

Erprobung von Strategien zur Drahtwurmregulierung im Ökologischen Kartoffelbau

Testing of different Strategies to reduce Damage by Wireworms in Organic Potato Farming

FKZ: 02OE266/F

Projektnehmer:

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen
Referat 54, Zentrum für Ökologischen Land- und Gartenbau Köln Auweiler
Gartenstraße 11, 50765 Köln
Tel.: +49 221 5340-220
Fax: +49 221 5340-123
E-Mail: info@lwk.nrw.de
Internet: <http://www.landwirtschaftskammer.de>

Autoren:

Schepl, Ute; Paffrath, Andreas

Herausgeberin:

Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau
in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE)
53168 Bonn
Tel.: +49 228 6845-3280 (Zentrale)
Fax: +49 228 6845-2907
E-Mail: geschaeftsstelle-oekolandbau@ble.de
Internet: www.bundesprogramm-oekolandbau.de

Finanziert vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau (BÖL)

Bundesprogramm **Ökologischer Landbau**

**Erprobung von Strategien zur Drahtwurm-
regulierung im Ökologischen Kartoffelanbau**



Landwirtschaftskammer Nordrhein Westfalen

**Referat 54, Zentrum für ökologischen Land- und Gartenbau Köln-
Auweiler**

Gartenstraße 11, 50765 Köln²

Siebengebirgsstraße 200, 53229 Bonn¹

Ute Schepl¹

Andreas Paffrath²

AZ 514-43. 10/02OE266F

Erprobung von Strategien zur Drahtwurmregulierung im Ökologischen Kartoffelanbau

Projektlaufzeit

04/2004 bis 12/2006

Schlussbericht

Berichtszeitraum

04/2004 bis 07/2007

Zusammenarbeit mit:

BBA Braunschweig, Institut für Pflanzenschutz in Ackerbau und Grünland,
Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig: Katrin Katzur & Dr. Udo Heimbach

BBA Darmstadt, Institut für Biologischen Pflanzenschutz, 64287 Darmstadt:
Dr. Kerstin Jung & Dr. Gisbert Zimmermann

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	3
1. Ziele und Aufgabenstellungen des Projektes	6
1.1 Planung und Ablauf des Projektes	6
1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand.....	12
2. Material und Methoden	16
2.1 Monitoring	16
2.1.1 Monitoring Drahtwürmer	16
2.1.1.1 Bodenproben (Teilprojekt A)	16
2.1.1.2 Köderfallen.....	17
2.1.2 Monitoring Schnellkäfer (Teilprojekt A)	20
2.2 Indirekte Regulierungsmaßnahmen	20
2.2.1 Labor- und Halbfreilandversuche (Teilprojekt B)	20
2.2.1.1 Nahrungseffizienz – Laborversuche (Teilprojekt B)	20
2.2.1.2 Nahrungseffizienz – Halbfreilandversuche (Teilprojekt B).....	21
2.2.1.3 Nahrungswahl – Laborversuche (Teilprojekt B).....	21
2.2.2 Freilandversuche (Teilprojekte A und B).....	22
2.2.2.1 Langjährige Fruchtfolgeversuche (Teilprojekt A)	22
2.2.2.2 Vorfrüchte (Teilprojekt A)	23
2.2.2.3 Zwischenfrüchte (Teilprojekt A).....	24
2.2.2.4 Untersaaten (Teilprojekt A und B).....	24
2.2.2.5 Sortenwahl (Teilprojekt A)	26
2.2.2.6 Erntetermin (Teilprojekt A)	27
2.2.2.7 Düngung (Teilprojekt A).....	28
2.3 Direkte Regulierungsmaßnahmen (Teilprojekte A und C)	28
2.3.1 Beschaffung und Herstellung von <i>Metarhizium</i> -Präparaten (Teilprojekt C).....	29
2.3.2 Nachweis von Pilzsporen (Teilprojekt C)	31
2.3.3 Freilandversuche mit <i>Metarhizium</i> (Teilprojekt A)	31
2.4 Am Projekt beteiligte Betriebe (Teilprojekt A).....	32
Ergebnisse und Diskussion	35
3.1 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse.....	35
3.1.1 Monitoring	35

