



Innovative Strategien zur Bekämpfung des Drahtwurms im Kartoffelanbau – Schlussbericht Juni 2018

Einleitung

Die Bekämpfung der Drahtwürmer ist in den letzten Jahren zunehmend schwieriger geworden, weil im Moment in der Schweiz nur Ephosin mit einer Teilwirkung gegen diesen Schädling registriert ist. Es ist davon auszugehen, dass das Risiko von Drahtwurmschäden wegen der fehlenden direkten Bekämpfungsmassnahmen in den nächsten Jahren zunehmen wird und den Schweizer Kartoffelbau in grosse Schwierigkeiten bringen wird.

Um weiterhin den hohen Qualitätsansprüchen der Abnehmer gerecht zu werden, benötigen die Schweizer Kartoffelbauern dringend eine wirksame und gleichzeitig umweltschonende alternative Bekämpfungsmethode gegen Drahtwürmer.

Zielsetzung

In einem gemeinsamen dreijährigen Projekt der HAFL und der Agroscope, und in Zusammenarbeit mit der Uni Göttingen (Prof. Vidal), sollen umweltschonende biologische oder chemische Bekämpfungsmethoden zur Praxisreife gebracht werden.

Projektpartner

- Agroscope in Reckenholz (FG Ökologie von Schad- und Nutzorganismen)
- Agroscope in Changins (FG Entomologie und FG Sorten und Anbautechnik)
- Uni Göttingen
- HAFL, Zollikofen (Gruppe Ackerbau und Züchtung)

Projektplan 2015-2017

- A) Weiterentwicklung der biologischen Bekämpfung mit *Metarhizium* auf Gerstekörnern (Agroscope)**
- B) Weiterentwicklung und Prüfung der „Attract-and-Kill“-Methode (CO₂-Kapseln, *Metarhizium*, natürliche und synthetische Insektizide): HAFL, Universität Göttingen**
- C) Synergistische Wirkung von *Metarhizium* und Spinosad auf Drahtwürmer (Agroscope, HAFL)**
- D) Prüfung verschiedener insektizider Wirkstoffe mit einer Anwendung als Saatbeizmittel in Zwischenkulturen vor Kartoffeln (Agroscope)**
- E) Optimierung der Drahtwurmfallen zur Prognose des Befalls (HAFL)**

Zusammenfassung der Ergebnisse 2015-2017

Weiterentwicklung der biologischen Bekämpfung mit *Metarhizium* auf Gerstekörnern (Agroscope)

- ▶ Die Qualität der *Metarhizium*-Pilzgerste konnte wesentlich verbessert und damit die Feldaufwandmenge auf etwa 50kg Pilzgerste pro Hektare reduziert werden.
- ▶ Eine Wirksamkeit der Pilzgerste-Applikation gegen Drahtwürmer konnte bisher nur in einem von vier Versuchen dokumentiert werden. Es bedarf noch weiterer Feldversuche in den nächsten zwei bis drei Saisonen, bevor die Wirksamkeit der *Metarhizium*-Pilzgerste gegen Drahtwurm in Kartoffeln evaluiert werden kann.
- ▶ Die Applikation der Pilzgerste in der Vorfrucht vor der Kartoffelsaison scheint erfolgversprechender zu sein, als eine Applikation zum Kartoffellegen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass in erster Linie der Zeitraum für die Applikation (lange Zeit für die Etablierung des Pilzes vor der Kartoffelkultur) entscheidend ist, und die Kultur/ Begrünung selbst zum Zeitpunkt der Behandlung weniger wichtig ist.
- ▶ In den kommenden beiden Saisonen wird Agroscope in Reckenholz weiterführende Versuch in Zusammenarbeit mit der Eric Schweizer AG in Thun im Rahmen eines KTI-Projekts durchführen. Das Ziel ist die Zulassung der *Metarhizium*-Pilzgerste zur Bekämpfung von Drahtwürmern beantragen.

Weiterentwicklung und Prüfung der „Attract-and-Kill“-Methode

- ▶ Die «CO₂-Kapseln» mit den Nützlingspilzen können mit einem handelsüblichen Granulatstreuer appliziert und genau dosiert werden.
- ▶ «CO₂-Kapseln» mit *Metarhizium brunneum* respektive *Beauveria bassiana* + Kapseln zeigten in einzelnen Feldversuchen eine interessante Teilwirkung von 40-50% gegen den Drahtwurm. Die grosse Streuung der Ergebnisse im Freiland aufgrund der heterogenen Verteilung der Drahtwürmer im Feld, erlaubt jedoch keine statistisch signifikanten Aussagen.
- ▶ Die in den Feldversuchen gemessenen maximalen Teilwirkungen konnten in einem Topfversuch im Freiland mit einer kontrollierten Freisetzung von Drahtwürmern betätigt werden. Für die Positivkontrolle mit einem synthetischen Wirkstoff lag der Wirkungsgrad in diesem Versuch bei rund 70%.

Prüfung verschiedener insektizider Wirkstoffe mit einer Anwendung als Saatbeizmittel in Zwischenkulturen vor Kartoffeln

- ▶ Im Frühling oder Herbst (vor Kartoffeln) wurden verschiedene chemische Pflanzenschutzmittel getestet, welche als Beizmittel von Hafer oder in Form von Kapseln (Köder) appliziert wurden. Insgesamt 11 verschiedene Verfahren wurden untersucht. Keine der im Feld getesteten chemischen Insektizide zeigten eine Wirkung, mit Ausnahme der Positivkontrolle Goldor Bait (*Fipronil*).
- ▶ In einem Versuch mit der Applikation 1.5 Monate nach Kartoffelpflanzung 2017 reduzierte der Wirkstoff Tefluthrin die Drahtwurmschäden an Knollen signifikant. Alle anderen Verfahren hatten keinen Einfluss auf den Prozentsatz geschädigter Knollen. Dieses Ergebnis soll in einem zweiten Versuchsjahr überprüft werden.

Folgerungen und Ausblick

Die Bekämpfung des Drahtwurms bleibt eine grosse Herausforderung. Eine gezielte Bekämpfung ist erschwert, da eine Vorhersage des Befallsrisikos sehr unsicher ist und Bodenfallen zur Bestimmung der Drahtwurmpopulation nicht zuverlässig sind. Zudem sind die Drahtwürmer im Feld oft sehr heterogen verteilt sind.

Synthetische oder biologische Mittel mit einem ähnlich guten Wirkungsgrad wie beim nicht mehr verfügbaren Wirkstoff Fipronil werden in den nächsten Jahren nicht zu Verfügung stehen. Die in den Versuchen beobachtete Teilwirkung der getesteten biologischen Produkte ist nur in Kombination mit weiteren Massnahmen ausreichend. Der Bekämpfungstermin bei der Pflanzung der Kartoffeln ist nicht optimal, da sich die Drahtwürmer meist noch in tieferen Bodenschichten befinden. Der Wirkungsgrad der heute zur Verfügung stehenden Produkte reicht unter diesen Umständen oft nicht aus. Bei einer Bekämpfung in der Vorkultur im Herbst könnten die Drahtwurmlarven vermutlich besser erfasst werden, da sie aktiver sind und sich näher an der Bodenoberfläche befinden. Die Drahtwurmbekämpfung sollte nicht nur in den Kartoffeln erfolgen. Nur durch eine Kombination von vorbeugenden und direkten Massnahmen (Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, biologische und chemische Bekämpfung) wird es möglich sein, den Drahtwurm längerfristig unter der Schadenschwelle zu halten.



A) Weiterentwicklung der biologischen Bekämpfung mit *Metarhizium* (Agroscope / HAFL)

Kurzfassung

Der entomopathogene Pilz *Metarhizium brunneum* kommt in der Schweiz als natürlicher Krankheitserreger von Drahtwürmern vor. Ein von Agroscope isolierter Stamm des Pilzes hat sich als virulent gegen zumindest zwei bedeutende Drahtwurmartarten erwiesen. Mithilfe dieses Pilzes soll eine Strategie zur biologischen Bekämpfung von Drahtwürmern entwickelt werden.

Im Rahmen des vorliegenden Projekts arbeitete Agroscope in Reckenholz an der Verbesserung der Qualität der *Metarhizium*-Pilzgerste, unterhielt eine Drahtwurmzucht, um Drahtwürmer für die Durchführung von Labor- und Feldversuchen bereitstellen zu können, und beteiligte sich an Feldversuchen zur Erhebung der Wirksamkeit der Pilzbehandlungen gegen Drahtwürmer.

Eine Wirksamkeit der *Metarhizium*-Pilzgerste gegen Drahtwürmer konnte bisher nur in einem von vier Versuchen dokumentiert werden. Weitere Feldversuche sind notwendig, um die Wirksamkeit dieser biologischen Bekämpfungsstrategie endgültig beurteilen zu können. Im vorliegenden Projekt wurden dennoch wesentliche Fortschritte erzielt, wie z.B. die Verbesserung der Qualität der Pilzgerste, oder wichtige Ergebnisse über die Etablierung von *Metarhizium* in den Ackerflächen abhängig von der Art und vom Zeitpunkt der Applikation.

Die Arbeiten am Thema Drahtwurmbekämpfung wurden nach Ende des Projekts nicht eingestellt. Im Rahmen eines KTI-Projekts sollen weitere Labor- und Feldversuche bis Ende 2019 durchgeführt werden. Die Beurteilung der Wirksamkeit und der Praxistauglichkeit der Anwendung von *Metarhizium*-Pilzgerste gegen Drahtwürmer soll auf eine möglichst breite Datenbasis zu stellen. Fällt sie positiv aus, wird eine Zulassung von *Metarhizium*-Pilzgerste gegen Drahtwürmer beantragt.

1. Einleitung

Die Isolation eines gegen Drahtwürmer hoch virulenten Stammes der Pilzart *Metarhizium brunneum* vor mehr als 10 Jahren war der Auslöser für eine verstärkte Forschungstätigkeit von Agroscope auf dem Gebiet der biologischen Drahtwurmbekämpfung. Der Pilzstamm besitzt gegen die beiden wichtigen Drahtwurmartarten *Agriotes obscurus* und *A. lineatus* eine hohe Virulenz und weist auch eine gute Sporenkeimfähigkeit, Reproduktionsrate und Stabilität unter kontrollierten Kulturbedingungen auf. Im Freiland war es bis anhin nicht gelungen, den Pilz im Ackerboden zu etablieren. Folglich konnte seine Wirksamkeit gegen natürliche Drahtwurmpopulationen nicht getestet werden. Mit einer Anpassung der Applikationsstrategie an die ökologischen Bedürfnisse des Pilzes sollte dieses Problem gelöst werden.



Die Ausgangshypothese zu den Arbeiten im vorliegenden Projekt war, dass ungünstige Umweltbedingungen im Kartoffelacker (Trockenstress, intensive Bodenbearbeitung, Einsatz von Fungiziden zur Krautfäulebekämpfung) einer Etablierung des Pilzes abträglich sind. Der Zeitraum zur Bekämpfung der Drahtwürmer ist jedoch nicht nur auf die Kartoffelkultur beschränkt, da die Schädlinge über mehrere Jahre im Boden verbringen. Alternativ kann eine Behandlung auch im Jahr davor gemacht werden. Im Falle eines Einsatzes von entomopathogenen Pilzen könnte diese Flexibilität von Vorteil sein, erlaubt sie doch eine Behandlung auch in einer Vorkultur (etwa Kunstwiese), in der der Boden bedeckt ist und die weniger stark bearbeitet wird. Solche Bedingungen könnten der Etablierung des Pilzes zuträglich sein, und die Drahtwurmpopulation könnte bereits reduziert werden, bevor die Kartoffeln in der darauffolgenden Saison gepflanzt werden.

Die FG „Ökologischer Pflanzenschutz im Ackerbau“ an Agroscope in Reckenholz war im vorliegenden Projekt schwerpunktmässig am Arbeitsschwerpunkt A, «Weiterentwicklung der biologischen Bekämpfung mit *Metarhizium*» beteiligt. Die Aufgaben der FG umfassten die Produktion der Pilzgerste als Ausgangsmaterial für Feldversuche, die Zucht von Drahtwürmern für Virulenzassays und für künstliche Infektionen von Versuchsflächen, sowie die Beteiligung an Feldversuchen zur Evaluation der verschiedenen Bekämpfungsstrategien.

Am Rande war Agroscope in Reckenholz auch an dem Arbeitsschwerpunkt B, «Weiterentwicklung und Prüfung der „Attract-and-Kill“-Methode mit CO₂-Kapseln» beteiligt. Für das erste Versuchsjahr wurde das Pilz-Inokulum zur Verfügung gestellt, welches die «kill»-Komponente im oben genannten Verfahren darstellte, und Bodenproben auf das Vorhandensein von Pilzkolonien untersucht. Für den Arbeitsschwerpunkt C, «Synergistische Wirkung von *Metarhizium* und Spinosad auf Drahtwürmer», stellte Agroscope in Reckenholz Pilzgerste und Drahtwürmer zur Verfügung und untersuchte die Etablierung des Pilzes in Bodenproben aus den Versuchspartellen. Im Folgenden werden die Arbeiten von Agroscope in Reckenholz für den Arbeitsschwerpunkt A zusammengefasst.

