgang der Frassleistung nach einer ungefähr siebenwöchigen Exposition (1440 g/ha, Soja) (Casabé *et al.*, 2007), und andererseits ein signifikanter Anstieg der Frassleistung acht bis zehn Wochen nach der Applikation des Herbizids (1080 g/ha, Reben) (Reinecke *et al.*, 2002) dokumentiert. Beim Vergleich der beiden getesteten Düngungsvarianten zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in der GFLt für die vier Versuchsvarianten.

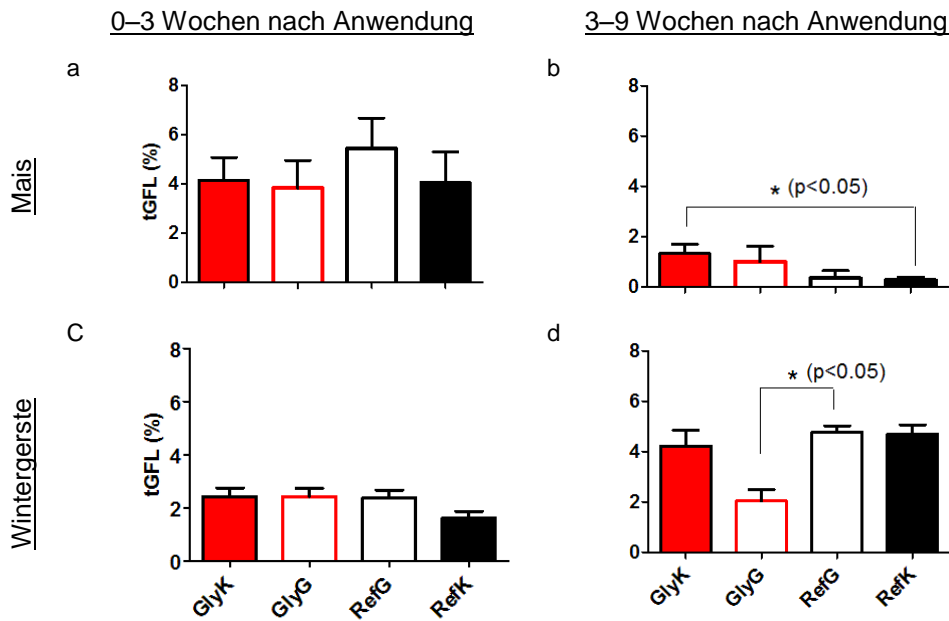


Abbildung 13: Tägliche Gesamt-Frassleistung (tGFL) der Bodenorganismen in den vier durchgeführten Köderstreifen-test-Varianten (Durchschnitt \pm Standardabweichung; $n=64$). a) Mais 0 bis 3 Wochen nach Applikation von Glyphosat, b) Mais 3 bis 9 Wochen nach Applikation von Glyphosat, c) Wintergerste 0 bis 3 Wochen nach Applikation von Glyphosat, d) Wintergerste 3 bis 9 Wochen nach Applikation von Glyphosat. GlyK = mit Glyphosat behandelte Fläche (5 l/ha, Toxer Total®, 360 g/l Aktivsubstanz) mit Düngung nach Kinsey; GlyG = mit Glyphosat behandelte Fläche (5 l/ha, Toxer Total®, 360 g/l Aktivsubstanz) mit Düngung nach GRUDAF; RefG = nicht behandelte Referenzfläche mit Düngung nach GRUDAF; RefK = nicht behandelte Referenzfläche mit Düngung nach Kinsey; *statistisch unterschiedlich, Kruskal-Wallis- und Dunn-Post-hoc-Test

Verlauf der biologischen Aktivität: Abb. 14 zeigt die Frassleistung in den obersten 8 cm für die vier verschiedenen Versuchsvarianten. Ausser bei Mais unmittelbar nach der Anwendung von Glyphosat (M03, Abb. 14a) waren bei den andern Versuchsvarianten - ungeachtet von Herbizid- und Düngungseinsatz - keine Unterschiede in der täglichen Frassleistung in den verschiedenen Bodenschichten (Abb. 14b, 14c und 14d) feststellbar. Beim Versuch M03 hingegen war die Frassleistung der Bodenorganismen in den obersten Bodenschichten höher (durchschnittlich 7.5 % in 0,5–1,5 cm Tiefe) als in den tieferen Schichten (2.6 % in 7–8 cm Tiefe) (Abb. 14a). Dieser hyperbelförmige Profil-Verlauf ist charakteristisch für die Frassaktivität der Bodenorganismen in den obersten 8 cm des Bodens und wurde in zahlreichen Untersuchungen beobachtet (Graenitz & Bauer, 2000; Filzek *et al.*, 2004; Römbke *et al.*, 2006). Eine Veränderung des Profilverlaufs scheint auf Bodeneingriffe

