

Abschlussbericht

Erarbeitung von Basisdaten zur Drahtwurmprognose

Förderkennzeichen: 2808HS006

Projektlaufzeit: 01.03.2008 – 31.12.2014

Institutionen:

¹ Dienstleistungszentrum ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück,
Dienstsitz Bad Kreuznach

² Zentralstelle der Länder für EDV-gestützte Entscheidungshilfen und
Programme im Pflanzenschutz

Projektleitung:

Dr. Benno Kleinhenz²
Dr. Frank Burghause¹

Projektbearbeitung:

Juliane Schmitt¹
Jacqueline Hornung¹
Manuela Schmitt¹
Hiltrud Mather-Kaub¹

Inhaltsverzeichnis

1.	Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens	2
1.1.	Planung und Ablauf des Vorhabens	6
1.2.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde.....	8
2.	Material und Methoden	11
2.1.	Monitoring der Schnellkäfer	11
2.2.	Flächenwahl der Käfer bei der Eiablage	13
2.3.	Horizontale Wanderung der Drahtwürmer	13
2.4.	Vertikale Verteilung der Drahtwürmer im Feld	13
2.5.	Vertikale Verteilung der Drahtwürmer im Freilandkäfig	14
2.6.	Aufbau einer Laborzucht	15
2.7.	Laborversuche zur Biologie	16
2.8.	Laborversuche Bodenfeuchte	16
2.9.	Modellierung Drahtwurmaktivität	17
2.10.	Modellierung Schnellkäfer	17
3.	Ergebnisse	19
3.1.	Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse.....	19
3.1.1.	<i>Monitoring der Schnellkäfer</i>	19
3.1.2.	<i>Flächenwahl der Käfer bei der Eiablage</i>	21
3.1.3.	<i>Horizontale Wanderung der Drahtwürmer</i>	22
3.1.4.	<i>Vertikale Verteilung der Drahtwürmer im Feld</i>	22
3.1.5.	<i>Vertikale Verteilung der Drahtwürmer im Freilandkäfig</i>	23
3.1.6.	<i>Aufbau einer Laborzucht</i>	25
3.1.7.	<i>Laborversuche zur Biologie</i>	25
3.1.8.	<i>Laborversuche Bodenfeuchte</i>	26
3.1.9.	<i>Modellierung der Drahtwurmaktivität (SIMAGRIO-W)</i>	28
3.1.10.	<i>Modellierung der Schnellkäferaktivität (SIMAGRIO-B)</i>	33
3.2.	Voraussichtlicher Nutzen und Verwendbarkeit der Ergebnisse	38
4.	Zusammenfassung	39
5.	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen, ggf. mit Hinweisen auf weiterführende Fragestellungen	40
6.	Literaturverzeichnis	41
7.	Publikationen der Ergebnisse	414

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: YATLOR funnel trap (CSalomon) (links) und Unitrap (Pherobank) (rechts) zum Fangen von <i>Agriotes</i> spp.....	11
Abbildung 2: Untersuchungsstandorte der Monitoringjahre 2008-2014 in Rheinland-Pfalz ...	12
Abbildung 3: Versuchsdesign zur Beobachtung der horizontalen Wanderung von Drahtwürmern in Abhängigkeit der Bodenfeuchte	13
Abbildung 4: Aufbau der Drahtwurmköderfallen	14
Abbildung 5: Bepflanzter Zuchtkäfig (links) und Einsetzen einer Köderfalle (rechts).....	15
Abbildung 6: Einsetzen der Larven in das oberste Segment des Rohrversuchs (links) und Aufbau der Rohrversuche (teilw. bepflanzte) zur vertikalen Wanderung der Larven (rechts).....	16
Abbildung 7: Artenzusammensetzung der Schnellkäfer in den Pheromonfallen in den Monitoringjahren 2008-2014.....	19
Abbildung 8: Regionale Distribution der <i>Agriotes</i> -Arten in Rheinland-Pfalz von 2008-2014 ..	20
Abbildung 9: Entwicklung der Fangzahlen am Standort Asbach von 2009 bis 2014	21
Abbildung 10: Ergebnisse der Untersuchung zur horizontalen Wanderung von Drahtwürmern in Bezug zur Bodenfeuchte	22
Abbildung 11: Drahtwurmauftreten der Art <i>A. obscurus</i> im Freilandkäfig sowie Messwerte der Bodentemperatur und der Bodenfeuchte in verschiedenen Tiefen über einen Zeitraum von drei Jahren	24
Abbildung 12: Anteil der Drahtwürmer einer Feldpopulation in der oberen Bodenzone (%) in Abhängigkeit von der Bodentemperatur und der Bodenfeuchte in 15 cm Bodentiefe sowie die aus der nicht-linearen Regression abgeleitete Funktion für die erste Jahreshälfte auf Basis der Daten aus dem Halbfreilandversuch mit <i>A. obscurus</i>	24
Abbildung 13: Korrelation zwischen der Summe des Drahtwurm-vorkommens und der zugehörigen maximalen Wasserkapazität sowie die aus der logistischen Regression abgeleitete Funktion für die Bodenart Lehm	26
Abbildung 14: Darstellung der Korrelation zwischen der Summe des Drahtwurm-vorkommens und der zugehörigen maximalen Wasserkapazität sowie der aus der logistischen Regression abgeleitete Funktion für die Bodenart Lehm	27
Abbildung 15: Darstellung des Modellansatzes zur Prognose der Drahtwurmaktivität in der Fraßzone innerhalb der ersten Jahreshälfte	28
Abbildung 16: Ablaufdiagramm der möglichen Drahtwurmprognose.....	29
Abbildung 17: <i>Anhand der Halbfreilanddaten von 2010 bis 2014 ermittelte Trefferquote des Modells SIMAGRIO-W</i>	30
Abbildung 18: <i>Anhand der Monitoringdaten von 2010 bis 2014 ermittelte Trefferquote des Modells SIMAGRIO-W</i>	30
Abbildung 19: Tabellarischer Modelloutput von SIMAGRIO-W auf der Online-Plattform ISIP für den Standort Mainz (2014)	31
Abbildung 20: Grafischer Modelloutput 2 von SIMAGRIO-W auf der Online-Plattform ISIP für den Standort Mainz (2014), Bodenart Schluff	32
Abbildung 21: Erster Modellansatz zur Prognose der Aktivitätsverläufe der Schnellkäfer-Arten <i>A. obscurus</i> , <i>A. sordidus</i> , <i>A. sputator</i> und <i>A. lineatus</i>	33
Abbildung 22: Validierungsergebnis des ersten Modellansatzes zur Prognose von Schnellkäfern auf Basis des hälftigen Datensatzes von 2008 – 2011 aus RP (links) und der Daten des bundesweiten Monitorings 2010 (rechts).....	34
Abbildung 23: Anteil aktiver Schnellkäfer einer Feldpopulation in Abhängigkeit von der Bodentemperatursumme (Basis 4 °C) und der Niederschlagssumme sowie die aus der	

multiplen logistischen Regression abgeleiteten Funktion für die Art <i>A. obscurus</i> (n=226, R ² =0,86)	35
Abbildung 24: Anteil aktiver Schnellkäfer einer Feldpopulation in Abhängigkeit von der Bodentemperatursumme (Basis 4 °C) und der Niederschlagssumme sowie die aus der multiplen logistischen Regression abgeleiteten Funktion für die Art <i>A. sordidus</i> (n=460, R ² =0,84)	35
Abbildung 25: Anteil aktiver Schnellkäfer einer Feldpopulation in Abhängigkeit von der Bodentemperatursumme (Basis 4 °C) und der Niederschlagssumme sowie die aus der multiplen logistischen Regression abgeleiteten Funktion für die Art <i>A. lineatus</i> (n=564, R ² =0,81)	36
Abbildung 26: Anteil aktiver Schnellkäfer einer Feldpopulation in Abhängigkeit von der Bodentemperatursumme (Basis 4 °C) und der Niederschlagssumme sowie die aus der multiplen logistischen Regression abgeleiteten Funktion für die Art <i>A. sputator</i> (n=548, R ² =0,78)	36
Abbildung 27: Auf Basis der Monitoringdaten von 2013 und 2014 errechnete Trefferquote des Modells SIMAGRIO-B.....	37
Abbildung 28: Lineare Regression zwischen der bonitierten und der prognostizierten Aktivität von <i>A. sordidus</i> (n=335, R ² =0,833).....	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Geplante und tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte im Verlauf der ersten Projektphase (2008-2011)	6
Tabelle 2: Geplante und tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte im Verlauf der zweiten Projektphase (2012-2014)	7
Tabelle 3: Übersicht über die Art/Boden-Kombinationen in den Rohrversuchen.....	17
Tabelle 4: Drahtwurmfangzahlen auf den Praxisflächen in den Jahren 2010 bis 2014	23

1. Ziele und Aufgabenstellung des Vorhabens

Drahtwürmer (*Agriotes* spp.), die Larven der Schnellkäfer sind bodenbürtige Schadorganismen, die an den unterschiedlichsten Feldkulturen oftmals schwerwiegende quantitative aber auch qualitative Verluste verursachen. Sie durchlaufen bis zu 13 Larvenstadien und verbringen zwischen drei bis fünf Jahren im Boden, bevor sie sich zum adulten Tier, dem Schnellkäfer entwickeln. Das Terminieren von Maßnahmen zum Schutz der Feldkultur wird durch die versteckte Lebensweise der Drahtwürmer maßgeblich erschwert. Diese wandern bei ungünstigen Witterungsbedingungen in tiefere Bodenschichten ab und werden so nicht immer von der durchgeführten Maßnahme erfasst. FURLAN wies im Jahr 2005 auf die großen Wissenslücken in Bezug auf die Biologie der Drahtwürmer hin und forderte die Ergänzung des bestehenden Wissens zur Umsetzung integrierter Pflanzenschutzstrategien.

Ziel des Projektes war es diese Wissenslücken im Bereich der Drahtwurmbiologie weiter zu schließen und einen entscheidenden Schritt in Richtung der Entwicklung integrierter Pflanzenschutzmaßnahmen zu machen. Insbesondere sollten Basisdaten ermittelt werden, die eine Prognose der Schnellkäfer- und Drahtwurmaktivität auf der Basis von wetterbasierten Modellen ermöglicht.

Das Projekt gliederte sich in drei Arbeitsschwerpunkte:

- Das Monitoring der Schnellkäfer. Mit Hilfe von artspezifischen Pheromonfallen sollte sowohl die Artenverteilung als auch die Hauptaktivität der Käfer der wichtigsten *Agriotes*-Arten in Abhängigkeit der Witterungsbedingungen erfasst werden.
- Untersuchungen zum Verhalten der Drahtwürmer in Abhängigkeit von der Bodentemperatur, Bodenfeuchte und Bodenart anhand von Labor- und Freilandversuchen
- Erarbeitung erster Modellansätze zur Prognose der Schnellkäferaktivität und des Auftretens und der Fraßaktivität von Drahtwürmern

Des Weiteren sollte eine Laborzucht aufgebaut und der Entwicklungszyklus in Abhängigkeit der Bodenfeuchte- und Temperatur näher untersucht werden. Zudem sollten die Einflussfaktoren auf die Flächenwahl bei der Eiablage analysiert werden, indem das Verhalten der Schnellkäfer-Weibchen im Freiland beobachtet wird.

Das Projekt gliederte sich in zwei Projektphasen, wobei während der zweiten Projektphase ausschließlich auf die drei oben genannten Arbeitsschwerpunkte eingegangen wurde.

1. Projektphase: 01.03.2008 – 28.02.2012

2. Projektphase: 01.03.2012 – 31.12.2014

1.1. *Planung und Ablauf des Vorhabens*

In nachfolgender Tabelle sind die wesentlichen Handlungsschritte im Projektverlauf dargestellt. Es wird ersichtlich, dass nahezu alle geplanten Arbeiten durchgeführt werden konnten.

Tabelle 1: Geplante und tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte im Verlauf der ersten Projektphase (2008-2011)

Zeitraum	Geplante Arbeitsschritte
III - XII 2008	Ausführliche Literaturrecherche
III 2008 - II 2012	Projektverwaltung
III-VII 2008-2011	Monitoring Schnellkäfer (40 Standorte)
III-VII 2008-2011	Monitoring zur vertikalen Verteilung der Drahtwürmer
III/IV und IX/X 2009-2011	Monitoring von Drahtwürmern mit Hilfe von Grabungen
IV 2009	Errichtung eines Langzeitversuchsstandortes (5 Freilandkäfige) zur Beobachtung der Larven und Adulten unter nahezu natürlichen Verhältnissen
IV 2009 - II 2012	Datenerhebungen in den Freilandkäfigen
IV - X 2009	Laborversuche zur horizontalen Wanderung der Drahtwürmer
V - XII 2008-2011	Laborversuche zur vertikalen Wanderung (Rohrversuche)
III - VII 2008 - 2009	Beobachtungsversuche zur Eiablage
III - VII 2009	Aufbau einer Laborzucht
nicht durchgeführt	Laborversuche zur Dauer der Entwicklungszyklen
VII - XI 2010 - 2011	Modellierung der Schnellkäferaktivität und der Fraßaktivität von Drahtwürmern
VII - XI 2010 - 2011	Validierung der Modelle
X - II 2008 - 2012	Vorträge und Veröffentlichungen
XI/XII 2008 - 2011	Erstellung der Zwischenberichte
II 2012	Erstellung des Schlussberichtes

Tabelle 2: Geplante und tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte im Verlauf der zweiten Projektphase (2012-2014)

Zeitraum	Geplante Arbeitsschritte
III 2012 - XII 2014	Projektverwaltung
III-VII 2012-2014	Monitoring Schnellkäfer (34 Standorte)
III-VII 2012-2014	Monitoring zur vertikalen Verteilung der Drahtwürmer
III-IV 2013	Drahtwurmgrabungen
III 2012 - XII 2014	Datenerhebungen in den Freilandkäfigen
2012-2014	Laborversuche zur vertikalen Wanderung (Rohrversuche)
VII - XI 2012 - 2014	Modellierung der Schnellkäferaktivität und der Fraßaktivität von Drahtwürmern
VII - XI 2012 - 2014	Validierung der Modelle
VIII - II 2012 - 2014	Vorträge und Veröffentlichungen
I/II 2013 - 2014	Erstellung der Zwischenberichte
XII 2014	Erstellung des Schlussberichtes

1.2. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Biologische Grundlagen

Drahtwürmer, die Larven der Schnellkäfer (Coleoptera: Elateridae) treten weltweit auf und verursachen zum Teil erhebliche wirtschaftliche Schäden. In Europa sind etwa 160 Arten bekannt (JOSSI *et al.*, 2008), von denen 15 bis 20 Arten als kulturschädigend gelten. Die Larven der Gattung *Agriotes* zählen in Deutschland zu den wichtigsten Drahtwurm-Arten (VIDAL und PETERSEN 2011). Für die Mehrheit der Schäden werden die Arten *Agriotes lineatus* (Linnaeus, 1767), *A. sordidus* (Illiger, 1807), *A. sputator* (Linnaeus, 1758), *A. obscurus* (Linnaeus, 1758) und *A. ustulatus* (Schaller, 1783) verantwortlich gemacht. *A. lineatus* gilt dabei als dominanteste Art in Deutschland, gefolgt von *A. obscurus* und *A. sputator* (VIDAL und PETERSEN, 2011). Österreichische Beobachtungen zeigen, dass das Auftreten der einzelnen Arten in Zusammenhang mit unterschiedlichen klimatischen Ansprüchen zusammenhängt. STAUDACHER *et al.* (2013) stellten bei ihren Untersuchungen eine positive Korrelation zwischen dem Auftreten von *A. obscurus* und *A. lineatus* und zunehmenden Höhenlagen bei gleichzeitigem Anstieg der mittleren Jahresniederschläge fest, während sich die von *A. ustulatus* und *A. sputator* bevorzugten Standorte durch höhere Jahresmitteltemperaturen auszeichneten. Der bodenbürtige Schädling ist polyphag und verursacht Schäden an einer Vielzahl von ackerbaulichen Kulturen und Gemüsearten (SUBCHEV *et al.*, 2004, PARKER und HOWARD, 2001). Die Larven verbringen bis zur Verpuppung bis zu fünf Jahre im Boden (SCHEPL und PAFFRATH, 2005a), wobei der Entwicklungszeitraum stark von der Temperatur abhängt (JOSSI *et al.*, 2008). Die Schnellkäfer überwintern anschließend bis zum nächsten Frühjahr im Boden, wobei die männlichen Käfer meist 10-14 Tage früher an der Bodenoberfläche erscheinen (SCHEPL und PAFFRATH, 2010). Die Eiablage der weiblichen Käfer findet zwischen den Monaten Mai und Juni statt (SUFYAN *et al.*, 2014). Die Eier werden dabei direkt unter der Bodenoberfläche abgelegt. Nach vier bis sechs Wochen beginnt der Larvenschlupf, der ebenfalls von der Temperatur beeinflusst werden soll (PARKER und HOWARD, 2001). Durch den Fraß an jungen Wurzeln können Drahtwürmer erhebliche Schäden an der Kultur verursachen (z. B. Auflaufschäden im Mais), wohingegen sich die Käfer von Blütenteilen ernähren (FURLAN, 1996). Während ältere Larven über einen längeren Zeitraum ohne Nahrung überleben können, sind die Larven jüngerer Stadien auf dessen Vorhandensein angewiesen und weisen innerhalb weniger Wochen ohne Nahrungsangebot hohe Mortalitäten auf (SUFYAN *et al.*, 2014). Wie im folgenden Absatz näher erläutert wird, gestaltet sich die Bekämpfung der bodenbürtigen Larven äußerst schwierig. FURLAN (1996) stellte bei seinen Untersuchungen fest, dass sich diese in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte und –Temperatur zwischen verschiedenen Bodenschichten bewegen. Durch die Abwanderung der Larven bei ungünstigen Witterungsbedingungen, wie z. B. Trockenheit, in tiefere Bodenschichten, wird die Bekämpfung des Schädling durch z. B. eine intensive Bodenbearbeitung maßgeblich erschwert. Andere Bekämpfungsmaßnahmen, wie Bodenbearbeitung zur Reduktion der Drahtwürmer oder die Applikation eines Insektizides bzw. entomopathogener Wirkstoffe, sind dadurch nur schwer terminierbar.

Ursachen für die zunehmenden Schäden

Drahtwürmer sind in Europa und Nordamerika in den letzten Jahren sukzessive zu einem großen Problem im Ackerbau, insbesondere in der Kartoffelproduktion geworden. Die Gründe hierfür sind weitgehend unklar. Von Feldern, die in Fruchtfolgen mit dem sog. Leyfarming (Wechsel von mehrjährigem Gras- bzw. Futtermischungsanbau mit Ackerbau) integriert waren, ist bekannt, dass hier mit einem starken Drahtwurmauftreten zu rechnen ist. Gleiches gilt für Kartoffelanbau nach Grünlandumbruch. FURLAN (2013) stellte im Rahmen einer Langzeitstudie fest, dass insbesondere Grünlandflächen und Flächen mit einer dauerhaften Vegetation hohe Drahtwurmdichten aufweisen. Über die Ursachen eines verstärkten Drahtwurmbefalls in reinen Ackerbaufruchtfolgen wird eher spekuliert. PARKER und HOWARD (2001) nennen als mögliche Gründe den Anbau von Kartoffeln auf Feldern, die mehrjährig stillgelegt waren, gestiegene Qualitätsanforderungen an die Kartoffelproduktion

seitens der Vermarkter, die das Problem erst in den Fokus gerückt hätten, und den Verzicht auf die Anwendung persistenter Insektizidwirkstoffe mit Organophosphaten oder Chlorkohlenwasserstoff, wie z.B. Lindan, das zur Drahtwurmbekämpfung eingesetzt wurde. Die Schnellkäfer-Weibchen benötigen für die Eiablage dichte und feuchte Bestände (LEHMHUS 2013). Der Rückgang der Sommerkulturen, die weniger gute Eiablagemöglichkeiten bieten, sowie allgemein steigende Humusgehalte im Boden könnten zu vermehrtem Auftreten geführt haben. Des Weiteren wird die Ausbreitung der ursprünglich westmediterranen und als sehr schädigend angesehenen Art *Agriotes sordidus* als Ursache für zunehmende Schäden diskutiert, die 1972 erstmals in Deutschland in der Oberrheinischen Tiefebene des Kaiserstuhls nachgewiesen wurde (LOHSE, 1979; ZEISING, 1984). Inzwischen hat *A. sordidus* ein geschlossenes Gebiet im Oberrheingraben besiedelt und sich entlang einiger Nebenflüsse des Rheins ausgebreitet. Seit 2013 sind zudem einzelne Funde aus Nordrhein-Westfalen und Schleswig-Holstein bekannt (LEHMHUS und NIEPOLD, 2013).