2. Material und Methoden:

Pilzgerste:

Es wurde Pilzgerste produziert, welche mit dem am Reckenholz isolierten Stamm *Metarhizium brunneum* ART2825 infiziert war. Die Methode zur Herstellung der Pilzgerste stammt aus der Maikäfer-Bekämpfung und wurde von Aregger (1992) beschrieben. Das Produktionsverfahren wurde im Verlauf des vorliegenden Projekts jedoch auf modernere Zuchtsäcke und ein besser geeignetes Basismaterial umgestellt.

Drahtwürmer:

Für die Drahtwurmzucht wurden Schnellkäfer eingefangen, auf Artniveau bestimmt, und dann auf Töpfe mit einer Grasmischung für die Eiablage gesetzt. Die aus den Eiern schlüpfenden Larven ernähren sich in etwa ein halbes Jahr von den Graswurzeln, bevor sie aus dem Substrat gesammelt, gezählt und in Torfsubstrat gekühlt gelagert werden. Eine detaillierte Beschreibung der Methode findet sich in Kölliker et al (2009). Die beiden Arten *Agriotes obscurus* und *A. lineatus* kamen für Versuche im vorliegenden Projekt zum Einsatz.

Erhebung der Pilzkolonien:

Als Mass für die Etablierung des Pilzes in behandelten Böden wurde die Anzahl koloniebildender *Metarhizium*-Einheiten (colony forming units, CFUs) pro Gramm Substrat erhoben. Mit einem Bodenprobenbohrer wurden 5 Bodenproben gezogen. Noch auf dem Feld wurden die Proben gemischt und aus jeder Mischprobe ca. 300g Substrat für die Laboranalyse abgefüllt. 20g der Probe wurden anschliessend aufgeschlämmt und der Überstand auf Petrischalen ausplattiert. Die Kolonien wurden gezählt, sobald die Sporenlager sich zu bilden begannen und eine morphologische Unterscheidung der *Metarhizium*-Kolonien von anderen Pilzkolonien möglich war. Die Methode wurde auch von Kessler et al. (2004) angewendet und in dieser Publikation genau beschrieben.

Schadensbonitur:

Der Schaden an den Kartoffelknollen wurde mit zwei unterschiedlichen Verfahren dokumentiert. Einerseits wurden 25 Knollen pro Parzelle anhand des international verwendeten „EPPO-Schemas“ bewertet (Einteilung der Knollen in 4 Kategorien „ohne Befall“, „geringer Befall“ (1-2 Löcher), „mittlerer Befall“ (3-5 Löcher) und „hoher Befall“ (> 5 Löcher)). Der restliche Inhalt der Harasse pro Parzelle wurde nach befallen/nicht befallen sortiert und der Prozentsatz geschädigter Knollen berechnet.

Feldversuche:

Feldversuch 1, Reckenholz, Saison 2014/ 2015

Der erste Feldversuch mit Applikation des Pilzes in der Vorfrucht wurde bereits vor Projektbeginn, im Spätsommer 2014 angelegt. Grünhafer wurde als Vorfrucht gewählt. Die Verfahren Regent (Beizung des Sommerhafers mit dem Wirkstoff Fipronil), Pilzgerste (5×10^{13} Sporen/ha) und eine unbehandelte Kontrolle wurden in 6-facher Wiederholung angelegt (18 Parzellen). Die Pilzgerste wurde bei der Saatbettvorbereitung unmittelbar vor der Saat in die oberen Bodenschichten eingearbeitet. Die Parzellen waren 9m lang und 3m breit, sodass im darauffolgenden Frühjahr jeweils 4 Reihen Kartoffeln in einer Parzellenbreite Platz fanden. 2 Wochen nach der Applikation wurden Zylinder aus PVC mit einer Höhe von 60cm und einem Durchmesser von 50cm in die Parzellen eingeschlagen (3 Zylinder pro Parzelle = 58 Zylinder). In die Zylinder wurden jeweils 10 Drahtwürmer der Art *Agriotes obscurus* ausgesetzt. Auswertungen der Koloniedichte (CFUs) und der Drahtwurmmortalität (Wiederfindungsrate und Gesundheitszustand der freigesetzten Drahtwürmer) wurden an drei Terminen durchgeführt, im Oktober



2014 (Vorkultur), im April 2015 (Kartoffelpflanzung) und im August 2015 (Kartoffelernte). Am letzten Termin wurde auch die Schädigung der Knollen erhoben.

Feldversuch 2, Worb (BE), Saison 2016

In diesem Feldversuch wurde untersucht, ob eine geschlossene Vegetationsdecke für die Etablierung des Pilzes im Ackerboden besser ist als die offene Ackerfurche. Der Versuch wurde auf dem Betrieb von Jürg Moser in Bangerten/ Worb durchgeführt. Auf der Versuchsfläche ist eine natürliche Drahtwurmpopulation vorhanden. *Metarhizium*-Pilzgerste wurde im Frühjahr 2016 in einer Konzentration von 1×10^{14} Sporen/ha ausgebracht. Mit einer Direktsaatsämaschine wurde die Pilzgerste zur gleichen Zeit entweder direkt in die Vorfrucht (Kunstwiese) oder alternativ direkt in das frisch gepflügte Feld eingesät. In der Folge hatte der Pilz bis Anfang Mai in beiden Varianten Zeit, sich zu etablieren. Der Umbruch der ungepflügten Kunstwiese, die Saatbettbereitung und die Kartoffelpflanzung folgten Anfang Mai, 2016. Auswertungen der Koloniedichte erfolgten vor und nach der Applikation, die Ernteauswertung erfolgte Anfang September, 2016.

Feldversuch 3, Reckenholz, Saison 2016

Ziel des Versuches war, mithilfe von Vliesabdeckung bzw. „intercropping“ mit Grünhafer die mikroklimatischen Bedingungen der Versuchspartellen zu variieren, um optimale Bedingungen zur Etablierung des Pilzes definieren zu können. Die Versuchsfläche wurde in Bahnen zu jeweils 3m (4 Kartoffelreihen) Breite geteilt. Die Hälfte der Bahnen wurde vor der Saatbettbereitung mit Pilzgerste (1×10^{14} Sporen/ha) behandelt. Jeweils 6 behandelte und 6 unbehandelte Parzellen wurden nach der Kartoffelpflanzung mit Grünhafer begrünt, mit Vlies abgedeckt, oder unbedeckt belassen. Die Parzellen wurden mit jeweils 20 Drahtwürmern (*A. obscurus*) aus der Laborzucht infiziert. Ähnlich wie im Feldversuch 2 in Worb wurde die Etablierung des Pilzes erhoben (Bestimmung der CFUs im Substrat). Eine Schadensbonitur erfolgte nach einer manuellen Entnahme von jeweils 6 Kartoffelstauden pro Parzelle.

Feldversuch 4, Reckenholz, Saison 2016/ 2017

In diesem Versuch wurde Pilzgerste sowohl im Spätsommer (2016) als auch im Frühjahr (2017) in Parzellen mit Zwischenfrucht appliziert. Zusätzlich wurden Schwarzbrache und mit Vlies abgedeckte Parzellen parallel behandelt.

Auf der Fläche wurden Schnellkäfer zur Eiablage in den Parzellen ausgebracht: In die Vorfrucht Weizen (2016) wurden Käfige gestellt, welche jeweils mit 5 Schnellkäferweibchen (*A. obscurus*) bestückt waren. Die Idee war, einen möglichst gleichmässigen Befall über die ganze Versuchsfläche zu generieren. Die Drahtwürmer würden dann bereits ihrem natürlichen Rhythmus folgen (Vertikalwanderungen), wenn die Behandlungen ausgebracht werden. Zur Auswertung wurden wiederum Pilzkolonien herangezogen (CFUs zu verschiedenen Zeitpunkten). Ausserdem war eine Knollenbonitur nach der Ernte geplant.

3. Ergebnisse

Produktion der Pilzgerste

Am Beginn des Projekts erbrachte eine durchschnittliche Charge Pilzgerste etwa 2×10^8 Metarhiziumsporen/g. Für eine Zielkonzentration von mindestens 5×10^{13} Sporen/ha Kartoffelfläche wären mit diesem Material 250kg Pilzgerste pro Hektare notwendig. Eine Applikation in dieser Grössenordnung wäre denkbar, ist jedoch nicht ökonomisch. Im Verlauf des Projekts konnte der Ertrag der Pilzgersteproduktion jedoch durch verschiedene Änderungen beim Ausgangsmaterial und beim Fermentationsprozess entscheidend verbessert werden. Am Ende des Projekts wurden regelmässig Erträge von 1×10^9 Sporen/g erzielt. Mit dem Produkt in dieser Qualität sind nur mehr 50kg Pilzgerste pro Hektare notwendig. Aus praktischen und ökonomischen Gründen würde ein Pilzgersteinsatz durchaus sinnvoll sein. Die hohe Sporenkonzentration der Pilzgerste würde sogar eine weitere Erhöhung der Aufwandmenge erlauben, ohne dass das Verfahren an Praxistauglichkeit verlieren würde.

Drahtwurmzucht:

Die Drahtwurmzucht verlief im ersten Projektjahr problemlos, sodass für die Versuche im Rahmen des Projekts etwa 1'000 Drahtwürmer zur Verfügung gestellt werden konnten. Der Einbruch in der Zucht 2016 war teilweise durch eingeschleppte Krankheiten zu erklären. Es konnten nur wenige hundert Drahtwürmer der Arten *Agriotes sputator* und *A. lineatus* für Laborversuche und den Feldversuch im Reckenholz zur Verfügung gestellt werden. In diesem Jahr wurde deshalb versucht, Parzellen gleich mit den Käfern zu infizieren, sodass die Käfer Eier in Flächen ablegen, die im 2017 für die Kartoffelpflanzung verwendet wurden (siehe Feldversuch 4, Reckenholz). Das Ziel dieser Methode war, die kostenintensive und arbeitsaufwändige Drahtwurmzucht in Töpfen im Gewächshaus langfristig zu ersetzen. Leider war dieser Versuch nicht erfolgreich, aus ungeklärten Gründen war die künstliche Etablierung einer Drahtwurmpopulation in den Käfigen am Feld nicht möglich. Die parallel weitergeführte Zucht in den Gewächshauskabinen funktionierte im dritten Projektjahr jedoch wieder gut und es gab ausreichend Drahtwürmer für alle Versuchsvorhaben.

Feldversuch 1, Reckenholz, Saison 2014/ 2015

Im Zylinderversuch am Reckenholz war Fipronil als chemischer Vergleichsstandard am effektivsten. Die Pilzgerstebehandlung zeigte ebenfalls einen Effekt auf die Drahtwurmmortalität, der jedoch aufgrund der grossen Variation der Daten innerhalb der Verfahren statistisch nicht abgesichert werden konnte. Die Asuwertung der Schäden an den Knollen lieferte ebenfalls vielversprechende Ergebnisse: In den Kontrollparzellen konnten etwas mehr als 60% ungeschädigte Knollen gefunden werden, knapp 40% hatten zumindest ein von Drahtwürmern verursachtes Loch. Insektizidvariante und Pilzgerstevariante erzielten sehr ähnliche Ergebnisse, mit etwa 85% ungeschädigter Knollen und nur etwa 15% Knollen mit Frassspuren. Auch bei der Knollenbonitur war die Datenvarianz sehr hoch. Immerhin

zeigte die Asuwertung jedoch auch, dass die Pilzgerstevariante sich von der chemischen Vergleichsvariante nicht unterschied.

Feldversuch 2, Worb (BE), Saison 2016

Die Etablierung des Pilzes in diesem Versuch war in beiden Varianten erfolgreich. Entgegen den Erwartungen konnte sich der Pilz jedoch nach der Applikation in die offene Ackerfurche besser etablieren als nach Applikation in die Kunstwiese. Dies hat vermutlich methodische Gründe (bessere Verteilung des Inokulums im Acker-Teil durch die Unterschiede in der Bodenbearbeitung) und hängt eher nicht mit der Bodenbedeckung zusammen. Die Schäden an den Knollen waren generell hoch, mit etwa einem Drittel an Knollen, welche zumindest 1 Drahtwurmloch aufwiesen. Zwischen den behandelten und den unbehandelten Parzellen konnte kein signifikanter Unterschied beim Kartoffelschaden festgestellt werden.

