

Test Elektroherb: Wirksamkeit und Einfluss auf Bodenlebewesen



Marion Schild

Hansueli Dierauer

Claudia Maurer, Fachstelle Bodenschutz, Bern (Anhang)

Frick, 05.12.2017

Inhaltsverzeichnis

1. Kurzbeschrieb Projekt	1
1.1 Projektziele.....	1
1.2 Zeitplan.....	2
1.3 Ansprechpersonen.....	2
2. Zusammenfassung der Resultate, Schlussfolgerungen und Empfehlungen	3
3. Einleitung	3
4. Material und Methoden / Vorgehen	4
4.1 Wirksamkeitstests	4
4.2 Einfluss auf Regenwürmer	4
4.2.1 Standort Künten und Jura.....	5
4.2.2 Standort Rüti, Oberacker	5
4.3 Einfluss auf Mikroorganismen	5
4.3.1 Basalatmung.....	6
4.3.2 Mikrobielle Biomasse	6
5. Resultate	6
5.1 Wirksamkeitstests	6
5.1.1 Flaach.....	6
5.1.2 Aeschi, SO	15
5.1.3 Bodentemperatur	17
5.2 Einfluss auf Regenwürmer	17
5.2.1 Künten.....	17
5.2.2 Jura	19
5.3 Einfluss auf Mikroorganismen	22
5.3.1 Mikrobielle Biomasse	22
5.3.2 Respiration/Basalatmung	24
6. Diskussion	26
6.1 Wirksamkeit.....	26
6.2 Einfluss auf Regenwürmer und Mikroorganismen.....	27
7. Schlussfolgerungen	28
8. Empfehlungen	29
9. Anhang	30
9.1 Resultate der Fachstelle Bodenschutz (z.Vg).....	30
9.2 Systemvergleich auf der Dauerbeobachtungsfläche „Oberacker“	30
9.3 Durchgeführte Erhebungen.....	30
9.4 Vergleich der Regenwurmpopulation mit früheren Erhebungen.....	30
9.5 Regenwurmpopulation in den fünf Varianten	32
9.6 Mikrobiologische Parameter in den fünf Varianten.....	33
9.7 Schlussfolgerungen.....	34
9.8 Datentabellen Versuchsstandorte	35
9.8.1 Flaach.....	35
9.8.2 Künten AG	37
9.8.3 Aeschi, SO	38

9.8.4	<i>Saignelégier</i>	39
9.8.5	<i>Oberacker, Rüti Zollikofen</i>	40
10.	Danksagung	41

I. Kurzbeschrieb Projekt

Das FiBL hat im Auftrag der Firma Zasso den Elektroherb-Prototyp getestet. Der Schwerpunkt des Projekts lag in den Untersuchungen zur Wirksamkeit einer einmaligen Behandlung in verschiedenen Kulturen und Grünlandbeständen. Die Tests wurden sowohl auf verschiedenen Bodentypen, als auch bei unterschiedlicher Bodenfeuchtigkeit und Witterung durchgeführt. Des Weiteren wurde der Einfluss des Hochfrequenz-Stroms auf Regenwürmer und Mikroorganismen getestet.

Wegen der relativ späten Lieferung des Gerätes anfangs September waren keine Einsätze mehr im Gemüsebau oder in Kartoffeln möglich. Das Gerät verlangt wegen seinem hohen Gewicht einen schweren Traktor mit einer hohen Leistung von ca. 120 PS. Solche Traktoren sind in der Schweiz im Biolandbau nicht Standard. Daher haben wir zwei Lohnunternehmer angefragt, ob wir den Elektroherb auf ihren Betrieben testen können. Einer dieser Betriebe hatte noch ein Abflammgerät, sodass dort der Vergleich mit dem Elektroherb durchgeführt werden konnte.

Bei diesem Projekt handelt es sich um kein abschliessendes Projekt, sondern um Tastversuche, die erste Einschätzungen liefern und der Weiterentwicklung des Gerätes dienen sollen. Systematische Erhebungen können erst gemacht werden, wenn das Gerät störungsfrei einsetzbar ist und eine homogene Wirkung zeigt.

I.1 Projektziele

Für die Tests des Elektroherb wurden primär folgende zwei Ziele festgelegt:

1. Prüfung der Wirksamkeit durch eine unabhängige Institution
2. Einfluss der Behandlung mit Hochfrequenzstrom auf Bodenlebewesen

Da erste Testergebnisse zur Wirksamkeit schlechter ausgefallen sind als erwartet, wurde die Studie um zusätzliche Ziele erweitert. Die Tests sollen beispielsweise Informationen liefern zum optimalen Einsatzzeitpunkt und der praktischen Anwendung des Gerätes (Einstellungen am Gerät, Fahrgeschwindigkeit etc.). Ein wichtiges Ziel der Untersuchungen ist zudem die Ableitung der Anwendungsbereiche, in denen ein Einsatz mit dem Elektroherb sinnvoll wäre. Ein Schwerpunkt bildet hierbei die Eignung als Ersatz für Glyphosat und die Anwendung im Biolandbau.

Da es sich bei dem Elektroherb um einen Prototyp handelt, können aufgrund der schwierigen Handhabung des Gerätes keine systematischen Resultate gewonnen werden. Die Resultate dieser Erhebungen dienen als Grundlage für Folgeversuche, die technische Fortschritte am Gerät voraussetzen.

1.2 Zeitplan

In der Periode vom 08.08.2017 bis 26.9.2017 wurden verschiedene Tests durchgeführt. Aufgrund der Abhängigkeit von der Witterung und der Verfügbarkeit leistungsstärkeren Traktoren auf den jeweiligen Betrieben konnte im Voraus kein detaillierter Zeitplan erstellt werden.

Die Versuchsperiode im Herbst 2017 beinhaltet eine Testreihe von verschiedenen nicht abschliessenden Versuchen. Um den Einsatzbereich an einer grösseren Vielfalt an Kulturen und unter unterschiedlicheren Witterungsbedingungen testen zu können, sollten zwingend im Frühling weiterführende Versuche durchgeführt werden.

1.3 Ansprechpersonen

Projektleitung

Hansueli Dierauer
Beratung Ackerbau
Departement Bildung, Beratung und Kommunikation
Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL
Ackerstrasse 113, Postfach 219
Tel: +41 (0)62 865 72 65
Mail: hansueli.dierauer@fibl.org

Projektplanung und –Durchführung

Marion Schild
Beratung Ackerbau
Departement Bildung, Beratung und Kommunikation
Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL
Ackerstrasse 113, Postfach 219
Tel: +41 (0)62 865 72 51
Mail: marion.schild@fibl.org

Versuchsleitung Oberacker

[Claudia Maurer](#)
Fachstelle Bodenschutz des Kantons Bern
Rütti, 3052 Zollikofen
Tel: +41 (0)31 636 49 00
Mail: claudia.maurer@vol.be.ch

2. Zusammenfassung der Resultate, Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die durchgeführten Tastversuche haben gezeigt, dass der Zasso Elektroherb auf Dikotyledonen (zweikeimblättrige Unkräuter) in kleinem Stadium bis 20 cm eine gute Wirkung hat. In grösseren Stadien und bei Pflanzen mit gut entwickelten, behaarten oder ledrigen Blättern oder ausgeprägtem Wurzelwerk blieb der erhoffte Effekt teilweise oder ganz aus. Auf tiefwurzelnde Unkräuter wie Disteln, Ampfer aber auch Luzerne, Klee und Monokotyledonen (Gräser) zeigte der Elektroherb praktisch keine oder nur eine geringe Wirkung. Die Wurzeln haben je nach Grösse Reserven eingelagert und ermöglichen den Pflanzen einen schnellen Wiederaustrieb. Die Pflanzen erholen sich kurz nach der Behandlung wieder. Gräser scheinen ähnlich wie vor dem Abflammen geschützt, da sie ihren Vegetationskegel im Boden haben und wieder nachstossen, sobald der obere Teil abgebrannt wird. Bei den Neophyten wie Goldrute und Erdmandelgras gab es eine Teilwirkung. Bei Löwenzahn, Wegerich und Wiesenlabkraut war die Wirkung gut. Neben der Unkrautart und dem Wachstumsstadium der Pflanze hat auch die Luftfeuchtigkeit und die Temperatur eine Rolle gespielt. Aus den vorliegenden Versuchen kann nicht abschliessend gefolgert werden, welche Parameter den Erfolg des Elektroherb am meisten beeinflussen. Dazu braucht es längere und systematischere Versuchsreihen.

Bei der Untersuchung der mikrobiellen Biomasse und dem Einfluss auf Regenwürmer kann aufgrund der hohen Streuung ebenfalls keine abschliessende Aussage gemacht werden. Es gibt eine grosse Abhängigkeit von der Bodenart, Temperatur und Feuchtigkeit und Biomasse im Boden. In trockenen Böden sind keine bis geringe Effekte zu erwarten. In feuchten, wassergesättigten Böden können die Effekte hingegen bedeutend sein. Dies konnte nur an einem Standort im Kanton Jura gezeigt werden. Potentiell kann sich das Elektroverfahren also negativ auf Regenwürmer auswirken.

Die Untersuchung der mikrobiellen Biomasse hat ergeben, dass ein gewisser Effekt vorhanden sein könnte. Ob das Wachstum oder die geringere Aktivität/Vitalität der MO jedoch direkt im Zusammenhang mit der Behandlung mit dem Elektroherb steht, bleibt unklar. Indirekte Effekte, wie höhere Nährstoffverfügbarkeit durch abgestorbene Biomasse (sowohl pflanzlich als auch tierisch) können bei diesen Resultaten nicht ausgeschlossen werden. Für eine umfängliche Untersuchung der Wirkung auf Mikroorganismen sind aufwändigere Analysen nötig, die eine direkte Momentaufnahme nach der Behandlung ermöglichen.

Basierend auf den vorliegenden Resultaten wird empfohlen, weiterführende, systematische Versuche im folgenden Frühjahr durchzuführen. Aufgrund der heterogenen Wirkung und den hohen Energiekosten des Elektroherb als Alternative zum Pflug oder zu Glyphosat, kann zum jetzigen Zeitpunkt der Einsatz in der Direktsaat und im Biolandbau noch nicht empfohlen werden. Das Gerät hat aber grosses Potential, zuerst müssen die technischen Mängel ausgemerzt werden. Der Wirkungsgrad sollte erhöht werden bei gleichzeitiger Senkung des Energieaufwandes. Wünschenswert wäre sogar eine Kombination mit einem autonomen Fahrzeug (Roboter).