hinzuweisen und wird häufig mit einer verminderten biologischen Aktivität in Verbindung gebracht (Sturm *et al.*, 2002; Filzek *et al.*, 2004). Der als erster durchgeführte Köderstreifen-Test (M03, Abb. 14a) ist der einzige der vier Varianten, bei dem sechs Monate vor Versuchsbeginn, abgesehen von der Düngung, keinerlei Feldarbeiten (Ernte, Saat oder Pflugeinsatz in der angrenzenden Parzelle) durchgeführt worden waren. Zudem wurde hier in den oberen Bodenschichten (0–5 cm) eine im Vergleich zu den tieferen Schichten (5–10 cm) leicht höhere Feuchtigkeit gemessen, was bei den anderen Versuchsvarianten nicht der Fall war. Die sich zersetzenden Gründüngungspflanzen auf den M03-Flächen könnten auch eine grössere Zufuhr von organischem Material bewirkt haben als bei den anderen Varianten.

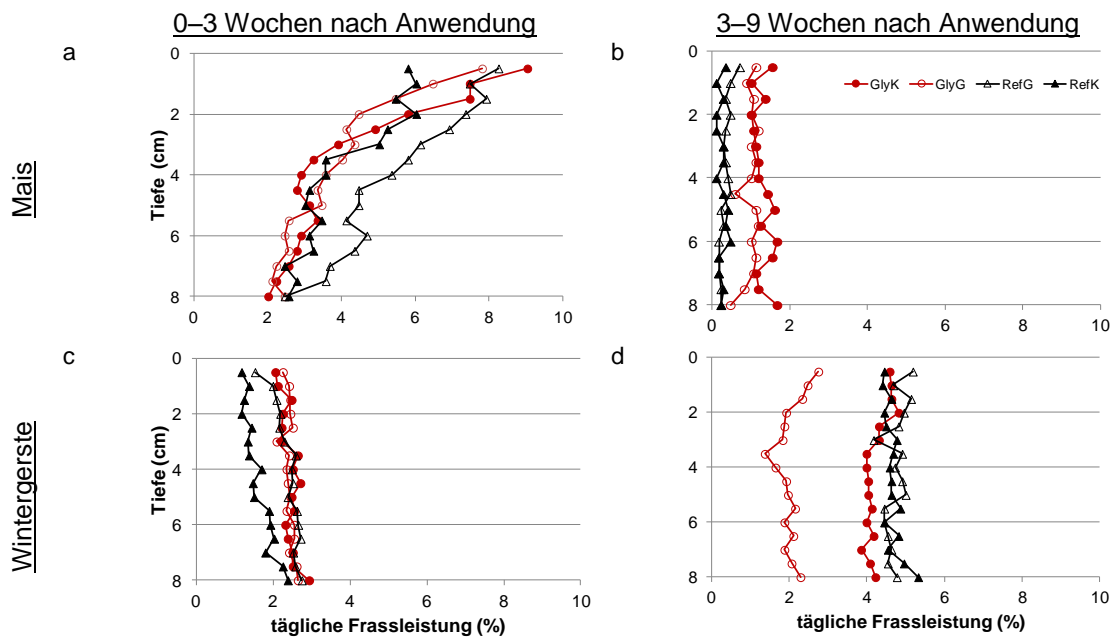


Abbildung 14: Profilverlauf der täglichen Frassaktivität der Organismen in den obersten 8 cm des Bodens für die verschiedenen Versuchs-Varianten. Die Werte entsprechen dem Durchschnitt der Frassleistung an 64 Köderstreifen für jede Tiefe (die Standardabweichungen sind zur besseren Lesbarkeit der Grafik nicht abgebildet). a) Mais 0 bis 3 Wochen nach Anwendung von Glyphosat, b) Mais 3 bis 9 Wochen nach Anwendung von Glyphosat, c) Wintergerste 0 bis 3 Wochen nach Anwendung von Glyphosat, d) Wintergerste 3 bis 9 Wochen nach Anwendung von Glyphosat. GlyK = mit Glyphosat behandelte Fläche (5 l/ha, Toxer Total®, 360 g/l Aktivsubstanz) und Düngung nach Kinsey; GlyG = mit Glyphosat behandelte Fläche (5 l/ha, Toxer Total®, 360 g/l Aktivsubstanz) und Düngung nach GRUDAF; RefG = nicht behandelte Referenzfläche mit Düngung nach GRUDAF; RefK = nicht behandelte Referenzfläche mit Düngung nach Kinsey.