Zwischen den Applikationsverfahren (in die Kunstwiese bzw. in den Ackerboden) besteht jedoch ein signifikanter Unterschied in den behandelten Parzellen. Es waren um etwa 10% mehr Knollen aus Parzellen geschädigt, wo die Applikation in die Kunstwiese erfolgte. Eine genauere Untersuchung der behandelten Parzellen (unter Ausschluss der Kontrollparzellen) zeigte, dass ein indirekt proportionaler Zusammenhang besteht zwischen der Anzahl Pilzkolonien und dem Prozentsatz geschädigter Kartoffeln. Vermutlich zeigt das Ergebnis schlichtweg eine Dosis-Wirkungsbeziehung. Dies würde bedeuten, dass die Menge an vorhandenen Sporen für den gewählten Infektionszeitraum zu gering war, um eine deutliche Wirksamkeit der Behandlung zu erreichen.

Feldversuch 3, Reckenholz, Saison 2016

Die Etablierung des Pilzes war in diesem Versuch, unabhängig von der Art der Bodenbedeckung, sehr gut. Bei der Interpretation der CFU-Daten darf der verregnete Frühling und Frühsommer im 2016 nicht vergessen werden. Da es keine Trockenperioden gab, konnte sich der Pilz in allen Varianten gut etablieren. Bei ausreichend Wasserversorgung kann auch eine Applikation in die Ackerfurche (ohne Bedeckung) erfolgreich sein.

Leider zeigte die Analyse der Knollenschäden wiederum keinen eindeutigen Effekt der Behandlungen. Zwischen 5% und 20% der Kartoffeln waren geschädigt. Tendenziell weniger geschädigt waren die Knollen in Parzellen mit alternativem Nahrungsangebot (in diesem Fall Parzellen mit Zwischenbegrünung mit Grünhafer, aber auch Parzellen mit hohem Unkrautdruck), das unabhängig von der Behandlung mit Pilzgerste.

Ein tendenzieller Effekt der Behandlung war in der Variante ohne Bodenabdeckung sichtbar. Behandelte Parzellen wiesen geringere Knollenschäden auf als unbehandelte. Hier waren die Drahtwürmer auf die Kartoffeln als alleinige Futterquelle angewiesen, eine Reduktion der Drahtwürmer wirkte sich daher am deutlichsten auf die Häufigkeit von Knollenschäden aus. Der Unterschied zwischen behandelten und unbehandelten Parzellen dieser Variante war jedoch trotzdem nicht signifikant.

Feldversuch 4, Reckenholz, Saison 2016/ 2017

Im letzten im Rahmen des Projekts ausgewerteten Feldversuch zeigte wurde versucht, eine Ackerfläche künstlich mit Drahtwürmern zu besiedeln, indem auf die Parzellen Käfige gestellt wurden, in denen Schnellkäfer (erwachsene *Agriotes obscurus*) zur Eiablage gezwungen werden sollten. Das Ziel dieser Vorgehensweise war, eine möglichst gleichförmige Drahtwurmpopulation über die gesamte Versuchsfläche aufzubauen, weil der von Natur aus vorherrschende «nesterweise» Befall von Ackerflächen zu starken Unterschieden in der Drahtwurmhäufigkeit – unabhängig von allfälligen Behandlungen – führt. Die künstliche Infizierung der Fläche hätte diese natürliche Varianz verringern sollen.

Leider gelang es nicht, die Drahtwürmer auf der Versuchsfläche zu etablieren. Vermutlich hatten die Käfer in der für sie unnatürlichen Umgebung keine Eier abgelegt. Die im September 2017 geernteten Knollen waren folglich – auch von den unbehandelten Kontrollparzellen – frei von Drahtwurmschäden, eine Evaluierung der Wirksamkeit der Pilzgerstebehandlung war daher nicht möglich.

Die Analyse der Bodenproben aus diesem Versuch brachte dennoch interessante Erkenntnisse: Die Auszählung der Pilzkolonien im Oktober 2016, zweieinhalb Monate nach der Applikation, zeigte eine mässige Etablierung des Pilzes. Die mit Hafer begrünzte Variante schnitt mit etwa 600 Kolonien/ g Erde überraschend schlecht ab, während die Applikation in die Schwarzbracheparzellen und in die mit Vlies abgedeckten Parzellen mit mehr als 3'000 und mehr als 2'000 Kolonien/ g Erde wesentlich mehr Erfolg zeigte.

Die weitere Entwicklung der Pilzkolonien verlief jedoch erfreulich. Bei der zweiten Probennahme im April 2017 wurde in allen drei Verfahren durchschnittlich etwa 7'000 Kolonien/ g Erde gezählt. In allen drei Varianten (Brache, Grünhafer, Vliesabdeckung) nahmen die Pilzkolonien im Verlauf der Wintermonate signifikant zu, und erreichten zum Zeitpunkt der Kartoffelpflanzung einen Maximalwert. Erwartungsgemäss ging die Kolonienzahl im Verlauf der Kartoffelsaison wieder zurück. Dennoch konnten zum Zeitpunkt der Ernte im August 2017 in den im Sommer 2016 behandelten Varianten noch zwischen 2'500 bis 3'800 Pilzkolonien/ g Erde nachgewiesen werden. Im Vergleich dazu viel die im Frühjahr 2017 behandelte Variante deutlich zurück. Drei Wochen nach der Frühjahrsbehandlung (Bodenprobenziehung im Frühjahr 2017 für alle Verfahren zum gleichen Zeitpunkt) konnten in diesen Parzellen durchschnittlich etwa 1'200 Kolonien nachgewiesen werden, zum Zeitpunkt der Ernte waren es noch etwa 650 Kolonien. Die Ergebnisse sind ein Hinweis darauf, dass die Applikation der Pilzgerste im Spätsommer vor der Kartoffelsaison, unabhängig von der Bodenbedeckung, von Vorteil sein dürfte.

4. Fazit und Ausblick

Die Qualität der *Metarhizium*-Pilzgerste konnte wesentlich verbessert werden. Dadurch kann die Feldaufwandmenge reduziert werden auf etwa 50kg Pilzgerste pro Hektare. Die Applikation von Pilzgerste zur Drahtwurmbekämpfung wäre daher sowohl aus praktischen wie auch aus wirtschaftlichen Überlegungen durchführbar.



Eine Wirksamkeit der Pilzgerste-Applikation gegen Drahtwürmer konnte bisher nur in einem von vier Versuchen dokumentiert werden. Zum gegebenen Zeitpunkt ist daher noch keine abschliessende Beurteilung des Verfahrens möglich. Da im Zuge des vorliegenden Projekts verschiedene Versuchsanlagen und unterschiedliche Applikationsstrategien zum Einsatz kamen, sind die Ergebnisse der Feldversuche nicht miteinander vergleichbar. Es bedarf noch weiterer Feldversuche in den nächsten zwei bis drei Saisonen, bevor die Wirksamkeit der *Metarhizium*-Pilzgerste gegen Drahtwurm in Kartoffeln evaluiert werden kann.

Eine Behandlung der Flächen vor dem Kartoffellegen scheint nicht erfolversprechend zu sein, selbst dann nicht, wenn mit Zwischensaat oder anderen Mitteln eine Bodenbedeckung gewährleistet wird, um eine gute Etablierung des Pilzes im Boden zu erreichen. Bei dieser Applikationsstrategie ist es schwierig, in einem relativ kurzen Zeitraum genügend Pilzkolonien im Boden zu etablieren.

Umgekehrt scheint die Applikation der Pilzgerste in der Vorfrucht vor der Kartoffelsaison erfolversprechend zu sein. Vor allem das Ergebnis des letzten Feldversuchs deutet auch darauf hin, dass in erster Linie der Zeitraum für die Applikation (lange Zeit für die Etablierung des Pilzes vor der Kartoffelkultur) entscheidend ist, und die Kultur/ Begrünung selbst zum Zeitpunkt der Behandlung weniger wichtig ist.

In den kommenden beiden Saisonen wird Agroscope in Reckenholz eine Reihe von Feldversuchen mit einer für alle Standorte vergleichbaren Applikationsstrategie umsetzen. Diese Versuche werden in Zusammenarbeit mit der Eric Schweizer AG in Thun im Rahmen eines KTI-Projekts durchgeführt. Sollte sich die Wirksamkeit der *Metarhizium*-Pilzgerste in diesen Versuchen bestätigen, wird die Eric Schweizer AG als Umsetzungspartner die Zulassung der *Metarhizium*-Pilzgerste zur Bekämpfung von Drahtwürmern beantragen.

B) Weiterentwicklung und Prüfung der „Attract-and-Kill“-Methode (CO₂-Kapseln, *Metarhizium*, natürliche und synthetische Insektizide): HAFL, Universität Göttingen

Das Prinzip des „Attract and kill“ – Verfahrens besteht aus einer Lockstoffkomponente und einer „Kill“-Komponente. Im vorliegenden Projekt wurden drei „Attract-and-kill“ Verfahren getestet:

- Attracap, das Produkt besteht aus CO₂-emittierenden Alginatkapseln, welche als „Kill“-Komponente *Metarhizium* enthalten.
- Neem in Kombination mit CO₂-emittierenden Alginatkapseln.
- *Beauveria bassiana* (Velifer) in Kombination mit CO₂-emittierenden Kapseln auf der Basis von Maisstärke.

Auf eine anfänglich geplante Kombination der Kapseln mit synthetischen Insektiziden wurde verzichtet, da keine der angefragten Pflanzenschutzfirmen bereit waren, sich für ein solches Verfahren zu engagieren. Grund dafür war die aus ihrer Sicht geringen Erfolgsaussichten für eine Bewilligung neuer Insektizide gegen den Drahtwurm.

1. Material und Methoden

Feldversuche

In den Jahren 2014-2017 wurden führte die HAFL insgesamt 21 Versuche zur Drahtwurmbekämpfung durch, davon 15 Versuche im Rahmen des Projektes «innovative Strategien zur Bekämpfung des Drahtwurms» in den Jahren 2015 bis 2017. Dabei wurden die folgenden Verfahren getestet (an Biostandorten ohne die Verfahren mit synthetischen Produkten).

1. Kontrolle
2. Ephosin 10kg/ha
3. CO₂ Kapseln mit Neem in Linie 30kg/ha
4. CO₂ Kapseln mit *M.brunneum* in Linie 30kg/ha
5. CO₂ Kapseln mit *M.brunneum* als Depot/Haufen 30kg/ha
6. *Beauveria* (= Velifer, 1l /ha) + Kapseln (BASF)

Die Elementarparzellen waren 3m breit und 10 m lang. Die Applikation der Produkte erfolgte mit dem Granulatstreuer bei der Pflanzung. Das einzige flüssige Produkt Velifer wurde bei der Pflanzung mit den praxisüblichen Spritzdüsen zur Beizung von Kartoffeln auf den Boden appliziert. Alle Verfahren wurden achtmal wiederholt (an einzelnen Standorten nur fünfmal).

Bei der Parzellenauswahl wurde darauf geachtet, dass die Parzellen aufgrund ihrer Fruchtfolge ein erhöhtes Risiko für Drahtwurmschäden aufweisen. Zudem wurden Betriebe ausgewählt, welche in den vergangenen Jahren wiederholt Schäden zu verzeichnen hatten.

Bei der Ernte wurden Muster von 200 Kartoffeln pro Elementarparzelle gezogen, gewaschen und auf Drahtwurmbefall kontrolliert.

Freiland-Topfversuch

2017 wurde am Standort Zollikofen ein Topfversuch im Freiland angelegt, mit dem Ziel, die in Feldversuchen beobachtete grosse Variabilität des Drahtwurmbesatzes, besser zu kontrollieren. Dazu wurden bei der Pflanzung pro Topf jeweils 6 Drahtwürmer (*Agriotes obscurus* / aus der Zucht von Agroscope) freigesetzt. Durch ein Netz am Boden der Töpfe wurden die Drahtwürmer daran gehindert, den Topf zu verlassen (Abb.1). Die Töpfe wurden in einem Kartoffelfeld platziert. Die Düngung und der Pflanzenschutz erfolgt betriebsüblich.



Abb.1 Ein Netz am Boden des Topfes verhinderte, dass die Drahtwürmer den Topf verliessen (links). Pro Topf wurden 6 Drahtwürmer freigesetzt (mitte). Die Töpfe wurden in einem Kartoffelfeld platziert und betriebsüblich bewirtschaftet (rechts)

Folgende Verfahren wurden geprüft. Pro Verfahren wurden acht Wiederholungen angelegt.

1. Kontrolle
2. Ercole (Lambda-Cyhalothrin) 15 kg/ha
3. Velifer (*Beauveria bassiana*) 1.5 l/ha
4. Attracap (*Metarhizium brunneum*) 30 kg /ha

Bei der Ernte wurden auf den Drahtwurmbefall kontrolliert (Anzahl Löcher pro Knolle) und die Anzahl lebenden Drahtwürmer pro Topf gezählt.