3. Einleitung

In der konventionellen Landwirtschaft wird nach verträglichen Methoden zur Vernichtung der Vorkultur gesucht, um eine Direktsaat zu ermöglichen. Der Elektroherb der Firma Zasso soll hierbei eine Alternative zum Glyphosat, resp. zum Pflug bieten. Im Biolandbau gibt es noch keine technische

Lösung zur Regulierung von Wurzelunkräutern wie Disteln, Ampfer, Winden, Quecken. Auch viele Neophyten wie Erdmandelgras können mechanisch nicht oder nur unzureichend bekämpft werden. Im Biolandbau könnte das Elektroherb die Abflammtchnik teilweise ersetzen. Bis heute ist der Einsatz von Hochfrequenzstrom als Methode zur Pflanzenvernichtung in Europa unbekannt. In Amerika und in Russland wurden schon in den 90er Jahren Versuche mit Strom durchgeführt. Ein wirklicher Durchbruch blieb wegen den hohen Energiemengen aus. Viele Faktoren, insbesondere die Auswirkungen auf die Bodenflora und die Fauna sind noch nicht erforscht. Neben der allgemeinen Wirkung auf das Unkraut sind die Auswirkungen auf die Umwelt der Schlüssel für den Erfolg. Ein neues Verfahren sollte eine mit Glyphosat vergleichbare Wirkung haben und keine negativen Auswirkungen auf die Umwelt mit sich bringen. Des Weiteren ist unklar, ob der Strom effektiv über den Pflanzensaft in die Wurzeln fließt oder ob die Wirkung auf die Zerstörung der oberirdischen Biomasse beschränkt ist. Auch der Stromfluss innerhalb des Applikatoren-Systems bleibt uns beim heutigen Entwicklungsstand der Maschine unbekannt. Es ist daher nicht auszuschliessen, dass je nach Kontaktfläche lokal mehr oder weniger Strom auf den Bestand wirkt.

4. Material und Methoden / Vorgehen

4.1 Wirksamkeitstests

Für die Erfassung der Wirksamkeit der Behandlung wurden verschiedene Flächen unter unterschiedlichen Bedingungen getestet. Dabei wurden wichtige Daten zur Witterung, der Bodentemperatur und der Bodenfeuchtigkeit gemessen.

Die Wirkung einer Behandlung wurde anhand einer visuellen Beurteilung der oberirdischen Biomasse vorgenommen. Mit Bildaufnahmen wurden die behandelten Flächen unmittelbar danach und einige Tage nach der Behandlung dokumentiert. Die Wirksamkeit wurde anhand vom Anteil an grüner im Verhältnis zu brauner resp. abgestorbener Biomasse gemessen. Eine Untersuchung der Wurzeln hätte den finanziellen Rahmen des Projekts gesprengt. Zudem kann ausgeschlossen werden, dass die Wurzel oder unterirdische Speicherorgane der behandelten Pflanzen zerstört wurden, wenn die Pflanze nach kurzer Zeit wieder austreibt. Es kann davon ausgegangen werden (und wird auch so von der Firma Zasso kommuniziert), dass die Behandlung eine sofortige resp. kurzfristige Wirkung zeigen müsste, da die Biomasse durch die Stromeinwirkung unmittelbar zum Absterben gebracht wird. Dadurch erübrigt sich eine aufwendige Untersuchung des Wurzelraums. Problemunkräuter wie Ampfer und Disteln oder Gräser wurden vor der Behandlung markiert, um deren Entwicklung weiterverfolgen zu können.

Bei den Versuchen wurde standardmässig die Bodentemperatur mit einem IMKO Mobile TRIME-Messgerät (Pico-BT) vor und unmittelbar nach der Überfahrt mit dem Elektroherb auf verschiedenen Tiefen gemessen (0-20 cm).

4.2 Einfluss auf Regenwürmer

Der Einfluss auf Regenwürmer wurde insgesamt auf drei Standorten durchgeführt. Da sich die Methodik am Standort Rüti von den anderen beiden (Künten und Jura) unterscheidet, wurden in diesem Kapitel beide Methoden beschrieben.

4.2.1 Standort Künten und Jura

Um die Wirkung auf Regenwürmer zu testen, wurde eine Austreibung mit Senflösung gemacht. Dafür wurde auf einem markierten Bereich von 30x30 cm² die 0.6% Senflösung ausgebracht und die Würmer, die an die Oberfläche gestossen sind, eingesammelt. Anschliessend wurde auf dem markierten Bereich bis in 30 cm Tiefe die Erde ausgehoben und nach weiteren Regenwürmern durchsucht. Alle Regenwürmer wurden in mit Erde gefüllten Plastikbehältern über Nacht aufbewahrt und am darauffolgenden Tag untersucht. Dabei wurde die Biomasse der lebendigen und toten Regenwürmer gewogen.

Die Austreibung erfolgte an jeweils drei markierten Stellen vor und nach der Behandlung auf nahe beieinanderliegenden Stellen zwischen den Fahrspuren.

In Künten wurde die Wirkung des Zasso-Verfahrens verglichen mit der Wirkung des Abflamngerätes.



Abbildung 1 Versuchsanlage in Künten AG: Links Verfahren Zasso, rechts Verfahren Abflammen. Rote Kreise zeigen symbolisch die Vorgehensweise bei der Regenwurmbeprobung (vorher links, nachher rechts).

4.2.2 Standort Rüti, Oberacker

Die Versuche auf diesem Standort wurden unter der Leitung der Fachstelle Bodenschutz durchgeführt, die eine andere Methode anwenden. Die Austreibung der Regenwürmer erfolgte mit einer 0.1% Formalin-Lösung (maximal 10 Liter) während 50 Minuten. Anschliessend wurde für die Handauslese 0.1 m² Erde der behandelten Fläche ausgestochen und untersucht. Die eingesammelten Regenwürmer wurden sofort in 4% Formalinlösung konserviert.

4.3 Einfluss auf Mikroorganismen

Der mögliche Einfluss einer Behandlung mit Hochfrequenz-Strom wurde mit Hilfe von zwei Methoden getestet. Da die obersten 10 cm im Hinblick auf Mikroorganismen am relevantesten sind, wurde der Boden bis auf eine Tiefe von 10 cm beprobt. Pro Verfahren wurde eine repräsentative

Mischprobe von 10-15 Einstichen erstellt. Die Proben wurden unmittelbar vor und nach der Behandlung gezogen. Zusätzlich wurden einigen Tage nach der Behandlung weitere Bodenproben gezogen, um einen etwaigen Erholungseffekt prüfen zu können. Bis zur Analyse wurden die Bodenproben in einem Kühler bei 2°C gelagert.

Bei beiden Methoden wurde auf eine Vorinkubation der Bodenproben verzichtet, da es sich bei der Fragestellung um eine Situationsaufnahme handelt und keine Potentialanalyse gefragt ist.

4.3.1 Basalatmung

Die Messung der Basalatmung resp. C-Mineralisierung erfolgte nach der Standardmethode.

4.3.2 Mikrobielle Biomasse

Die Bestimmung der mikrobiellen Biomasse erfolgte nach der CFE-Methode (Chloroform-Fumigation-Extraktion). Für jede Bodenprobe erfolgte eine Dreifachmessung. Das heisst, dass von jeder Mischprobe (jeweils 10-15 Einstiche pro Probe) drei Subproben genommen und analysiert wurden.

5. Resultate

5.1 Wirksamkeitstests

Die Wirksamkeitstests wurden primär auf zwei Standorten durchgeführt. Details zu den standortspezifischen Versuchsparametern und Bodeneigenschaften sind im Anhang vorzufinden.

5.1.1 Flaach

In Flaach wurden an zwei Terminen Versuche durchgeführt. Die ersten Versuche erfolgten bei der Instruktion und Übergabe des Gerätes am 8.8.2017. An diesem Tag wurde ein Streifen Rasen (1) behandelt, ein Unkrautstreifen am Feldrand einer Luzernegründung (2), die Luzernegründung selbst (3) und zusätzlich ein Goldruten-Streifen im Wald (4). Die zweite Versuchsserie erfolgte am 18.8.2017. An diesem Tag wurden eine Raigras-Luzerne-Mischung (a) und ein Weisskleestreifen (b) behandelt. Da die ersten Versuche hauptsächlich der Instruktion dienten, wurden wichtige Daten zur Einstellung des Elektroherb nicht erhoben (Fahrgeschwindigkeit, Stärkestufe, etc.) und können von Seiten des FiBL nicht zurückverfolgt werden. Die Versuchsdaten der späteren Serie sind im Anhang vermerkt. Die Resultate werden in oben gewählter Reihenfolge präsentiert.

(I)



Abbildung 2 Rasenfläche nach 7 Tagen (links) und 10 Tagen (rechts) nach der Behandlung mit dem Elektroherb.



Abbildung 3 Nahaufnahme der behandelten (rechts) im Vergleich zur unbehandelten (links) Rasenfläche, sieben Tage nach einem Durchgang mit dem Elektroherb.

Die behandelte Rasenfläche zeigte bereits kurze Zeit nach der Behandlung eine Wirkung. Auch sieben Tage nach der Behandlung konnte auf einem Grossteil der Fläche eine gute Wirkung nachgewiesen werden. Auffällig ist jedoch die heterogene Wirkung, die dazu führte, dass sich weniger stark betroffene Stellen (grüne Büschel) schnell erholen konnten, dank kurzzeitig tieferer Konkurrenz um Licht und Nährstoffe.

Abbildung 3 verdeutlicht, welche Pflanzenarten gut auf die Behandlung angesprochen haben. So ist z.B. augenfällig, dass Löwenzahn, Spitzwegerich und Wiesen Klettenlabkraut (*Galium mollugo*) eine gute Wirkung gezeigt haben. Gräser hingegen sind nur teilweise von der Behandlung vernichtet worden. Beim Klee hat es sowohl abgestorbene als auch noch/wieder grüne Blätter dabei.

(2)



Abbildung 4 Unkrautstreifen am Rande der Luzerne-Gründung 1 Woche (links) und 2 Wochen (rechts) nach der Behandlung mit dem Elektroherb.

Der behandelte Unkrautstreifen am Rande der Luzerne-Gründung (2) zeigte kaum eine Wirkung. Die vorherrschenden Unkräuter (Amaranth, Weißer Gänsefuß und Ampfer) waren zum Zeitpunkt der Behandlung bereits sehr hoch und dementsprechend strukturreich bis verholzt. Auch eine Woche später konnte nebst einzelnen abgestorbenen Exemplaren, kaum eine Wirkung nachgewiesen werden. Nach 10 Tagen konnte die behandelte Fläche zwar noch optisch ausgemacht werden, die meisten Unkräuter hatten sich jedoch von dem Einsatz erholt. Einzig in der Fahrspur (wahrscheinlich in Kombination mit der Wirkung der Radlast) konnte 10 Tage nach der Behandlung noch eine leichte Schwächung der Pflanzen beobachtet werden.

(3)



Abbildung 5 Luzerne-Gründung 1 Woche (links) und 2 Wochen (rechts) nach der Behandlung mit dem Elektroherb.



Abbildung 6 Wiederaustrieb der Luzerne und gesteigerte Konkurrenzkraft des Ampfers eine Woche nach der Behandlung mit dem Elektroherb.