3.1.1.1 Monitoring Drahtwürmer	35
3.1.1.1.1 Bodenproben (Teilprojekt A)	35
3.1.1.1.2 Fallentypen und Köder (Teilprojekt B)	40
3.1.1.2 Monitoring Schnellkäfer	43
3.1.1.3 Zusammenfassung Monitoring	52
3.1.2 Indirekte Regulierungsmaßnahmen (Teilprojekte A und B).....	53
3.1.2.1 Labor- und Halbfreilandversuche (Teilprojekt B)	53
3.1.2.1.1 Nahrungseffizienz – Laborversuche (Teilprojekt B)	53
3.1.2.1.2 Nahrungseffizienz – Halbfreilandversuche (Teilprojekt B).....	56
3.1.2.1.3 Nahrungswahl – Laborversuche (Teilprojekt B).....	58
3.1.2.2 Freilandversuche (Teilprojekte A und B).....	59
3.1.2.2.1 Langjährige Fruchtfolgeversuche (Teilprojekt A)	59
3.1.2.2.2 Vorfrüchte (Teilprojekt A)	60
3.1.2.2.3 Zwischenfrüchte (Teilprojek A).....	64
3.1.2.2.4 Untersaaten (Teilprojekt A)	66
3.1.2.2.5 Einfluss der Kartoffelsortenwahl	70
3.1.2.2.6 Erntetermin.....	72
3.1.2.2.7 Düngung	73
3.1.2.3 Zusammenfassung der indirekten Maßnahmen.....	74
3.1.3 Direkte Regulierungsmaßnahmen.....	75
3.1.3.1 Analytik (Teilprojekt C).....	75
3.1.3.2 Herstellung eines Pilzpräparates (Teilprojekt C)	80
3.1.3.3 Freilandversuche (Teilprojekte A und B).....	85
3.1.3.4 Zusammenfassung der direkten Regulierungsmaßnahmen.....	87
3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse; Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung der Ergebnisse für eine Ausdehnung des ökologischen Landbaus; bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse	88
4. Zusammenfassung.....	92
5. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; ggf. mit Hinweisen auf weiterführende Fragestellungen	96
6. Literaturverzeichnis	99
7. Anhang.....	102