2. Ergebnisse

Feldversuche

Obwohl alle 21 Versuche (2015-2017) auf gezielt ausgewählten Risikoflächen angelegt wurden, traten nur in sieben Feldversuchen bedeutende Schäden von mehr als 10% befallenen Knollen auf (Abb.2). Dies zeigt, wie unberechenbar das Auftreten der Drahtwürmer ist. Eine Vorhersage von Schäden ist nur sehr beschränkt möglich. Im Weiteren ist ersichtlich, dass auf einzelnen Parzellen Schneckenschäden von grosser Bedeutung waren. Diese werden oft mit Drahtwurmschäden verwechselt.

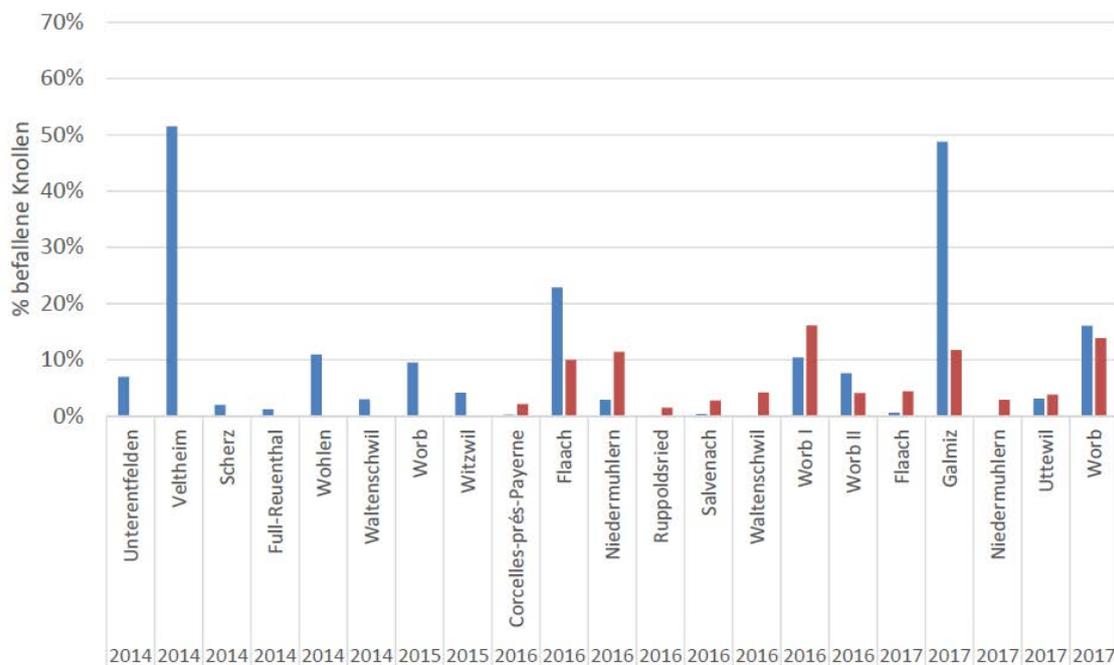


Abb.2 Drahtwurmbefall in % befallene Knollen der Versuchspartellen der HAFL von 2014 bis 2017

In den Versuchen, mit einem für die Prüfung der Verfahren ausreichenden Drahtwurmbefall, wurden bei den biologischen Verfahren (Attracap, Velifer und Neem) maximale Wirkungsgrade von rund 50% erreicht. Dies jedoch nur in einzelnen Versuchen. Die Ergebnisse waren aufgrund der grossen Streuung zwischen den Wiederholungen nicht signifikant (Tab. 1).

Tab.1 Wirkungsgrade der getesteten Produkte 2015-17 (nur Standorte mit ausreichendem Drahtwurmdruck)

Verfahren	2015 Flaach	2016 Flaach; Worb	2017 Galmiz; Worb
Ephosin	23.5% / 37 %	6.8% ; -	19.2% ; -
Ercole	-	-	21.4% ; -
Attracap	-	37.7% ; 46.4%	14.6% ; 3.8%
Attracap Depot	-	14.6% ; -	-
Neem + CO ₂ -Kapseln	-	51.1% ; -9%	-
Velifer	-	-	9.9%/-2.4%
Velifer + Kapseln	-	- ; 50%	9.4%/- 2.1%

Ergebnisse ausgewählter Feldversuche

Zur Verdeutlichung der grossen Herausforderungen, die in Feldversuchen mit dem Drahtwurm auftreten können, werden im Folgenden zwei Feldversuche exemplarisch ausführlicher dargestellt.

Standort Flaach 2016

Der Drahtwurmbefall in der Versuchsparzelle wies einen deutlichen Gradienten auf (Abb.3) mit einem stetigen Anstieg des Befalls je Wiederholung von 6.8% (WH1) bis 33.8% (WH8). Dieser deutliche Anstieg kann nicht auf eine unterschiedliche Bodenbeschaffenheit oder unterschiedliche Vorgeschichte der Teilparzellen zurückgeführt werden. Aufgrund der enormen Streuung der Schäden innerhalb der Verfahren und Wiederholungen waren die Voraussetzungen für eine statistische Auswertung nicht erfüllt. Im Folgenden werden die Ergebnisse deshalb nur graphisch dargestellt und interpretiert.

Die beiden Verfahren Neem und Metarhizium wiesen im Durchschnitt der acht Wiederholungen geringere Drahtwurmschäden auf als die Kontrolle und Ephosin (Abb.4). Der Wirkungsgrad lag bei 51.1% (Neem) respektive 37.7% (Metarhizium). Die Applikation von Metarhizium im Depot (anstatt im Band) führte nicht zum erwünschten Ergebnis. Das schlechte Resultat von Ephosin mit einem Wirkungsgrad von lediglich 6.8% könnte auf die tiefen Bodentemperaturen im Frühjahr 2016 und die hohen Niederschläge nach der Pflanzung zurückzuführen sein, welche das Mittel in tiefer Bodenschichten ausgewaschen haben könnte.

Trotz der enormen Streuung der Ergebnisse im Versuch ist in Abb.5 ersichtlich, dass der Befall in den Verfahren Neem und Metarhizium in den meisten Wiederholungen tiefer waren als in der Kontrolle. Dies könnte auf eine interessante Teilwirkung dieser Produkte gegen den Drahtwurm hinweisen.

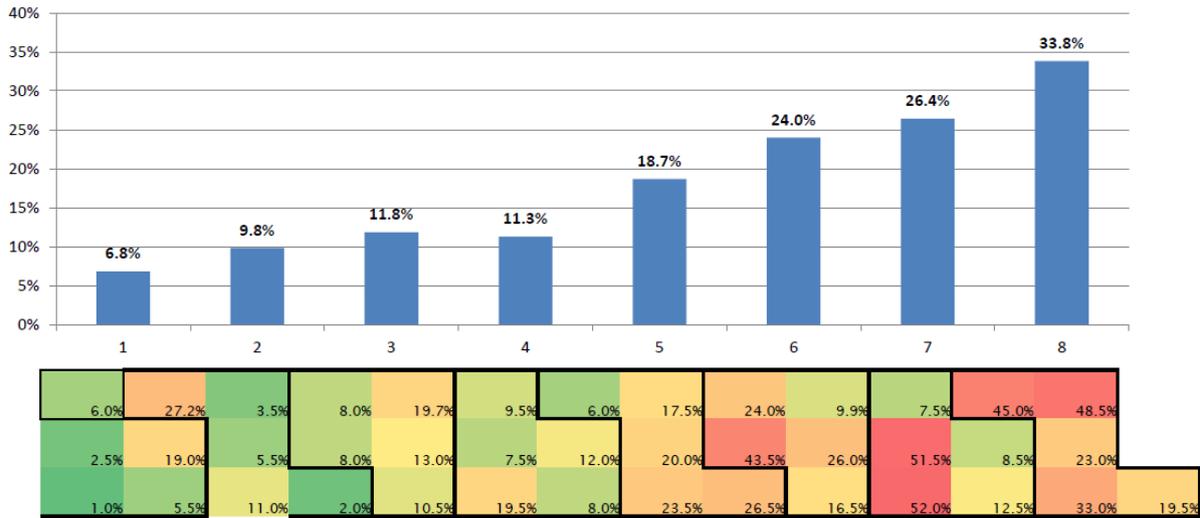


Abb.3. durchschnittlicher Drahtwurmbefall der Kartoffelknollen in den einzelnen Wiederholungen über alle Verfahren am Standort Flaach 2016 (oben) und Drahtwurmbefall der Kartoffelknollen je Elementarparzelle (Breite = 3m, Länge 10m) am Standort Flaach 2016 (unten)

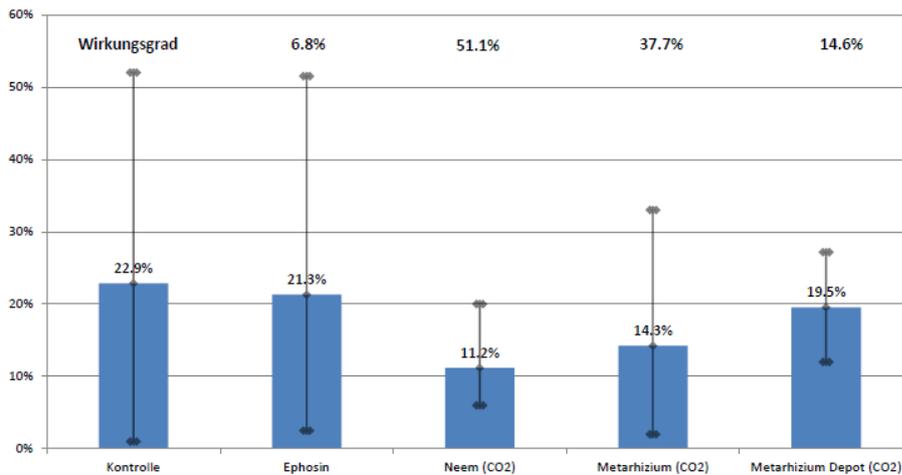


Abb.4. Durchschnittlicher Befall in % Knollen mit Drahtwurmschäden. Die Punkte verbunden mit einer Linie repräsentieren den maximalen respektive minimalen Befall der 8 Wiederholungen. Der Wirkungsgrad der Verfahren wurde nach Abbot berechnet.

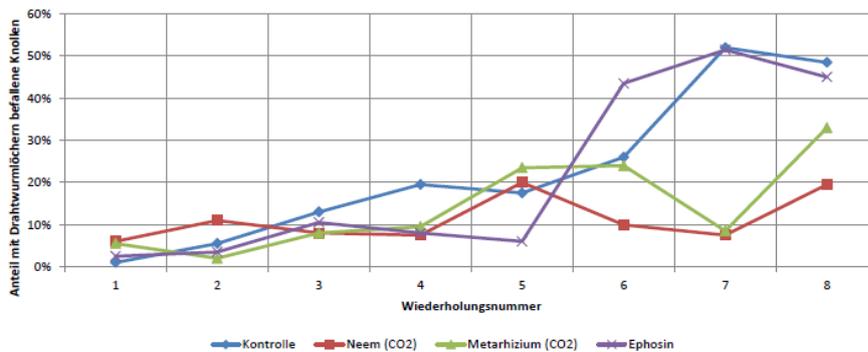


Abb.5. Durchschnittlicher Befall in % Knollen mit Drahtwurmschäden am Standort Flaach je Verfahren und Wiederholung.

Standort Worb 2016

Auch am Standort Worb war ein deutlicher Gradient für den Drahtwurmbefall im Feld zu beobachten (Abb.6). Mit Ausnahme von Wiederholung 3 traten auch keine Interaktionen zwischen den Faktoren Wiederholung und Verfahren auf. Das Verfahren Metarhizium bestätigt die Teilwirkung, welche am Standort Flaach bereits beobachtet wurde (Abb.7). Hingegen war an diesem Standort keine Wirkung von Neem zu beobachten. Das in diesem Versuch zusätzlich geprüfte biologische Produkt von BASF auf der Basis von Beauveria (= Velifer) zeigte eine ähnliche Teilwirkung wie Metarhizium.

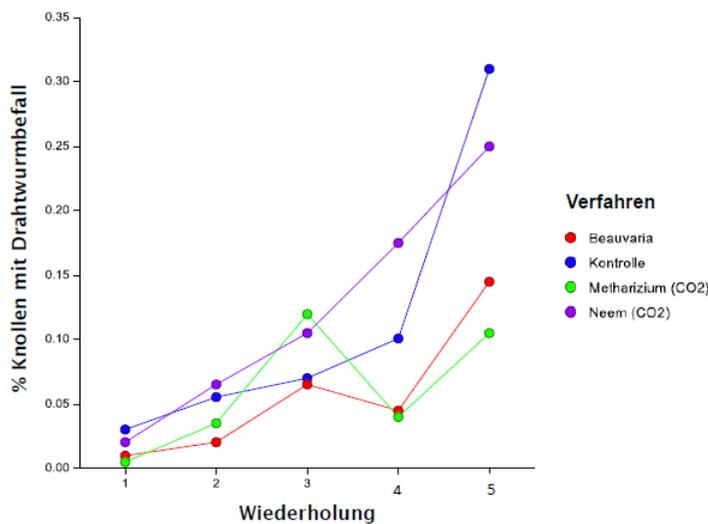


Abb.6. Durchschnittlicher Befall in % Knollen mit Drahtwurmschäden am Standort Worb je Verfahren und Wiederholung.