Die Luzerne-Gründung zeigte nur eine bedingte Wirkung. Allerdings war zur Zeit der Behandlung der Bestand wahrscheinlich zu hoch für einen optimalen Einsatz des Elektroherb. Durch die Überfahrt mit dem Elektroherb wurde die Pflanzendecke in Fahrtrichtung abgedrückt. Dadurch zeigten nur die oberliegenden Pflanzen, die mit den Applikatoren in Berührung kamen eine Wirkung.

(4)



Abbildung 7 Goldrute-Streifen 10 Tage nach der Behandlung mit dem Elektroherb.

Die Behandlung der Goldrute erwies sich als sehr effektiv. Auch nach 10 Tagen konnte nur ein geringes Ausmass an Wiederaustrieb und grüner Blattmasse festgestellt werden.

(a)





Abbildung 8 Ital. Raigras-Luzerne-Bestand vor (oben), 5 Tage (Mitte) und 10 Tage (unten) nach der Behandlung mit dem Elektroherb.

Die Behandlung der Raigras-Luzerne-Mischung war nicht sehr effektiv. Bereits nach 10 Tagen konnte der behandelte Streifen kaum mehr ausgemacht werden. Die Fahrgeschwindigkeit wurde bei diesem Versuch variiert: Der weisse Weidestock markiert den Streifen mit der Fahrgeschwindigkeit von 1.5 km/ha. Links davon ist ein anderer Streifen auszumachen, bei dem der Elektroherb mit einer Fahrgeschwindigkeit von 2.5 km/ha eingesetzt wurde. Die bessere Wirkung bei geringerer Fahrgeschwindigkeit ist deutlich sichtbar. Zudem konnte beobachtet werden, dass nach 5 Tagen, v.a. die Gräser dominierten und nach 10 Tagen die Luzerne sich vollständig regenerieren konnte und fast die gleiche Wuchshöhe erreichte wie die unbehandelte Fläche daneben.



Abbildung 9 Raigras-Horst unmittelbar nach, 5 Tage nach und 11 Tage nach der Behandlung mit dem Elektroherb.

Bei der Beobachtung eines einzelnen Gras-Horsts, konnte in Fahrtrichtung vorne eine Schädigung der Gräser festgestellt werden. Der Grossteil des Horsts blieb jedoch grün.

(b)

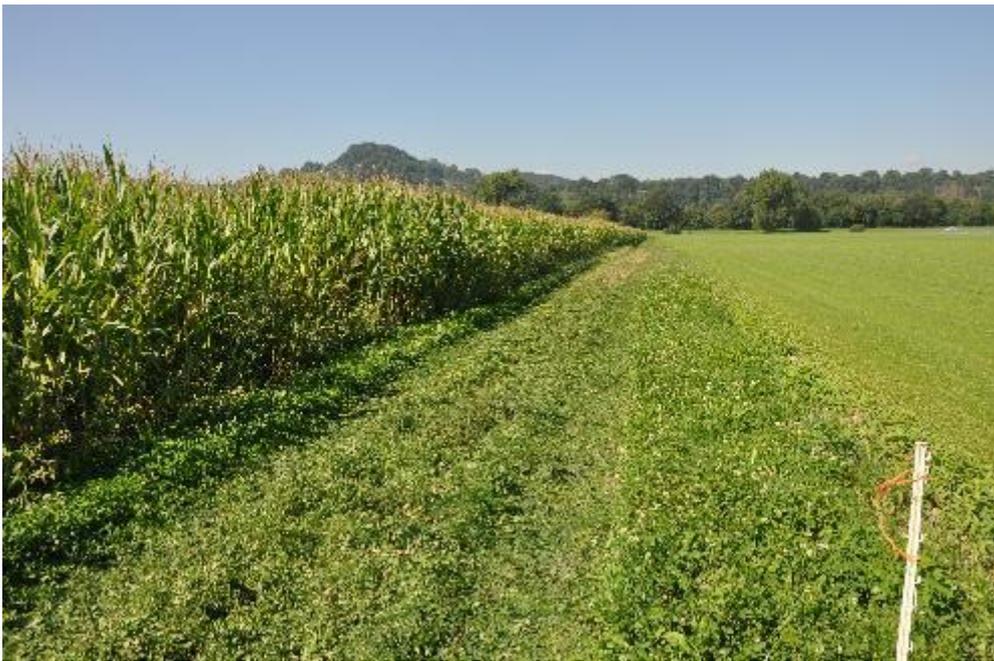




Abbildung 10 Weisskleestreifen vor, unmittelbar nach, 5 Tage und 11 Tage (von oben nach unten) nach der Behandlung mit dem Elektroherb.

Die Behandlung des Weisskleestreifens zeigte, dass für einige Tage eine Wirkung sichtbar ist, dass sich der Bestand jedoch bereits nach 11 Tagen wieder komplett erholt hat. Auch in diesem Fall konnte durch die Behandlung mit dem Elektroherb eine leichte Verschiebung zu einem Gräserreicherem Bestand beobachtet werden.

Das letzte Bild zeigt auch schön, dass die Wirkung stark von der Bestandes-Gesundheit abhängt. Bei der braunen Stelle, bei der die Wirkung auch nach 11 Tagen noch gut sichtbar ist, ist auch im Maisfeld eine Schwächung der Pflanzen zu beobachten.

5.1.2 Aeschi, SO

Die Wirkung auf die Kunstwiese war nach drei Wochen kaum mehr bemerkbar (Abbildung 11). Das Erdmandelgras hingegen hat unter der Behandlung mit dem Elektroherb gelitten. Abbildung 13 zeigt markierte Erdmandelgräser eineinhalb und drei Wochen nach einer einmaligen Überfahrt mit dem Elektroherb (Stärkestufe 3, Geschwindigkeit 1.5 km/h).



Abbildung 11 Mit Erdmandelgras verseuchte Kunstwiesenstreifen 3 Wochen nach der Behandlung mit dem Elektroherb mit 1.5 km/h Fahrtgeschwindigkeit bei einmaliger (vor dem Zaunpfahl) und zweimaliger Überfahrt.

Sowohl bei einmaliger als auch bei zweimaliger Überfahrt sind die Erdmandelgräser oberirdisch langsam abgestorben. Obwohl einzelne Pflanzenteile grün geblieben sind (v.a. Partien auf dem Stängel), scheint der Vegetationsknoten durch die Behandlung verfault zu sein (siehe Abbildung 12).

Da sich das Erdmandelgras hauptsächlich über Mandeln vermehrt, bleibt zu klären, ob durch den Elektroherb auch eine Wirkung auf die Mandeln erzielt werden konnte. Zur Kontrolle wurden Mandeln vom Erdmandelgras-Spezialisten Christian Bohren (Agroscope Changins) eingesammelt und auf ihre Keimfähigkeit überprüft. Die Resultate werden so bald als möglich nachgeliefert.



Abbildung 12 Verfallter Vegetationsknoten eines Erdmandelgrases 3 Wochen nach der Behandlung mit dem Elektroherb.



Abbildung 13 Erdmandelgräser 1.5 (links) und 3 Wochen (rechts) nach der Behandlung mit dem Elektroherb bei einer Überfahrt mit 1.5 km/ha, Stärkestufe 3.

Obwohl eine deutliche Wirkung auf das Erdmandelgras sichtbar ist, zeigt Abbildung 13 auch, dass sich im Verlaufe der Zeit keine weitere Schädigung gezeigt hat. Auch 3 Wochen nach der Behandlung blieben die Erdmandelgräser grün, wodurch eine Regeneration nicht ausgeschlossen werden kann.

5.1.3 Bodentemperatur

Bei der Erhebung der Bodentemperatur konnten keine Temperaturerhöhung beobachtet werden. Oberflächlich war je nach behandelter Kultur und Flammenbildung eine leichte Erwärmung mit der Hand spürbar, konnte jedoch mit dem IMKO-Messgerät nicht nachgewiesen werden. Es ist daher davon auszugehen, dass eine Behandlung mit dem Elektroherb nur oberflächlich zu einer leichten Temperaturerhöhung führen kann.

5.2 Einfluss auf Regenwürmer

5.2.1 Künten

Am Standort Künten AG wurde das Elektroherb-Verfahren mit Abflammen verglichen. Wird die totale Biomasse aller gesammelten Regenwürmer vor und nach der Behandlung aufsummiert (Abbildung 14), ist ersichtlich, dass sowohl die totale als auch die lebende Biomasse an Regenwürmer vergleichbar hoch ist in beiden Verfahren. Sowohl beim Verfahren Abflammen als auch im Zasso-Verfahren ist keine Wirkung der Behandlung feststellbar. In beiden Verfahren macht die Menge an toter Biomasse nur rund 10% der gesamten Biomasse aus, wobei in den Verfahren vor der Behandlung der Anteil sogar leicht höher ist.

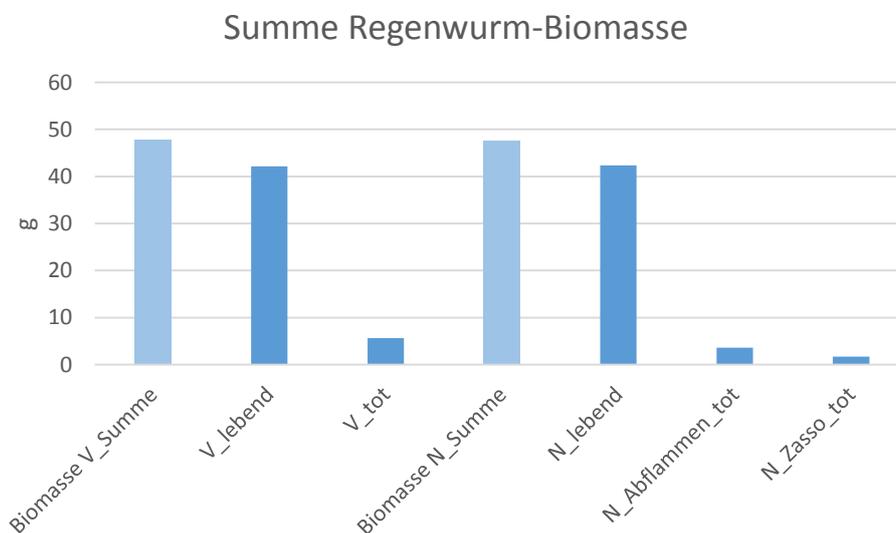


Abbildung 14 Summe der totalen Regenwurmbiomasse (hellblaue Balken) vor (V) und nach (N) der Behandlung mit dem Elektroherb oder dem Abflammgerät, inkl. Aufteilung in lebende und tote Regenwurmbiomasse (dunkelblaue Balken).