Einfluss der Bodenfeuchtigkeit: Zwischen den verschiedenen Versuchsvarianten wurden grosse Unterschiede in der Bodenfeuchte festgestellt. Die gemessenen Werte variieren zwischen 9 bis 25 %. Auch dieser Faktor könnte die Frassleistung der Bodenorganismen beeinflusst haben. Deshalb wurden die Bodenfeuchte-Messwerte in die Auswertung integriert. Abb. 15 zeigt die Beziehung zwischen den beiden Parametern. Bodenfeuchte und Frassleistung korrelieren positiv: Die GFLt der Organismen steigt mit zunehmender Bodenfeuchte deutlich an. Dies entspricht den Befunden anderer Untersuchungen mit dem Köderstreifen-Test (Larink, 1993; Filzek *et al.*, 2004; Simpson *et al.*, 2012). In der Tat nimmt die Aktivität der Bodenorganismen bei ungünstigen Feuchtigkeitsbedingungen in der Regel ab; so nimmt zum Beispiel bei verringerter Bodenfeuchte die Abundanz von epigäischen und endogäischen Organismen signifikant ab (Eggleton *et al.*, 2009).

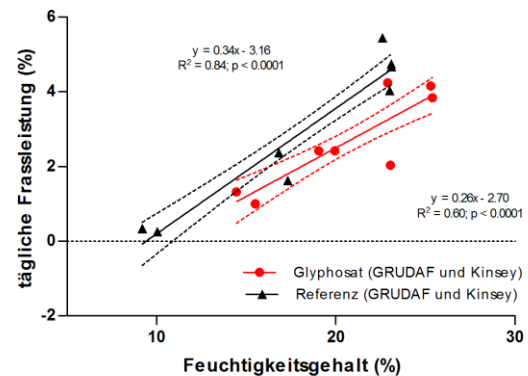


Abbildung 15: Beziehung zwischen Bodenfeuchte und täglicher Frassleistung der Bodenorganismen auf Referenzflächen ohne Herbizidanwendung (schwarze Dreiecke) und Flächen mit Glyphosatapplikation (rote Kreise) (Durchschnittswerte bei n=64 für die Frassleistung und n=3 für die Feuchtigkeit). Die gestrichelten Linien zeigen das Vertrauensintervall von 95 % für die linearen Regressionslinien.

Wird die Bodenfeuchte beim Vergleich der Frassleistung auf behandelten und unbehandelten Flächen mitberücksichtigt, so

lässt sich feststellen, dass Glyphosat bei einer Bodenfeuchte von mehr als 15 % tendenziell eine Verringerung der biologischen Aktivität der Bodenorganismen bewirkt (Abb. 15).

Fazit und Ausblick

Der Einsatz von Köderstreifen ist eine rasche und einfache Methode, um sich einen ersten Eindruck über die biologische Aktivität der Bodenorganismen zu verschaffen. Zusätzlich zur Gesamteinschätzung ermöglicht es die Methode, die Veränderung der Frassleistung im Profilverlauf bis in eine Bodentiefe von etwa 10 cm zu messen. Dies liefert in der Regel aussagekräftige Zusatzinformationen über Beeinträchtigungen des Bodens. Im Rahmen dieser Studie wurden auf den untersuchten Flächen am Standort „Oberacker“ ziemlich unterschiedliche biologische Aktivitäten festgestellt. Diese sind zum Teil auf zeitliche Unterschiede und Umwelteinflüsse (Bodenfeuchte) zurückzuführen, stehen aber auch in Zusammenhang mit dem verwendeten Herbizid. Die Eichung der Resultate von in-Situ-Tests als Funktion der Umweltparameter ermöglicht eine bessere Interpretation der biologischen Daten und erleichtert die Unterscheidung zwischen anthropogenen Einflüssen und Umweltbedingungen. In Zukunft sollten ergänzende Untersuchungen durchgeführt werden, um den Einfluss der Bodenfeuchte auf die Ergebnisse bei Köderstreifen-Tests näher zu bestimmen. Damit liesse sich die Aussagekraft der Testergebnisse stärken.

Auch die potenzielle Toxizität von Glyphosat und anderen Substanzen sollte in diesem Zusammenhang vertieft untersucht werden. In der Tat ist noch wenig darüber bekannt, wie sich Glyphosat beispielsweise unter Feuchtigkeits- und Temperatureinfluss im Boden verhält. Dieses Verhalten könnte sich ebenfalls auf die Bodenorganismen auswirken.