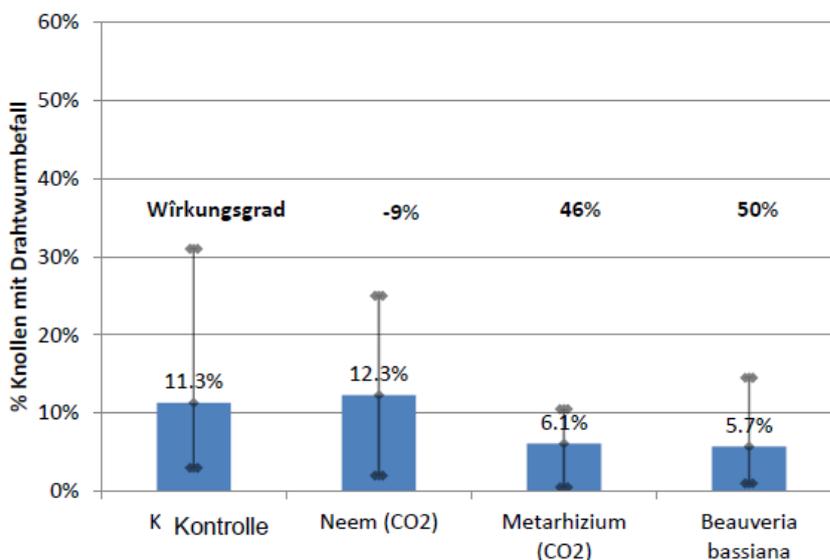


Abb.7 Durchschnittlicher Befall in % Knollen mit Drahtwurmschäden. Die Punkte verbunden mit einer Linie repräsentieren den maximalen respektive minimalen Befall der 5 Wiederholungen. Der Wirkungsgrad der Verfahren wurde nach Abbot berechnet.

Topfversuch 2017

Bei der der Ernte wurden in der Kontrolle rund die Hälfte der achtundvierzig bei der Pflanzung freigesetzten Drahtwürmer lebend gefunden. In den Verfahren mit *Metarhizium brunneum* und *Beauveria bassiana* wurden nur noch 1 respektive 3 Drahtwürmer gefunden, während im chemischen Verfahren kein lebender Drahtwurm mehr vorhanden war (Abb.8).

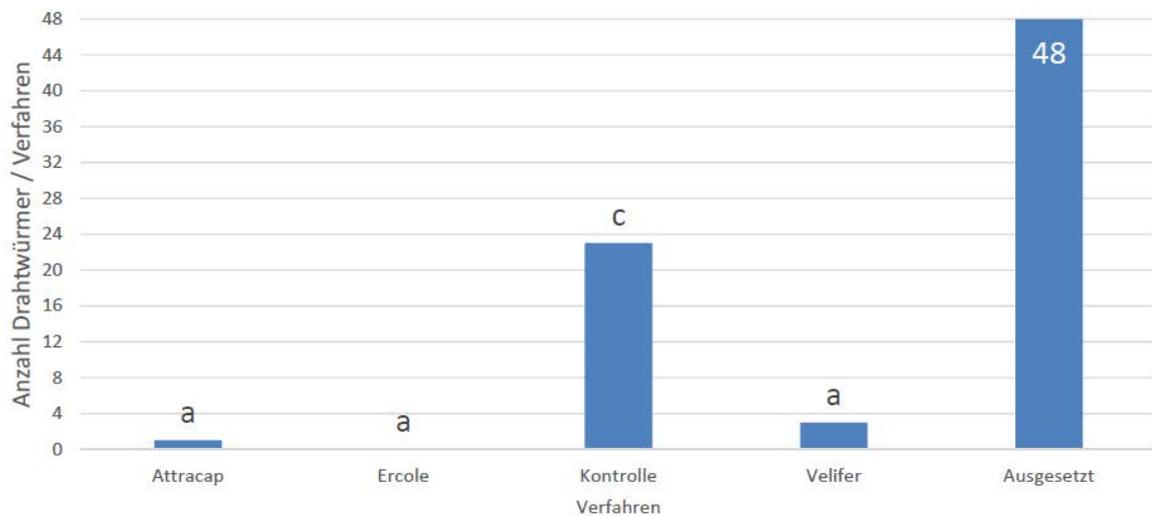


Abb. 8 Anzahl wieder gefundene Drahtwürmer pro Verfahren von anfänglich 48 freigesetzten Drahtwürmern. $Q = 11.81$, $p = 0.008$ (Friedman-Test)

Die bei der Anzahl wiedergefundenen Drahtwürmer beobachteten Unterschiede zeigten sich auch beim Drahtwurmschaden an den Knollen. Während bei der Kontrolle fast 70% der Knollen Schäden aufwiesen, waren es in den Verfahren mit *Metarhizium brunneum* und *Beauveria bassiana* 33.9% respektive 42% und im chemischen Verfahren mit Ercole 17.5% (Abb.9). Damit konnten für die biologischen Produkte die Wirkungsgrade der besten Feldversuche (Tab.2) bestätigt werden. Das chemische Verfahren schnitt mit einem Wirkungsgrad von rund 75% am besten ab. Dieser hohe Wert für einen synthetischen Wirkstoff konnte in den Feldversuchen jedoch nie bestätigt werden.

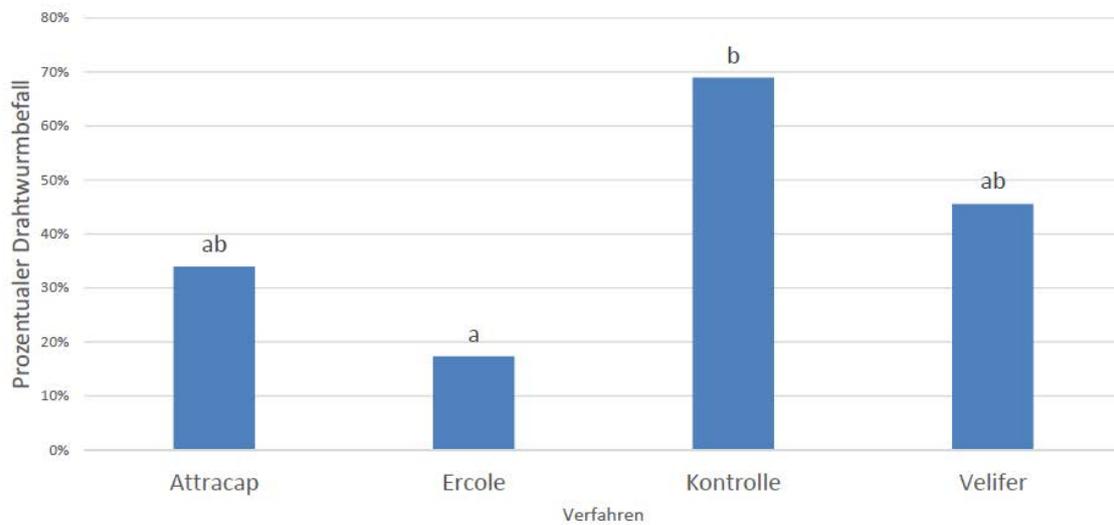


Abb.9 Prozent befallene Knollen mit Drahtwurmbefall bei der Ernte, Anova, $F_{7,21}=5.29$, $p=0.007$.

Tab.2 Freilandtopfversuch 2017, Wirkungsgrad der Verfahren nach Abbott

Verfahren	Wirkungsgrad
Ercole (Lambda-Cyhalothrin)	<u>74.8%</u>
Attracap (<i>Metarhizium brunneum</i>)	<u>50.8%</u>
Velifer (<i>Beauveria bassiana</i>)	<u>33.9%</u>

Diskussion und Folgerungen

Die sehr heterogene Verteilung der Drahtwürmer im Boden sowie ihre Wanderung in tiefere Bodenschichten bei Trockenheit und tiefen Bodentemperaturen erschwert eine gezielte Bekämpfung dieses Schädlings. Aus denselben Gründen ist es auch sehr schwierig in Feldversuchen die Wirkung von Bekämpfungsmassnahmen wissenschaftlich nachzuweisen. Zusätzlich Probleme bietet die Tatsache, dass das Auftreten des Drahtwurms nur sehr schwer vorausgesagt werden kann. In den einundzwanzig Feldversuchen in den Jahren 2015 bis 2017, die an Standorten mit erhöhten Risikofaktoren angelegt wurden, wiesen nur sieben einen für Feldversuche ausreichenden Befall auf. Bei diesen konnten zwar teilweise interessante Teilwirkungen der getesteten Produkte von bis zu 50% beobachtet werden, diese waren wegen der grossen Variabilität des Drahtwurmbefalls im Feld nicht signifikant. In Topfversuchen im Freiland mit kontrolliertem Drahtwurmbesatz konnten die in einzelnen Feldversuchen gemessenen



Teilwirkungen von Attracap und Velifer von bis zu 50% bestätigt werden. Im Verfahren mit einem synthetischen Wirkstoff (Ercole Lambda-Cyhalothrin) lag der Wirkungsgrad sogar bei 70%. Die teils grossen Unterschiede in der Wirkung zwischen Topf- und Feldversuchen sowohl bei den biologischen als auch chemischen Verfahren, kann damit erklärt werden, dass die Drahtwürmer im Frühjahr bei einem frühen Pflanztermin der Kartoffeln bei tiefen Bodentemperaturen oder Trockenheit oft noch tief im Boden sind. Dadurch kommen sie nicht mit dem Produkt in Kontakt. Bis die Drahtwürmer bei höheren Bodentemperaturen an die Oberfläche gelangen, hat die Wirkung der CO₂-Kapseln möglicherweise bereits nachgelassen, weshalb die Drahtwürmer nicht mehr angelockt werden. Zudem könnte die Wirkung der synthetischen Produkte durch erhöhte Niederschläge nach der Pflanzung reduziert werden.

Die Ergebnisse des Projektes werfen Fragen zum optimalen Zeitpunkt der Drahtwurmbekämpfung im Ackerbau auf. Offenbar werden die Drahtwürmer bei einer Bekämpfung im Frühjahr zu Kartoffeln oft nicht erfasst, da sie sich noch in tieferen Bodenschichten befinden. Der Wirkungsgrad der heute zur Verfügung stehenden Produkte reicht unter diesen Umständen oft nicht aus, um die Drahtwurmschäden ausreichend zu reduzieren. Optimaler wäre möglicherweise eine Bekämpfung im späteren Frühjahr, wenn die Drahtwürmer im Wurzelbereich der Pflanzen sind oder nach der Getreideernte, wenn sich Eier und junge Larvenstadien nahe der Bodenoberfläche befinden.

Aus diesem Grund hat die HAFL im Herbst 2017 zwei Feldversuche mit einer Herbstapplikation der Produkte Attracap und Velifer in die Zwischenkultur vor Kartoffeln. Da Drahtwürmer im August/September aktiver sind und in die oberen Bodenschichten wandern, könnte die Wirkung besser sein, als bei der Pflanzung der Kartoffeln.

C) Effet synergique sur les vers fil-de-fer de *Metarhizium* et Spinosad (Agroscope)

Résumé

Lors d'un essai exact au champ, la synergie entre *Metarhizium* et Spinosad sur les vers fil-de-fer (*Agriotes spp.*, Coleoptera : Elateridae) a été testée. Une augmentation significative des colonies de *Metarhizium* dans le sol a pu être observée dans le procédé *Metarhizium* contrairement aux procédés *Metarhizium* + Spinosad. Lors de l'observation du taux d'attaque des tubercules de pommes de terre, aucune différence significative entre les différents procédés n'a pu être observée. De ce fait, aucun effet synergique sur les vers fil-de-fer n'a pu être démontré.

Zusammenfassung

In einem Feldversuch wurde die synergistische Wirkung einer Kombination von *Metarhizium* und Spinosad auf Drahtwürmer (*Agriotes spp.*, Coleoptera : Elateridae) untersucht. Im Verfahren *Metarhizium* war die Anzahl Pilzkolonien im Boden gegenüber der Kontrolle (Hafer ungebeizt) signifikant erhöht, nicht jedoch im Verfahren *Metarhizium* + Spinosad, was auf eine unterdrückende Wirkung von Spinosad hinweist. Bei der Bewertung der Frassschäden an Knollen ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen die Verfahren. Ein synergistischer Effekt von *Metarhizium* und Spinosad auf Drahwurmbefall konnte demnach nicht nachgewiesen werden.