Bekämpfungsstrategien

Ansätze einer Bekämpfungsstrategie im Ökologischen Landbau unter Einbeziehung von Fruchtfolgegestaltung, organischer Düngung, Unkrautbekämpfung, Bodenbearbeitung und Erntezeitpunkt wurden von SCHEPL und PAFFRATH (2005 a, b) und CHRISTEN *et al.* (2006) diskutiert. Arbeitsgruppen in der Schweiz (GHORMADE *et al.*, 2006) und Kanada (KABALUK *et al.*, 2005; KABALUK *et al.*, 2006) untersuchten die Möglichkeit einer biologischen Bekämpfung mittels *Metarhizium anisopliae*-Isolaten. Alle untersuchten Verfahren brachten Wirkungsgrade von bis zu 30%. Mechanische Bekämpfungsmaßnahmen durch Barrieren, die das Einwandern der Schnellkäfer verhindern sollten, erwiesen sich als zu ineffektiv und teuer (VERNON *et al.*, 2005). Mittels Fangpflanzenmethoden in Erdbeeren erzielten VERNON *et al.* (2005) durch den Anbau einer mit Insektizid behandelten „Fangfrucht“ (Weizen) eine Befallsreduktion von ca. 40%. LANDL (2011) untersuchte die Attraktivität mehrerer Fangpflanzenarten in Kartoffeln. Dabei zeigte sich ein signifikanter Einfluss von Erbsenfangstreifen auf die Abundanz von Drahtwürmern. SUFYAN *et al.* (2013) führten ein Massenfangversuch in Kartoffeln durch, bei dem trotz fünfjährigem Pheromonfalleneinsatz keine signifikante Reduktion des Drahtwurmbefalls erzielt werden konnte. VERNON *et al.* (2005, 2006) testeten die Möglichkeit des direkten Einsatzes verschiedener Insektizidwirkstoffe gegen Drahtwürmer. Pyrethroide erwiesen sich eher als repellent, denn direkt wirksam. Neonicotinoide bewirkten eine „schleichende Vergiftung“ mit der Möglichkeit der Erholung der Populationen, wogegen Fipronil (in höheren Dosen allerdings) die Drahtwurm-Populationen sofort reduzierte. In geringeren Dosen bewirkte Fipronil einen langsamen, aber stetigen Rückgang der Drahtwurm-Populationen. ESTER und VAN ROZEN (2005) berichten über erste Ergebnisse zum Insektizideinsatz gegen die Adulten in Getreide. Bei *A. lineatus* und *A. obscurus* konnten Wirkungsgrade von über 80 % erreicht werden. Die Autoren vermuten, dass dadurch der Aufbau von Drahtwurm-Populationen verhindert oder erheblich verzögert werden kann. FURLAN (2014) beschäftigte sich mit dem Schadpotential unterschiedlicher Drahtwurmartens in Mais. Seine Untersuchungen zeigten, dass *A. brevis* das höchste Schadpotential besitzt und bereits ab geringen Fangzahlen von einer Larve pro Köderfalle mit einer Ertragsreduktion zu rechnen ist, wohingegen *A. sordidus* ab zwei Larven bzw. *A. ustulatus* ab fünf Larven pro Falle mit einem signifikanten Ertragsverlust zu rechnen ist.

Bei der Sichtung der Literatur zur Drahtwurmproblematik fällt auf, dass die meisten Aktivitäten auf die direkte Bekämpfung der Schädlinge bzw. auf die Erarbeitung von Erhebungsmethoden konzentriert sind. Mittlerweile stehen zur Überwachung der Aktivität der Käfer ausreichend selektive Pheromone zur Verfügung (TÓTH *et al.*, 2002, 2003, 2006; TÓTH und FURLAN, 2005). Pheromonfallenfänge eignen sich darüber hinaus jedoch nicht zur schlagspezifischen Prognose des Drahtwurmbefalls, da sich das Artenspektrum und die Anzahl der Drahtwürmer im Boden aufgrund der langen Generationsdauer deutlich unterscheiden können (LEHMHUS, 2013; LANDL *et al.*, 2010).

Zur Feststellung der Populationsdichte von Drahtwürmern im Boden sind auch umfassend getestete Köderfallenmethoden verfügbar (BRUNNER *et al.*, 2005; LANDL *et al.*, 2005; BRUNNER *et al.*, 2006; KATZUR und HEIMBACH, 2006).

FURLAN (2005) weist auf bedeutsame Lücken im Wissen über die Drahtwürmer hin, die sich als Hindernisse im Hinblick auf die Entwicklung einer integrierten Bekämpfungsstrategie erweisen. So ist die Differentialdiagnose der einzelnen Arten besonders in den Larvenstadien äußerst schwierig (ELLIS *et al.*, 2006) und erfordert einen versierten Coleopterologen. Dies trifft im Besonderen auf die in Deutschland weit verbreiteten Arten der Gattung *Agriotes* (*A. lineatus*, *A. obscurus*, *A. sputator*, *A. ustulatus*) zu (TÓTH und FURLAN, 2005). Als geradezu dramatisch bezeichnet FURLAN (2005) die Lücken im biologischen Grundlagenwissen. Ausreichend ist das Wissen für *A. ustulatus* und *A. brevis*. Ungenügende Informationen liegen dagegen zu den verbreiteten Arten *A. lineatus*, *A. obscurus* und *A. sputator* vor (FURLAN, 2005). Bei vielen Elateriden-Arten ist noch nicht einmal bekannt, ob sie für Pflanzen schädigend sind oder nicht (PARKER und HOWARD, 2001). Der Lebenszyklus vieler Arten ist sehr variabel. Die Entwicklungszeiten betragen 3 bis 6 Jahre und die Anzahl der durchlebten Larvenstadien variiert beträchtlich von fünf bis 13 (PARKER und HOWARD, 2001).

Als Haupteinflussfaktoren für die Entwicklung werden Bodentemperatur und Bodenfeuchte genannt. Häufig ist aber lediglich bekannt, ab welchen Temperaturen die Aktivität im Boden einsetzt bzw. ab welchen kritischen Bodenfeuchten sich die Larven aus den oberen Schichten in den Unterboden zurückziehen (PARKER und HOWARD, 2001). Ganzjährige Untersuchungen auch im Winterhalbjahr haben aber gezeigt, dass Drahtwürmer im Oberboden von Wiesen gefunden werden, unabhängig von der Temperatur auch im Winter oder Bodentrockenheit im Sommer (KATZUR und HEIMBACH mündl. Mitt.). Daten zur Beziehung zwischen Temperatur und einzelnen Entwicklungsstadien hat lediglich FURLAN (1996, 1998, 2004) für die Arten *A. ustulatus* und *A. sordidus* veröffentlicht. Für die oben genannten, hauptsächlich schädigend auftretenden Arten waren diese Zusammenhänge noch zu untersuchen.

2. Material und Methoden

Im vorliegenden Projekt wurden drei Hauptziele verfolgt:

1. Die Erfassung der Artenverteilung der Schnellkäfer im Rahmen eines Monitorings in Rheinland-Pfalz mit Hilfe von Pheromonfallen und die Ermittlung des ausschlaggebenden Einflussfaktors für die Flugaktivität der einzelnen Arten.
2. Die Untersuchung der Einflussfaktoren Bodenfeuchte, Bodentemperatur und Bodenart auf das Verhalten der Drahtwürmer
3. Erarbeitung von Modellansätzen zur Prognose der Schnellkäferaktivität und des Risikos von Fraßschäden durch Drahtwürmer

Die Versuchsdesigns aller im Rahmen des Teilprojektes durchgeführten Labor- und Freilandversuche werden im folgenden Abschnitt detailliert dargelegt.

2.1. Monitoring der Schnellkäfer

Das Monitoring zur Überwachung der Schnellkäfer-Flugphasen wurde in Rheinland-Pfalz erstmals im Jahr 2008 durchgeführt. Auf sieben landwirtschaftlich genutzten Flächen wurden Pheromonfallen zum Fangen von Schnellkäfer-Männchen aufgestellt. Die geographische Verteilung der Fallenstandorte konzentrierte sich im ersten Monitoringjahr auf die Oberrheinebene. Lediglich ein Standort befand sich im Hunsrück, ein weiterer wurde in der Eifel gewählt. Im Focus der Untersuchungen standen die fünf wichtigsten Schnellkäfer-Arten *Agriotes lineatus*, *A. sordidus*, *A. obscurus*, *A. sputator* und *A. ustulatus*. Für jede dieser Arten wurden jeweils zwei YATLOR-Fallen des ungarischen Herstellers CSalomon und zwei Unitrap-Fallen des holländischen Herstellers Pherobank eingesetzt. Die beiden Fallentypen sind in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: YATLOR funnel trap (CSalomon) (links) und Unitrap (Pherobank) (rechts) zum Fangen von *Agriotes* spp.

Für die flugfähige Art *A. ustulatus* wurde zusätzlich eine Flugfalle an jeden Standort installiert. Zudem kam eine Falle für *A. brevis* oder alternativ für *A. proximus* zum Einsatz. Ein Standort umfasste demnach 22 Pheromonfallen, in die das jeweils mitgelieferte artspezifische Pheromon eingesetzt wurde. Da bei der Untersuchung der Fallenfänge kein Unterschied in der Fängigkeit der beiden Fallen- und Pheromontypen festgestellt werden konnte, wurden in den folgenden Jahren vermehrt die Fallen des Herstellers CSalomon

verwendet, da diese eine leichtere Handhabung aufwiesen. Im Jahr 2009 erfolgte eine Ausweitung des Monitorings auf zwölf breit verteilte Versuchsflächen. Auf Fallen für die Art *A. proximus* sowie auf die Flugfalle wurde dabei verzichtet. Pro Art und Standort wurden außerdem nur noch zwei Pheromonfallen ausgebracht. Nach gleichem Schema wurde im Jahr 2010 die Artzusammensetzung der Schnellkäfer auf 13 Flächen untersucht. Anstelle der Falle für *A. brevis* wurde stattdessen eine Falle mit einem Lockstoff zum Fangen von Weibchen der Art *A. ustulatus* bestückt. Im Folgejahr konnten acht Flächen beprobt werden. Auf Grund der mangelnden Fängigkeit der Weibchenfalle, wurde in den Monitoringjahren 2011-2014 darauf verzichtet.

Die Ausbringung der Fallen erfolgte meist im Monat März. Die Expositionszeit betrug 18 Wochen, wobei alle sechs Wochen ein Pheromonwechsel vorgenommen wurde. Die Fallen wurden während der ersten zwei Jahre alle zehn Tage kontrolliert. Von 2010 bis 2014 erfolgte die Leerung der Fallen zweimal wöchentlich in regelmäßigen Abständen.

An den Standorten Bobenheim-Roxheim, Mettenheim und Asbach gelang es an fünf bzw. sechs aufeinander folgenden Jahren dasselbe Feld zu untersuchen. Im vierten Jahr wurde in Bobenheim-Roxheim auf ein benachbartes Feld ausgewichen. An zwei weiteren Standorten konnten vierjährige Versuchsergebnisse gewonnen werden. Abbildung 2 zeigt eine Übersicht der Untersuchungsstandorte in Rheinland-Pfalz. Die Fangjahre werden mit unterschiedlichen Farben angegeben. Bei Standorte mit mehrjährigen Versuchsergebnissen sind die Versuchsjahre übereinander aufgeführt.

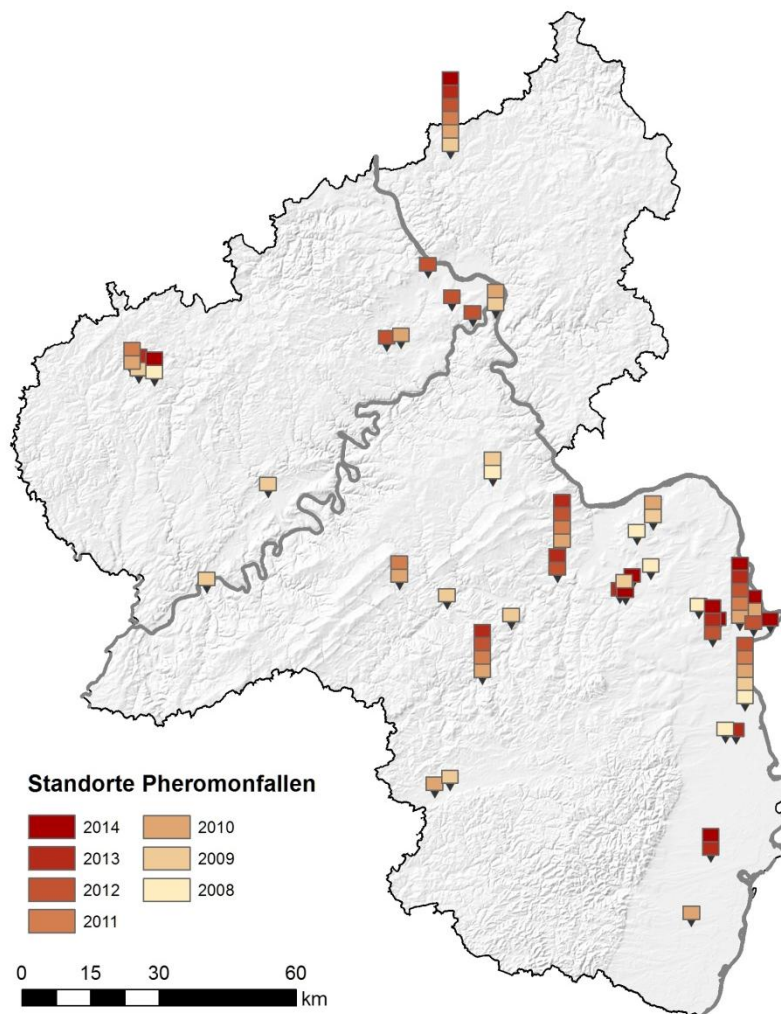


Abbildung 2: Untersuchungsstandorte der Monitoringjahre 2008-2014 in Rheinland-Pfalz

2.2. Flächenwahl der Käfer bei der Eiablage

Im Rahmen der ersten Projektphase sollten Schnellkäfer-Weibchen bei der Eiablage beobachtet werden, um anschließend Schlüsse auf favorisierte Eiablagebereiche bzw. dafür bevorzugte Feldkulturen ziehen zu können.

2.3. Horizontale Wanderung der Drahtwürmer

Um die horizontale Verteilung der Larven in Abhängigkeit der Bodenfeuchte beobachten zu können, wurde im Jahr 2009 ein Laborversuch angelegt. Wie in Abbildung 3 dargestellt, wurden fünf Gefäße mit einem Volumen von je 500 ml mit Erde befüllt. In jedem der Behälter wurde eine unterschiedliche Bodenfeuchte eingestellt. Diese reichte von trocken (in der Abbildung links) bis nass (in der Abbildung rechts). Der Boden der trockenen Variante wurde im Trockenschrank bis zu einer Bodenfeuchte von 0 Vol% getrocknet. Der nassen Variante wurden hingegen 300 ml Wasser zugegeben. Dies entsprach Staunässe. Der Bodenvariante „Trocken +“ wurden 75 ml Wasser, der Variante „Trocken ++“ 150 ml und der Variante „Trocken +++“ 225 ml Wasser zugegeben. Anschließend wurden zehn Larven auf die vollständig trockene Erde gesetzt. Zehn weitere Larven wurden dem staunassen Behälter zugeführt. Die Auswertung erfolgte nach einer Zeit von 16 Stunden.



Abbildung 3: Versuchsdesign zur Beobachtung der horizontalen Wanderung von Drahtwürmern in Abhängigkeit der Bodenfeuchte

2.4. Vertikale Verteilung der Drahtwürmer im Feld

Die unter 2.4.-2.5. und 2.8.-2.9. beschriebenen Untersuchungen wurden in Kooperation des bei der ZEPP durchgeführten Projektes: „Möglichkeiten zur standortspezifischen Simulation der Bodenfeuchte und zur Integration von Bodenfeuchte- und Bodenartmodulen in die Prognosemodelle der ZEPP anhand von drei ausgewählten Schaderregern“ (Förderung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt; Aktenzeichen: 27139-34) durchgeführt.

Im Jahr 2008 wurde mit den Versuchen zur Beobachtung der vertikalen Verteilung von Drahtwürmern im Feld begonnen. An zwei Standorten wurden vier verschiedene Köderfallen getestet (1. offene Petrischale ($\varnothing = 15$ cm) mit Weizen gefüllt, 2. geschlossene, gelochte Petrischale mit Weizen gefüllt, 3. Feederbomb mit Weizen gefüllt, 4. Kartoffelscheiben). Die besten Fangfolge erzielte der Fallentyp 2, welcher im folgenden Jahr alleinig eingesetzt wurde. Die Fallen wurden im Boden in 15 cm Tiefe platziert und alle 10 Tage ausgewertet. Anders als im Jahr 2008 konnten mit dieser Fangmethode im Jahr 2009 nicht ausreichend viele Larven gefangen werden.

In den Jahren 2010 bis 2014 wurde ein umfangreiches Monitoring zur vertikalen Verteilung von Drahtwürmern im Feld durchgeführt. Pflanztöpfe ($\varnothing = 10$ cm), bestehend aus einer Schicht Vermiculit, Mais, Getreide und einer zweiten Schicht Vermiculit wurden für drei Tage in eine mit Wasser befüllte Schale gestellt, um ein Vorkeimen der Körner zu gewährleisten. An jedem Standort wurden fünf Köderfallen (Abbildung 4) in einer Tiefe von 15 cm eingegraben. Ein Fallenaustausch fand regelmäßig im Abstand von 3 - 4 Tagen statt.



Abbildung 4: Aufbau der Drahtwurmköderfallen

Die entnommenen Fallen wurden im Anschluss auf Drahtwürmer untersucht. Zur Ermittlung der Umweltbedingungen wurden in den Jahren 2010 und 2011 Sensoren zur Temperatur- und Bodenfeuchtemessung an den Standorten eingesetzt. Mit einem am Standort installierten Regenmesser wurde der Niederschlag erfasst und bei jedem Fallenwechsel die Bodenfeuchte ermittelt. Im Jahr 2010 wurden diese Messungen mit Hilfe einer Bodensonde durchgeführt. Im Folgejahr wurde auf Höhe jeder Falle eine Bodenprobe entnommen, da diese Methode korrektere Messwerte lieferte. Die gefangenen Larven wurden im Labor einer Artbestimmung unterzogen und anschließend in Zuchtboxen aufbewahrt. Durchsichtige Kunststoffboxen wurden für diesen Zweck mit Erde befüllt und angefeuchtet. Als Nahrungsgrundlage wurden mehrere Weizenkörner pro Box ausgesät und zum Keimen gebracht. Durch regelmäßige Wassergaben wurden die Boxen kontinuierlich feucht gehalten um dem Austrocknen der Larven vorzubeugen. Wegen hoher Mortalitätsraten erfolgte die Aufbewahrung der Larven ab 2013 in mit Humus gefüllten Boxen bei 8 °C ($\pm 2\text{ °C}$) im Kühlschrank. Als Nahrungsgrundlage dienten halbierte Möhren, die mit der geschnittenen Seite auf dem Humus abgelegt wurden. Der Humus wurde ca. alle 15 Wochen ausgetauscht.