Mittelwerte Regenwurm-Biomasse: Zasso

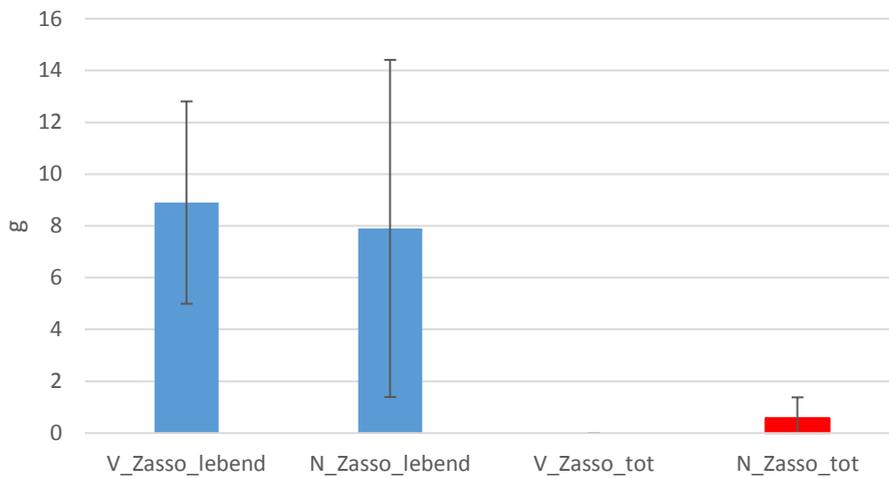


Abbildung 15 Einfluss des Elektroherb auf den Anteil an lebender (blau) resp. toter (rot) Regenwurm-Biomasse. Balken zeigen Mittelwerte der drei Wiederholungen mit Standardabweichung vor (V) im Vergleich zu nach (N) der Behandlung mit dem Elektroherb.

Mittelwerte Regenwurm-Biomasse: Abflammen

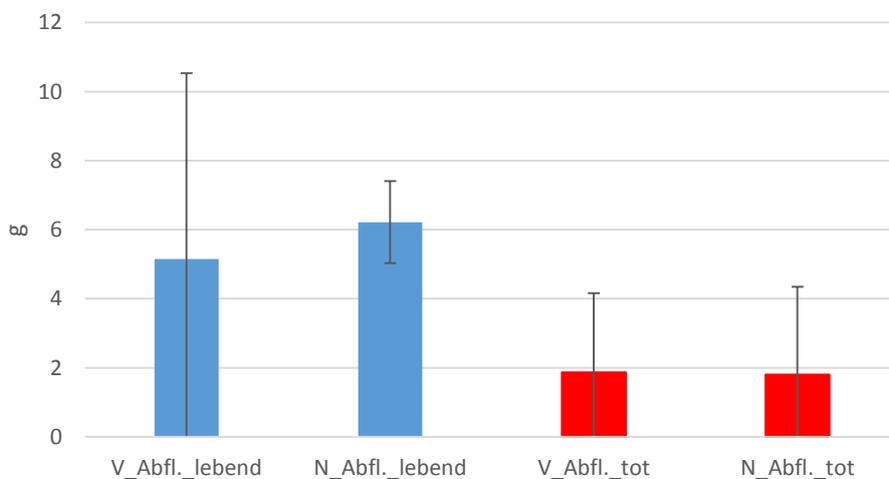


Abbildung 16 Einfluss des Abflammens auf den Anteil an lebender (blau) resp. toter (rot) Regenwurm-Biomasse. Balken zeigen Mittelwerte der drei Wiederholungen mit Standardabweichung vor (V) im Vergleich zu nach (N) dem Abflammen.

Vergleicht man die Mittelwerte und Standardabweichung der beiden Verfahren (Abbildung 15 und Abbildung 16), wird ersichtlich, dass die Streuung sehr gross ist. Beim Verfahren Abflammen (Abbildung 16) wird deutlich, dass die Menge an toter Regenwurm-Biomasse allgemein höher ist. Dies könnte an der räumlichen Trennung der beiden Verfahren auf dem Feld liegen (siehe Seite 5, Abbildung 1). Da es sich bei der beprobten Fläche um eine intensiv bearbeitete Gemüsebau- und Ackerfläche handelt, können kleinflächige Unterschiede gut möglich sein. Zudem war der Acker zum

Zeitpunkt der Beprobung der Boden nur oberflächlich etwas feucht. Die tiefe Abundanz der Regenwürmer lässt darauf zurückschliessen, dass sie sich aufgrund der trockenen Bedingungen in tiefere Erdschichten zurückgezogen haben.

5.2.2 Jura

Im Gegensatz zu den Versuchen in Künften, war zum Zeitpunkt der Regenwurm-Austreibung der Boden bis in tiefere Bodenschichten nass. Dies zeigt auch die höhere Regenwurmabundanz, die mit rund 25 Stück, resp. Gramm pro Plot (30cm x 30cm x 30cm) etwa auf dem Niveau eines extensiven Ackers befindet.

Aus der folgenden Grafik (Abbildung 17) ist ein deutlicher Effekt des Elektroherb auf die Regenwürmer zu sehen. Die Menge an lebender Regenwürmer vor der Behandlung entspricht etwa der total gemessenen Biomasse. Der kleine Teil an toter Biomasse kann auf Verletzungen durch das Graben zurückgeführt werden. Im Gegensatz dazu ist nach der Behandlung der Wiese mit dem Elektroherb, die grosse Mehrheit der Regenwürmer eingegangen. Nur rund 25 % der Regenwürmer waren nach der Behandlung noch lebendig. Die totale Biomasse nach der Behandlung ist etwas tiefer als vor der Beprobung. Dies könnte darauf hindeuten, dass anözische Regenwürmer (die häufigste Art bei dieser Beprobung) sich horizontal oder vertikal von der mit Strom behandelten Fläche wegbewegt haben.

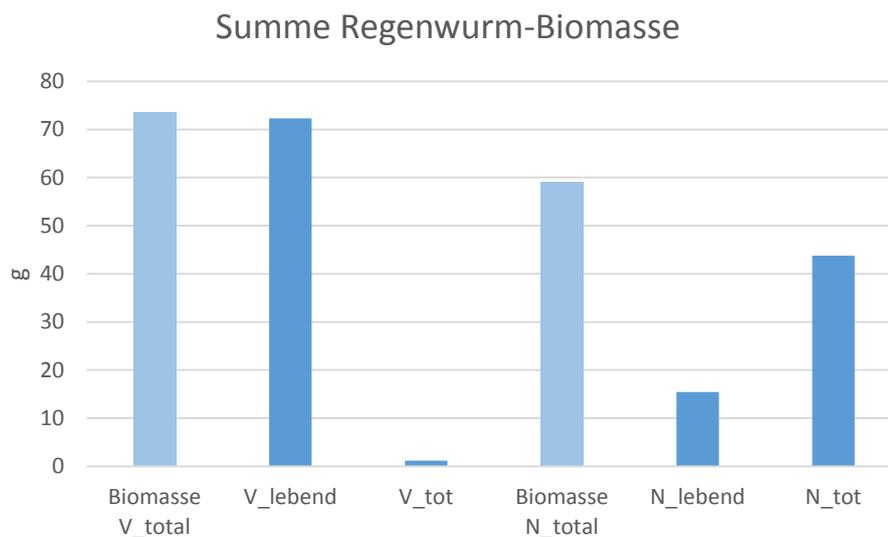


Abbildung 17 Summe der totalen Regenwurmbiomasse (hellblaue Balken) vor (V) und nach (N) der Behandlung mit dem Elektroherb oder dem Abflamngerät, inkl. Aufteilung in lebende und tote Regenwurmbiomasse (dunkelblaue Balken).

Mittelwerte Regenwurm-Biomasse

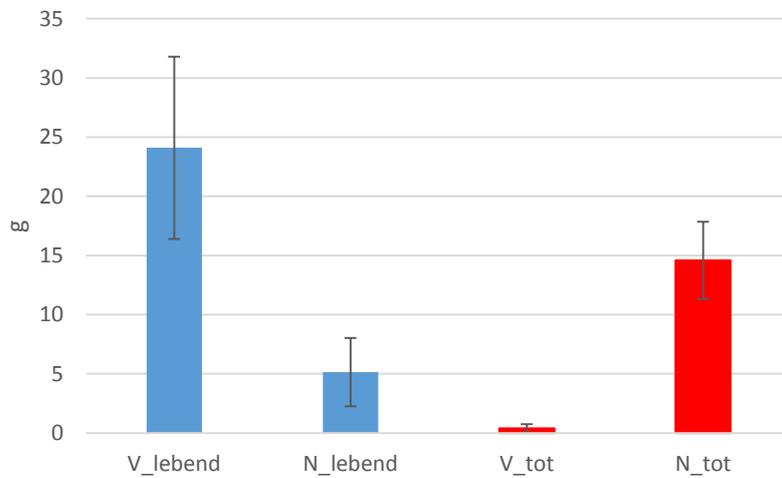


Abbildung 18 Einfluss des Elektroherb auf den Anteil an lebender (blau) resp. toter Regenwurm-Biomasse (rot). Balken zeigen Mittelwerte der drei Wiederholungen mit Standardabweichung vor (V) im Vergleich zu nach (N) der Behandlung mit dem Elektroherb.

Bei der Betrachtung der Mittelwerte (Abbildung 18) wird der Effekt der Behandlung noch deutlicher. Im Schnitt über alle drei Wiederholungen ist der Anteil an toter Biomasse nach der Behandlung deutlich höher als vorher. Auch innerhalb der Streuung ist der Effekt klar ersichtlich.



Abbildung 19 Regenwürmer einen Tag nach der Beprobung, vor (Bild links) und nach (Bild rechts) der Behandlung mit dem Elektroherb.



Abbildung 20 Regenwürmer einen Tag nach der Beprobung, vor (Bild links) und nach (Bild rechts) der Behandlung mit dem Elektroherb.



Abbildung 21 Gewaschene, tote Regenwürmer aus den Verfahren nach der Behandlung mit dem Zasso Elektroherb.

Die Bilder von der Auswertung im Labor zeigen die Einteilung der Regenwürmer in lebende resp. tote Biomasse. Die Vitalität der Regenwürmer liess sich bereits an der Aktivität und der Sauberkeit der Regenwürmer ableiten. Abbildung 19 lässt vermuten, dass durch die fehlende Bewegung, den Regenwürmern, die Erde am Körper hängen bleibt. Das Erscheinungsbild der Regenwürmer vor im Vergleich zu nach der Behandlung mit dem Elektroherb unterschied sich stark. Weiter wurde beobachtet, dass die Regenwürmer nach der Behandlung eine wulstige, unregelmässige Körperform mit z.T. angeschwollenen, blutigen Stellen aufwies. Diese Verletzungen deuten darauf hin, dass durch die Behandlung mit dem Elektroherb die Funktionalität des Verdauungstraktes oder des Bewegungsapparates eingeschränkt wurde. Die Geschwülste könnten einen Hinweis für geplatzte Zellen sein.