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: EPPO - und Lockenwicklerfalle, ohne Deckel abgebildet. 18
- Abbildung 2: Versuchsdesign der Pheromonfallen, links: YF-Falle rechts 20
- Abbildung 3: Fruchtfolgeplan einer Versuchsfläche in Köln-Auweiler 24
- Abbildung 4: Prinzipbild eines Kohlendioxidlasers 27
- Abbildung 5: Feldskizze des Untersaatversuchs 2006 (nicht maßstabsgetreu). Oben: Anzahl Drahtwürmer (DW)/Parzelle, die mit Hilfe von jeweils zwei Lockenwicklerfallen im August erfasst wurden (Ernte: 07.09.2006). Mitte: Durchschnittliche Anzahl von Fraßspuren/Knolle. Unten: durchschnittlicher Anteil DW-geschädigter Knollen (%). P: Phacelia, A: Ackerbohne, W: Winterweizen, K: Kontrolle = ohne Untersaat, U: unkrautfreie Variante, ohne Untersaat. Mittelwerte aus je 3 Einzelwerten. U* bzw. A*: Angabe von nur 1 bzw. keinem Teilprobenwert, da es während der Ernte zu Verschleppungen von Kartoffeln in Nachbarparzellen kam. 39
- Abbildung 6: Fruchtfolgeversuch in Köln-Auweiler seit 1998; Drahtwurmbefall der Kartoffeln in den einzelnen Versuchsjahren, Boniturergebnisse; FF1=Fruchtfolge 1, AB= Ackerbohne, Ko=Kohl, Ka=Kartoffel, WW=Winterweizen, Mö=Möhre, FF2=Fruchtfolge 2, KG=Klee gras, WR=Winterroggen 60
- Abbildung 7: Drahtwurmfraß an Kartoffeln nach mehrjährigem Klee gras als Vorfrucht auf vier Parzellen, 2003 61
- Abbildung 8: Drahtwurmfraß an Kartoffeln nach den Vorfrüchten Sommerweizen, Calendula-Tagetes, Kartoffeln, Klee gras in 2002 und Klee gras in 2003; Signifikanzen 62
- Abbildung 9: Drahtwurmfraß an Kartoffeln; Anbau verschiedener Leguminosen vor Kartoffeln, Referenzfrucht Sommerweizen; Boniturergebnisse 63
- Abbildung 10: Drahtwurmfraß an Kartoffeln; Anbau von Ackerbohne und Lupinen vor Kartoffeln, Sommerweizen als Referenzfrucht; Boniturergebnisse 63
- Abbildung 11: Drahtwurmfraß an Kartoffeln; Anbau verschiedener Zwischenfrüchte vor Kartoffeln am Standort Köln-Auweiler; Boniturergebnisse und Signifikanzniveaus; 2 Ernten. 1. Ernte: 24.08.2006; 2. Ernte: 07.09.2006 64
- Abbildung 12: Drahtwurmfraß an Kartoffeln in den einzelnen Versuchspartellen, Boniturergebnisse: 1. Erntetermin am 24.08.2006, Standort Köln-Auweiler; weiß: <5% Drahtwurmfraß; grau: 5 – 10 % Drahtwurmfraß; schwarz: > 10 % Drahtwurmfraß, Ziffern = verschiedene Kulturen 65
- Abbildung 13: Drahtwurmfraß an Kartoffeln in den einzelnen Versuchspartellen, Boniturergebnisse: 2. Erntetermin am 07.09.2006 Standort Köln-Auweiler; weiß: <5% Drahtwurmfraß; grau: 5 – 10 % Drahtwurmfraß; schwarz: > 10 % Drahtwurmfraß; Ziffern = verschiedene Kulturen 65
- Abbildung 14: Drahtwurmfraß an Kartoffeln; Anbau verschiedener Zwischenfrüchte vor Kartoffeln am Standort Offenbach/Queich; Boniturergebnisse Kartoffeln 66
- Abbildung 15: Drahtwurmfraß an Kartoffeln in den einzelnen Versuchspartellen, Boniturergebnisse: Ernte 06.09.2007 am Standort Offenbach/Queich; weiß: <5% Drahtwurmfraß; grau: 5 – 10 % Drahtwurmfraß; schwarz: > 10 % Drahtwurmfraß; Ziffern = verschiedene Kulturen 66
- Abbildung 16: Drahtwurmbefall an Kartoffeln in Abhängigkeit von der Sorte; Mittelwerte über fünf Erntetermine je Sorte, Standort Köln-Auweiler, 2005; Signifikanzniveaus 71
- Abbildung 17: Messkurven der CO₂-Ausgasungen der Kartoffelwurzeln von Princess und Granola über 48 Stunden 72

Abbildung 18: Drahtwurmbefall an Kartoffeln in Abhängigkeit von Sorte und Erntezeitpunkt; Standort Köln-Auweiler, 2005 73

Abbildung 19: Drahtwurmbefall an Kartoffeln in Abhängigkeit von der Düngungsart, Standort Much, 2004 74

Abbildung 20: Koloniebildende Einheiten (cfu) [g^{-1}] von *Metarhizium* und anderen Pilzen in zwei Bodenproben, die vor der Ausbringung des *Metarhizium*-Präparats auf dem Versuchsfeld in Köln-Auweiler gezogen worden waren; 2006 77