Ericsson et al. (2007) ont publié une étude (en laboratoire) dans laquelle le Spinosad et le *Metarhizium anisopliae* ont un effet synergique qui accroît la mortalité des vers fil de fer. Les essais ont été réalisés sur des larves de *Agriotes lineatus* et *A. obscurus* (Coleoptera : Elateridae).

Un essai a été réalisé à Changins (printemps 2015) afin de voir si un effet synergique entre *Metarhizium* et Spinosad – sur la mortalité des vers fil-de-fer, évaluation faite sur le taux de tubercules attaqués – peut être observé au champ. Pour ce faire, l'essai a été effectué avec une pression contrôlée d'*Agriotes lineatus*.

1. Matériel et méthodes

Un essai au champ (Changins, printemps 2015) avec une pression contrôlée de larves d'*Agriotes lineatus* a été réalisé. Pour ce faire, chaque parcelle élémentaire (1 x 0.5 m) est composée de 2 plantes de pommes de terre (variété Amandine) qui sont

isolées du reste du champ par des barrières à limaces enfoncée dans les 20 premiers cm du sol (Figure 10). Chaque parcelle élémentaire a été infectée avec 8 larves ainsi que les différents procédés de lutte. L'application a été réalisée dans les buttes lors de la plantation des pommes de terre.



Figure 10: Essai de lutte contre les vers fil-de-fer en pression contrôlée (8 larves d'*Agriotes lineatus* par parcelle élémentaire) à Changins au printemps 2015.

Quatre procédés (x4 répétitions) ont été testés :

- *Metarhizium brunneum* souche ART2825 sur orge stérile
- *Metarhizium brunneum* ART2825 (sur orge stérile) + Audienz (matière active Spinosad 96 g/ha sur avoine)
- Audienz (matière active Spinosad 96 g/ha sur avoine)
- Témoin négatif (avoine non-traitée).

Le produit Audienz a été appliqué en traitement de semence sur de l'avoine. En germant, l'avoine va dégager du CO₂ qui est attractif pour les vers fil-de-fer.

Afin d'évaluer l'établissement du champignon dans le sol, des prélèvements de terre (à l'aide d'une tarière, min. 10 échantillons par parcelle élémentaire, 15 cm de profondeur) ont été réalisés 7 semaines après la mise en place de l'essai pour les procédés *Metarhizium*, *Metarhizium* + Audienz et dans le témoin négatif (avoine non-traitée). Après extraction et mise en culture, le nombre de colonies par g de sol a été évalué au laboratoire de Agroscope Reckenholz.

2. Résultats

Le nombre de colonies de *Metarhizium* dans le sol a pu être significativement augmenté dans le procédé *Metarhizium* (Test de Tukey, *Metarhizium* - témoin négatif $p=0.003$) (Figure 11). Le Spinosad semble avoir une influence négative sur le

développement des colonies de *Metarhizium* dans le sol mais cette différence n'est pas significative ($p=0.14$). Ce résultat indique qu'un effet synergique entre le *Metarhizium* et le Spinosad, sur la mortalité des vers fil-de-fer, est peu probable. Lors de l'évaluation sur tubercules (% de tubercules attaqués par les vers fil-de-fer), aucune différence significative entre les différents procédés n'a pu être observée (données pas montrées).

Suite à ces résultats, aucune synergie entre le *Metarhizium* et le Spinosad n'a pu être mise en évidence. Les essais concernant cette thématique n'ont pas été poursuivis.

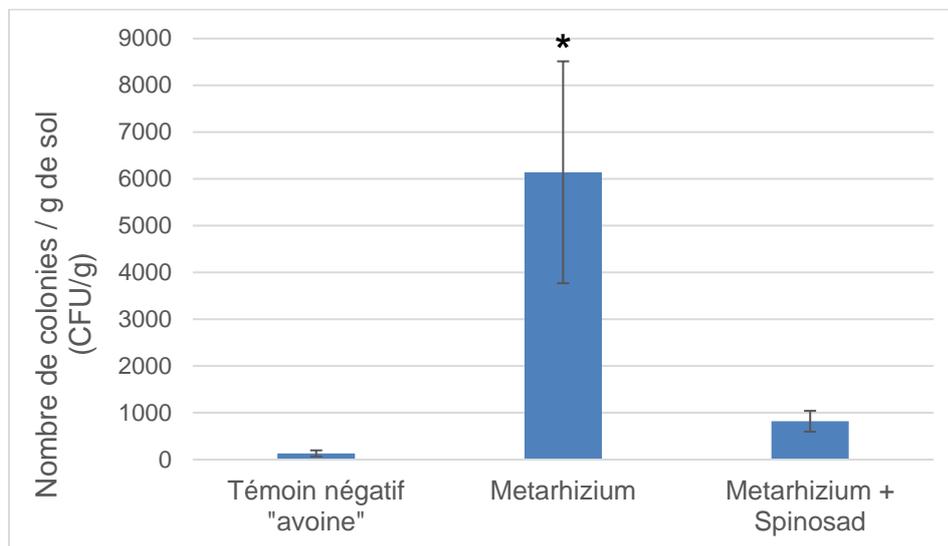


Figure 11: Nombre de colonies de *Metarhizium* dans le sol avec erreur type de la moyenne – Essai exact à Changins printemps 2015 (7 semaines après application)
*Procédé significativement différent, Test de Tukey : Metarhizium – témoin négatif $p=0.003$. Source: Giselher Grabenweger, 2015. Agroscope

D) Teste de différentes matières actives insecticides sous forme d'enrobage de semence en préculture ou dans la culture de pomme de terre (Agroscope)

Résumé

Dans la lutte contre les vers fil-de-fer (*Agriotes spp.*, Coleoptera : Elateridae), différents produits phytosanitaires ont été testés en enrobage sur de l'avoine ou des capsules (appâts) pour un semis à l'automne (avant les pommes de terre) ou au printemps. Sur les 11 procédés testés, aucun d'entre eux ne présente une réduction du taux d'attaque significativement différente du témoin négatif excepté le produit 1 (Tefluthrine). Ce dernier présente une efficacité significativement différente du témoin sol nu en 2017 (application 1.5 mois après plantation des pommes de terre). Ce résultat doit être confirmé par une 2^{ème} année d'essai.

Zusammenfassung

Im Rahmen von Versuchsreihen zur Bekämpfung von Drahtwürmern (*Agriotes spp.*, Coleoptera : Elateridae) im Frühling oder Herbst (vor Kartoffeln) wurden verschiedene chemische Pflanzenschutzmittel getestet, welche als Beizmittel von Hafer oder in Form von Kapseln (Köder) appliziert wurden. Insgesamt 11 verschiedene Verfahren wurden untersucht. Mit Ausnahme von Tefluthrin hatte keines der Verfahren einen Einfluss auf den Prozentsatz geschädigter Knollen. Tefluthrin reduzierte 2017 bei Anwendung 1.5 Monate nach Kartoffelpflanzung die Drahtwurmschäden an Knollen. Dieses Ergebnis soll in einem zweiten Versuchsjahr überprüft werden.

Les vers fil-de-fer (*Agriotes spp.*, Coleoptera : Elateridae) posent de grand problème dans la culture de pommes de terre. Les galeries, qu'ils creusent dans les tubercules, endommagent la qualité de la récolte et, par conséquent, engendrent le déclassement du lot de pommes de terre. Depuis le retrait du Régent (matière active Fipronil) en 2014, il ne reste plus de solution efficace pour lutter contre les vers fil-de-fer en Suisse. Ephosin, seul produit encore autorisé en Suisse contre cette indication, ne possède qu'un effet partiel. Les vers fil-de-fer remontent dans les couches supérieures du sol principalement au printemps et à l'automne. Ces deux périodes (automne avant les pommes de terre et printemps) ont donc été ciblées pour les essais.

Le but des essais réalisés est de réduire le pourcentage de tubercules attaqués par les vers fil-de-fer. Pour ce faire, différents produits phytosanitaires ont été testés. Afin d'attirer les larves jusqu'aux insecticides, de l'avoine a été utilisée (2015-2016) car celle-ci dégage du CO₂ en germant (attractif). Pour des raisons techniques, des



capsules (appâts) à base d'amidon de maïs, dégageant du CO₂ au contact de l'humidité du sol, ont été utilisées en 2017.

1. Matériel et méthodes

Deux types d'essais ont été réalisés : essais aux champs à La Frêtaz (1200 m), Ogens (630-650 m) et Oppens (560 m) dans le canton de Vaud et essais exacts à Changins (425 m) VD. La conduite des essais ainsi que la procédure de taxation répondent aux directives EPPO PP 1/46(3).

Pour les essais aux champs, chaque parcelle élémentaire est composée de min. 4 buttes (de 3m de large pour les essais de lutte au printemps jusqu'à 5.6m pour les essais de lutte à l'automne) sur 8 m de long. Seules les 2 buttes centrales sont prises en considération pour la taxation, le reste étant considéré comme du tampon.

Pour les essais exacts à Changins, chaque parcelle élémentaire (1 x 0.5 m) est composée de 2 plantes de pommes de terre (variété Amandine) qui sont isolées du reste du champ par des barrières à limaces enfoncée dans les 20 premiers cm du sol (Figure 1).

Dans les différents types d'essai et pour les procédés avec traitement, les graines d'avoine ou les capsules (appâts) ont été enrobées avec les produits de traitement au laboratoire. Quant aux produits testés sous formes de granulés GR ou le Goldor Bait GB, ils ont été utilisés tels quels. La quantité d'avoine utilisée correspond à 140 kg/ha.

Lors de la récolte, 120 tubercules/parcelle élémentaire (essais aux champs) ou tous les tubercules (essais exacts) sont lavés et taxés. L'intensité du dégât est évaluée selon les classes définies par l'EPPO : 0 trous = pas d'attaque, 1-2 trous = attaque faible, 3-5 trous = attaque modérée, >5 trous = attaque forte. Suite à ces évaluations, seul le % de tubercules attaqués par les vers fil-de-fer a été mis en évidence. C'est cette valeur qui est utilisée pour les analyses statistiques. Afin d'éviter toute confusion entre les trous des vers fil-de-fer avec ceux des limaces ou du Drycor, chaque trou a été ouvert afin de pouvoir en observer l'aspect et la profondeur et de s'assurer du type de dégât. Sur l'ensemble des années d'essais, 11 procédés (témoins positifs et négatifs exclus) ont été testés (Tableau 3).

Pour les essais aux champs, différentes périodes de lutte contre les vers fil-de-fer ont été testées entre 2015-2017 :

- Lutte au printemps lors de la plantation des tubercules (2015-2016) avec de l'avoine enrobée ou non (témoin négatif) semée dans les buttes et recouverts de terre
- Lutte au printemps, 1.5 mois après la plantation des tubercules (2017) avec des appâts (capsules à base d'amidon dégageant du CO₂) semés dans les buttes et recouverts de terre
- Lutte à l'automne qui précède les pommes de terre (récolté en 2016-2017) avec de l'avoine enrobée semée comme engrais vert en préculture (comme cela était fait dans le passé avec le produit Regent, MA : Fipronil).

Pour les essais exacts à Changins, une pression contrôlée de larves (7-8 larves/parcelle élémentaire de 2 plantes de pommes de terre) et différentes périodes de lutte ont été testées en 2015 et 2017 :

- Lutte au printemps lors de la plantation des tubercules (2015) avec de l'avoine enrobée ou non (témoin négatif) semée dans les buttes et recouverts de terre
- Lutte au printemps, 1.5 mois après la plantation des tubercules (2017) avec des appâts (capsules à base d'amidon dégageant du CO₂) semés dans les buttes et recouverts de terre.

Afin de mieux connaître l'efficacité des produits/substances actives, des essais en conditions contrôlées (serre) ont également été réalisés. Les différents produits ont été utilisés en tant qu'enrobage sur des graines d'avoine sauf pour le Produit 1 qui est un granulé et Goldor Bait qui est un appât GB. Les deux derniers produits ont été appliqués avec de l'avoine non-traitée. L'essai a été réalisé en pot de 15 cm de diamètre (mélange de terre franche, sable et terreau : 3 :1 :1) dans des conditions contrôlées (HR : 70-80%, T° : 20-25°C, photopériode naturelle au printemps).

En 2016, l'essai comptait 7 procédés x 6 répétitions avec sept larves/pot de *Agriotes sputator*, fournies par Giselher Grabenweger, Agroscope Reckenholz. En 2017, l'essai comptait 9 procédés x 6 répétitions avec 8 larves de *Agriotes* sp. (issus à 90% de La Frêtaz et 10% de Agroscope Reckenholz). Tous les produits de traitement ont été testés avec un dosage correspondant à 150% du dosage homologué contre un ravageur/maladie de la pomme de terre, sauf pour le NeemAzal qui fut testé à 100% (l'augmentation du dosage entraînant une inhibition de la germination) Le nombre de larves vivantes, moribondes, pupéfiées ou mortes a été relevé après 30 jours.