2.5. Vertikale Verteilung der Drahtwürmer im Freilandkäfig

Nach einer Vorlage von Dr. Lorenzo Furlan (Italien) wurden im April 2009 fünf Monitoring- und Zuchtkäfige (1 m^3 Bodinhalt unterirdisch, 1 m^3 Luftinhalt oberirdisch) installiert, wobei ein Käfig als reiner Messkäfig dient. Dieser wurde zur Erfassung der Bodenfeuchte und der Bodentemperatur in 15, 40, 60 und 80 cm Tiefe mit mehreren Watermark-Sensoren ausgestattet. Ein Käfig wurde im Oktober 2009 mit 500 Larven der Art *A. obscurus* bestückt. Um beobachten zu können, wann sich die Larven in dem für die Kultur gefährlichen Wurzelbereich aufhalten bzw. Fraßaktivität zeigen, wurden zunächst Rohrfallen in die Käfige eingegraben. Im Rohr wurden in fünf verschiedenen Tiefen, jeweils unterhalb von Lochbohrungen, Becher mit vorgekeimtem Getreide und Mais platziert. Die Methode sollte Rückschlüsse zum Larvenvorkommen in tieferen Bodenschichten ermöglichen, erwies sich aber als erfolglos, da nur wenige Individuen gefangen werden konnten. Daher wurden in den folgenden Jahren die unter 5.2.4. (Abbildung 4) beschriebenen Köderfallen in dem Käfig platziert. Die so vorbereiteten Fallen (2 Stück) wurden in den mit zwei Kleereihen bepflanzten Käfig in 15 cm Tiefe eingegraben und mit Erde überdeckt (Abbildung 5). Alle 3-4 Tage wurden die Fallen gewechselt und auf Drahtwürmer untersucht. Bei starkem Bodenfrost fand kein Fallenwechsel statt.



Abbildung 5: Bepflanzter Zuchtkäfig (links) und Einsetzen einer Köderfalle (rechts)

Ein zweiter Käfig wurde 2011 mit der gleichen Anzahl an Larven der Art *A. sordidus* bestückt. Gesammelt wurden die Larven auf einem biologisch bewirtschafteten Zuckerrüben-Schlag mit überdurchschnittlichem Drahtwurmbesatz der Gemeinde Westhofen mit Hilfe des Köderfalleneinsatzes sowie durch wiederholte Drahtwurmgrabungen. Aufgrund der lang anhaltenden Frühjahrstrockenheit wurde das Feld mehrfach bewässert, so dass sich die Larven über einen längeren Zeitraum in der Fraßzone aufhielten. Aufgrund der ausgesprochen trockenen Witterung im Frühjahr 2011, musste der Käfig vor dem Einsetzen der Larven künstlich beregnet werden um das Eingraben der Tiere in den Boden gewährleisten zu können und damit einer hohen Mortalität vorzubeugen. Die Datenerhebung wurde somit erst im Herbst 2011 begonnen. Zwei weitere Käfige wurden im Herbst 2013 mit einer Population bestehend aus jeweils 500 Larven unterschiedlicher Arten der Gattung *Agriotes* vom Standort Eckelsheim in Betrieb genommen und ab Februar 2014 ausgewertet.

2.6. Aufbau einer Laborzucht

Im ersten Projektjahr sollte mit dem Aufbau einer Laborzucht begonnen werden. Mit Hilfe der Drahtwurmfallen konnten jedoch nicht ausreichend Larven gefangen werden. Im folgenden Jahr wurden daher die unter 2.5. erläuterten Zuchtkäfige installiert. Zwei Freilandkäfige wurden im Jahr 2010 mit je 500 Adulten der Art *A. sordidus* bzw. *A. obscurus* bestückt. Bei den eingesetzten Käfern handelt es sich um männliche Individuen, die mit Hilfe der Pheromonfallen gefangen werden konnten. Es gelang vereinzelt Weibchen mit Hilfe von Grasfallen und Keschern zu fangen. Die Grasfallen bestanden aus einer Folie, die am späten Nachmittag ausgelegt und mit frischem Rasenschnitt bestreut wurde. Am darauffolgenden Morgen wurden die Fallen eingesammelt, auf Schnellkäfer untersucht sowie Art und Geschlecht im Labor bestimmt. Die gefangenen Tiere wurden anschließend zu den zugehörigen Männchen in die Käfige gesetzt um eine Eiablage zu erzielen. Im Herbst 2010 und auch an mehreren Terminen im Jahr 2011 wurden zur Kontrolle der Eiablage Drahtwurmfallen in die Käfige eingegraben, die nach dem oben angeführten Prinzip ausgewertet wurden.

Im Jahr 2014 wurde erneut das Prinzip der Grasfalle angewendet um eine Laborzucht mit der Art *A. sordidus* aufzubauen. Die Folienfallen wurden dabei mit langhalmigem Grasschnitt bedeckt, der während der Saison nicht erneuert wurde. Für die Eiablage der gefangenen Weibchen wurde eine Gräsermischung in Pflanztöpfen angezogen, die mit Gaze überspannt wurden.

In die mit Larven der Art *A. obscurus* und *A. sordidus* besiedelten Käfige wurde ab 2011 jährlich eine Pheromonfalle zur Untersuchung des Käferschlupfes installiert. Die Fallen wurden nach einer Woche wieder entfernt.

2.7. Laborversuche zur Biologie

In Laborversuchen sollte die Biologie der Entwicklungszyklen näher beleuchtet werden. Der Entwicklungszyklus vom Ei bis zum adulten Tier sollte bei verschiedenen Bodenfeuchte- und Temperaturbedingungen beobachtet werden. Im Jahr 2008 konnte im Freiland ein Eigelege gefunden werden. Um den Schlupf der Tiere und deren Jungentwicklung beobachten zu können, sollten diese 1-2 mal wöchentlich untersucht werden. Da die Drahtwürmer auf Grund ihrer versteckten Lebensweise im Boden nur sehr schlecht zu beobachten sind und die Gefahr der Verletzung durch mechanische Einwirkung beim Durchsuchen des Substrats sehr hoch ist, wurden die Eier auf einer Gipsunterlage abgelegt, welche in regelmäßigen Abständen befeuchtet wurde, um der Austrocknung vorzubeugen und den Schlupf besser beobachten zu können.

2.8. Laborversuche Bodenfeuchte

Im Projektjahr 2008 wurde mit den Versuchen zur vertikalen Wanderung von Larven in Bezug zur Bodenfeuchte begonnen. 50 cm lange PVC-Rohre mit einem Durchmesser von 10 cm wurden in fünf gleich große Segmente (10 cm) unterteilt und mit Gewebeband wieder miteinander verbunden. Die Rohre wurden nach unten hin mit einer feinmaschigen Netz und einem stabilen Drahtgitter abgedichtet. Anschließend wurden die Rohre mit Erde einer Bodenart gefüllt und bis zur vollständigen Wassersättigung in eine mit Wasser gefüllte Tonne gestellt. Das durchfeuchtete Rohr wurde im Anschluss für mehrere Stunden auf groben Sand gestellt, sodass das überschüssige Wasser, das nicht von dem Boden gehalten wird, aus den Kapillaren abfließen konnte. Mit dem so beschriebenen Verfahren wurde bei allen Rohren eine vollständige Wassersättigung (100% Wasserkapazität) zum Versuchsstart erreicht. Anschließend wurden jeweils 20 Larven einer Art auf dem obersten Segment abgelegt (Abbildung 6, links). Zur Beschleunigung des Trockenprozesses wurden Lampen (40 Watt) über den Rohren installiert. Nach 7, 14 und 21 Tagen wurde jeweils eines der Rohre geöffnet. Der Inhalt der einzelnen Segmente wurde untersucht. Dabei wurden die Anzahl der Larven und die Bodenfeuchte eines jeden Segmentes bestimmt. Aufgrund der langsamen Abtrocknung der Rohre wurden die Leuchtstrahler in den folgenden Versuchen durch PC-Ventilatoren ersetzt (Abbildung 6. rechts). Zudem erfolgte das Öffnen der Rohre erst nach ca. sechs Wochen um größere Unterschiede in der Bodenfeuchte zwischen den Segmenten zu erzielen.



Abbildung 6: Einsetzen der Larven in das oberste Segment des Rohrversuchs (links) und Aufbau der Rohrversuche (teilw. bepflanzt) zur vertikalen Wanderung der Larven (rechts)

Gestetet wurden die Larven der Arten *A. sordidus*, *A. ustulatus*, *A. obscurus* sowie eine undefinierte Gruppe, bestehend aus mehreren *Agriotes*-Arten. Jede Art bzw. Gruppe wurde in drei bis maximal elf Versuchsdurchläufen untersucht. Insgesamt wurde die vertikale Wanderung der Larven in den Bodenarten lehmiger Sand, sandiger Lehm, Lehm, schwerer Lehm und lehmiger Schluff beobachtet. Jede Bodenart wurde in fünf bis zwölf Rohren

untersucht. Zusätzlich wurde mit den Arten *A. ustulatus* und *A. sordidus* sowie der undefinierten Gruppe eine bepflanzte Variante in der Bodenart Lehm getestet. Hierzu wurden jeweils drei Maiskörner im obersten Segment eines jeden Rohres zum Keimen gebracht um den Einfluss der Vegetation auf die vertikale Wanderung der Tiere zu untersuchen. Ziel der Rohrversuche war, den durch die Larven bevorzugten Feuchtebereich innerhalb einer Bodenart zu bestimmen.

Tabelle 3: Übersicht über die Art/Boden-Kombinationen in den Rohrversuchen

Art \ Bodenart	lehmiger Sand	sandiger Lehm	Lehm	schwerer Lehm	Lehm bepflanzt	lehmiger Schluff
<i>A. sordidus</i>	2	3	3	2	1	
<i>A. ustulatus</i>	2	-	3	2	1	
<i>A. obscurus</i>	-	3	-	-	-	
unbestimmt	2	-	3	1	1	2

2.9. Modellierung Drahtwurmaktivität

Mit der in den Drahtwurmkäfigen erhobenen Datenbasis wurden nicht-lineare Regressionen berechnet, wobei die Einflussfaktoren für die erste und zweite Jahreshälfte differenziert. Ausschlaggebend für die Prognose aktiver Drahtwürmer in der ersten Jahreshälfte sind die Faktoren Bodentemperatur und Bodenfeuchte in 15 cm Tiefe. Für die zweite Jahreshälfte spielen die Faktoren Bodentemperatur in 15 cm und Bodenfeuchte in 80 cm Tiefe eine Rolle. Die Differenzierung der Einflussfaktoren ist nötig, da die Höhe der Bodenfeuchte nach der Sommerperiode zwischen 15 und 80 cm stark variiert (Abbildung 11, 3.1.5.). Da sich die Larven während der warmen und trockenen Sommerperioden in tiefere Bodenschichten mit für sie günstigeren Lebensbedingungen zurückziehen, muss die Durchfeuchtung des Bodens bis in diese tiefen Schichten erfolgen.

Mit den im Labor erhobenen Daten der Rohrversuche wurde zunächst eine Varianzanalyse durchgeführt um mögliche Unterschiede im Verhalten der untersuchten Arten festzustellen. Anschließend wurde die Korrelation zwischen dem prozentualen Anteil der Drahtwürmer und dem Wassergehalt jedes einzelnen Rohrsegmentes untersucht. Mit einer logistischen Regression für jede getestete Bodenart wurde eine Funktion zum quantitativen Auftreten der Drahtwürmer in Bezug zur Bodenfeuchte ermittelt.

2.10. Modellierung Schnellkäfer

Auf Basis der im Projektzeitraum der ersten Projektphase gewonnenen Daten wurden erste Ansätze zur Modellierung der Schnellkäfer-Flugaktivität formuliert. Die Fangzahlen der Jahre 2008 bis 2010 wurden für die Modellerstellung zunächst aufsummiert und relativiert. Dies erfolgte separat für jede Art und jeden Standort. Insgesamt entstanden auf diese Weise 119 Beobachtungen (Aktivitätsverläufe pro Art und Standort). Die Datensätze wurden zufällig in zwei Hälften geteilt, wobei die eine Hälfte zur Modellierung und die andere Hälfte zur Validierung verwendet wurde. Um die Fangzahlen mit Wetterdaten verrechnen zu können, wurde für jeden Standort die Tages-Temperatursumme des Bodens in 5 cm Tiefe ab dem 1. Januar mit einer Basistemperatur von 0 °C gebildet. Mit den zur Modellierung herangezogenen Daten wurde eine nicht-lineare Regression durchgeführt. Die Parametrisierung erfolgte nach Arten getrennt.

Während der zweiten Projektphase wurde neben der Bodentemperatur auch der Einfluss des Niederschlages untersucht und eine Varianzanalyse durchgeführt, um mögliche Unterschiede in der Aktivität abhängig vom Termin der letzten Bodenbearbeitung (Herbst/Frühjahr) sowie der Bodenart festzustellen.

Nach der Erweiterung der Datenbasis um die Jahre 2012 bis 2014 wurden die Datensätze der Jahre 2008 bis 2012 erneut zur Modellierung verwendet. Dies ließ eine unabhängigere Validierung mit den Daten der Jahre 2013 und 2014 zu. Außerdem wurde neben der Bodentemperatursumme (Basis 4°C) der Niederschlag in Form einer Niederschlagssumme ab dem 1. Januar im Rahmen einer multiplen logistischen Regression berücksichtigt.

Die Validierung am Ende der ersten Projektphase erfolgte mit dem hälftigen Datensatz der Jahre 2008 bis 2010 sowie den Daten des Jahres 2011. Insgesamt wurden drei unterschiedliche Methoden der Validierung angewandt, um möglichst genaue Aussagen über die Qualität der Prognosen treffen zu können. Zunächst erfolgte eine Validierung über die Berechnung einer Trefferquote. Für jeden Boniturtermin wurde die Differenz zwischen modelliertem und bonitiertem Wert berechnet. Abweichungen zwischen 0 und $\pm 10\%$ wurden als korrekte Prognosen klassifiziert. Differenzen außerhalb dieses Intervalls galten als Über- ($> 10\%$) bzw. Unterschätzung ($< -10\%$) des Modells. Im Anschluss an die Berechnung der Trefferquote erfolgte eine statistische Validierung der Modellansätze mit Hilfe linearer Regressionen. Die Korrelation zwischen simulierten und beobachteten Flugverläufen wurde erfasst sowie auf eventuell auftretende Signifikanzen geachtet. Zuletzt wurde das Modell einer Praxisvalidierung unterzogen. Dies erfolgte anhand einer Erstauftrittsbewertung. Das Käfererstauftreten wurde mit 10 % der Population definiert und die zeitliche Abweichung zwischen simuliertem und bonitiertem Erstauftreten in Tagen ermittelt. Bei einer errechneten Differenz von weniger als ± 7 Tagen wurde das Erstauftreten korrekt von dem Modell simuliert. Wichen die beiden Termine mehr als 7 Tage voneinander ab, wurde die Prognose als zu früh eingeschätzt. Bei einer Differenz von weniger als - 7 Tagen war die Prognose zu spät.

Mit unabhängigen Daten der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Vidal (Universität Göttingen) wurden die Modellansätze auf ihre überregionale Tauglichkeit überprüft. Die Datenbasis wurde im Jahr 2010 im Rahmen eines deutschlandweiten Monitorings an über 50 Standorten erhoben. Die Daten wurden nach oben beschriebenem Verfahren aufbereitet und in das Modell eingegeben. Die Validierung erfolgte anhand der Trefferquote, der statistischen Methode sowie der Erstauftrittsbewertung.

3. Ergebnisse

3.1. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

3.1.1. Monitoring der Schnellkäfer

Während des gesamten Projektes konnten an 74 Standort-Jahren insgesamt 92.372 Käfer der fünf häufigsten *Agriotes*-Arten gefangen werden. Die Käfer wurden im Labor einzeln bestimmt und nach Arten getrennt ausgewertet. Im Jahr 2011 konnte die höchste Schnellkäfer-Aktivität verzeichnet werden. Mit einem durchschnittlichen Anteil von 29 % war die Art *A. sordidus*, gefolgt von *A. lineatus* (28 %), am häufigsten auf den untersucherten Flächen in Rheinland-Pfalz zu finden. In geringeren Anteilen zwischen 12 und 17 % wurden Käfer der Arten *A. ustulatus*, *A. sputator* und *A. obscurus* gefangen, was sowohl auf die räumlichen (*A. obscurus*, *A. ustulatus*), als auf auch die zeitlichen (*A. ustulatus*) Unterschiede im Auftreten der Arten zurückzuführen ist. Im Jahr 2008 wurden vermehrt Käfer der Arten *A. ustulatus* und *A. sordidus* gefangen, da die Pheromonfallen größtenteils im Rheintal platziert wurden. Mit der geographischen Ausdehnung des Monitorings im Jahr 2009 wurden zunehmend auch *A. obscurus* und *A. lineatus* gefangen (Abbildung 7). Beim Vergleich der Pheromonfallen und Lockstoffe konnten keine Unterschiede in der Fängigkeit festgestellt werden.

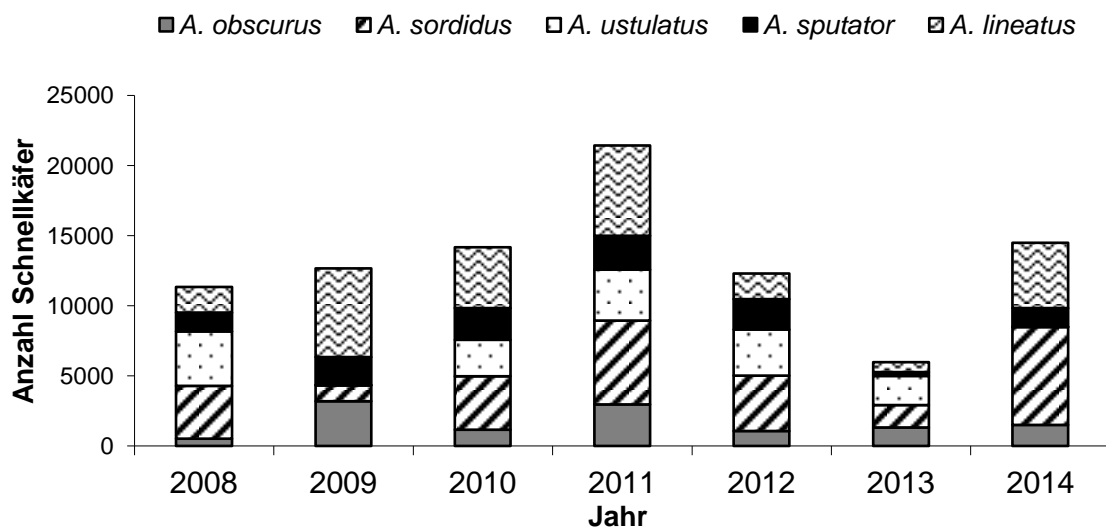


Abbildung 7: Zusammensetzung der Schnellkäferarten in den Pheromonfallen in den Jahren 2008-2014

Abbildung 8 gibt die Zusammensetzung der Arten auf allen Flächen über den gesamten Monitoringzeitraum wieder. Die Fangzahlen räumlich beieinander liegender Flächen wurden in der Darstellung zur Veranschaulichung in Regionen zusammengefasst. Der Durchmesser der Kreisdiagramme richtet sich dabei nach der Anzahl der gefangenen Tiere. Diese bewegt sich zwischen 270 und 22.500 Individuen.