Abbildung 21: Koloniebildende Einheiten (cfu) [g^{-1}] von *Metarhizium* und anderen Pilzen in Bodenproben die vor der Ausbringung des *Metarhizium*-Präparates auf dem Versuchsfeld in BS gezogen worden waren. 78

Abbildung 22: Koloniebildende Einheiten (cfu) [g^{-1}] von *Metarhizium* und anderen Pilzen in Bodenproben, die im Herbst, fünf Monate nach der Ausbringung des *Metarhizium*-Präparates auf dem Versuchsfeld in BS gezogen worden waren. 78

Abbildung 23: Anzahl Sporen [g^{-1} Substrat] von *Metarhizium anisopliae* nach drei Wochen Inkubation bei 25 °C; (Mittelwert \pm Standardabweichung, n=3). Produktion in speziellen Säcken auf Reis, Weizen und Gerste als Substrat 81

Abbildung 24: Anzahl Sporen [g^{-1} Substrat] von *Metarhizium anisopliae*, ein Mal ermittelt durch Sporenzählung (spore count) am Mikroskop sowie ein Mal als koloniebildende Einheiten (cfu) auf modifiziertem Chase-Medium. (Mittelwert, n=3) 82

Abbildung 25: Anzahl Sporen [g^{-1} Substrat] von *Metarhizium anisopliae*, produziert in Säcken (a-m) und Kolben (A-M) auf verschiedenen Feststoffen (Tabelle 46); (Mittelwerte; n=3) 84

Abbildung 26: Anzahl Sporen g^{-1} Substrat von *Metarhizium* M.a. 43, dass zuvor in verschiedenen Flüssigmedien produziert worden war. ($\frac{1}{2}$ Adam= $\frac{1}{2}$ Adamek, BH=Biomalz/Hefeextrakt, SPM=Grace & Jaronski, unveröffentl.) (Mittelwerte \pm Standardabweichung; n=3) 85

Abbildung 27: Wirkung verschiedener *Metarhizium*-Präparate in den Versuchsjahren 2004 bis 2006 auf den Drahtwurmfraß an Kartoffeln, Kartoffelbonituren 86

Abbildung 28: Untersaatversuche 2004, Apelnstedt. Anzahl der mit Lockenwicklerfallen gefangenen Drahtwürmer (1 Falle/Parzelle/Termin) im August und September. Links: Standort Ap.1, rechts: Ap. 2. A: Ackerbohne, K: Kontrolle, W: Weizen, S: Sonnenblume, DW: Drahtwurm. 104

Abbildung 29: Feldskizze des Untersaatversuchs 2005 (nicht maßstabsgetreu). Fettgedruckt: Angabe der durch Drahtwurmfraß geschädigten Kartoffelknollen/Parzellenhälfte in % (grau unterlegt: mit Unkrautentfernung, weiß: ohne Unkrautentfernung), Gesamtzahl der mittels Köderfallen gefangenen Drahtwürmer (DW) an 4 Terminen von Ende Juli bis Mitte September 2005 (Tabelle 50); Einsatz von Köderfallen nur in Parzellenhälften mit Unkrautentfernung. A: Ackerbohne, P: Phacelia, W: W.-Weizen, K: Kontrolle = ohne Untersaat. 104

Abbildung 30: Feldskizze des Untersaatversuchs 2006 (nicht maßstabsgetreu). Oben: Anzahl Drahtwürmer (DW)/Parzelle, die mit Hilfe von jeweils 2 Lockenwicklerfallen im August erfasst wurden (Ernte: 07.09.06). Mitte: Anzahl Drahtwürmer, die bei Probennahmen am 30.08.06 erfasst wurden (Probennahme nur in 10 Parzellen, je 1 Probe). Unten: Anzahl Drahtwürmer aus Probennahmen am 07.09.06 (je 5 Proben nur in der Kontrolle). P: Phacelia, A: Ackerbohne, W: Winter-Weizen, K: Kontrolle = ohne Untersaat, U: unkrautfreie Variante, ohne Untersaat. 105

Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Versuchsstandorte und die Anzahl der Flächen, deren Drahtwurmbesatz untersucht wurde 16
- Tabelle 2: Termine des Köderfallenvergleichs (WH: Wiederholung, Bp: Bodenproben, SG: Sommergerste). 19
- Tabelle 3: Fruchtfolgeglieder der Fruchtfolgeversuche in Köln-Auweiler 22
- Tabelle 4: Aussaatstärken der Vorfrüchte, Zwischenfrüchte und Untersaaten, in alphabetischer Reihenfolge; VF = Vorfrucht, ZF = Zwischenfrucht, US = Untersaat 23
- Tabelle 5: Kulturen, die als Zwischenfrüchte auf den Praxisbetrieben angebaut wurden; 2004 und 2005 24
- Tabelle 6: Kulturen, die als Zwischenfrüchte in Köln-Auweiler angebaut wurden; 2005 und 2006 24
- Tabelle 7: Kulturen, die als Untersaaten zwischen den Kartoffeldämmen standen 25
- Tabelle 8: Sechs Kartoffelsorten im Test; Standort Köln-Auweiler, 2005 26
- Tabelle 9: Erntetermine (T 1 – T 5) sechs verschiedener Kartoffelsorten in 2005, Standort Köln-Auweiler 28
- Tabelle 10: Varianten des Düngungsversuches am Standort Much 28
- Tabelle 11: Pflanzenschädigende Schnellkäferlarven, die auf den Versuchsflächen vorkamen 35
- Tabelle 12: Übersicht der Drahtwurmaufsammlungen an verschiedenen Versuchsstandorten und -flächen; Ergebnisse der Bodenproben; Anzahl Drahtwürmer je m² 36
- Tabelle 13: Drahtwurmaufsammlungen auf den Flächen mit Vorfruchtversuchen am Standort Köln-Auweiler; ¹Vorfrucht Calendula-Tagetes, ²Vorvorfrucht Ackerbohne, ³Vorvorfrucht einjähriges Klee gras, ⁴Vorfrucht mehrjähriges Klee gras, ⁵Vorfrucht Lupinen, ⁶Vorfrüchte Ackerbohne, Buschbohne, Körnererbse, einjähriges Klee gras, ⁷Vorfrucht mehrjähriges Klee gras (Much); Anzahl Drahtwürmer je m²; Standort Köln-Auweiler, 2004 bis 2006 37
- Tabelle 14: Drahtwurmaufsammlungen auf den Flächen mit Zwischenfruchtversuchen; Anzahl Drahtwürmer je m²; 2005 und 2006 37
- Tabelle 15: Drahtwurmaufsammlungen auf den Flächen mit Untersaatversuche; Anzahl Drahtwürmer je m²; 2005 und 2006 38
- Tabelle 16: Drahtwurmaufsammlungen auf den Flächen der Sorten-, Erntetermin-, und Düngungsversuche; Anzahl Drahtwürmer je m²; Standorte Köln-Auweiler und Much; 2004 und 2005 40
- Tabelle 17: Drahtwurmaufsammlungen auf den Flächen mit *Metarhizium*-Versuchen; Anzahl Drahtwürmer je m²; Standort Köln-Auweiler; 2004 bis 2006 40
- Tabelle 18: Durchschnittliche Anzahl von Drahtwürmern in Bodenproben und Köderfallen (je 8 WH) an 5 Terminen von April bis Oktober 2006 (BBA-Gelände, Braunschweig) sowie der Anteil der Bodenproben (Bp.) und Fallenpunkte (Fp.), die Drahtwürmer (Dw) enthielten in %. Ø: mittlere Dw-Zahl aller Termine. Σ Dw: Anzahl Drahtwürmer insgesamt. 42
- Tabelle 19: Ø Anzahl und Gesamtzahl der an einem Termin mit Lockenwicklerfallen (je 20) gefangenen Drahtwürmer im Untersaatenversuchsfeld; Standort Braunschweig; 2006 43
- Tabelle 20: Fruchtfolgen der einzelnen Versuchsflächen am Standort Offenbach/Queich 43