Literatur:

- Casabé, N., Piola, L., Fuchs, J., Oneto, M. L., Pamparato, L., Basack, S., Giménez, R., Massaro, R., Papa, J. C., Kesten, E. (2007). Ecotoxicological Assessment of the Effects of Glyphosate and Chlorpyrifos in an Argentine Soya Field. *Journal of Soils and Sediments* 7 (4) 232–239.
- Chervet, A., Maurer, C., Sturny, W. G., Müller, M. (2001). Pratique du semis direct en grandes cultures: effets sur la structure du sol. *Revue suisse d'agriculture* 33(1): 15–19.
- Eggleton P., Inward K., Smith J., Jones D., Sherlock E. (2009). A six year study of earthworm (lumbriidae) populations in pasture woodland in southern England shows their responses to soil temperature and soil moisture. *Soil Biology & Biochemistry* 41(9): 1857–1865.
- Filzek, P. D. B., Spurgeon, D. J., Broll, G., Svendsen, C., Hankard, P. K., Parekh, N., Stubberud, H. E., Weeks, J. M. (2004). Metal effects on soil invertebrate feeding: Measurements using the bait lamina method. *Ecotoxicology*, 13, 807–816.
- FOCUS. (2006). Guidance Document on Estimating Persistence and Degradation Kinetics from Environmental Fate Studies on Pesticides in EU Registration. The Final Report of the Work Group on Degradation Kinetics of FOCUS.
- Glyphosate RAR. (2013). Renewal Assessment Report. Volume 3. Annex B.9 "Ecotoxicology". Rapporteur Member State assessment reports submitted for the EU peer review of active substances used in plant protection products. European Food Safety Authority.
- Graenitz, J., Bauer, R., (2000). The effect of fertilization and crop rotation on biological activity in a 90 year long-term experiment. *Die Bodenkultur – Journal for Land Management, Food and Environment*, 51(2), 99–105.
- Ibanez, M., Pozo, O., Sancho, J. V., Lopez, F., Hernandez, F. (2005). Residue determination of glyphosate, glufosinate and aminomethylphosphonic acid in water and soil samples by liquid chromatography coupled to electrospray tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1081, 145–155.
- ISO (2015). International Organisation for Standardisation. Soil quality -- Method for testing effects of soil contaminants on the feeding activity of soil dwelling organisms -- Bait-lamina test. ISO/FDIS 18311. Geneva, Switzerland.
- Kinsey, N., Walters C. (2014). Neal Kinseys Hands-on Agronomy. Der etwas andere Blick auf Bodenfruchtbarkeit und Düngung. Bayer Handelsvertretung, York-Th. Bayer, Berlin.
- Kratz, W. (1998). The Bait-Lamina Test – General Aspects, Applications and Perspectives. *Environmental Science and Pollution Research*, 5, 94–96.
- Kula, C., Römbke, J. (1998). Evaluation of soil ecotoxicity test with functional endpoints for risk assessment of plant protection products: State of the art. *Environmental Science and Pollution Research*, 5, 94–96.
- Larink, O. (1993). Bait lamina as a tool for testing the feeding activity of animals in contaminated soils. In Donker, M.H., Eijsackers, H. and F. Heimbach, F. (eds): *Ecotoxicology of Soil Organisms*, pp. 339–345. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.

Larink, O., Kratz, W. (1994). Bait lamina workshop in Braunschweig - a summing up. Braunschweiger Naturkundliche Schriften, 4, 647–651.

Larink, O., Sommer, R. (2002). Influence of coated seeds on soil organisms tested with bait lamina. European Journal of Soil Biology 38, 287–290.

Reinecke, A. J., Helling, B., Louw, K., Fourie, J., Reinecke, S. A. (2002). The impact of different herbicides and cover crops on soil biological activity in vineyards in the Western Cape, South Africa. Pedobiologia 46, 475–484.

Römbke, J., Höfer, H., Garcia, M. V. B., Martius, C. (2006). Feeding activities of soil organisms at four different forest sites in Central Amazonia using the bait lamina method. Journal of Tropical Ecology, 22: 313–320.

Simonsen, L., Fomsgaard, I. E., Svensmark, B., Spliid, N. H. (2008). Fate and availability of glyphosate and AMPA in agricultural soil. Journal of Environmental Science and Health Part B, 43, 365–375.

Simpson, J. E., Slade, E., Riutta, T., Taylor, M. E. (2012). Factors Affecting Soil Fauna Feeding Activity in a Fragmented Lowland Temperate Deciduous Woodland. PLoS ONE 7(1): e29616. doi:10.1371/journal.pone.0029616.

Sinaj, S., Richner, W., Flisch, R., Charles, R. (2009). Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF-GCH). Revue suisse d'agriculture 41(1), 1–98

Sturm, J. R. M., Sturm, M., Eisenbeis, G. (2002). Recovery of the biological activity in a vineyard soil after landscape redesign: A three-year study using the bait-lamina method. Vitis 41(1), 43–45.

Tomlin CDS, editor (2000). The pesticide manual: a world compendium. 12th ed. Croydon: British Crop Protection Council.

Von Törne, E. (1990). Assessing feeding activity of soil-living animals. Pedobiologia, 34, 89–101.