Die Art *A. sordidus* zeigte ein starkes Vorkommen im Oberrheingraben. Aber auch in anderen Flusstälern, wie denen der Mosel, Nahe oder Glan, zeigte sich eine fortschreitende Ausbreitung und beginnende Etablierung dieser Art. *A. ustulatus* zeigte hinsichtlich des Auftretens ebenfalls eine räumliche Begrenzung auf das Rheintal. In Höhenlagen, wie denen des Hunsrücks, des Westerwaldes und der Eifel, wurde verstärkt *A. obscurus* und *A. lineatus* gefangen, wohingegen *A. lineatus*, wie auch *A. sputator*, mit variierenden Anteilen an nahezu jedem anderen Standort auftraten.

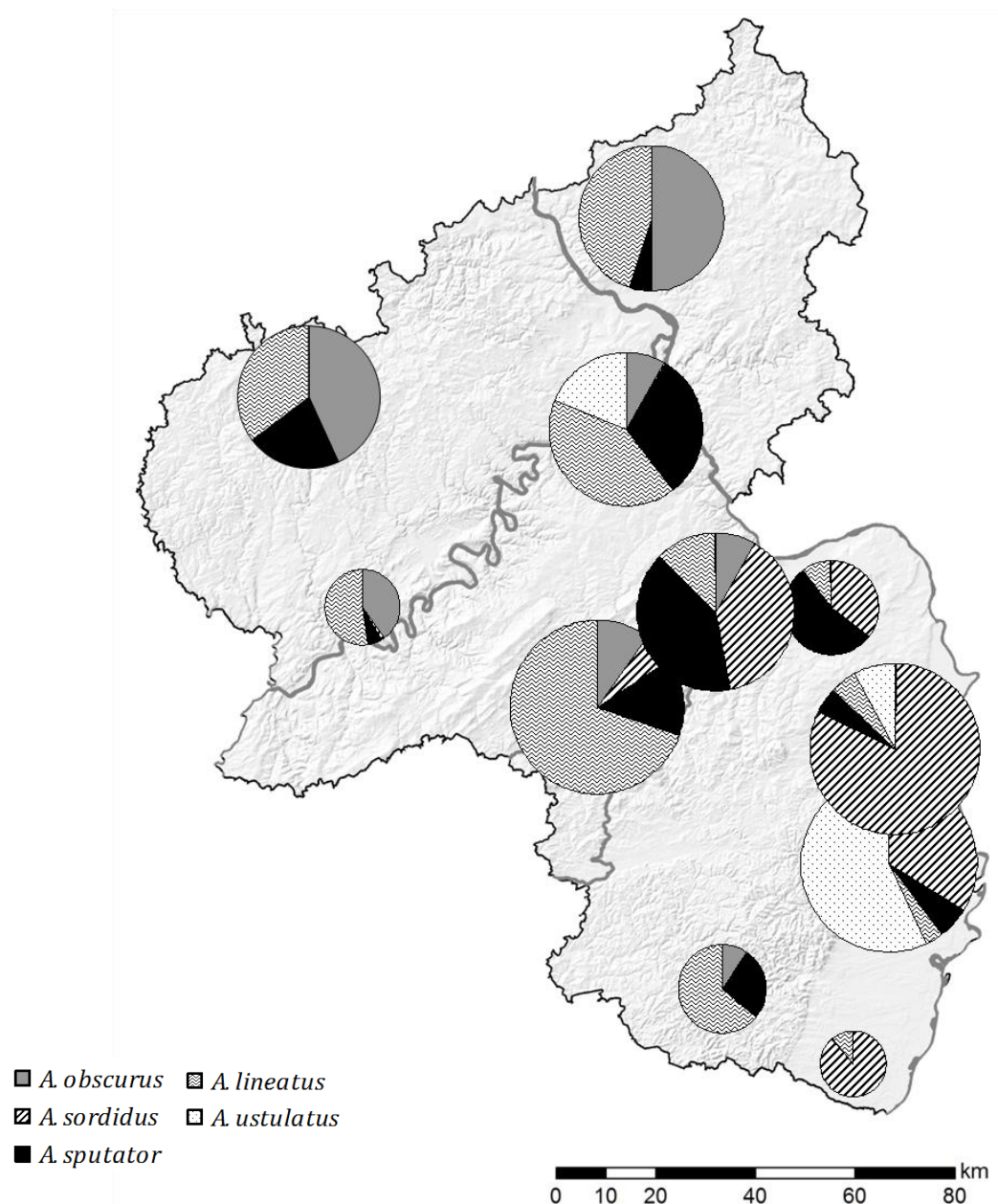


Abbildung 8: Regionale Distribution der Agriotes-Arten in Rheinland-Pfalz von 2008-2014

Die höchsten Fangzahlen wurden an den Standorten Bobenheim-Roxheim (2009, 5.879), Asbach (2009, 6.672) und Wiesweiler (2011, 6.551/ 2014, 6.040) erreicht. Die mittlere Fangzahl schwankte zwischen 1.070 und 1.310 Individuen je Standort und Jahr. Meist trat an jedem Standort eine Art stark dominierend auf. Mehrjährige Versuchsergebnisse eines Standortes zeigen jedoch, dass dies von Jahr zu Jahr stark variieren kann. So ließen sich am Standort Asbach im Jahr 2009 noch 67 % der gefangenen Käfer der Art *A. lineatus* zuordnen. In den folgenden zwei Jahren reduzierte sich das Auftreten dieser Art massiv. *A. obscurus* blieb, absolut gesehen, hingegen verhältnismäßig konstant, wodurch es zu einer Dominanzverschiebung kam (Abbildung 9). Von welchen Faktoren diese Varianz abhängt, konnte nicht abschließend geklärt werden.

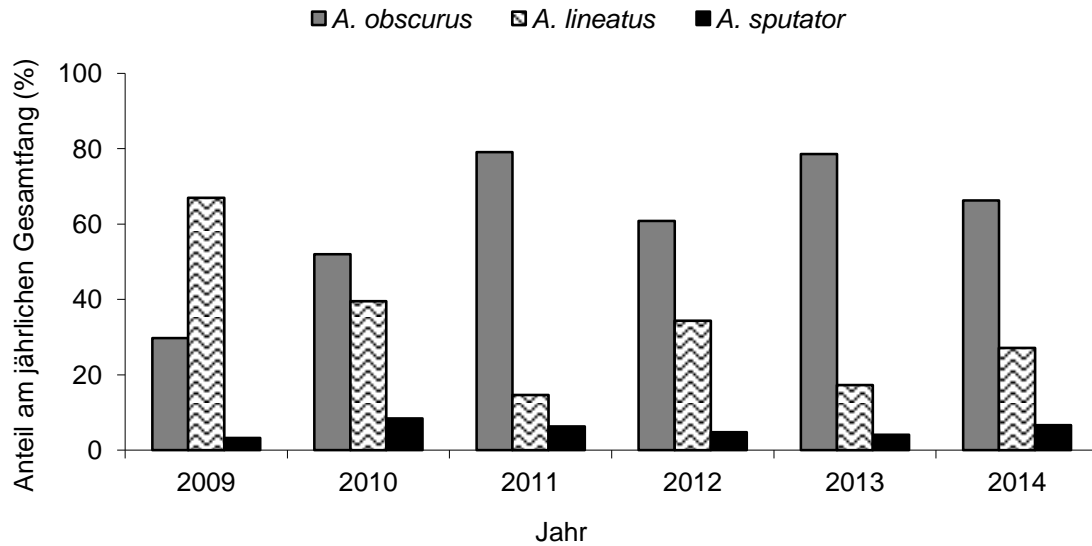


Abbildung 9: Prozentuale Verteilung der Arten am Standort Asbach von 2009 bis 2014

3.1.2. Flächenwahl der Käfer bei der Eiablage

Die Beobachtung von Weibchen bei der Eiablage im Feld konnte nicht realisiert werden. Selbst auf Flächen, die im Monitoring einen hohen Befall aufwiesen, waren kaum Tiere im Pflanzenbestand zu beobachten. Daher gelang es nicht Rückschlüsse auf die Einflussfaktoren zu ziehen, die eine Eiablage begünstigen würden bzw. Flächen zu identifizieren, auf denen es bevorzugt zur Eiablage kommt.

Horizontale Wanderung der Drahtwürmer

Bei den Versuchen zur Beobachtung der horizontalen Wanderung der Larven wurde der Gradient der Bodenfeuchte linear eingestellt. Von den ursprünglich 20 Larven, die im mittleren Feuchtebereich abgelegt wurden, konnten nach Ablauf der Zeit noch 17 Larven wieder gefunden werden. Die Auswertung der Gefäße zeigte, dass sich ein Großteil der Drahtwürmer bei einer Bodenfeuchte von 42 Vol% (Trocken +++) aufhielt. In der staunassen Erde sowie in der trockenen Variante konnten keine Larven gefunden werden. Die Ergebnisse des Versuchs sind in Abbildung 10 dargestellt.

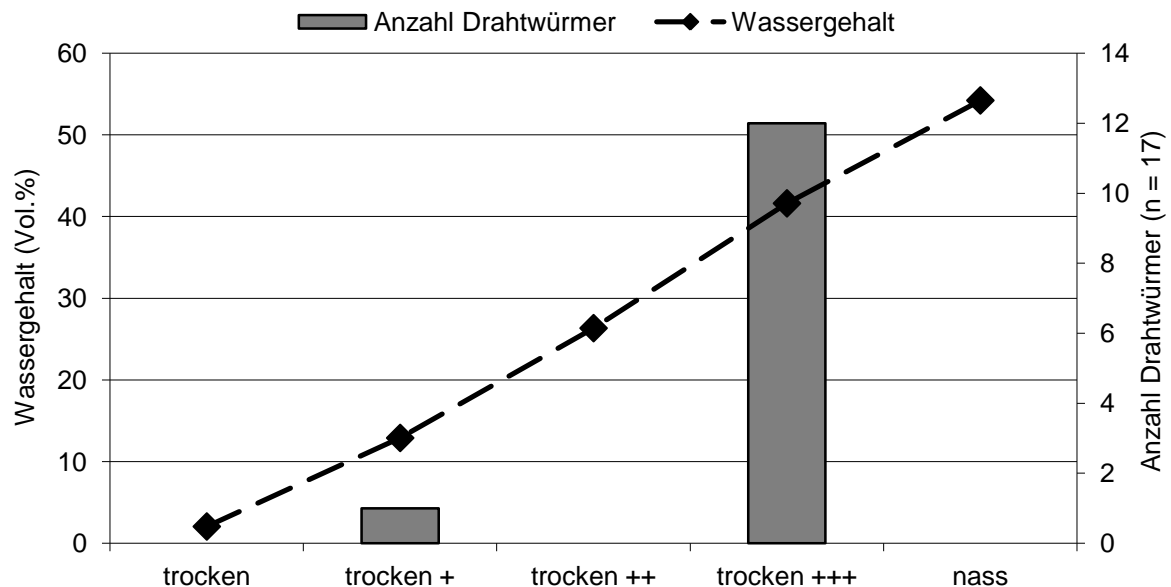


Abbildung 10: Ergebnisse der Untersuchung zur horizontalen Wanderung von Drahtwürmern in Bezug zur Bodenfeuchte

3.1.3. Vertikale Verteilung der Drahtwürmer im Feld

Neben den kontinuierlichen Untersuchungen der Drahtwurmaktivität in den Freilandkäfigen wurden in den Jahren 2010 bis 2014, parallel zum Schnellkäfermonitoring, Felderhebungen auf Praxisschlägen durchgeführt. Tabelle 4 gibt die Fangzahlen aller Standort-Jahr-Kombinationen wieder. Im Jahr 2010 konnten mit insgesamt 326 Larven die größte Anzahl gefangen werden, wovon über 70 % von einem Zuckerrüben-Schlag am Standort Bobenheim-Roxheim stammten und überwiegend der Art *A. ustulatus* angehörten. Insgesamt konnten 37 % aller gefangenen Larven der Art *A. sordidus* zugeordnet werden. Etwa 27 % wurde als *A. ustulatus* bestimmt. Eine Differenzierung zwischen den Arten *A. sputator*, *A. obscurus* und *A. lineatus* erfolgte nicht, da die morphologische Unterscheidung der Larven äußerst schwierig ist. Die zuletzt genannten Arten machten zusammen einen Anteil von 36 % am Gesamtfang von 2010 bis 2014 aus.

Da die Köderfallen an jedem Austauschtermin räumlich um einen Meter versetzt wurden und der Drahtwurmbefall innerhalb eines Schlages meist nicht homogen verteilt ist, kann im Gegensatz zu den Zuchtkäfigen, im Freiland nicht mit einem festen Ausgangsbestand gerechnet werden. Die im Freiland erhobenen Daten konnten daher nicht zur Modellierung herangezogen werden, fanden ihren Nutzen jedoch in der Validierung. Die im Rahmen des Monitorings gesammelten Larven wurden im Anschluss für Laborversuche verwendet oder in den Freilandkäfigen angesiedelt.

Tabelle 4: Drahtwurmfangzahlen auf den Praxisflächen in den Jahren 2010 bis 2014

Standort	2010	2011	2012	2013	2014
Windesheim	42	26	66	1*	
Groß-Winternheim	19				
Gimbsheim	31				1*
Bobenheim-Roxheim	229	50	23		
Frankenthal		19			
Mettenheim	5*	154	80	11	32
Weinsheim		17	9*	2*	
Ibersheim			28		
Westhofen			29	54	21
Asbach			38		
Bassenheim			0*		
Andernach			0*		
Wolken			0*		
Gering			0*		
Gumbenheim				23	
Flomersheim				3*	
Eckelsheim					116
Gau-Bickelheim					0*
Hamm					0*
Heßloch					8*
Summe	326	266	273	94	178

* nicht validierbare Standort-Jahr-Kombination mit einer Fangzahl < 10

3.1.4. Vertikale Verteilung der Drahtwürmer im Freilandkäfig

Das Ergebnis des Halbfreilandversuchs mit *A. obscurus* und die zugehörigen Messwerten der Bodenfeuchte und -Temperatur sind in Abbildung 11 dargestellt. Anfang März 2010 ließ sich ein erster Anstieg in der Aktivität der Drahtwürmer feststellen, der sich bis Mitte April zu einem deutlichen Peak entwickelte. Es konnte ein Maximum von 32 Drahtwürmern pro Tag nachgewiesen werden. In den Monaten Juni bis September ließ sich die Drahtwurmmaktivität verzeichnen. Auch im März 2011 konnte eine erhöhte Aktivität beobachtet werden. Das Drahtwurmvorkommen ließ mit zunehmender Zeit nach, was darauf zurückgeführt werden kann, dass zunehmend mehr Tiere den Entwicklungszyklus voll durchlaufen haben. Durch das kontinuierliche Umsetzen der Fallen wurde die Eiablage vermutlich so gestört, dass der weitere Lebenszyklus unterbrochen wurde und dadurch die Anzahl der im Käfig lebenden Larven stetig reduziert wurde.

Im Verlauf der gemessenen Bodenfeuchte in 15 und 80 cm Bodentiefe wurde beobachtet, dass sich die Charakteristika jahreszeitlich verändern. Während sich die erste Jahreshälfte durch einen homogenen Verlauf der Bodenfeuchtwerte im Vergleich zwischen 15 und 80 cm auszeichnete, unterschieden sich diese in der zweiten Jahreshälfte deutlicher.

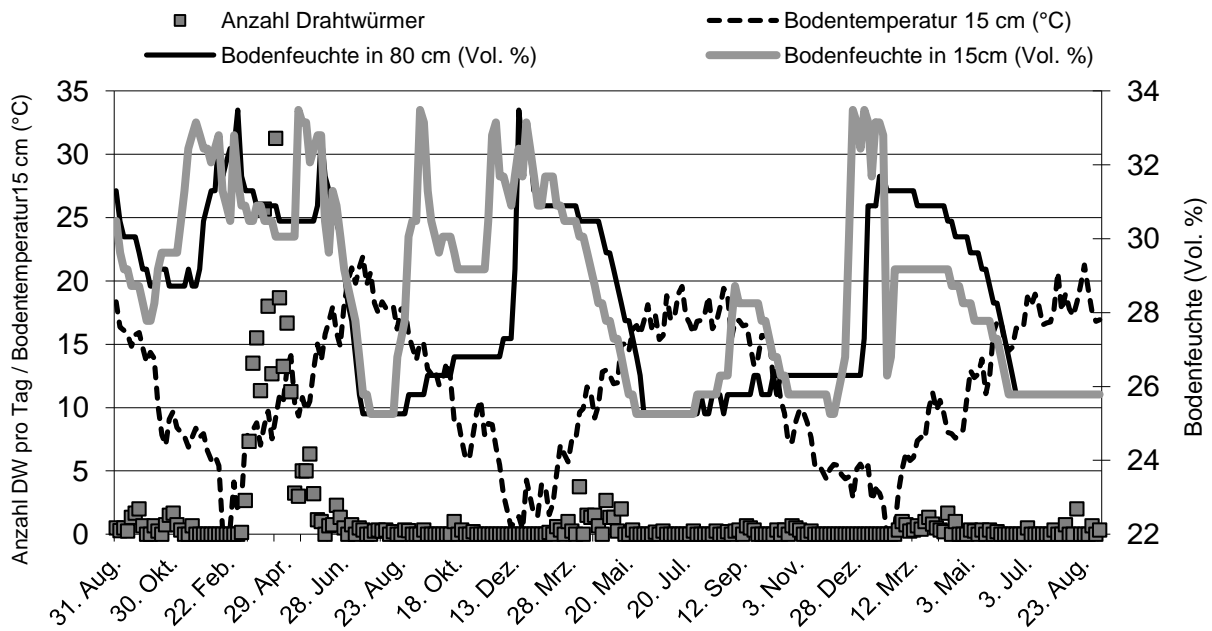


Abbildung 11: Drahtwurmauftreten der Art *A. obscurus* im Freilandkäfig sowie Messwerte der Bodentemperatur und der Bodenfeuchte in verschiedenen Tiefen über einen Zeitraum von drei Jahren

Im Zuge der Erhebungen der Jahre 2010 und 2011 im Käfig *A. obscurus* konnte ein Temperaturoptimum für das Auftreten der Larven in der oberen Bodenzone von ca. 11°C festgestellt werden. Eine Zunahme der Drahtwurmaktivität wurde ab 5°C beobachtet. Ab einer Temperatur von 18°C ließen sich nahezu keine Drahtwürmer mehr in den Bodenfallen finden. Das Bodenfeuchteoptimum in 15 cm Tiefe betrug in beiden Jahren 30,05 Vol.%.