Tabelle 21: Drahtwurmaufsammlungen auf den Pheromonfallenstandorten bzw. potentiellen Kartoffelflächen in Offenbach/Queich; Ergebnisse aus jeweils 10 Bodenproben je Fläche und Termin. Diese entsprechen jeweils der Anzahl Drahtwürmer je m². 45

Tabelle 22: Durchschnittliche Käferfänge/Pheromonfalle auf den Versuchflächen in Offenbach/Queich, 2005 und 2006 45

Tabelle 23: Käferfänge an verschiedenen Terminen in 2005 am Standort Offenbach/Queich 46

Tabelle 24: Käferfänge an verschiedenen Terminen in 2006 am Standort Offenbach/Queich 46

Tabelle 25: Summe der Käferfänge am Standort Köln-Auweiler zwischen dem 24.06.2004 und dem 12.08.2004 47

Tabelle 26: Käferfänge dreier Schnellkäferarten an verschiedenen Terminen in 2004 am Standort Köln-Auweiler 48

Tabelle 27: Fruchtfolgen der einzelnen Versuchflächen am Standort Köln-Auweiler 48

Tabelle 28: Drahtwurmaufsammlungen auf den Versuchflächen in Köln-Auweiler; Ergebnisse aus jeweils 10 Bodenproben/Fläche/Termin. Dies entspricht jeweils der Anzahl Drahtwürmer je m². 49

Tabelle 29: Durchschnittliche Käferfänge/Pheromonfalle auf den Versuchflächen in Köln-Auweiler, 2005 und 2006 49

Tabelle 30: Käferfänge an verschiedenen Terminen in 2005 am Standort Köln-Auweiler 50

Tabelle 31: Käferfänge an verschiedenen Terminen in 2006 am Standort Köln-Auweiler 51

Tabelle 32: Durchschnittliche Käferfänge/Pheromonfalle auf potentiellen Kartoffelflächen verschiedener Standorte; 2005 52

Tabelle 33: Drahtwurmaufsammlungen auf der Versuchfläche in Minden; die Ergebnisse resultieren aus jeweils 10 Bodenproben je Fläche und Termin. Dies entspricht jeweils der Anzahl Drahtwürmer je m² 52

Tabelle 34: Gewichtszunahme (%), relative Gewichtszunahme im Vergleich zur Kontrolle (%) (und zur Kartoffel in Versuch 1) und Anzahl wieder gefundener Larven von *Agriotes* spp. nach vierwöchiger Versuchsdauer in den einzelnen Varianten in 5 Laborversuchen. Außerdem angegeben: Anzahl der Puppen, der toten Larven und der Verluste. Einsatz von 12 Larven je Variante bei Versuchsbeginn. 54

Tabelle 35: Larvenwachstum bei Aufzucht der Larven an Jung- und Altpflanzen verschiedener Kulturen. Gewichtszunahme (%) und relative Gewichtszunahme im Vergleich zur Kontrolle (%) und Anzahl wieder gefundener Larven von *Agriotes* spp. nach vierwöchiger Versuchsdauer in einem Laborversuch im Aug. '06. Außerdem angegeben: Anzahl der Puppen und der Verluste. Einsatz von 12 Larven je Variante bei Versuchsbeginn. 55

Tabelle 36: Gewichtszunahme (%) und Anzahl wieder gefundener Larven von *Agriotes* spp. in den einzelnen Varianten in 4 Halbfreilandversuchen von 7,5 bis 10 Wochen Dauer. Zusätzlich ist die Anzahl der Puppen, der Käfer, der toten Larven und der Verluste je Variante angegeben. Bei Versuchsbeginn wurden im 1. Versuch 18 Larven, im 2. Versuch 6 Larven, im 3. und 4. Versuch 16 Larven / Variante eingesetzt. 56