Tableau 3: Procédés et substances actives testés dans les essais de lutte contre les vers fil-de-fer entre 2015 – 2017 dans les essais aux champs, exacts et en conditions contrôlées (150% du dosage, excepté NeemAzal à 100% du dosage). Goldor Bait correspond au témoin positif, Avoine et Sol nu aux témoins négatifs.

	Produit	Substance active Dosage 100%	Lutte au printemps à la plantation	Lutte au printemps à la plantation – pression contrôlée (essai exact)	Lutte au printemps 1.5 mois après plantation	Lutte au printemps 1.5 mois après plantation – pression contrôlée (essai exact)	Lutte à l'automne dans l'engrais vert (précultural)	Conditions contrôlées 2016 + 2017 Remarque : dosage 150%
1	Pyrinex	<i>Chlorpyrifos</i> 500 g/ha	X	X	X	X	X	X
2	Audienz	<i>Spinosad</i> 96 g/ha	X	X	X	X	X	X
3	Movento SC	<i>Spirotetramate</i> 75 g/ha	X				X	X
4	Produit 1	<i>Tefluthrine</i> 100 g/ha	X		X	X		X
5	Ephosin GR	<i>Chlorpyrifos</i> 500 g/ha	X	X				
6	NeemAzal / *Oikos	<i>Azadirachtine</i> 2 g/ha / *48 g/ha		X	*X	*X		X
7	Moon Privilege	<i>Fluopyram</i> 250 g/ha				X		X
8	Coragen	<i>Chlorantraniliprole</i> 12 g/ha			X	X		X
9	Attracap	<i>Metarhizium</i> 4.8 x 10 ¹¹ spores/ha			X	X		
10	Metarhizium ART	<i>Metarhizium ART</i> 1 x 10 ¹⁴ spores/ha		X				
11	Metarhizium + Audienz	<i>Metarhizium ART</i> 1 x 10 ¹⁴ spores/ha + <i>Spinosad</i> 96 g/ha		X				
12	Goldor Bait GB (témoin positif)	<i>Fipronil</i> 50 g/ha	X		X	X	X	X
13	Avoine (témoin négatif)	-	X	X			X	X
14	Sol nu (témoin négatif)	-	X		X	X		

2. Résultats

2.1. Lutte au printemps à la plantation – avoine enrobée 2015 – 2016

Les essais menés à Ogens (2015-2016) ne présentent pas suffisamment de dégâts (pression insuffisante) pour mettre en valeur les résultats. Dans les essais réalisés à La Frêtaz (2015-2016), la pression de ravageur était largement suffisante. En effet, il peut être constaté que le témoin sol nu présente 40% de tubercules attequés en 2015 et 58% en 2016 (Figure 12).

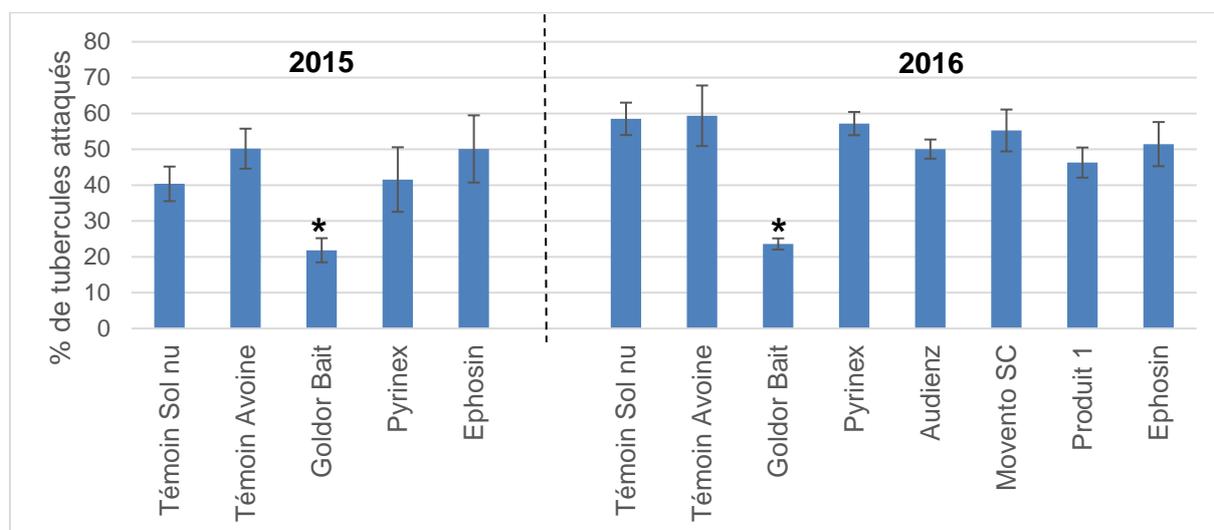


Figure 12: Taux de tubercules attequés par les vers fil-de-fer, avec erreur type de la moyenne, dans les essais de lutte au printemps lors de la plantation des pommes de terre sur le site de La Frêtaz en 2015-2016. Insecticides appliqués comme enrobage sur de l'avoine exceptés Ephosin et Produit 1 : granulés GR ainsi que Goldor Bait (témoin positif) : appâts GB. En 2015 Audienz, Movento SC et Produit 1 ne furent pas testés.* procédé significativement différent du témoin négatif « Sol nu » (Test de Dunnett, contrôle = témoin sol nu, Goldor Bait : $p < 0.001$).

En 2015, tout comme en 2016, aucun des produits testés n'a permis de réduire les dégâts dus aux vers fil-de-fer de façon significative. Seul le témoin positif, Goldor Bait, présente un pourcentage de tubercules attequés significativement inférieur au témoin négatif sol nu (Test de Dunnett, contrôle = sol nu, $p < 0.001$). Malgré une différence significative par rapport au témoin, l'efficacité (Abbott) de Goldor Bait atteint 46% en 2015 et 60% en 2016, et n'a pas permis de réduire suffisamment le taux d'attaque pour permettre une prise en charge de la marchandise (qui est doit être $< 7\%$ des tubercules présentant des trous).

Dans l'essai exact à Changins (2015) avec une pression contrôlée de larves, aucune différence statistique entre les sept procédés (six produits testés et témoin avoine) - en ce qui concerne le pourcentage de tubercules attequés - n'a été trouvée (données pas montrées).

2.2. Lutte au printemps 1.5 mois après plantation – appâts, capsules CO₂ 2017

La parcelle du site d'Oppens n'a pas pu être mise en valeur par manque de pression du ravageur. À La Frêtaz, il y avait en moyenne 55% de tubercules attaqués par les vers fil-de-fer dans le témoin négatif (sol nu) (Figure 13). La pression était élevée mais aussi hétérogène (indépendamment des procédés).

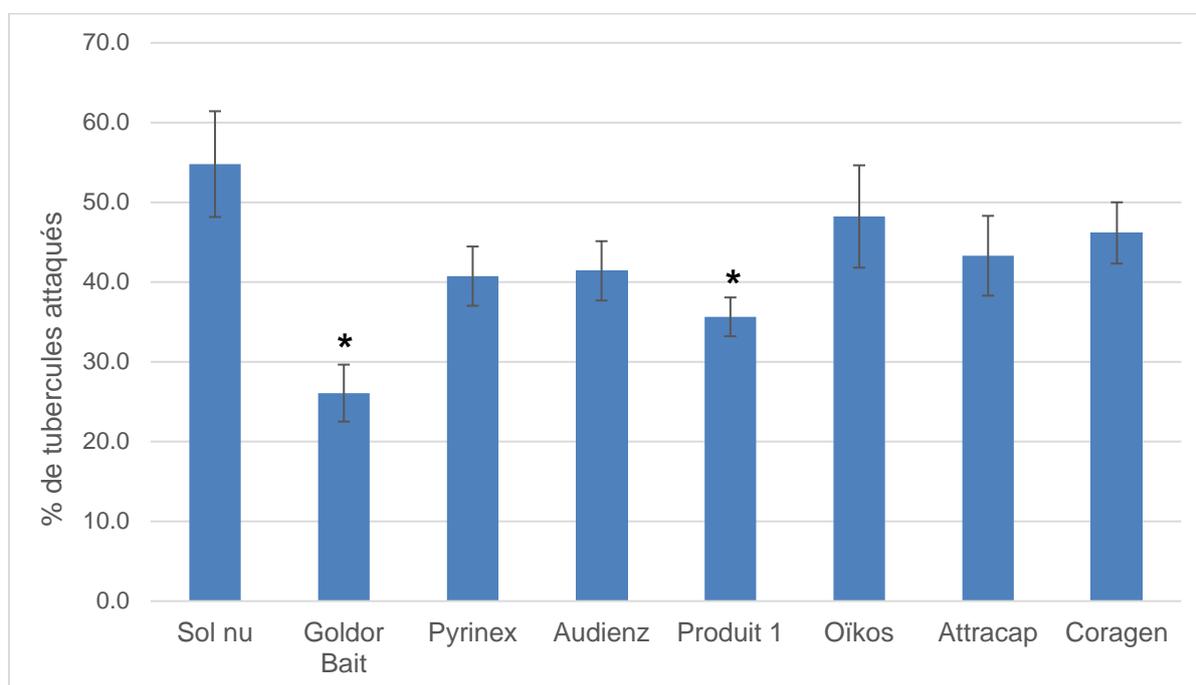


Figure 13: Taux de tubercules attaqués par les vers fil-de-fer, erreur type de la moyenne, dans les essais de lutte au printemps 1.5 mois après la plantation des pommes de terre sur le site de La Frêtaz en 2017. Capsules CO₂ autour desquelles les produits ont été enrobés (appâts), exceptés Produit 1 : granulés GR ainsi que Goldor Bait (témoin positif) : appâts GB déjà prêts à l'emploi. En vert et *, les produits significativement différents du témoin négatif « sol nu », Test de Dunnett (contrôle = sol nu), Produit 1 : p=0.031 et Goldor Bait : p<0.001.

Sur l'ensemble des produits testés dans cet essai, seul deux d'entre eux montrent un taux d'attaque significativement différent du témoin négatif sol nu (Test de Dunnett, contrôle = sol nu). Il s'agit du Produit 1 (p=0.031) et du témoin positif Goldor Bait (p<0.001). Leur efficacité (Abbott) est respectivement de 35% et de 52%. Cependant, avec respectivement 36% et 26% de tubercules attaqués, la marchandise ne peut être prise en charge (< 7% de tubercules avec des trous). Ces résultats restent à confirmer car ils sont issus d'une seule année d'essai.

Dans l'essai exact à Changins (2017) avec une pression contrôlée de larves, aucune différence statistique entre les neuf procédés - en ce qui concerne le pourcentage de tubercules atteints - n'a été trouvée (données pas montrées).

2.3. Essais de lutte à l'automne (comme engrais vert en préculture) 2016-2017

Les deux années consécutives, la pression de vers fil-de-fer a été suffisante sur le site de La Frêtaz mais pas sur celui d'Ogens. En effet dans les témoins négatifs (avoine non-traitée), les ravageurs ont engendré entre 40% et 50% de tubercules atteints à La Frêtaz contre <2% à Ogens. A La Frêtaz, les résultats montrent que les trois procédés testés (Pyrinex, Audienz, Movento SC) ne permettent pas de contrôler les dégâts de vers fil-de-fer (Figure 14).