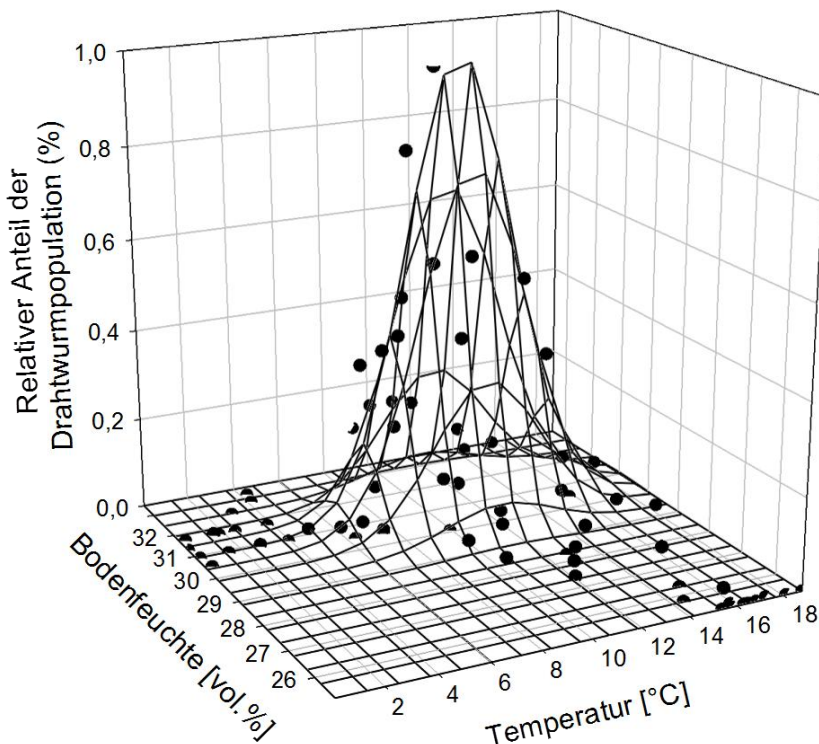


Abbildung 12: Anteil der Drahtwürmer einer Feldpopulation in der oberen Bodenzone (%) in Abhängigkeit von der Bodentemperatur und der Bodenfeuchte in 15 cm Bodentiefe sowie die aus der nicht-linearen Regression abgeleiteten Funktion für die erste Jahreshälfte auf Basis der Daten aus dem Halbfreilandversuch mit *A. obscurus*

3.1.5. Aufbau einer Laborzucht

Im Anschluss an das Einsetzen der fünf weiblichen Schnellkäfer in die Freilandkäfige konnte keine Eiablage beobachtet werden. Daher wurden im Herbst 2010 und an mehreren Terminen im Jahr 2011 Drahtwurmfallen in die beiden Käfige eingegraben um diese auf das Auftreten von jungen Larven (L1) untersuchen zu können. Zu keinem der Termine konnten L1-Larven in den Käfigen gefunden werden. Es ist daher davon auszugehen, dass im Jahr 2010 keine Eiablage der eingesetzten Weibchen stattfand bzw. nur in sehr geringem und damit nicht nachweisbarem Maß.

Bei der Kontrolle des Käferschlupfes anhand der eingesetzten Pheromonfalle im Käfig der *A. obscurus*-Larven, konnte der Käferschlupf erfolgreich nachgewiesen werden. Innerhalb eines Tages ließen sich mehr als 30 Schnellkäfer in der Falle finden. Da die Lockwirkung des Pheromons lediglich männliche Insekten betrifft, kann davon ausgegangen werden, dass sich etwa ebenso viele weibliche Tiere zum Käfer entwickeln konnten und damit ein Geschlechterverhältnis von 1:1 vorliegt, so wie es auch unter natürlichen Bedingungen beobachtet wird. Um eine Verwirrung der männlichen Tiere zu vermeiden, wurde die Falle nach dem Zurücksetzen der Tiere wieder aus dem Käfig entfernt.

Im September 2011 wurde erstmals eine L1-Larve in einer der eingesetzten Drahtwurmfallen gefunden.

3.1.6. Laborversuche zur Biologie

Bei den auf feuchtem Gips abgelegten *Agriotes*-Eiern konnte nur sehr vereinzelt ein Schlupf junger Drahtwürmer beobachtet werden. Aufgrund der hohen Mortalität der jungen Larven und des erheblichen Zeitaufwandes zur Beobachtung der Larvenentwicklung konnte diese nicht weiter verfolgt werden.

3.1.7. Laborversuche Bodenfeuchte

Bei der Auswertung der Rohrversuche konnten keine Unterschiede im Verhalten der Larvenarten in Bezug zur Bodenfeuchte festgestellt werden. Auch zwischen der unbepflanzten Variante und der Variante mit simuliertem Bewuchs durch junge Maispflanzen konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Abbildung 13 gibt die Versuchsdaten der Bodenart Lehm und die daraus resultierende logistische Regressionskurve mit einem Bestimmtheitsmaß von 85 % wieder. Die maximale Wasserkapazität von 100 % entspricht hier 32 Vol.%. Bei der getesteten Bodenart handelt es sich um den Boden der Freilandkäfige. Das Maximum der Drahtwurmaktivität im Käfig lag bei einer Bodenfeuchte von 31 Vol.%. Damit ist der bevorzugte Bodenfeuchtebereich in den Laborversuchen mit dem der Freilandkäfige vergleichbar. Es kann daher angenommen werden, dass die Laborergebnisse der anderen Bodenarten ins Freiland übertragbar sind.

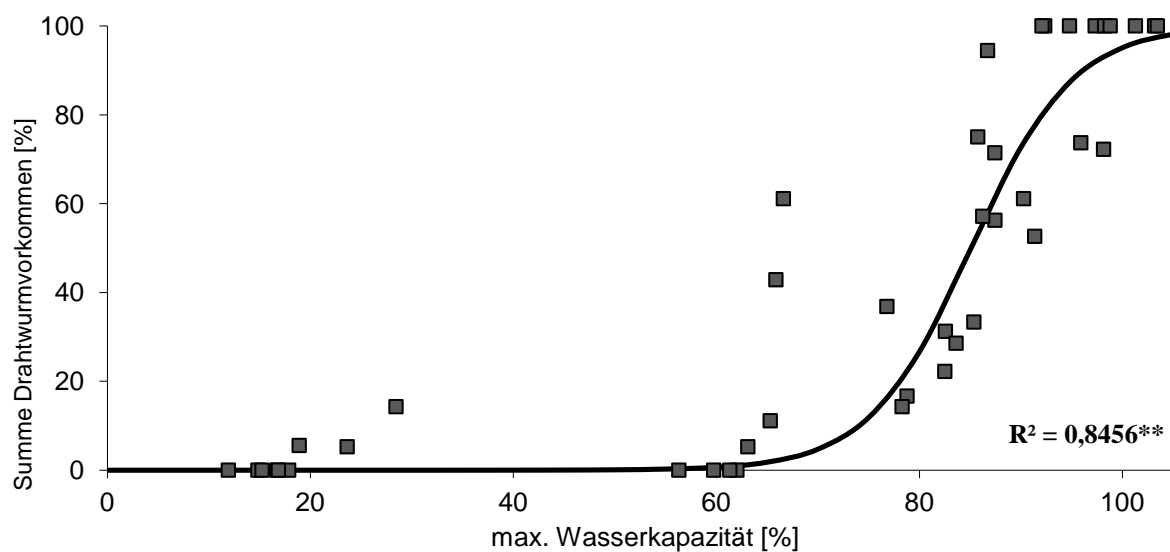


Abbildung 13: Korrelation zwischen der Summe des Drahtwurm-vorkommens und der zugehörigen maximalen Wasserkapazität sowie die aus der logistischen Regression abgeleitete Funktion für die Bodenart Lehm

Der Vergleich der Modellansätze zur Prognose der Summe des Drahtwurm-vorkommens (%) in Abhängigkeit der maximalen Wasserkapazität (%) für die fünf untersuchten Bodenarten ist in Abbildung 14 dargestellt. Der tolerierte Feuchtebereich zeigte in dem mittel lehmigen Sand eine deutlich größere Spannweite als in den schwereren Bodenarten. Daraus lässt sich schließen, dass in leichteren Böden eine niedrigere Wasserkapazität toleriert wird und das Risiko von Fraßschäden dadurch über einen größeren Feuchtebereich besteht. 10 % aller Drahtwürmer hielten sich in dieser Bodenart bei einer Wasserkapazität von 30 % auf. Im sandigen Lehm wurde dieser Wert erst bei einer Wasserkapazität von 45 % erreicht, in der Bodenart Lehm sogar erst bei 70 %.

Die Kurven der drei Bodenarten zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf, sind aber mit zunehmender Schwere des Bodens entlang der X-Achse verschoben. Das simulierte Drahtwurm-vorkommen der Bodenart schwerer Lehm unterscheidet sich jedoch deutlich von den logistischen Kurvenverläufen der restlichen Bodenarten und zeigt einen fast linearen Zusammenhang zwischen der maximalen Wasserkapazität und der Summe des Drahtwurm-vorkommens. Eine Analyse der Wasserspannungskurven der verschiedenen Bodenarten ergab einen Zusammenhang zwischen dem permanenten Welkepunkt des Bodens und dem einsetzenden Drahtwurm-vorkommen.

Mit den abgebildeten Funktionen werden 81 bis 89 % der Variation der Versuchsdaten beschrieben. Die Varianzanalyse zeigte in allen Varianten einen hoch signifikanten Zusammenhang.

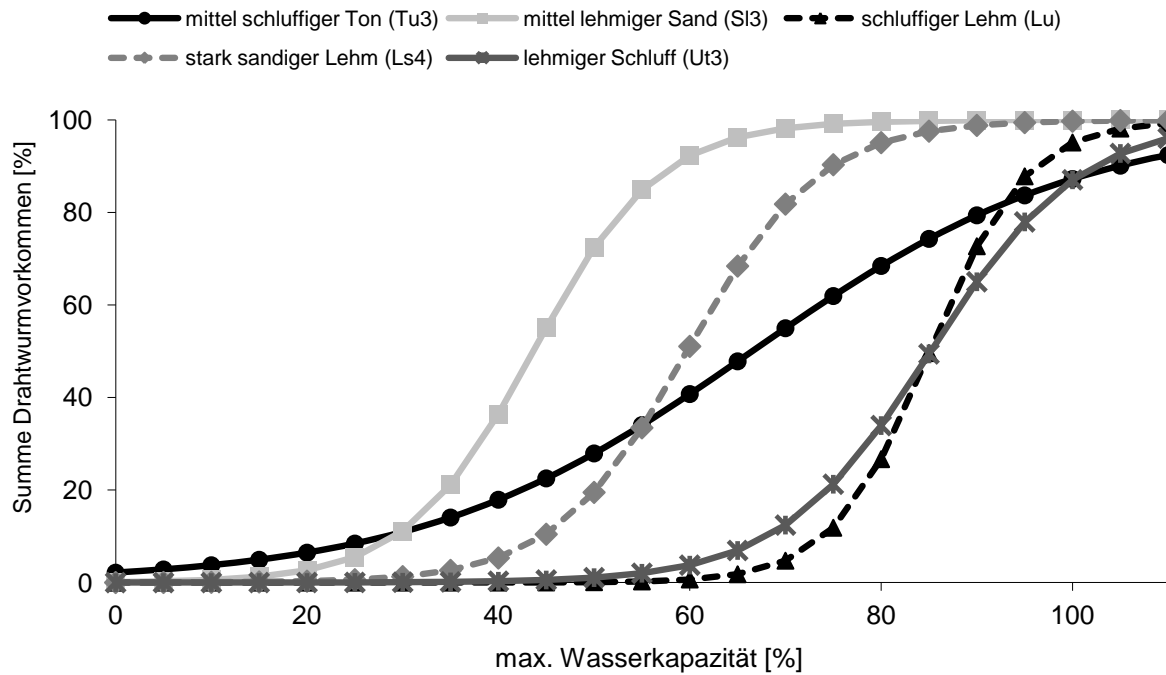


Abbildung 14: Darstellung der Korrelation zwischen der Summe des Drahtwurmorkommens und der zugehörigen maximalen Wasserkapazität sowie der aus der logistischen Regression abgeleiteten Funktion für die Bodenart Lehm

3.1.9. Modellierung der Drahtwurmaktivität (SIMAGRIO-W)

Aus den durchgeführten Untersuchungen im Labor und Freiland und den daraus resultierenden Ergebnissen wurde eine Modellstruktur entwickelt. Diese beinhaltet zwei Module, die in einem zeitlichen Ablauf miteinander verknüpft sind. Ausgehend von einem unquantifizierbaren Drahtwurmbefall eines Feldes, wird im ersten Modellabschnitt überprüft, ob die in der Fraßzone für eine Aktivität der Drahtwürmer festgelegten Schwellenwerte von Temperatur und Bodenfeuchte überschritten sind. Mit dem auf Basis der Daten aus den Freilandkäfigen entwickelten Modellansatz wird berechnet ab welcher Bodentemperatur- und -Feuchte der Anteil von 10 % aktiven Drahtwürmern in der Fraßzone überschritten wird (Abbildung 15). Die Bodenfeuchte wird dabei nach Eingabe der Wetterparameter Temperatur, relative Luftfeuchte und Niederschlag durch das Simulationsmodell SIMPEL simuliert.

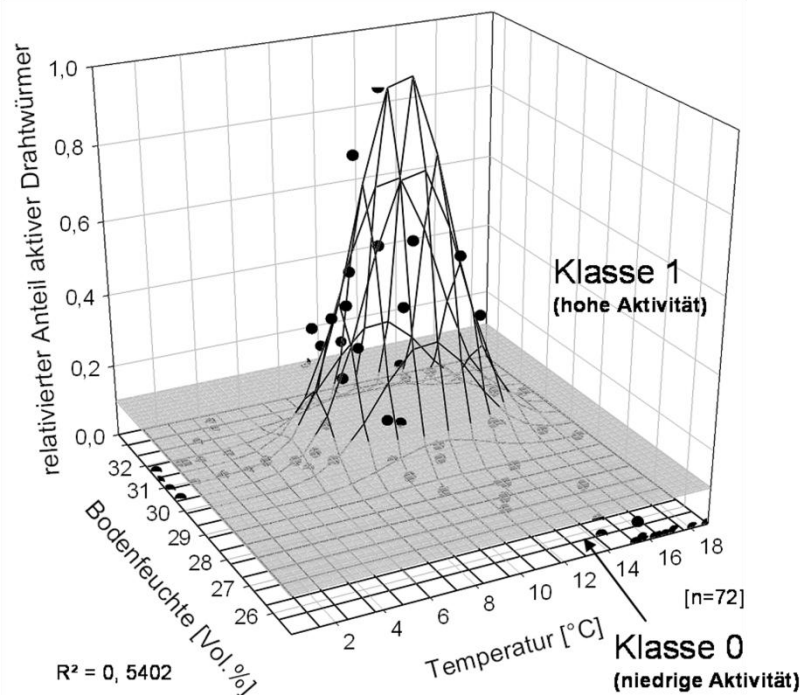


Abbildung 15: Darstellung des Modellansatzes zur Prognose der Drahtwurmaktivität in der Fraßzone (= Klasse 1) innerhalb der ersten Jahreshälfte

Werden die Grenzwerte nicht überschritten, wird die Prognose abgebrochen und am darauf folgenden Tag erneut gestartet. Im Falle einer Schwellenwertüberschreitung folgt ein zweites Modell, basierend auf den Daten der Laborversuche zur vertikalen Verteilung der Drahtwürmer. Es soll die Stärke des Drahtwurmauftretens in Bezug zur Bodenfeuchte und Bodenart angeben und stützt sich dabei ebenfalls auf simulierte Bodenfeuchtwerte (Abbildung 16). Die Verknüpfung beider Modellansätze war möglich, da die Ergebnisse der Freilandkäfige mit denen der Laborversuche zu einem gleichen bevorzugten Bodenfeuchtebereich in der Bodenart Lehm führten. Der von den Larven favorisierte Feuchtebereich von 31 Vol.% Feldkapazität in den Freilandkäfigen konnte dem entsprechend mit den Ergebnissen der Rohrversuche bestätigt werden. Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse der beiden Versuche miteinander vergleichbar sind. Darauf stützend wurden die Ergebnisse zum Drahtwurmvorkommen in den anderen Bodenarten ins Freiland übertragen und im Modellansatz integriert. Zum Ende des Prognoseablaufs wird ein täglicher Wert der prozentualen Stärke des Auftretens des Drahtwurmpotentials eines ausgewählten Feldes von dem Modell ausgegeben.

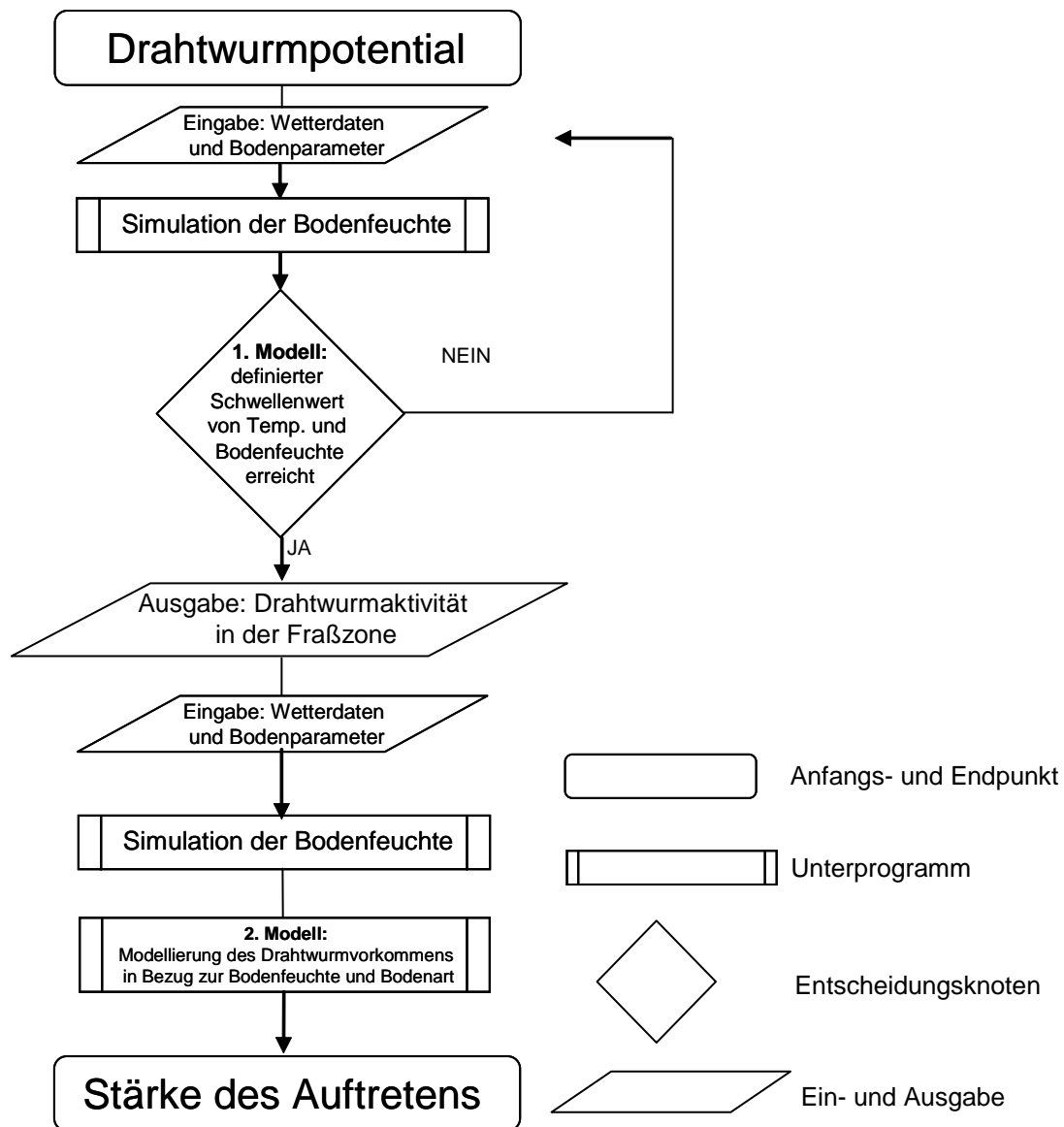


Abbildung 16: Ablaufdiagramm der möglichen Drahtwurmprognose

Ab 2010 erfolgte die Validierung des Modells anhand der Boniturdaten aus den Freilandkäfigen. Die Übereinstimmung der Boniturwerte mit den Werten der errechneten Funktionen ergab insgesamt eine Trefferquote von 87,5 % korrekter Prognosen über alle Jahre. In den Jahren 2011, 2012 und 2014 wurde eine Trefferquote von 90 % erreicht. Im Jahr 2013 stieg der Anteil an Überschätzungen zu Lasten der korrekten Prognosen auf 20 % an, was sich mit der zunehmenden Reduktion der Larvenpopulation in den Käfigen erklären lässt. Durch die Inbetriebnahme der zwei weiteren Käfige im Jahr 2014 konnte die Datenbasis maßgeblich erweitert werden. In einzelnen Käfigen wurden Trefferquoten bis zu 95 % erreicht. Im Mittel lag der Anteil korrekter Prognosen wieder stabil bei 90 % (Abbildung 17).