5.3 Einfluss auf Mikroorganismen

5.3.1 Mikrobielle Biomasse

Bei der Erhebung der mikrobiellen Biomasse sind die Resultate abhängig vom Standort sehr unterschiedlich ausgefallen. Grundsätzlich ist jedoch die Tendenz innerhalb eines Standorts in sich schlüssig und verhält sich zwischen Cmic und Nmic gleich. Die Unterschiede zwischen den Verfahren sind jedoch sehr klein und schwanken um eine Effektstärke von 10 %. Es kann eine gewisse Tendenz herausgelesen werden, jedoch sind anhand dieser Daten natürliche Schwankungen nicht auszuschliessen.

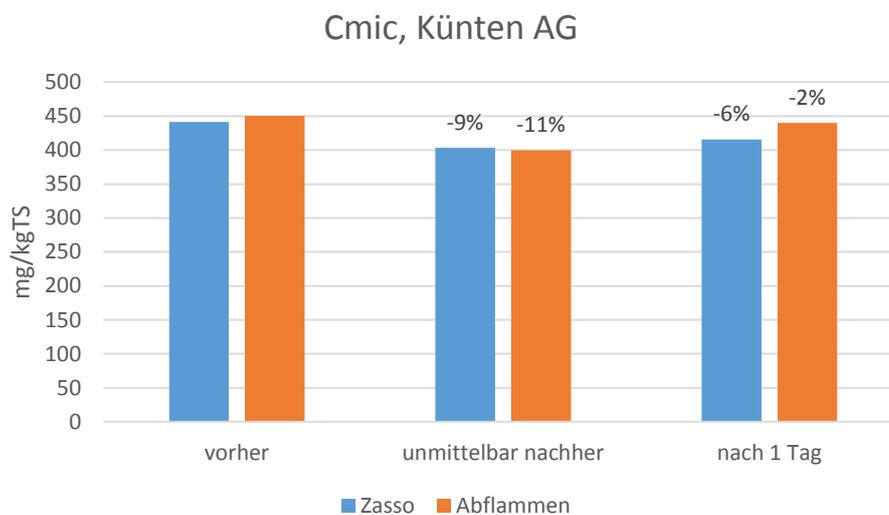


Abbildung 22 Einfluss auf den mikrobiellen Kohlenstoff vor, unmittelbar nach und einen Tag nach einer Behandlung mit dem Elektroherb im Vergleich zum Abflammen. Effektstärke (%) zeigt prozentuale Veränderung zur Messung vor der Behandlung.

Die Ergebnisse von Künten lassen einen kurzfristigen Abtötungs- und Erholungseffekt vermuten. Da die Werte sowohl für das Zasso-, als auch für das Abflammverfahren sehr ähnlich reagieren, können natürliche Schwankung nicht ausgeschlossen werden (Bsp: Tageszeit der Probenahme, Witterung, etc.)

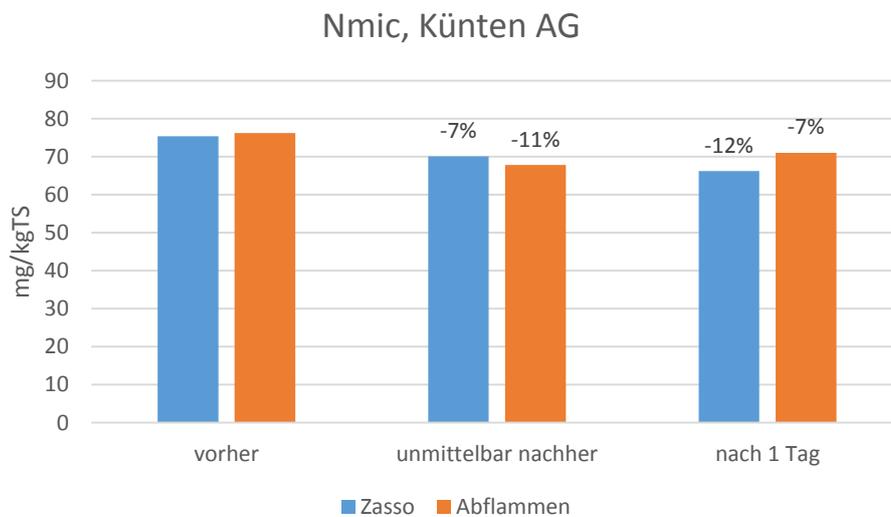


Abbildung 23 Einfluss auf den mikrobiellen Stickstoff vor, unmittelbar nach und einen Tag nach einer Behandlung mit dem Elektroherb im Vergleich zum Abflammen. Effektstärke (%) zeigt prozentuale Veränderung zur Messung vor der Behandlung.

Bei der Betrachtung des mikrobiellen Stickstoffs ist die Ausprägung der beiden Verfahren etwas deutlicher. Wobei der Erholungseffekt nur beim Verfahren Abflammen zu sehen ist.

Vergleicht man die Daten mit dem Standort Jura, ist auf den ersten Blick ersichtlich, dass die mikrobielle Biomasse am Standort Jura viel höher ausgefallen ist. Dies lässt sich v.a. mit dem höheren Tongehalt, der höheren Bodenfeuchte und der extensiven Nutzung erklären.

Gleichzeitig geht auch die Tendenz in eine andere Richtung. Am Standort Jura war direkt nach der Behandlung und auch 5 Tage nach der Behandlung eine höhere mikrobielle Biomasse messbar.

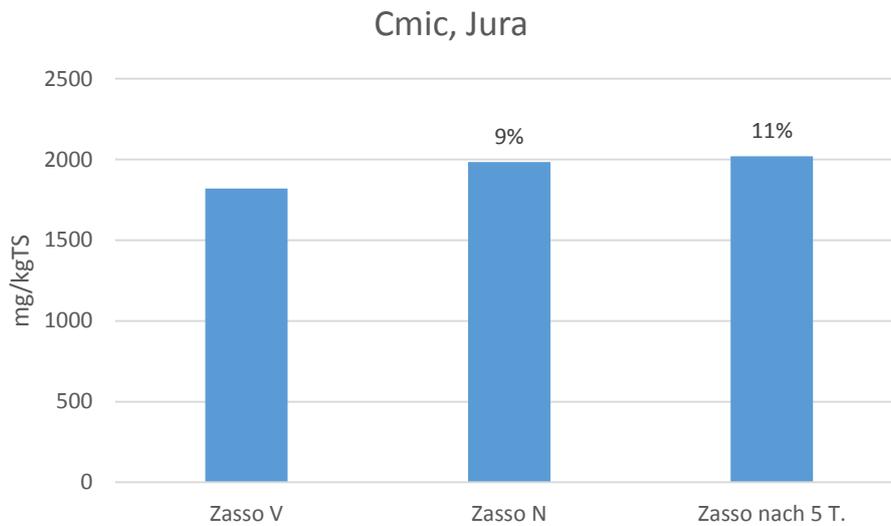


Abbildung 24 Einfluss auf den mikrobiellen Kohlenstoff vor, unmittelbar nach und fünf Tage nach einer Behandlung mit dem Elektroherb. Effektstärke (%) zeigt prozentuale Veränderung zur Messung vor der Behandlung.

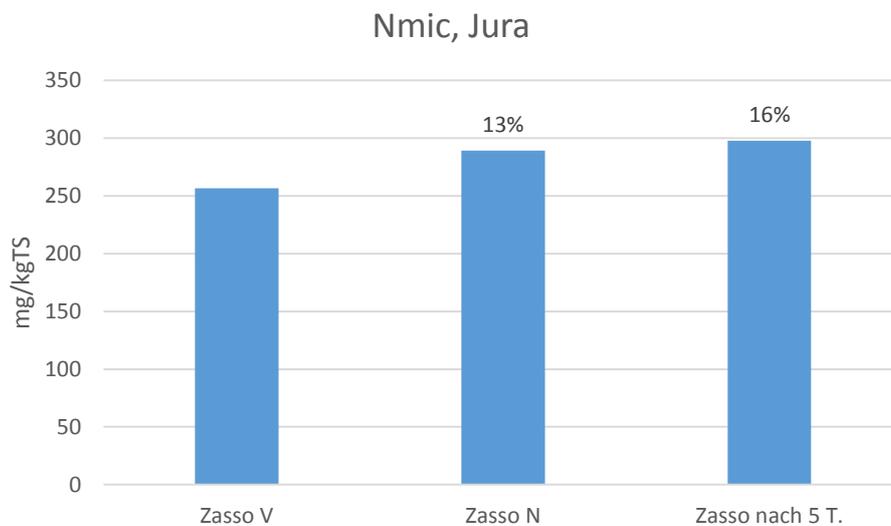


Abbildung 25 Einfluss auf den mikrobiellen Stickstoff vor, unmittelbar nach und fünf Tage nach einer Behandlung mit dem Elektroherb. Effektstärke (%) zeigt prozentuale Veränderung zur Messung vor der Behandlung.

5.3.2 Respiration/Basalatmung

Die Resultate der Basalatmung zeigen die gleiche Tendenz wie die Messung der mikrobiellen Biomasse. In Künten (Abbildung 26) lässt sich sowohl bei den Bodenproben aus dem Zasso-

Verfahren als auch beim Abflammverfahren unmittelbar nach der Behandlung eine geringere Atmungsaktivität der Mikroorganismen feststellen. Bereits einen Tag nach der Behandlung ist der Effekt bereits etwas schwächer, was auf eine Erholung deuten könnte. Der Effekt scheint beim Abflammen grösser zu sein.

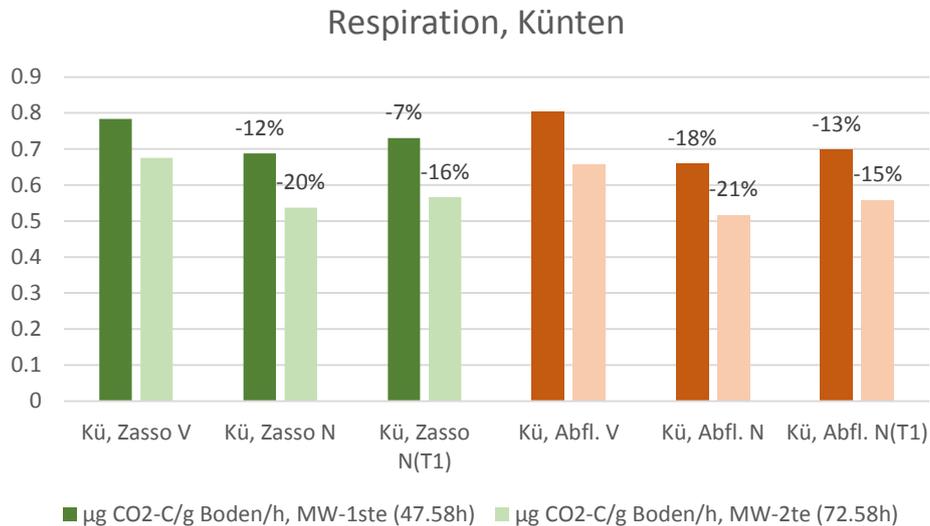


Abbildung 26 Einfluss auf die Basalatmung vor (V), unmittelbar nach (N) und einen Tag nach (N(T1)) einer Behandlung mit dem Elektroherb (grüne Balken) im Vergleich zu Abflammen (rote Balken). Effektstärke (%) zeigt prozentuale Veränderung zur Messung vor der Behandlung. Dunkle Balken zeigen erste CO₂-Messung nach zwei, resp. helle Balken nach drei Tagen nach der Inkubation der Bodenproben.