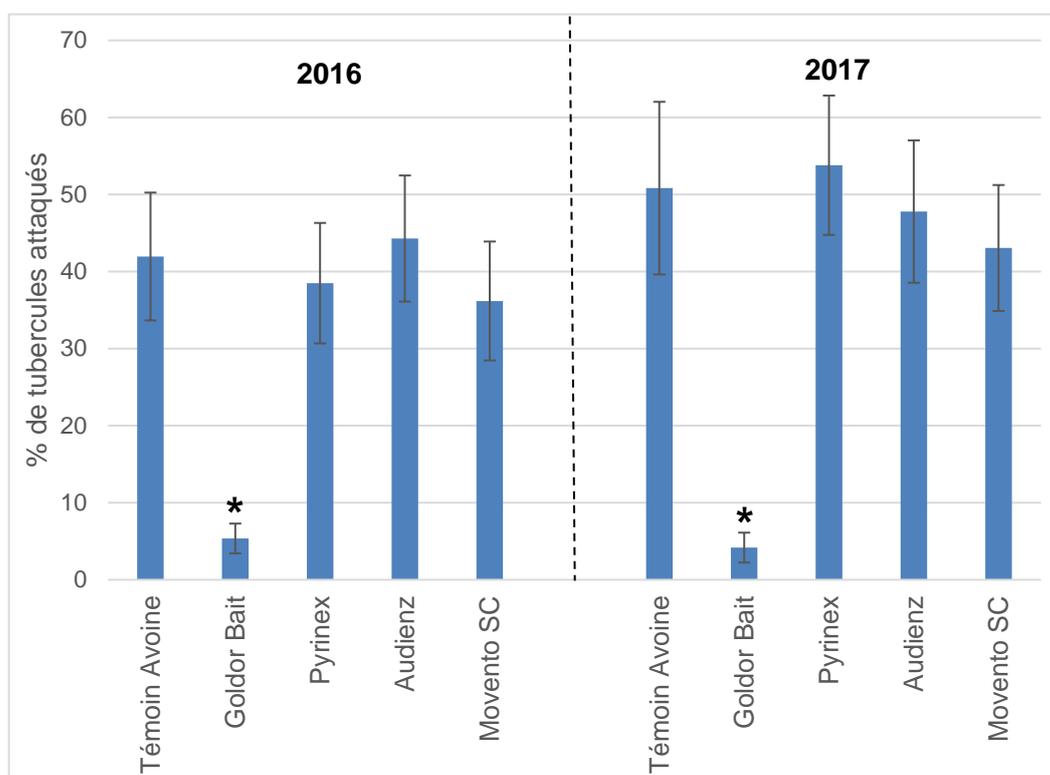


Figure 14: Taux de tubercules atteints par les vers fil-de-fer, erreur type de la moyenne, dans les essais de lutte en automne en préculture sur le site de La Frêtaz en 2016 et 2017. Insecticides appliqués comme enrobage sur de l'avoine excepté le Goldor Bait (témoin positif) : appâts GB. * procédé significativement différent du témoin négatif « avoine » (Test de Dunnett, contrôle = témoin avoine, Goldor Bait : $p < 0.001$).

Le seul procédé qui montre un taux d'attaque significativement différent du témoin négatif (avoine) est le Goldor Bait (Fipronil, témoin positif) (Test de Dunnett, contrôle = témoin avoine, $p < 0.001$). L'efficacité du Goldor Bait atteint 87% en 2016 et 92% en 2017. Contrairement aux essais de lutte au printemps, le taux d'attaque des tubercules permettraient une commercialisation de la marchandise pour les deux années d'essais (< 7% de tubercules avec des trous). Une grande variabilité du

taux d'attaque des tubercules (indépendamment des procédés) a pu être observée. Cela indique une répartition hétérogène de la population des vers fil-de-fer. Cette répartition n'est pas explicable par des facteurs connus (type de sol identique, pas de mouille, pas de pression de mauvaise herbe qui diffère).

2.4. Essais en conditions contrôlées (serre) : effets de l'avoine enrobée ou des granulés sur les vers fil-de-fer (printemps 2016 et 2017)

Les sept procédés testés en 2016 ont été répétés en 2017 (ajout également de Coragen et Moon Privilege à 150% de la dose). De grandes différences de mortalité des larves peuvent être observées entre 2016 et 2017 pour un même procédé (Figure 15). En effet, le Pyrinex semblait prometteur en 2016 mais le résultat obtenu n'a pas pu être reproduit en 2017. Il faut également noter que ce produit n'a, jusqu'à présent, pas fournit de résultats concluant au champ. En 2016, il a été constaté que les larves de *Agriotes sputator* utilisées dans l'essai étaient dans les derniers stades car une partie d'entre elles s'est nymphosée durant les 30 jours de durée de l'essai.

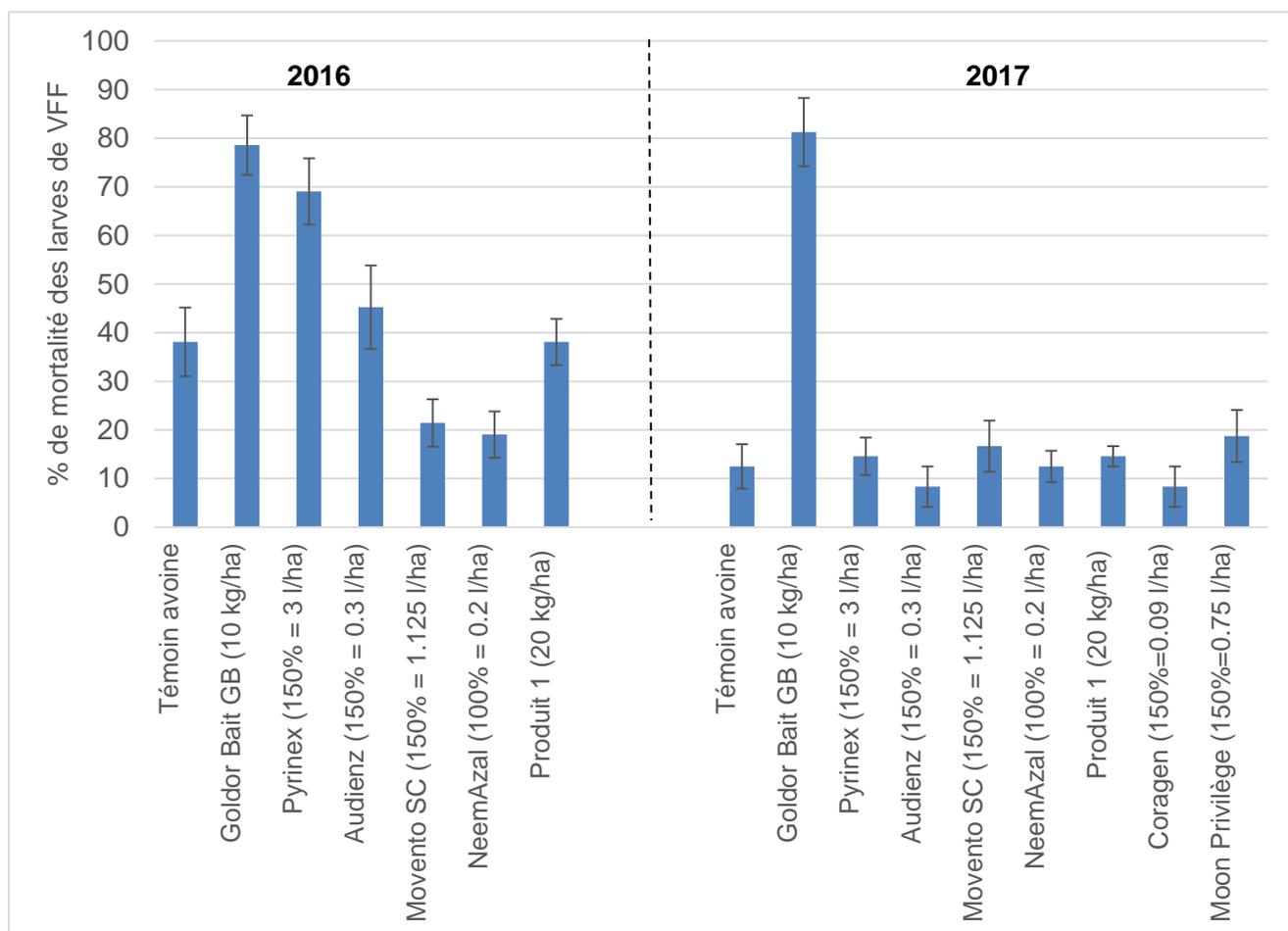


Figure 15: Taux de mortalité des larves de vers fil-de-fer (VFF) après 30 jours, avec erreur type de la moyenne, dans les essais de lutte en conditions contrôlées (serre) avec des produits de traitement enrobés sur de l'avoine ou sous forme de granulés GR ou d'appâts GB en 2016 et 2017.

Les résultats ainsi obtenu montrent qu'aucun des produits de traitement testés n'a permis de tuer les vers fil-de-fer de façon satisfaisante à l'exception du Goldor Bait (témoin positif) (GLM, test de Dunnett, contrôle = témoin avoine, $p=0.00873$). Cependant, ces essais ne nous renseignent pas sur les éventuels effets répulsifs des produits utilisés.

3. Discussion et conclusions pour 2015 – 2017

Aucun des produits de traitement testés selon différente méthodologie - à la plantation des pommes de terre au printemps (en enrobage sur de l'avoine ou sur des capsules dégageant du CO_2) ou en préculture (en tant qu'engrais vert avec de l'avoine enrobée) - ne montrent une efficacité suffisante et significative dans la lutte contre les vers fil-de-fer. En effet, aucun d'eux n'a permis de réduire le pourcentage de tubercules attaqués à un taux acceptable pour une commercialisation.

En essayant de décaler la période de lutte (1.5 mois après la plantation des pommes de terre), cela correspond d'avantage à la période d'activité des vers fil-de-fer et permet de décaler la période d'efficacité de ces produits afin de protéger les pommes de terres jusqu'au plus proche de la récolte. De ce fait, la période, où la majorité des dégâts sont causés, est mieux ciblée.

Cependant, seul le Produit 1 et le témoin positif (Goldor Bait) montrent une différence significative dans le taux de tubercules attaqués par rapport au témoin sol nu. Néanmoins, l'efficacité reste insuffisante pour une commercialisation des tubercules dans le cadre de nos essais (forte pression des vers fil-de-fer). Une 2^{ème} année d'essai est nécessaire pour valider les observations faites pour le Produit 1.

De tous ces résultats, finalement seul le témoin positif, l'appât Goldor Bait avec une lutte à l'automne en préculture a permis une réduction significative et efficace du taux de tubercules attaqués, ce qui aurait permis une commercialisation de la marchandise. Ceci confirme les résultats de Jossi (2001), Jossi et al. (2010) montrant que l'ancienne méthode de lutte était des plus efficaces (Regent en enrobage sur de l'avoine semée en automne, en préculture, comme engrais vert).

La lutte contre les vers fil-de-fer est difficile sous bien des aspects. Il n'est pas évident d'identifier les parcelles à risque. La population est souvent très hétérogène sur une même parcelle, ce qui rend l'interprétation des résultats plus difficile. Une lutte chimique lors de la plantation des pommes de terre ne semble pas judicieuse



car les larves ne sont, dans la majorité des cas, pas encore remontées dans les premiers centimètres du sol, ce dernier étant encore trop froid. Lors d'une lutte en préculture (à l'automne), la population de vers fil-de-fer est davantage présente et active dans les premiers centimètres du sol ce qui augmente les chances de réussite.

La lutte contre les vers fil-de-fer ne doit pas se faire uniquement dans les pommes de terre. Un complexe de mesures (gestion de la rotation, travail du sol, lutte biologique/chimique,...) va être nécessaire afin de maintenir le niveau des populations dans le domaine du supportable pour les exploitations agricoles.

4. Perspectives

En 2018, deux essais de lutte contre les vers fil-de-fer seront menés.

Le premier, à Gland, où un travail du sol plus intensif en automne sera allié à une lutte biologique (*Metarhizium*) lors de la plantation des pommes de terre.

Le second, à La Frêtaaz, où l'essai de lutte au printemps avec le Produit 1 (Tefluthrine) sera reconduit. De plus, la lutte biologique à l'aide de *Metarhizium* ou de *Beauveria* sera également testée lors de la plantation et 1.5 mois après cette dernière.

Bibliographie

Ericsson et al. 2007. Spinosad Interacts Synergistically with the Insect Pathogen *Metarhizium anisopliae* Against the Exotic Wireworms *Agriotes lineatus* and *Agriotes obscurus* (Coleoptera: Elateridae). *Journal of Economic Entomology* Vol. 100, no. 1: 31-38.

Jossi W. 2001. Lutter l'année précédant la culture de pommes de terre – Vers fil de fer. *Revue UFA* 7-8 : 44-46.

Jossi W. 2010. Menace pour les pommes de terre – Vers fil de fer. *Revue UFA* 2 : 36-37.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF
Agroscope

E) Optimierung der Drahtwurmfallen zur Prognose des Befalls (HAFL)

Drahtwurmfallen mit CO₂-Kapseln sind einfach in der Anwendung und die Drahtwürmer werden gut angelockt, wenn sie sich in den obersten Bodenschichten aufhalten. Die Fallen wurden in den Feldversuchen des Projektes getestet, mit dem Ziel die Fallenfänge mit dem Befall in den Kontrollen zu vergleichen. Meist wurden nur sehr wenige Drahtwürmer gefangen und die Fallen waren nicht geeignet für die Prognose von Drahtwurmschäden. Vermutlich lässt sich dies darauf zurückführen, dass die Drahtwürmer im Frühjahr vor Kartoffeln oft noch in tieferen Bodenschichten sind. Zusätzlich wird eine Prognose aufgrund von Fallenfängen durch die enorme Variabilität des Drahtwurm-vorkommens in einer Parzelle erschwert.

Für das Projektteam

Andreas Keiser (HAFL), Giselher Grabenweger, Floriane Bussereau (Agroscope) und Steve Breitenmoser (Agroscope)