Im Mittel der Jahre kam es lediglich in 3,4 % der Fälle zu einer Modellunterschätzung. Damit liegt ein valides Modell zur Prognose der Drahtwurmaktivität in der Fraßzone in Abhängigkeit von Bodentemperatur und Bodenfeuchte vor. Der Ansatz wurde durch eine große Datenbasis überprüft.

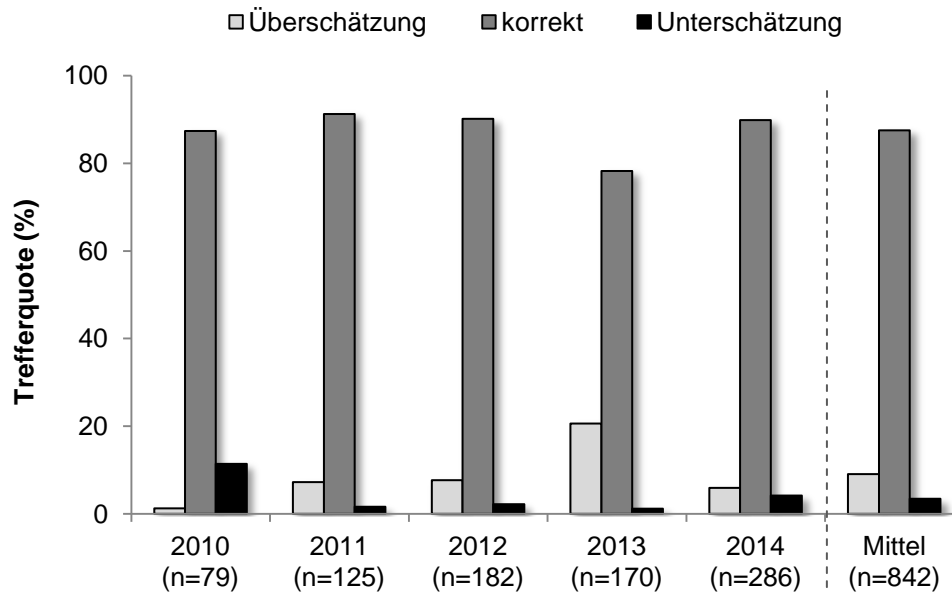


Abbildung 17: Anhand der Halbfreilanddaten von 2010 bis 2014 ermittelte Trefferquote des Modells SIMAGRIO-W

Neben der im Halbfreilandversuch untersuchten Aktivität der Schnellkäfer-Larven wurde das Modell SIMAGRIO-W auf Basis der Monitoringdaten validiert. Im Mittel aller Jahre betrug der Anteil korrekter Prognosen 86 %. Der Vergleich der jährlichen Trefferquoten zeigt eine gewisse Stabilität der Trefferquote auf. Da bei den auf Praxisflächen erhobenen Daten nicht pauschal von einer Überschätzung des Modells ausgegangen werden kann, wurden ausschließlich die Modellunterschätzungen als falsche Prognose klassifiziert (Abbildung 18).

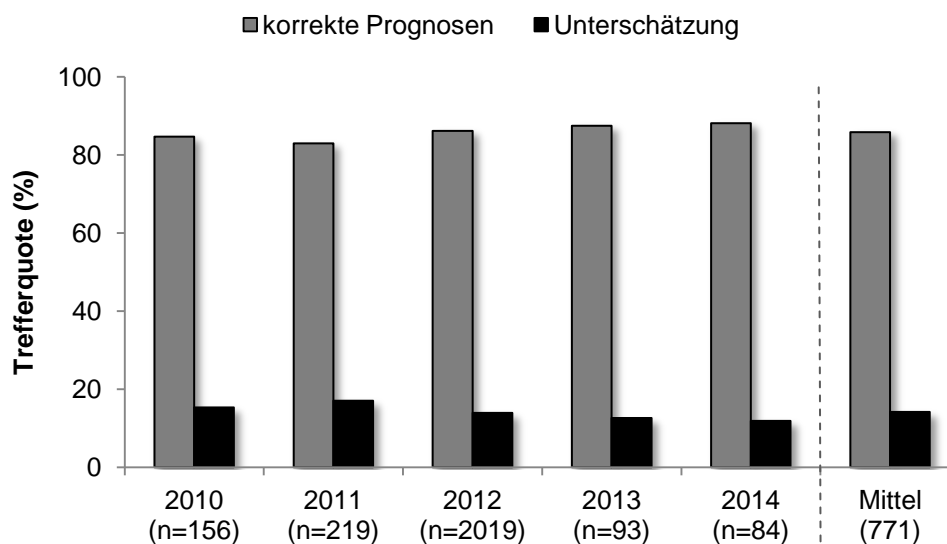


Abbildung 18: Anhand der Monitoringdaten von 2010 bis 2014 ermittelte Trefferquote des Modells SIMAGRIO-W

Der Modellansatz steht seit 2013 auf der Onlineplattform ISIP (Informationssystem Integrierte Pflanzenproduktion) unter www.isip.de zur Verfügung. Die Prognose erfolgt wetterstationsbasiert und benötigt als schlagspezifische Angaben das Prognosejahr sowie die Feldfrucht (zur Berechnung der Bodenfeuchte).

In einem ersten Modelloutput wird das Risiko von Fraßschäden durch Drahtwürmer in Form einer Punktetabelle ausgegeben (Abbildung 19). Für einen Zeitraum von 20 Tagen wird das tägliche Risiko für vier verschiedene Bodenarten farbig dargestellt. Als unwahrscheinlich wird das Auftreten von Drahtwürmern in der oberen Bodenzone angesehen, wenn der prognostizierte prozentuale Anteil einer Population weniger als 10 % beträgt (grüner Punkt). Zwischen 10 und 30 % ist das Auftreten von Larven in der für die Kultur schädigenden Bodenzone laut Modell möglich (gelber Punkt). Wird der zweite Grenzwert von 30 % überschritten, gibt das Modell eine hohe Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Drahtwürmern und damit ein hohes Risiko für Fraßschäden aus (roter Punkt).

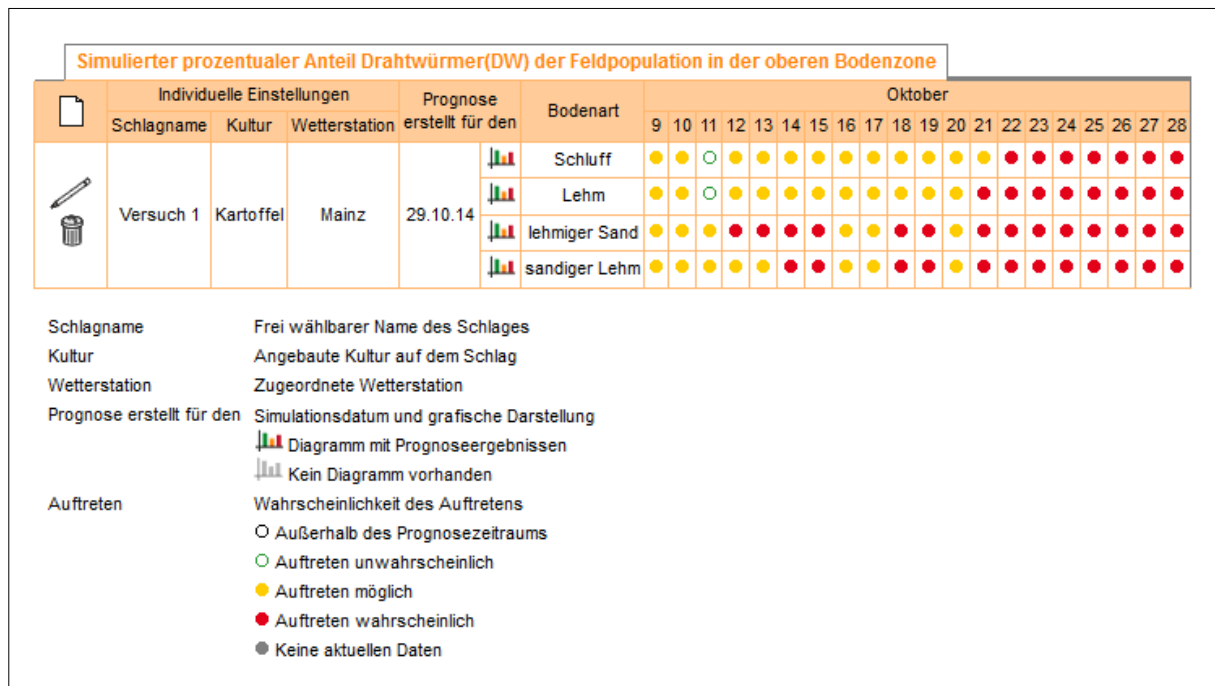


Abbildung 19: Tabellarischer Modelloutput von SIMAGRIO-W auf der Online-Plattform ISIP für den Standort Mainz (2014)

Optional kann sich der Nutzer den Verlauf des prognostizierten Risikos während der gesamten, bis dahin abgelaufenen Saison grafisch anzeigen lassen (Abbildung 20).

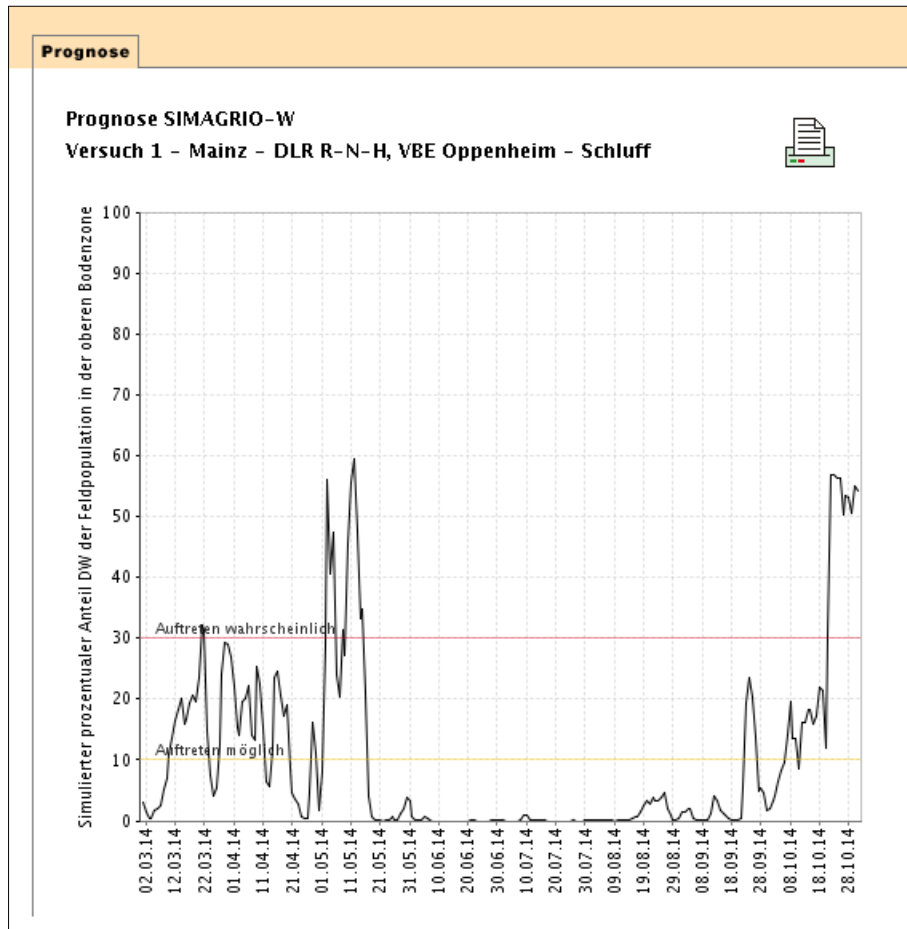


Abbildung 20: Grafischer Modelloutput 2 von SIMAGRIO-W auf der Online-Plattform ISIP für den Standort Mainz (2014), Bodenart Schluff

3.1.10. Modellierung der Schnellkäferaktivität (SIMAGRIO-B)

Auf Basis der unter Kapitel 3.1.1. ermittelten Ergebnisse des Monitorings zur Überwachung der Schnellkäfer-Männchen mit Hilfe von Pheromonfallen wurde 2011 ein erster Ansatz zur Prognose der Schnellkäfer-Aktivität in Abhängigkeit von der Bodentemperatur modelliert. Der Vergleich der modellierten Aktivitätsverläufe zeigte deutliche Unterschiede im zeitlichen Auftreten der vier Agriotes-Arten auf. *A. sputator* wird bereits bei einer Bodentemperatursumme von ca. 400 Gradtagen aktiv. Während *A. obscurus* nur leicht verzögert auftritt, zeigt sich zwischen dem zeitlichen Auftreten von 50 % der Population von *A. sputator* und 50 % der Population der Arten *A. sordidus* und *A. lineatus* eine Differenz von etwa 300 Gradtagen. Bei einer angenommenen Tagesdurchschnittstemperatur von 20°C entspricht diese Differenz einer Verzögerung von 15 Tagen, was die Notwendigkeit der Entwicklung mehrerer artspezifischer Modelle unterstreicht. *A. sordidus* zeigte erst ab einer Bodentemperatursumme von ca. 600 Gradtagen eine raschere Aktivitätszunahme und hat demnach höhere Temperaturansprüche. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Beobachtungen des regionalen Auftretens dieser Art in der Rheinebene und anderen wärmeren Flusstälern.

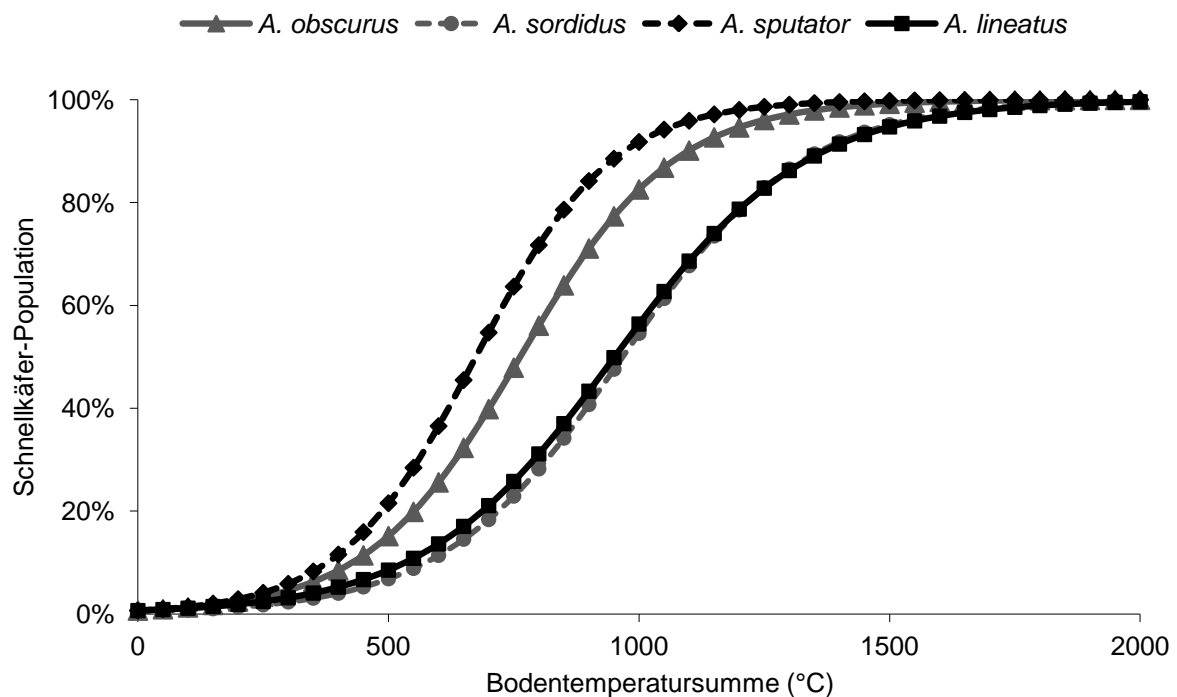


Abbildung 21: Erster Modellansatz zur Prognose der Aktivitätsverläufe der Schnellkäfer-Arten *A. obscurus*, *A. sordidus*, *A. sputator* und *A. lineatus*

Die berechnete Trefferquote auf Basis der im Projektzeitraum erhobenen Daten lag bei durchschnittlich 58 %. An weniger als 10 % der Boniturtermine unterschätzte das Modell. In 32,3 % der Fälle überschätzte das Modell das Käferauftreten (Abbildung 22). Der Modellansatz für die Art *A. lineatus* wies dabei mit etwa 62 % die beste Trefferquote auf. Die Validierung anhand der im Jahr 2010 deutschlandweit erhobenen Daten (Prof. Dr. S. Vidal, Georg-August-Universität Göttingen) zeigte größere Schwankungen zwischen den einzelnen Arten. Mit den Parametrisierungen für *A. sordidus* und *A. lineatus* wurden ähnliche Trefferquoten wie in Rheinland-Pfalz erzielt. Durchschnittlich waren 52 % der Prognosen korrekt.

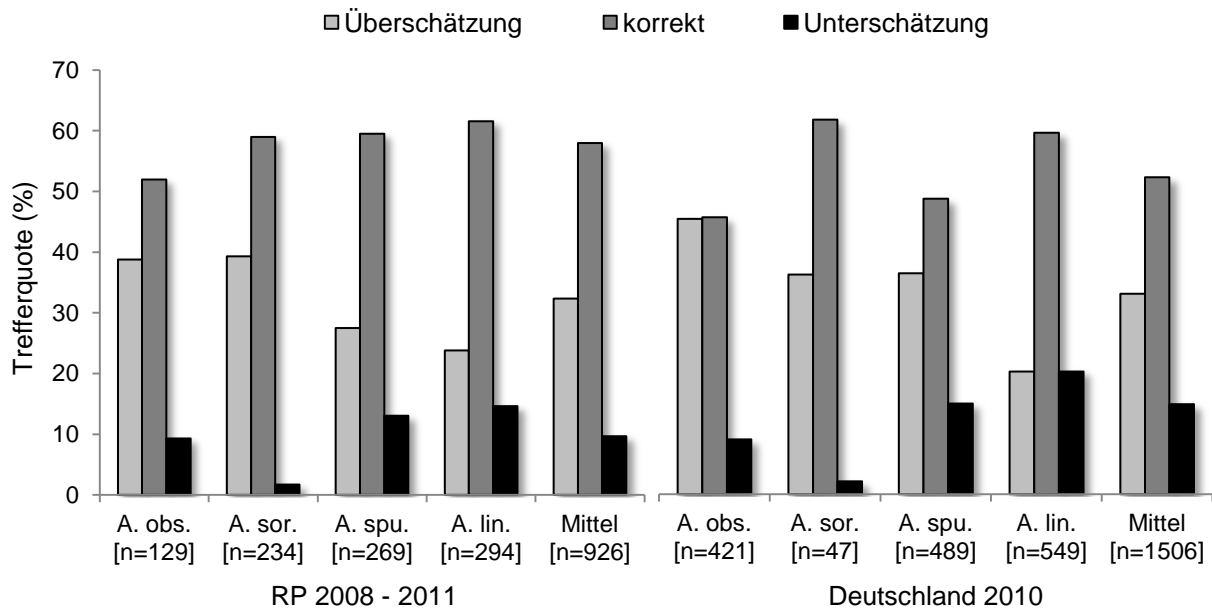


Abbildung 22: Validierungsergebnis des ersten Modellansatzes zur Prognose von Schnellkäfern auf Basis des häufigsten Datensatzes von 2008 – 2011 aus RP (links) und der Daten des bundesweiten Monitorings 2010 (rechts)

Des Weiteren erfolgte eine statistische Validierung der Modellansätze mit Hilfe der Berechnung linearer Regressionen. Die Korrelation zwischen simulierten und beobachteten Flugverläufen ergab eine Übereinstimmung im Bereich zwischen 85 % und 91 % bei den in Rheinland-Pfalz erhobenen Daten und eine Übereinstimmung zwischen 86 % und 93 % bei den deutschlandweit erhobenen Daten. In allen Fällen lag eine hoch signifikante Korrelation der beiden Parameter vor.