Die Bodenproben aus dem Jura zeigen auch dieselbe Tendenz wie die Messung der mikrobiellen Biomasse. Im Unterschied zu Künten, ist im Jura nach der Behandlung mit dem Elektroherb eine höhere Basalatmung messbar (Abbildung 27).

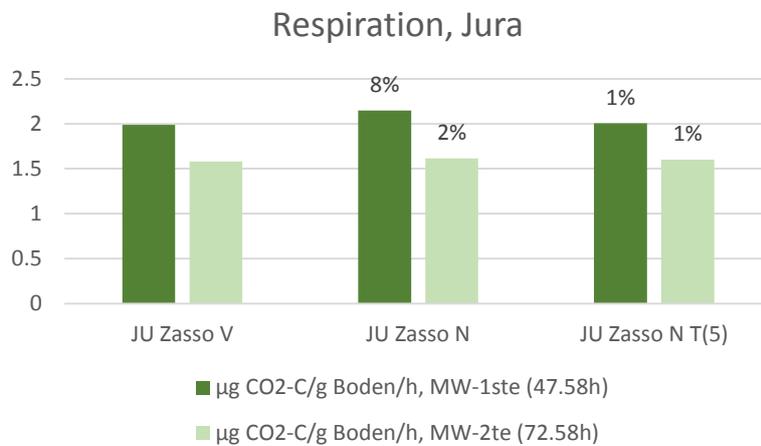


Abbildung 27 Einfluss auf die Basalatmung vor (V), unmittelbar nach (N) und fünf Tage nach (N(T5)) einer Behandlung mit dem Elektroherb. Effektstärke (%) zeigt prozentuale Veränderung zur Messung vor der Behandlung. Dunkle Balken zeigen erste CO₂-Messung nach zwei, resp. helle Balken nach drei Tagen nach der Inkubation der Bodenproben.

6. Diskussion

6.1 Wirksamkeit

Die ersten Tastversuche mit dem Elektroherb haben gezeigt, dass die Wirkung im aktuellen Entwicklungsstadium der Maschine sehr unberechenbar ist. Es ist unklar, ob während einer Überfahrt der Stromfluss auf gleich hohem Niveau bleibt und ob alle Applikatoren unabhängig von der Kontaktfläche gleich viel Strom aufnehmen. Dies erschwert die genaue Erhebung der Wirksamkeit. Zusätzlich hängt der Wirkungserfolg von vielen unkontrollierbaren, abiotischen Faktoren ab und ganz stark von der Zielkultur, resp. der Pflanzendecke, die behandelt wird.

Bei allen behandelten Flächen war die Wirkung des Elektroherb spätestens einen Tag nach der Behandlung deutlich sichtbar. Am Beispiel der Rasenfläche im Vergleich zur Luzerne-Raigras-Mischung konnte gezeigt werden, dass die Wirkung auf jungen, dichten Beständen besser ist, als auf lückenhaften, Horst bildenden Beständen (I,a). Der Effekt des Elektroherb erwies sich jedoch nicht als systemisch, sondern wirkte sich nur oberflächlich aus. Sowohl in Gras- als auch in Leguminosen-Beständen (Klee, Luzerne) haben die Pflanzen innerhalb weniger Tage neue Triebe gebildet. Während die Wirkung bei älterem, stärker Lignin-haltigem Pflanzenmaterial fast komplett ausblieb, haben junge, wasserreiche, feine Pflanzen besser auf die Behandlung reagiert.

Die Luzerne-Raigras-Mischung in Flaach befand sich zur Zeit der Behandlung mit dem Elektroherb in einem optimalen Stadium, in dem auch eine Totalherbizid-Behandlung vor der der Direktsaat vorgenommen würde. Diese Versuchsbedingungen lassen also einen direkten Systemvergleich zwischen einem Totalherbizid und dem Elektroherbizid zu.

Im Anbetracht der angestrebten Anwendung in der Direktsaat, bildet der Elektroherb keine Alternative zu einem Totalherbizid. Im Vergleich zu einer Behandlung mit einem Totalherbizid ist die Wirkung innerhalb der behandelten Fläche sehr heterogen. Speziell Grashorste erwiesen sich als quasi behandlungsresistent. Die Mehrheit der behandelten Flächen hat sich zudem innerhalb von ungefähr einer Woche fast gänzlich erholt. Der Wachstumsfortschritt der neu angesäten Kultur gegenüber der behandelten Fläche ist also sehr gering und die Konkurrenzkraft der vorgelagerten Kultur im Falle einer Kunstwiese zu gross, um eine erfolgreiche Direktsaat zu ermöglichen.

Mit den Ansprüchen an möglichst nasse aber noch befahrbare Böden, gefolgt von einer trockenheiss-Periode schmälert sich das Behandlungsfenster massiv. Zudem gestaltete sich die Behandlung bei nassen Verhältnissen (Tau, tropfnasse Blätter) und bei lückenhaften Beständen mit brachen Stellen als schwierig, weil dadurch die Überstromschutzeinrichtung ausgelöst wurde. Diese Unterbrüche führten dazu, dass stellenweise der Bestand unbehandelt blieb.

Bei der Behandlung von Flächen mit Problemunkräutern (v.a. Ampfer) konnte beobachtet werden, dass die meist robusteren, zäheren Unkräuter durch die Behandlung mit dem Elektroherb, deutlich weniger geschädigt wurden. Dadurch werden Problemunkräuter indirekt gefördert, da die Konkurrenz um Licht, Nährstoffe und Wasser kurzzeitig gemindert wird. Vergleichbar mit Resistenzen bei einer Behandlung mit einem Totalherbizid, findet bei der Anwendung des Elektroherb eine Selektion zum Vorteil der Unkräuter statt. Eine gewisse Bestandes-Lenkung konnte auch bei der Behandlung der Kunstwiese beobachtet werden. Auch in diesem Fall kann sich diese Selektion negativ auf die Folgekultur auswirken, denn Gräser sind sehr konkurrenzstark.

Die Wirkung des Elektroherb lässt sich abschliessend als Schock beschreiben, der kurzfristig einen Bestand schwächt aber nicht systemisch wirkt.

6.2 Einfluss auf Regenwürmer und Mikroorganismen

Die Resultate der Regenwurm-Erhebungen erlauben keine abschliessende Beurteilung der Wirkung des Elektroherb auf Regenwürmer. Nur bei der Versuchsreihe im Jura ist die Standardabweichung genügend gering, um Aussagen machen zu dürfen. Die hohe Standardabweichung in Künten (und auf dem Oberacker) kann mit den trockenen Bedingungen und der heterogenen Verteilung auf dem Feld zusammenhängen. Die tiefe Regenwurm- Abundanz in Künten und auf dem Oberacker weist darauf hin, dass sich die Regenwürmer aufgrund der geringen Bodenfeuchte in tieferen Bodenschichten aufgehalten haben.

Die Versuche im Jura haben gezeigt, dass sich eine Behandlung mit dem Elektroherb negativ auf die Regenwurmpopulation auswirken kann. Die Symptome der toten Regenwürmer weisen darauf hin, dass durch die Behandlung mit dem Hochfrequenzstrom die Zellen der Regenwürmer zerstört wurden und die Würmer innerlich verblutet sind. Auf einem extensiven Acker sind bis zu 3 Tonnen Regenwurm-Biomasse pro Hektare zu erwarten. Dies entspricht 300 g pro m², resp. 27 g pro Plot von 30 cm x 30 cm bei einem durchschnittlichen Gewicht von 1 g pro Regenwurm. Vergleicht man die totale Biomasse an ausgetriebenen Regenwürmern von Künten und dem Jura, wird deutlich, dass wir uns im Jura auf einem realistischen Niveau befinden mit einem Mittel von 24 g.

Die Resultate der Bodenanalytik unterstützen die Regenwurm-Erhebungen. In Künten konnte sowohl in der mikrobiellen Biomasse als auch in der Basalatmung ein minimaler Abtötungseffekt und

Regenerationseffekt beobachtet werden. Da die Versuche nicht wiederholt werden konnten und sich die Effektstärke um 10% bewegt, kann nur von Tendenzen gesprochen werden. Die Resultate sind mit Vorsicht zu geniessen, da natürliche Schwankungen nicht auszuschliessen sind. Der sehr ähnliche Verlauf der Daten bzgl. Abflammen und Elektroherb lassen darauf schliessen, dass weitere Einflussfaktoren wie Tageszeit der Probenahme, Heterogenität im Feld etc. nicht ausgeschlossen werden können.

Böden sind grundsätzlich immer Kohlenstoff (C)-limitiert. Sobald eine C-Quelle verfügbar wird, wird das Wachstum der Mikroorganismen sofort angeregt. Im Gegensatz zu den Daten in Künften, ist bei den Bodenproben aus dem Jura ein MO-Wachstum zu sehen. Kombiniert man die Daten mit den Regenwurm-Erhebungen, kann davon ausgegangen werden, dass durch die bessere Wirkung im Jura) eine grössere C-Quelle freigesetzt wurde (abgestorbene Biomasse wie Mikrofauna, MO selbst, Pflanzenteile, etc.). Da die Proben auch nicht sofort analysiert werden konnten, ist zudem nicht auszuschliessen, dass sich die MO bereits im Kühler vermehrt haben und dadurch der Abtötungseffekt nicht mehr sichtbar ist. Der Effekt ist jedoch auch hier nicht signifikant und bewegt sich ebenso um die Grenze der Nachweisbarkeit.

7. Schlussfolgerungen

Aus diesen ersten Tastversuchen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Die Maschine ist in diesem Entwicklungsstadium für eine Anwendung vor der Direktsaat nur bedingt geeignet, da die Wirkung gegen Gräser, Klee und Luzerne nur geringfügig vorhanden ist.
- Der Elektroherb eignet sich nicht zur Bekämpfung von Ampfer und anderen Wurzelunkräutern.
- Es konnte nachgewiesen werden, dass der Elektroherb einen negativen Einfluss auf Regenwürmer haben kann.
- Die Analysen der Bodenproben lassen vermuten, dass ein Abtötungseffekt der MO vorhanden ist. Gleichzeitig kann auch eine Stimulations- und Erholungsphase vermutet werden.

Für die Beurteilung, ob eine Anwendung des Elektroherb im Biolandbau Sinn macht, ist es zu früh. Die Resultate der Tastversuche versprechen jedoch keinen grossen Zusatznutzen für den Biolandbau, da einerseits der Energieverbrauch sehr hoch und gleichzeitig die Flächenleistung sehr gering ist, obwohl der Boden nicht bewegt wird. Andererseits kann sich der Elektroherb potentiell negativ auf das Bodenlebewesen auswirken und würde somit entgegen dem Bestreben für den Bodenfruchtbarkeitsaufbau laufen. Die nahe liegende Anwendung im Biolandbau wäre die Vernichtung der Kunstwiese, da dort der Verzicht auf den Pflug am schwierigsten ist. Die Wirkung gegen Gräser und Klee ist aber am schlechtesten ausgefallen, wodurch diese Option wegfällt, wenn sich die Technik nicht massiv verbessert. Während der Kulturzeit macht ein Einsatz kaum Sinn, da Bewegung des Bodens auch Vorteile mit sich bringt und die Maschine nicht konzipiert ist für brachen Boden und dort dementsprechend Probleme bereitet.

8. Empfehlungen

Es wird empfohlen den Elektroherb bei vorgeschrittener Entwicklung der Technik erneut zu prüfen. Bei der Weiterentwicklung der Maschine sollen die hier vorliegenden Resultate bei der Wahl der Stossrichtung dienlich sein.

Für weitere Versuche zum Einfluss auf Regenwürmer wird empfohlen, die Regenwürmer unbedingt eine Nacht in Erde aufzubewahren, um mögliche Nachwirkungen überprüfen zu können. Die Technik der sofortigen Konservierung in Formalin ermöglicht zwar eine einfachere Einteilung der Regenwürmer in die ökologischen Gruppen, ist aber für die Beurteilung der Wirkung auf die Vitalität der Tiere ungeeignet. Des Weiteren sollten neben Regenwürmern dringend auch andere Vertreter der Bodenmakrofauna wie Springschwänze oder Käfer getestet werden.

9. Anhang

9.1 Resultate der Fachstelle Bodenschutz (z.Vg)

Der Elektroherb wurde der Bodenschutzfachstelle des Kantons Bern kurze Zeit für einen Versuch zur Verfügung gestellt. Der Einsatz erfolgte am 21. September in einer Gründüngung auf dem „Oberacker“. Der Versuch hatte auch das Ziel, die Auswirkungen des Elektroherb auf die Regenwurmpopulation und die Bodenmikrobiologie zu untersuchen. Bei den Regenwürmern wurde eine andere Methode als am FiBL angewandt. Die Bodenuntersuchungen wurden nach der gleichen Methode am FiBL analysiert. Der Bericht wurde von der Bodenschutzfachstelle Bern als eigenständiger Bericht verfasst. **Der Bericht und die Schlussfolgerungen sind komplementär zu unserem Bericht.**

9.2 Systemvergleich auf der Dauerbeobachtungsfläche „Oberacker“

Um die Bodenfruchtbarkeit auf lange Sicht sicherzustellen (USG 1983) sowie die Wirtschaftlichkeit zu verbessern, wurde am Inforama Rütli in Zollikofen 1994 ein Systemvergleich angelegt mit dem Ziel, sowohl die Vor- als auch die Nachteile des Direktsaatsystems gegenüber dem Pflugsystem bzw. Lösungswege aufzuzeigen. Der im Streifendesign angelegte Vergleich ohne Wiederholungen liegt auf einer tiefgründigen, grundfeuchten Braunerde mit einem Tonanteil von 15 % und einem Humusgehalt von 3 %. Sechs nebeneinander liegende Fruchtfolgeparzellen à 14 Aren werden, im Rahmen einer geregelten Fruchtfolge, je zur Hälfte direkt bestellt bzw. gepflügt.

Nachdem die „Extenso“ geführten Kulturen seit Jahren ohne Glyphosat angebaut werden, soll im Hinblick auf ein effizientes Umsetzen des Aktionsplans Pflanzenschutzmittel (PSM) des Bundes, der PSM-Einsatz in beiden Anbausystemen reduziert, bestenfalls eine Produktion ganz ohne PSM angestrebt werden. Dazu werden auch neue Verfahren wie z.B. das „Elektroherbizid“ geprüft.

9.3 Durchgeführte Erhebungen

Das Ziel der Erhebungen auf der Dauerbeobachtungsfläche „Oberacker“ war es, den Einfluss des Elektroherbizid-Gerätes der Firma Zasso GmbH in D-52076 Aachen auf die Regenwurmpopulation, die mikrobielle Biomasse und die mikrobielle Atmung zu untersuchen und diese mit früheren Erhebungen zu vergleichen. Gleichzeitig sollte gezeigt werden, inwieweit der Einsatz des Mulchgerätes (im Direktsaat- und Pflugsystem eingesetzt), des Pfluges und des Elektroherbizides sowie der unbehandelten Kontrolle diese biologischen Parameter beeinflussen.

9.4 Vergleich der Regenwurmpopulation mit früheren Erhebungen

Zum Vergleich der Abundanz- und Biomasse-Werte früherer Erhebungen in Gründüngungsgemengen wurde für das Direktsaatsystem DS die Variante DS Kontrolle und für das Pflugsystem PF die Variante PF gemulcht herangezogen (Tabelle I-**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

Tabelle I Abundanz und Biomasse der vier unterschiedenen Regenwurmgruppen sowie die Gesamtwerte im Direktsaat- und Pflugsystem von fünf verschiedenen Erhebungsjahren auf der Dauerbeobachtungsfläche "Oberacker", Rütli, Zollikofen.

Direktsaat					
Abundanz	2000	2002	2006	2014	2017
Lu	28	29	18	20	0
Ni	4	34	30	54	29
endo	174	204	257	303	151
epi	180	169	79	68	0
<i>Total</i>	<i>386</i>	<i>436</i>	<i>384</i>	<i>445</i>	<i>180</i>

Pflug					
Abundanz	2000	2002	2006	2014	2017
Lu	0	0	0	0	0
Ni	0	14	19	48	12
endo	107	144	278	369	93
epi	126	84	60	81	0
<i>Total</i>	<i>233</i>	<i>242</i>	<i>357</i>	<i>498</i>	<i>105</i>

Direktsaat					
Biomasse	2000	2002	2006	2014	2017
Lu	47	30	29	37	0

Ni	1	31	33	59	32
endo	72	65	66	109	55
epi	23	26	8	12	0
<i>Total</i>	<i>143</i>	<i>152</i>	<i>136</i>	<i>217</i>	<i>87</i>

Pflug					
Biomasse	2000	2002	2006	2014	2017
Lu	0	0	0	0	0
Ni	0	17	25	49	8
endo	32	79	71	102	33
epi	19	17	8	15	0
<i>Total</i>	<i>51</i>	<i>113</i>	<i>104</i>	<i>166</i>	<i>41</i>

Sowohl bei den Abundanzen als auch bei den Biomassen zeigen sich bei den aktuellen Werten der unterschiedenen vier Gruppen zum Teil sehr grosse Unterschiede gegenüber den bisherigen Beprobungen: insbesondere die anözischen Lumbricus in der DS und die epigäischen Arten in beiden Anbausystemen fehlten 2017, die anözischen Nicodrilus und die endogäischen Arten sind deutlich weniger gefunden worden als früher.

Mögliche Gründe für diese grossen Unterschiede liegen in der Witterung – lediglich 2/3 der normalen Niederschlagsmenge wurde im 2017 bis zum Beprobungszeitpunkt gemessen –, der Gründüngung, die das Wasser vollständig aus dem Boden entfernte sowie dem Boden mit hohem Sandanteil an diesem Standort, der ein schlechter Wasserspeicher ist. Alle drei Faktoren zusammen sowie der eher frühherbstliche Zeitpunkt der Probenahme erklären diese Differenzen.

9.5 Regenwurmpopulation in den fünf Varianten

Es wurden die Gesamtabundanzen und -biomassen (jeweils Mittelwert aus vier Parallelproben und die Standardabweichung) der beiden Anbausysteme DS und PF in fünf Varianten verglichen (Abbildung 28): DS Kontrolle (stehende Gründüngung), DS gemulcht (Gründüngung am Vortag gemulcht), DS Elektro (Gründüngung unmittelbar vorher mit dem Elektroherbizid behandelt), PF

gemulcht (Gründung in der Teilparzelle Pflug am Vortag gemulcht) und PF gepflügt (unmittelbar vor der Probenahme erfolgte ein ca. 12-15 cm tiefer Pflugeinsatz mit dem On Land-Pflug).

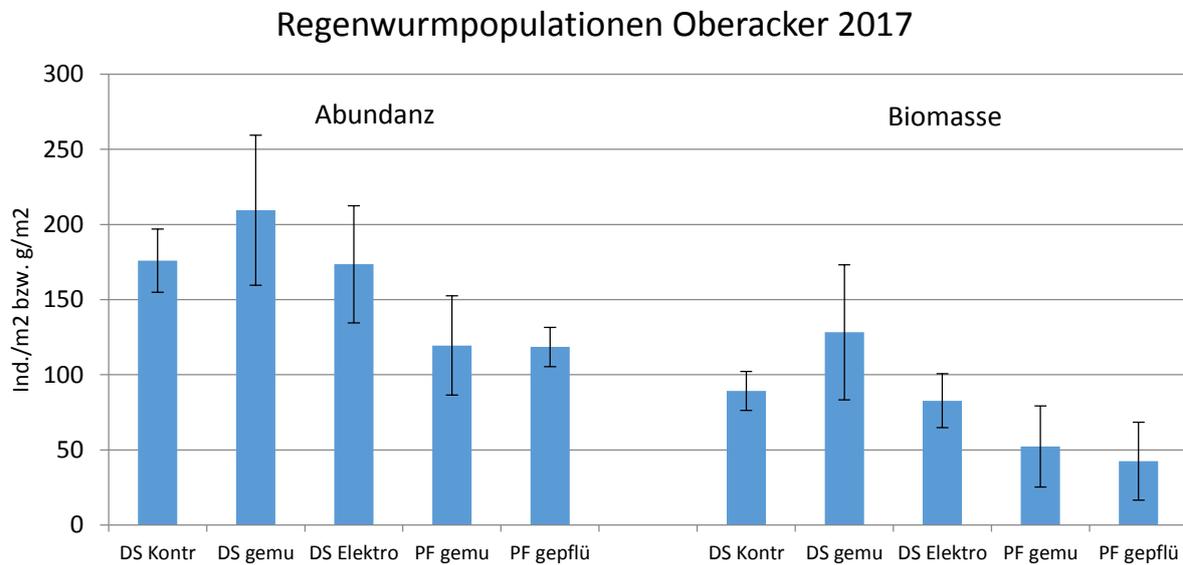


Abbildung 28 Gesamtabundanz bzw. -biomasse mit Standardabweichung der fünf untersuchten Varianten auf der Dauerbeobachtungsfläche „Oberacker“, Rütli, Zollikofen

Im Direktsaatsystem wurden pro m² durchschnittlich 186 Regenwürmer mit einem Gewicht von 100 g gefunden, im Pflugsystem 119 Individuen bzw. 47 g.

Die Streuung zwischen den vier Parallelproben ist gross und erschwert das Herausarbeiten signifikanter Unterschiede.