Die Validierung anhand des zeitlichen Vergleichs zwischen simuliertem und bonitiertem Erstaufreten, definiert als 10 % aller auftretenden Käfer einer Population ergab eine Übereinstimmung in 40 % der Fälle. In nur 9 % der Fälle wurde das Erstaufreten zu einem späteren Zeitpunkt prognostiziert als es bonitiert wurde. Jedoch wurde das Käfererstaufreten in 51 % aller Fälle überschätzt. Die durchschnittliche Unterschätzung des Erstaufretens lag bei 12,6 Tagen. Mit 48 % korrekten Prognosen wurde das Erstaufreten der Arten *A. obscurus* und *A. sputator* am besten durch das Modell abgebildet. Der ebenso große Anteil zu früher Prognosen zeigt jedoch, dass dieser Modellansatz prinzipiell zu früh auslöst und zum Überschätzen neigt.

Nach Erweiterung der Datenbasis um die Jahre 2012 bis 2014 wurde mit den Daten der Jahre 2008 bis 2012 eine multiple logistische Regression durchgeführt. Die artspezifischen Funktionen sind in den Abbildungen 23-26 dargestellt.

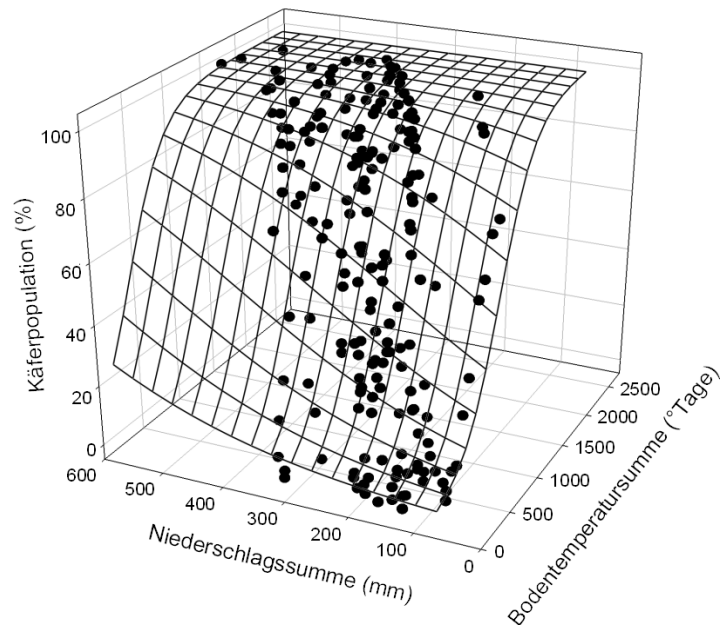


Abbildung 23: Anteil aktiver Schnellkäfer einer Feldpopulation in Abhängigkeit von der Bodentemperatursumme (Basis 4 °C) und der Niederschlagssumme sowie die aus der multiplen logistischen Regression abgeleiteten Funktion für die Art *A. obscurus* (n=226, $R^2=0,86$)

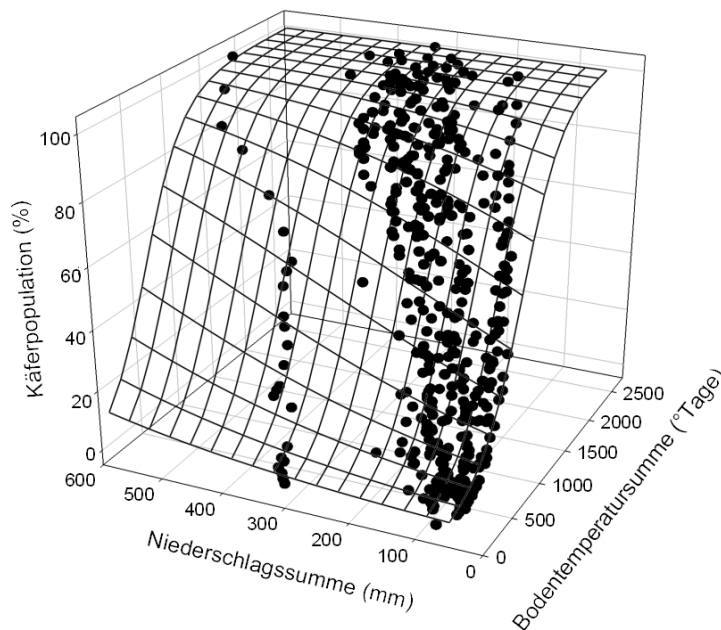


Abbildung 24: Anteil aktiver Schnellkäfer einer Feldpopulation in Abhängigkeit von der Bodentemperatursumme (Basis 4 °C) und der Niederschlagssumme sowie die aus der multiplen logistischen Regression abgeleiteten Funktion für die Art *A. sordidus* (n=460, $R^2=0,84$)

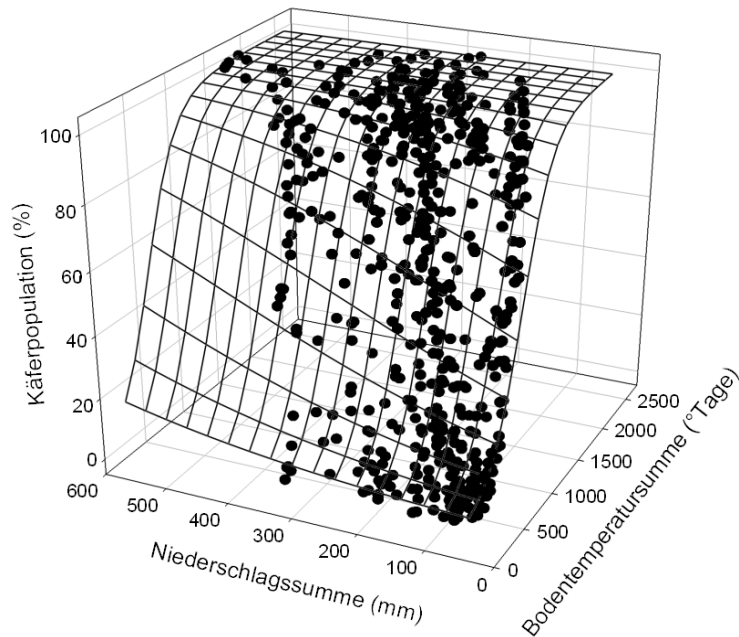


Abbildung 25: Anteil aktiver Schnellkäfer einer Feldpopulation in Abhängigkeit von der Bodentemperatursumme (Basis 4 °C) und der Niederschlagssumme sowie die aus der multiplen logistischen Regression abgeleiteten Funktion für die Art *A. lineatus* (n=564, $R^2=0,81$)

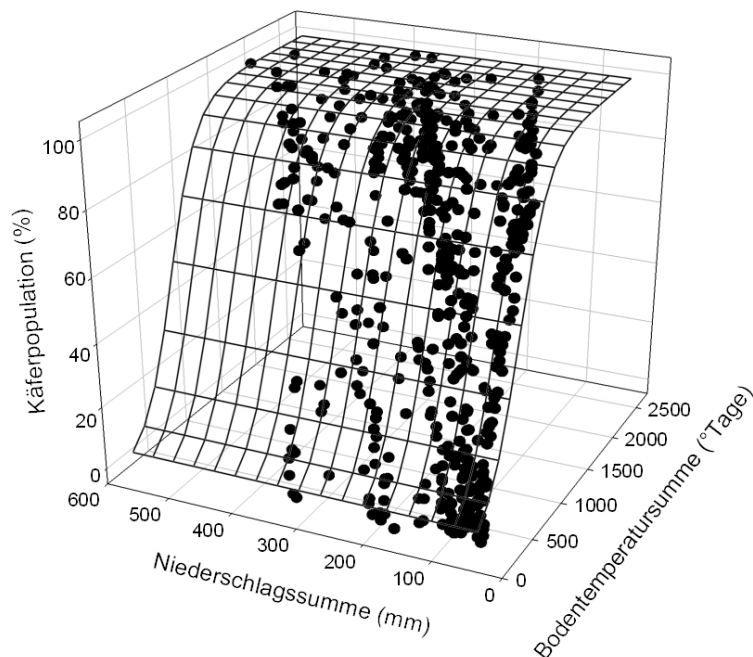


Abbildung 26: Anteil aktiver Schnellkäfer einer Feldpopulation in Abhängigkeit von der Bodentemperatursumme (Basis 4 °C) und der Niederschlagssumme sowie die aus der multiplen logistischen Regression abgeleiteten Funktion für die Art *A. sputator* (n=548, $R^2=0,78$)

Mit den Monitoringdaten der Jahre 2013 und 2014 wurde eine unabhängige Validierung des neuen Modellansatzes (SIMAGRIO-B) durchgeführt. Die Berechnung der Trefferquote ergab im Mittel einen Anteil korrekter Prognosen von 57 %. Mit ca. 25 % kam es häufig zu Überschätzungen durch das Modell. Die beste Übereinstimmung zwischen bonitierten und prognostizierten Werten ergab sich für den Ansatz von *A. sordidus* mit 61 % korrekten Vorhersagen (Abbildung 27). Ein erneuter Validierungsdurchlauf mit den Daten des

bundesweiten Monitorings 2010 zeigte, dass der Anteil korrekter Prognosen bei *A. obscurus* und *A. sordidus* durch die Berücksichtigung des Niederschlages im zweiten Modellansatz um jeweils 8 % erhöht werden konnte. Der Anteil korrekter Prognosen von *A. lineatus* und *A. sputator* blieben dabei unverändert.

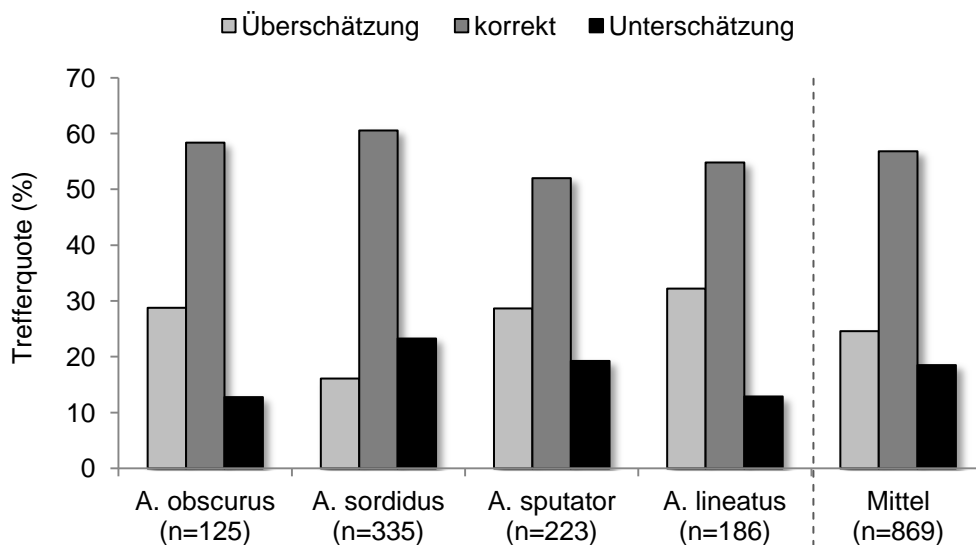


Abbildung 27: Auf Basis der Monitoringdaten von 2013 und 2014 errechnete Trefferquote des Modells SIMAGRIO-B

Die statistische Validierung zeigte, dass zwischen 76 % (*A. sputator*) und 83 % (*A. sordidus*) der Variation durch die Regression erklärt werden konnte. Abbildung 28 gibt die Regression zwischen bonitierter und prognostizierter Aktivität am Beispiel der Schnellkäferart *A. sordidus* wieder.

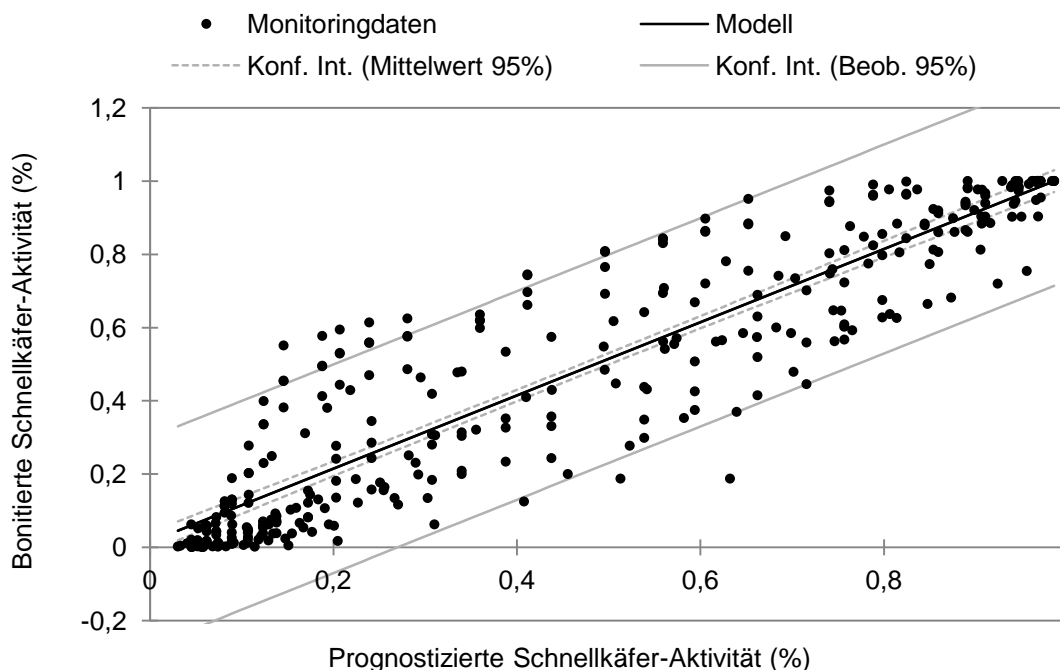


Abbildung 28: Lineare Regression zwischen der bonitierten und der prognostizierten Aktivität von *A. sordidus* (n=335, $R^2=0,833$)

3.2. Voraussichtlicher Nutzen und Verwendbarkeit der Ergebnisse

Mit Hilfe des Monitorings zur Überwachung der Schnellkäfer-Flugphasen konnte die Wissensbasis über das Auftreten der fünf bedeutendsten Agriotes-Arten *A. lineatus*, *A. obscurus*, *A. sordidus*, *A. sputator* und *A. ustulatus* in Rheinland-Pfalz maßgeblich verbreitet werden. Es liegen nun Informationen zur Artenverteilung in vielen Regionen von Rheinland-Pfalz vor. Unter anderem konnte festgestellt werden, in wie weit die Wärme bevorzugende Art *A. sordidus* vorgedrungen ist und wo sie vorzugsweise auftritt. Durch die wöchentliche Leerung der artspezifischen Pheromonfallen konnten die Flugphasen der einzelnen Arten genau untersucht und abgebildet werden. Auf Basis dieser Daten wurde das Modell SIMAGRIO-B entwickelt, das die Aktivität der vier wichtigsten Arten anhand von Wetterdaten prognostiziert. Mit dem Modell wurde ein wichtiger Grundstein für die Terminierung weiterer Monitoringaktivitäten gelegt. Um einen Schwellenwert für die Bekämpfung der Adulten zu definieren, bedarf es jedoch weiteren Untersuchungen bezüglich der Aktivität der Schnellkäfer-Weibchen, des Zeitpunktes der Eiablage sowie bevorzugter Flächen für die Eiablage.

Die vierjährigen Untersuchungen zur vertikalen Verteilung der Drahtwürmer im Boden in Freiland und Labor resultierten in neuen Informationen bezüglich der Migration der Larven in Abhängigkeit der Bodenfeuchte und Bodentemperatur. Des Weiteren konnte ein neuartiges Falldesign zur Untersuchung der Drahtwurmaktivität in der Fraßzone entwickelt werden, das gute Fangerfolge erzielt. Anhand der in den Freilandkäfigen und im Labor erhobenen Daten konnte das wetterbasierte Modell SIMAGRIO-W entwickelt werden. Bestehend aus zwei Modellansätzen wird zunächst das Risiko einer Drahtwurmaktivität prognostiziert. Durch ein zweites, darauf folgendes Modell wird die Stärke des Drahtwurmauftretens in Bezug zur Bodenfeuchte und Bodenart angegeben, sofern der Schwellenwert im ersten Modell überschritten wurde. Die ausgesprochen schwierige Terminierung von Pflanzenschutz- und Bodenbearbeitungsmaßnahmen zur Reduktion der Drahtwurmpopulation wird durch das Modell maßgeblich und im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes unterstützt und erleichtert.

4. Zusammenfassung

Im Rahmen des siebenjährigen Forschungsteilprojektes „Erarbeitung von Basisdaten zur Drahtwurmprognose“ wurden von 2008 bis 2014 weitreichende Untersuchungen zur Erweiterung der Wissensbasis über die wichtigsten Schnellkäfer-Arten und deren Larven, den Drahtwürmern, durchgeführt. Mit Hilfe artspezifischer Pheromonfallen wurde die Flugaktivität der bedeutendsten Arten an 74 Standorten überwacht. Insgesamt konnten 92.372 Schnellkäfer gefangen werden, die einzeln bestimmt und nach Arten getrennt ausgewertet wurden. Anschließend wurde die relative kumulierte Schnellkäferaktivität mit Wetterdaten korreliert. Anhand von multiplen logistischen Regressionen wurde das artspezifische und witterungsbasierte Modell SIMAGRIO-B für *A. lineatus*, *A. obscurus*, *A. sordidus* und *A. sputator* entwickelt, das die Aktivität dieser Arten prognostiziert. Das Modell besitzt eine mittlere Abbildungsgenauigkeit von 57 % korrekten Prognosen.

In Kooperation des bei der ZEPP durchgeführten und durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Projektes: „Möglichkeiten zur standortspezifischen Simulation der Bodenfeuchte und zur Integration von Bodenfeuchte- und Bodenartmodulen in die Prognosemodelle der ZEPP anhand von drei ausgewählten Schaderregern“ wurden Untersuchungen zur Drahtwurmaktivität in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte, Bodentemperatur und Bodenart durchgeführt. In einem fünfjährigen Halbfreilandversuch wurde die Drahtwurmaktivität in Bezug zur Bodenfeuchte und –Temperatur analysiert. Im Labor wurde die von den Larven bevorzugte Bodenfeuchte in fünf Bodenarten untersucht. Auf Basis von logistischen und nicht-linearen Regressionen wurde das Modell SIMAGRIO-W entwickelt. Bestehend aus zwei Modellen wird in einem ersten Schritt das Risiko einer Drahtwurmaktivität in der oberen Bodenschicht berechnet. In einem zweiten Modellschritt wird für die vier Bodenarten die sich am Ausgangsbefall orientierende Stärke des Drahtwurm-vorkommens ausgegeben. Mit Bestimmtheitsmaßen zwischen 0,81 und 0,89 konnte der prozentuale Anteil des Drahtwurm-vorkommens sehr gut durch das Modell simuliert werden. Die Korrelationen waren bei allen Bodenarten hoch signifikant. Mit einer Treffergenauigkeit von ca. 90 % prognostiziert SIMAGRIO-W den Anteil Drahtwürmer einer Feldpopulation in der oberen Bodenschicht sehr gut und gibt damit Hinweise auf das Risiko von Fraßschäden durch Larven an der Feldkultur.