Sowohl bei der Abundanz als auch bei der Biomasse unterscheiden sich die drei DS-Varianten nicht voneinander, ebenso wenig wie die beiden PF-Varianten. Signifikante Unterschiede gibt es bei der Abundanz zwischen der Variante PF gepflügt und allen drei DS-Varianten sowie zwischen PF gemulcht und DS Kontrolle bzw. DS gemulcht. Bei der Biomasse sind die Unterschiede geringer, sie sind nur signifikant zwischen PF gepflügt und den Varianten DS Kontrolle und DS gemulcht sowie zwischen PF gemulcht und DS gemulcht.

Wenn überhaupt kann lediglich bei der Abundanz eine leichte Tendenz für eine Abnahme der Individuendichte durch die Behandlung mit dem Elektroherbizid festgestellt werden. Der Eingriff durch die Pflugarbeit ist jedoch deutlich grösser. Wegen dem Fehlen der anözischen Lumbricus und der epigäischen Arten aus den oben genannten Gründen kann keine abschliessende Beurteilung der Auswirkungen auf die gesamte Regenwurmpopulation gemacht werden.

9.6 Mikrobiologische Parameter in den fünf Varianten

Tabelle 2 zeigt die Resultate der mikrobiologischen Erhebungen. Die Werte der Variante DS Kontrolle bzw. DS Kontrolle nach einer Woche sind bei allen drei gemessenen Parametern mit

Daten aus früheren Erhebungen vergleichbar, dies trotz unterschiedlicher Jahreszeit (Daten 2001-2015: Frühjahr). Auch die Werte der Variante DS Elektro bzw. Elektro nach einer Woche zeigen keine Unterschiede.

Tabelle 2 Mikrobielle Biomassen BM-C bzw. -N (mg/kg TS) sowie Basalatmung (BA, $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g TS/d}$) der fünf untersuchten Varianten sowie der vier bisherigen Erhebungen auf der Dauerbeobachtungsfläche „Oberacker“, Rütli, Zollikofen. (K=Kontrolle, gem=gemulcht, E=Elektro, g=gepflügt)

	2001	2003	2007	2015	2017							
					K	K, nach 1 Wo	gem.	gem, nach 1 Wo	E	E, nach 1 Wo	g	g, nach 1 Wo
Direktsaat (DS)												
BM-C	326	343	328	432	362	337	547	487	341	375		
BM-N			43	58	49	43	75	69	44	50		
BA	57	41	45	65	66	57	82	74	56	59		
Pflug (PF)												
BM-C	319	346	330	439			656				359	276
BM-N			51	55			80				49	39
BA	52	39	36	63			111				33	33

Sowohl beim Pflug- als auch beim Direktsaatsystem wird durch das Mulchen die Mikrobiologie massiv angeregt: PF gemulcht und DS gemulcht zeigen einen Tag nach dem Mulchen deutlich erhöhte Biomassen- und Atmungswerte, die dann nach einer Woche wieder abnehmen (nur bei DS gemessen, da bei PF gemulcht gepflügt wurde und somit keine Messungen durchgeführt werden konnten). Offenbar führt der Anfall an organischem Material schon nach wenigen Stunden zu einer mikrobiellen Aktivität.

Unmittelbar nach dem Pflügen sind die Werte der Biomasse mit denen der Varianten DS Kontrolle und DS Elektro vergleichbar, die Aktivität ist jedoch um ca. die Hälfte geringer. Eine Woche nach dem Pflügen sinken die Biomassen-Werte vermutlich wegen der starken Evaporation des überlockerten Bodens.

Die mikrobiologischen Parameter zeigen durch den Einsatz des Elektroherbizids keine Auswirkungen. Mulchen und Pflügen sind markantere Eingriffe für die Mikroorganismen.

9.7 Schlussfolgerungen

Die Beprobung auf der Dauerbeobachtungsfläche „Oberacker“ am 21. September 2017 erfolgte für eine Regenwurmerhebung nicht unter optimalen Bedingungen. Wegen der grossen Trockenheit

insbesondere im Unterboden durch fehlenden Niederschlag, wasserzehrende Gründüngung und speicherarmen Boden mit hohem Sandanteil wurden keine anözischen Lumbricus und Streubewohner gefunden; auch die Menge an anözischen Nicodrilus und Mineralbodenbewohner lag deutlich unter derjenigen früherer Erhebungen. Für die ausgetriebenen Arten konnte – wenn überhaupt – lediglich bei der Anzahl, nicht aber bei der Biomasse, eine Tendenz zu einer Abnahme beobachtet werden. Pflügen bedeutet für die Regenwürmer einen deutlich grösseren Eingriff.

Bei den mikrobiologischen Parametern konnte keine negative Reaktion beobachtet werden, auch hier wirken sich Massnahmen wie Mulchen oder Pflügen nachhaltiger aus als der Elektroherbizideinsatz.

Unter den sehr trockenen Bedingungen wie sie auf der Dauerbeobachtungsfläche „Oberacker“ im September 2017 vorherrschten, konnte kein Einfluss des Elektroherbizids auf Regenwurmpopulation und Mikrobiologie festgestellt werden. Für eine Gesamtbeurteilung müssten noch entsprechende Untersuchungen unter feuchten Bodenbedingungen durchgeführt werden.

9.8 Datentabellen Versuchsstandorte

9.8.1 Flaach

Datum	18. August 2017
Ort	Flaach
Witterung (vorher, während, nachher)	V: lange Trockenperiode
Lufttemperatur, Tagesmaximum (°C)	25
Bodentemperatur, °C (Bodentiefe, cm)	
Luzerne/Raigras	22.15 (0)
Weissklee	22.4 (0)
Bodenfeuchte (%)	
Luzerne/Raigras	18.90
Weissklee	20.56
Bodentyp GIS	Kalkbraunerde
behandelte Fläche/Kultur	Luzerne/Ital. Raigras- Mischung Weissklee

Wuchshöhe des Bestandes (cm)	
Luzerne/Raigras	15
Weissklee	10
Einstellung Gerät (1-5)	5
Stromstärke (A)	70-100
Fahrgeschwindigkeit (km/h)	
Luzerne/Raigras	1.5 vs. 2.5
Weissklee	1.9
Problemunkräuter (Neophyten, Distel, Ampfer, Winde, Gräser)	Ampfer
Bestandesgesundheit, Auffälliges	Luzerne/Raigras etwas lückenhaft, Weisskleestreifen sehr wüchsig, eine Stelle schwächer im Wuchs

9.8.2 Künten AG

Datum	9. September 2017
Ort	Künten AG
Witterung (vorher, während, nachher)	V: über das WE 50 mm geregnet W: heiss und sonnig N: trocken, heiss
Lufttemperatur, Tagesmaximum (°C)	24
Bodentemperatur, °C (Bodentiefe, cm)	19.4 (0)
Bodenfeuchte (%)	22.6
Bodentyp GIS	alluviale, schwach gleyige Braunerde
behandelte Fläche/Kultur	Gründüngung „OH-Nährgrün“: Phacelia und Alexandrinerklee
Wuchshöhe des Bestandes (cm)	50
Einstellung Gerät (1-5)	5
Stromstärke (A)	60-80
Fahrgeschwindigkeit (km/h)	1.5
Problemunkräuter (Neophyten, Distel, Ampfer, Winde, Gräser)	-
Bestandesgesundheit, Auffälliges	Sehr schöner Bestand

9.8.3 Aeschi, SO

Datum	6. September 2017
Ort	Aeschi, SO
Witterung (vorher, während, nachher)	trocken, heiss
Lufttemperatur, Tagesmaximum (°C)	23
Bodentemperatur, °C (Bodentiefe, cm)	26.3 (0)
Bodenfeuchte (%)	16.2
Bodentyp GIS	Braunerde (sauer- gley)
behandelte Fläche/Kultur	Kunstwiese
Wuchshöhe des Bestandes (cm)	5-10
Einstellung Gerät (1-5)	3
Stromstärke (A)	100
Fahrgeschwindigkeit (km/h)	1.5
Problemunkräuter (Neophyten, Distel, Ampfer, Winde, Gräser)	Erdmandelgras
Bestandesgesundheit, Auffälliges	-

9.8.4 Saignelégier

Datum	13. September 2017
Ort	Saignelégier, JU
Witterung (vorher, während, nachher)	kühl, regnerisch
Lufttemperatur, Tagesmaximum (°C)	12
Bodentemperatur, °C (Bodentiefe, cm)	15 (0)
Bodenfeuchte (%)	29.6
Bodentyp GIS	schwach humoser Lehmboden pH 6.5, 2-5% Humus, 20-30% Ton
behandelte Fläche/Kultur	Extensive Wiese Kunstwiese
Wuchshöhe des Bestandes (cm)	10
Einstellung Gerät (1-5)	3
Stromstärke (A)	100
Fahrgeschwindigkeit (km/h)	1-1.5
Problemunkräuter (Neophyten, Distel, Ampfer, Winde, Gräser)	Ampfer, Distel
Bestandesgesundheit, Auffälliges	Starke Verunkrautung mit Ampfer

9.8.5 Oberacker, Rüti Zollikofen

Datum	21. September 2017
Ort	Rüti, Zollikofen, BE
Witterung (vorher, während, nachher)	z.T. Regengüsse, trockener Boden, obere Bodenschicht feucht
Lufttemperatur, Tagesmaximum (°C)	18
Bodentemperatur, °C (Bodentiefe, cm)	12.9 (20)
Saugspannung, Bodenfeuchte (cbar)	16.1
Bodentyp GIS	Braunerde (schwach humos, schwach sauer, schwach pseudogleyig, skelettarm, lehmreichem Sand)
behandelte Fläche/Kultur	Gründüngung Maisstoppeln
Wuchshöhe des Bestandes (cm)	100
Einstellung Gerät (1-5)	
GD	2,1
Maisstoppelfeld	5,4
Stromstärke (A)	60-80
Fahrgeschwindigkeit (km/h)	?
Problemunkräuter (Neophyten, Distel, Ampfer, Winde, Gräser)	Keine
Bestandesgesundheit, Auffälliges	Sehr schöner Bestand

10. Danksagung

Wir danken folgenden Betriebsleitern für die tatkräftige Unterstützung und die Zurverfügungstellung der Flächen:

- Hanspeter Breiter und Toni Meier, Flaach ZH
- Alois und Patrik Kohler, Trottenhof, Künten AG
- Walter Lüthi, Aeschi SO
- Thierry Froidevaux, Saignelégier
- Andreas Chervet, Oberacker

Zudem danken wir **Claudia Maurer** und **Wolfgang Sturny** von der Fachstelle Bodenschutz des Kantons Bern für die konstruktive Zusammenarbeit und **Martina Jenzer** für die Hilfe und das Engagement bei den Versuchen mit dem Erdmandelgras. Herzlichen Dank gilt auch der **Ingold Baumschulen AG** für die Zwischenlagerung des Zasso-Elektroherbs und **Moritz Sauter** für die Transporte der Maschine.