5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen, ggf. mit Hinweisen auf weiterführende Fragestellungen

Das Monitoring zur Überwachung der Schnellkäferaktivität wurde im Projekt erfolgreich über sieben Jahre hinweg an insgesamt 74 Standorten durchgeführt. Mit den Untersuchungen konnte ein Überblick über die Artenverteilung in Rheinland-Pfalz sowie Informationen zu den Flugphasen der wichtigsten Agriotes-Arten gewonnen werden. Auf Basis dieser Daten wurde das Modell SIMAGRIO-B entwickelt, das eine artspezifische Prognose der Schnellkäferaktivität auf Basis von Wetterdaten berechnet. Mit der Projektverlängerung konnte die Datenbasis maßgeblich verbreitert werden, wodurch eine Weiterentwicklung, Neuparametrisierung und unabhängiger Validierung ermöglicht wurden. Die mit dem Modellansatz der ersten Projektphase erzielten Trefferquoten konnten dadurch sowohl regional, als auch auf bundesweiter Ebene angehoben werden. Um die Nutzungsmöglichkeiten des Modells zu erweitern und damit eine Behandlungsempfehlung ausgeben zu können, sind weitere Untersuchungen zur Definition einer Bekämpfungsschwelle unumgänglich.

Intensive Freiland- und Laborversuche, insbesondere während der ersten Projektphase, resultierten in einem zweiten wetterbasierten Modell zur Prognose der Drahtwurmaktivität in Abhängigkeit von der Bodentemperatur, Bodenfeuchte sowie der Bodenart (SIMAGRIO-W). Mit den Daten der zweiten Projektphase konnte eine umfangreiche Validierung des Modells erfolgen, das sich durch konstante Trefferquoten im Bereich um 90 % auszeichnet. Das Modell wurde in ISIP programmiert und stellt damit der landwirtschaftlichen Praxis eine hilfreiche und einfach zu interpretierende Entscheidungshilfe zur Verfügung.

Durch die Installation der Zuchtkäfige im Freiland konnten mehrere Ziele gleichzeitig verfolgt werden. Neben der Untersuchung der Drahtwurmaktivität in der oberen Bodenschicht konnten sich die eingesetzten Larven erfolgreich verpuppen und ihren Entwicklungszyklus damit fortsetzen. Für eine ungestörte Eiablage und deren Beobachtung sind die Käfige jedoch ungeeignet, sofern sie der Datengewinnung zur Untersuchung der Drahtwurmaktivität unterliegen. Da vorrangig das Ziel der Erstellung eines Modells zur Prognose von Drahtwurmschäden verfolgt wurde, konnte keine Beobachtung der Eiablage bzw. ganzer Entwicklungszyklen erfolgen.

6. Literaturverzeichnis

- Christen, C., Paffrath, A., Schepl, U., Neuhoﬀ, D. (2006): Approaches to wireworm control in organic potato production. Proc. IOBC/wprs – Workshop “Entomopathogens and entomoparasitic nematodes”; Subgroup: “Soil Insect Pests”, 16.-18.10.2006, Auer, Italien; S. 29.
- Ellis, J.S., Knight, M.E., Blackshaw, R.P. (2006): Diagnostic genetic tools for positive species identification of cryptic wireworms (click-beetle larvae, *Agriotes* spp.). Proc. IOBC/wprs – Workshop “Entomopathogens and entomoparasitic nematodes”; Subgroup: “Soil Insect Pests”, 16.-18.10.2006, Auer, Italien; S. 42.
- Ester, A., Van Rozen, K. (2005): Monitoring and control of *Agriotes lineatus* and *A. obscurus* in arable crops in the Netherlands. IOBC – Bulletin 28 (2): 81-85.
- Furlan, L. (1996): The biology of *Agriotes ustulatus* Schaller (Col., Elateridae). I. Adults and oviposition. Journal of Applied Entomology 120: 269-274.
- Furlan, L. (1998): The biology of *Agriotes ustulatus* Schaller (Col., Elateridae). II. Larval development, pupation, whole cycle description and practical implications. Journal of Applied Entomology 122: 71-78.
- Furlan, L. (2005): An IPM approach targeted against wireworms: What has been done and what has to be done. IOBC – Bulletin 28 (2): 91-100.
- Furlan, L. (2014): IPM thresholds for *Agriotes* wireworm species in maize in Southern Europe, Journal of Pest Science, 87 (4), 609-617
- Ghormade, V., Jossi, W., Widmer, F., Keller, S., Enkerli, J. (2006): Evaluation of *Metarhizium anisopliae* isolates for biocontrol of *Agriotes* based on virulence, biochemical and genetic characteristics. Proc. IOBC/wprs – Workshop “Entomopathogens and entomoparasitic nematodes”; Subgroup: “Soil Insect Pests”, 16.-18.10.2006, Auer, Italien; S. 31.
- Jossi, W., Schweizer, C., Keller, S. (2008): Schnellkäferarten und biologische Bekämpfung der Drahtwürmer. Agrarforschung 15 (2): 76-81
- Kabaluk, T., Goettel, M., Erlandson, M., Ericsson, J., Duke, G., Vernon, B. (2005): *Metarhizium anisopliae* as a biological control for wireworms and a report of some other naturally-occurring parasites. IOBC – Bulletin 28 (2): 109-115.
- Kabaluk, T., Goettel, M., Vernon, B., Jaronski, S. (2006): Promise versus performance: Working towards the use of *Metarhizium anisopliae* as a biological control for wireworms. Proc. IOBC/wprs – Workshop “Entomopathogens and entomoparasitic nematodes”; Subgroup: “Soil Insect Pests”, 16.-18.10.2006, Auer, Italien; S. 30.
- Katzur, K., Heimbach, U. (2006): Evaluation of different baits to assess wireworm densities in agricultural soil. Proc. IOBC/wprs – Workshop “Entomopathogens and entomoparasitic nematodes”; Subgroup: “Soil Insect Pests”, 16.-18.10.2006, Auer, Italien; S. 36.
- Landl, M., Furlan, L., Glauning, J. (2005): Bait and pheromone trapping of *Agriotes* sp. In Lower Austria (first results). IOBC – Bulletin 28 (2): 123-126.

- Landl, M., Furlan, L., Glauning, J. (2010): Seasonal fluctuations in *Agriotes* spp. (Coleoptera: Elateridae) at two sites in Austria and the efficiency of bait trap design for monitoring wireworm populations in the soil, *Journal of Plant Diseases and Protection*, 117 (6), 268-272.
- Landl, M. (2011): Wireworm – Herbivores in Austrian agricultural land, Dissertation, Institut für Pflanzenschutz, Department für angewandte Pflanzenwissenschaften und Pflanzenbiotechnologie, BOKU, Wien
- Lehmhus, J. (2013): Drahtwürmer in Kartoffeln – ein ewiges Problem?, *Kartoffelbau* 3, 16-19.
- Lehmhus, J., Niepold, F. (2013): New finds of click beetle *Agriotes sordidus* (Illiger, 1807) and an overview on its current distribution in Germany, *Journal für Kulturpflanzen*, 65 (8), 309-314.
- Parker, W.E., Howard, J.J. (2001): The biology and management of wireworms (*Agriotes* spp.) on potato with particular reference to the UK. *Agricultural and Forest Entomology* 3: 85-98.
- Schepl, U., Paffrath, A. (2005a): Strategies to regulate the infestation of wireworms (*Agriotes* spp.) in organic potato farming: Results. *IOBC – Bulletin* 28 (2): 101-104.
- Schepl, U., Paffrath, A. (2005b): Status-Quo-Analysis and development of strategies to regulate the infestations of wireworms (*Agriotes* spp. L.) in organic potato farming. *IOBC – Bulletin* 28 (2): 105-108.
- Schepl, U., Paffrath, A. (2010): Der Drahtwurm...Ein Schädling auf dem Vormarsch – Möglichkeiten der Regulierung. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Bonn, Germany.
http://www.oekolandbau.nrw.de/pdf/pflanzenbau/Broschuere_Drahtwurm2010.pdf
- Staudacher, K., Schallhart, N., Pitterl, P., Wallinger, C., Brunner, N., Landl, M., Kromp, B., Glauning, J., Traugott, M. (2013): Occurrence of *Agriotes* wireworms in Austrian agricultural land, *Journal of Pest Science*, 86 (1), 33-39
- Subchev, M., Toshova, T., Tóth, M., Furlan, L. (2004): Click beetles (Coleoptera: Elateridae) and their seasonal swarming as established by pheromone traps in different plant habitats in Bulgaria: 1. Meadow. *Acta zool. Bulg.* 56 (2), 187-198
- Sufyan, M., Neuhoff, D., Furlan, L. (2013): Effect of male mass trapping of *Agriotes* species on wireworm abundance and potato tuber damage, *Bulletin of Insectology*, 66 (1), 135-142
- Sufyan, M., Neuhoff, D., Furlan, L. (2014): Larval development of *Agriotes obscurus* under laboratory and semi-natural conditions. *Bulletin of Insectology* 67 (2), 227-235
- Tóth, M., Furlan, L. (2005): Pheromone composition of European click beetle pests (Coleoptera, Elateridae): common components – selective lures. *IOBC – Bulletin* 28 (2): 133-142.
- Tóth, M., Imrei, Z., Furlan, L., Yatsynin, V.G., Ujváry, I., Szarukán, L., Subchev, M., Tolasch, T., Francke, W. (2002): Identification of the sex pheromone composition of the click beetle *Agriotes brevis* Candeze (Coleoptera: Elateridae). *J. Chem. Ecology* 28: 1641-1652.

- Tóth, M., Furlan, L., Yatsynin, V.G., Ujváry, I., Szarukán, L., Imrei, Z., Tolasch, T., Francke, W., Jossi, W. (2003): Identification of pheromones and optimization of bait composition for click beetle pests in Central and Western Europe (Coleoptera: Elateridae). *Pest Management Science* 59: 1-9.
- Tóth, M., Furlan, L., Xavier, A., Vuts, J., Toshova, T., Subchev, M., Szarukán, I., Yatsynin, V. (2006): New sex attractant for *Agriotes proximus*: similarities in pheromonal communication with *A. lineatus* (Coleoptera: Elateridae). *Proc. IOBC/wprs – Workshop “Entomopathogens and entomoparasitic nematodes”*; Subgroup: “Soil Insect Pests”, 16.-18.10.2006, Auer, Italien; S. 15.
- Vernon, R.S., Van Herk, W., Tolman, J. (2005): European wireworms (*Agriotes* spp.) in North America: Distribution, damage, monitoring, and alternative integrated pest management strategies. *IOBC – Bulletin* 28 (2): 73-79.
- Vernon, R.S., Van Herk, W., Moffat, C., Harding, C. (2006): European wireworms in North America: Toxicity and repellency of novel insecticides in the laboratory and field. *Proc. IOBC/wprs – Workshop “Entomopathogens and entomoparasitic nematodes”*; Subgroup: “Soil Insect Pests”, 16.-18.10.2006, Auer, Italien; S. 11.
- Vidal, S., Petersen, H.H. (2011): Prognosemodell für Fraßschäden. *DLG-Mitteilungen* 4, 42-45.

7. Publikationen der Ergebnisse

Veröffentlichungen

- Burghause, F., Schmitt, M. (2011): Monitoringergebnisse der Schnellkäfergattung *Agriotes* (Elateridae, Coleoptera) in den Jahren 2008 bis 2010 in Rheinland-Pfalz. *Gesunde Pflanzen* 63, 27-32
- Jung J., Racca P., Schmitt J., Kleinhenz B. (2012): Wann ist das Risiko für Drahtwurmschäden hoch? *Rheinische Bauernzeitung* 13, 18-19
- Jung J., Racca P., Schmitt J., Kleinhenz B. (2012): Wann sind die Schädlinge wo im Boden? Prognose des Auftretens von Drahtwürmern mit SIMAGRIO-W. *Landwirtschaftliches Wochenblatt* 11, 34-36
- Jung J., Racca P., Schmitt J., Kleinhenz B. (2012): Ansätze zur Prognose des Auftretens von Drahtwürmern mit SIMAGRIO-W. *Kartoffelbau* 6, 8-11
- Jung, J., Schmitt, J., Hornung, J., Racca, P., Kleinhenz, B. (2013): Monitoring und Prognose von Drahtwürmern und Schnellkäfern. *Kartoffelbau* 3, 20-23
- Jung, J., Schmitt, J., Hornung, J., Kleinhenz, B. (2014): Lässt sich das Auftreten von Drahtwürmern vorhersagen? *Rheinische Bauernzeitung* 12, 22-24
- Jung, J., Racca, P., Schmitt, J., Kleinhenz, B. (2014): SIMAGRIO-W: Development of a prediction model for wireworms in relation to soil moisture, temperature and type. *Journal of Applied Entomology* 138, 183-194

Vorträge

- Kaub, M. (2009): Geographische Ausbreitung verschiedener Drahtwurmarten. Seminar „Integrierter Pflanzenbau und Pflanzenschutz im Ackerbau und Grünland“. 3. November 2009, Dienstleistungszentrum ländlicher Raum Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Bad Kreuznach
- Jung, J., Schmitt, M. (2010): Erarbeitung von Basisdaten für zwei Drahtwurm-Prognosemodelle. DPG Arbeitskreis Integrierter Pflanzenschutz Projektgruppe Schädlinge in Getreide und Mais. 24. - 25. Februar 2010. Julius Kühn-Institut, Braunschweig
- Burghause, F. (2010): Einführung in die Biologie der Drahtwürmer. DPG Arbeitskreis Integrierter Pflanzenschutz Projektgruppe Schädlinge in Getreide und Mais. 24. - 25. Februar 2010. Julius Kühn-Institut, Braunschweig
- Jung, J., Schmitt, M. (2010): Erarbeitung von Basisdaten für zwei Drahtwurm-Prognosemodelle. DPG Arbeitskreis Integrierter Pflanzenschutz Projektgruppe Kartoffel. 3. - 4. März 2010. Julius Kühn-Institut, Braunschweig
- Schmitt, M., Burghause, F., Kleinhenz, B., Racca, P. (2010): Erste Modellierungsansätze zur Prognose des Erstauftretens und zur Flugaktivität ausgewählter *Agriotes*-Arten. 57. Deutsche Pflanzenschutztagung. 6. - 9. September 2010 Humboldt-Universität zu Berlin

- Burghause, F., Schmitt, M. (2010): Schnellkäferarten auf Ackerflächen in Rheinland-Pfalz. 57. Deutsche Pflanzenschutztagung. 6. - 9. September 2010 Humboldt-Universität zu Berlin
- Jung, J. and M. Schmitt (2010): Untersuchungen zum Einfluss der Bodenfeuchte auf die vertikale Verteilung von Drahtwürmern. 57. Deutsche Pflanzenschutztagung. 6. - 9. September 2010 Humboldt-Universität zu Berlin
- Jung, J. (2010): Untersuchungen zum Einfluss der Bodenfeuchte auf die vertikale Verteilung von Drahtwürmern. 57. Deutsche Pflanzenschutztagung. 6. - 9. September 2010 Humboldt-Universität zu Berlin
- Jung, J., Schmitt, M., Racca, P. (2010): Untersuchungen zum Einfluss der Bodenfeuchte auf die vertikale Verteilung von Drahtwürmern. Seminar „Integrierter Pflanzenbau und Pflanzenschutz im Ackerbau und Grünland“. 8. - 10. November 2010, Bad Kreuznach
- Jung, J., Schmitt, J., Schmitt, M., Racca, P. (2011): Untersuchungen zum Einfluss der Bodenfeuchte auf die vertikale Verteilung von Drahtwürmern – Erste Modellansätze. Arbeitskreis Integrierter Pflanzenschutz Arbeitsgruppe „Schädlinge in Getreide und Mais“ 23. - 24. Februar 2011, Julius Kühn-Institut, Braunschweig
- Schmitt, M., Schmitt, J., Racca, P., Kleinhenz, B., Burghause, F. (2011): Erste Modellierungsansätze zur Prognose des Erstauftretens und zur Flugaktivität ausgewählter *Agriotes*-Arten. Arbeitskreis Integrierter Pflanzenschutz Arbeitsgruppe „Schädlinge in Getreide und Mais“ 23. - 24. Februar 2011, Julius Kühn-Institut, Braunschweig
- Schmitt, J., Burghause, F., Racca, P., Kleinhenz, B. (2011): First approaches to design a simulation model predicting first appearance and flight activity of some selected *Agriotes*-species. 24. IWGO Conference, 24. - 26. Oktober 2011, Regierungspräsidium Freiburg
- Jung, J., Racca, P., Schmitt, J. (2011): Studies on the influence of soil moisture on the vertical distribution of wireworms. 24. IWGO Conference, 24. - 26. Oktober 2011, Regierungspräsidium Freiburg
- Schmitt, J., Burghause, F., Racca, P., Jung, J., Kleinhenz, B. (2011): Erste Modellansätze zur Prognose des Erstauftretens und der Flugaktivität ausgewählter *Agriotes*-Arten. Seminar „Integrierter Pflanzenbau und Pflanzenschutz im Ackerbau und Grünland“. 7. - 9. November 2010, Bad Kreuznach
- Jung, J., Racca, P., Kleinhenz, B. (2011): Modellansätze zur Prognose der Migration von Drahtwürmern in Abhängigkeit der Bodenfeuchte. Seminar „Integrierter Pflanzenbau und Pflanzenschutz im Ackerbau und Grünland“. 7. - 9. November 2010, Bad Kreuznach
- Schmitt J., Burghause F., Jung J., Racca P., Kleinhenz B. (2012): Erste Modellansätze zur Prognose des Erstauftretens und der Flugaktivität ausgewählter *Agriotes*-Arten. 58. Deutsche Pflanzenschutztagung, 11. - 14. September 2012, Braunschweig

- Jung J., Racca P., Schmitt J., Kleinhenz B. (2012): SIMAGRIO-W: Ein Modell zur Prognose der Migration von Drahtwürmern in Abhängigkeit der Bodenfeuchte, Bodentemperatur und Bodenart. 58. Deutsche Pflanzenschutztagung, 11. - 14. September 2012, Braunschweig
- Jung J., Racca P., Schmitt J., Kleinhenz B. (2013): Prognose des Drahtwurmauftretens mit SIMAGRIO-W. BIOLAND-Drahtwurmworkshop, 26. Februar 2013, Augsburg
- Schmitt, J., Racca, P., Jung, J., Kleinhenz, B. (2014): Prediction of first appearance and activity of selected Agriotes species with SIMAGRIO-B. European Congress of Entomology, 04. - 08. August 2014, York (GB)
- Racca, P., Jung, J., Schmitt, J., Kleinhenz, B. (2014): SIMAGRIO-W: Predicting the appearance of wireworms in the upper soil level in relation to meteorological data and soil parameters. European Congress of Entomology, 04. - 08. August 2014, York (GB)
- Schmitt, J., Racca, P., Jung, J., Kleinhenz, B. (2014): Monitoring und Prognose von Drahtwürmern und Schnellkäfern. Kartoffeltag der Cobbelsdorf-Fläming-Kartoffel Handels GmbH, 26. August 2014, Garrey
- Schmitt, J., Racca, P., Jung, J., Kleinhenz, B. (2014): Monitoring und Prognose von Drahtwürmern und Schnellkäfern. Kartoffeltag der Europlant GmbH u. Co. KG, 09. Dezember 2014, Uelzen