Tabelle 37: Nahrungswahlversuche. Anteil der Larven im Wurzelbereich von je 4 Kulturpflanzen in % der Larvenzahl, die sich 24 Stunden nach Versuchsbeginn im Wurzelbereich aller Testpflanzen befanden. 2005 wurden die Kombinationen 1 bis 3, 2006 die Kombinationen 4 bis 7 getestet. 58

Tabelle 38: Fraßschäden an Kartoffeln; Ergebnisse der Untersaatenversuche 2005 mit Standardabweichungen; in Klammern das Signifikanzniveau innerhalb der Standorte 67

Tabelle 39: Fraßschäden an Kartoffeln; Ergebnisse der Untersaatenversuche 2006 mit Standardabweichungen; in Klammern das Signifikanzniveau innerhalb der Standorte 68

Tabelle 40: Prozentualer Anteil der durch Drahtwurmfraß geschädigten Kartoffeln in den 3 Untersaaten und der Kontrolle ohne Untersaat (je 4 Wiederholungen) auf den Versuchsfeldern in Apelnstedt (2004) und Riddagshausen (2005). Riddagshausen: Befallswerte= Durchschnittswerte aus Unkraut behandelten und nicht behandelten Parzellenhälften. 69

Tabelle 41: Durchschnittliche Ernteerträge (dt/ha) in Abhängigkeit von der Untersaat (je 4 Wiederholungen) auf den Versuchsfeldern in Apelnstedt (2004), Riddagshausen (2005) und Gliesmarode (2006). 2006: Varianten mit *: Herausnahme von zwei bzw. drei Teilproben (von insgesamt 12/Variante) aus der Berechnung, da es bei der Ernte zu Verschleppungen von Kartoffeln in Nachbarparzellen kam. 69

Tabelle 42: Mittlere Anzahl von Fraßspuren/Knolle und mittlerer Anteil der durch Drahtwurmfraß geschädigten Kartoffeln (%) in den drei Untersaaten, der unkrautfreien Variante und der Kontrolle (jeweils ohne Untersaat) in 2006 (Ø-Werte + Standardabweichung). Die jeweils vier Wiederholungen/Variante bestanden aus je drei Einzelproben. Varianten mit *: der Berechnung der Mittelwerte liegen zwei bzw. drei Einzelwerte (von insgesamt zwölf Einzelwerten) weniger zugrunde, da es hier zu Verschleppungen von Kartoffeln während der Ernte kam. 70

Tabelle 43: Qualitätskontrollen verschiedener in Köln-Auweiler eingesetzter Pilzprodukte in 2004 75

Tabelle 44: Bodenuntersuchung: Anzahl Konidien/CFU von *M. anisopliae* je 1 g Boden; Kontrolle₁=unbehandelte Kontrolle im Frühjahr; Kontrolle₂=Kontrolle nach der Behandlung im Herbst nach der Ernte; 2004 76

Tabelle 45: Massenproduktion von *M. anisopliae* M.a. 43 auf Reis und Gerstenflocken. Anzahl Sporen/g Festmedium und relatives Pilzwachstum (Mittelwert von drei Produktionsbeuteln) 80

Tabelle 46: Anzahl Sporen ml⁻¹ von *Metarhizium anisopliae*, produziert im kleinen Maßstab in Säcken und Kolben auf 12 verschiedenen Feststoffsubstraten. Der höchste und niedrigste Wert sind eingerahmt. (Mittelwert±Standardabweichung; n=3) 83

Tabelle 47: Fängigkeit der Bodenfallen in den ersten drei Versuchswochen (wöchentliche Kontrollen, Drahtwurmfänge am 24.06.2004, 01.07.2004 und 07.07.2004) 102

Tabelle 48: Vergleich Köderfalle – Handgrabung, jeweils 10 Stück/Fläche, drei Standorte; 2005 102

Tabelle 49: Durchschnittliche Drahtwurmzahl in jeweils 10 Kartoffelköderfallen pro Kartoffelfeld (ab 1.7.04: 5 Fallen/Feld). Kontrolliertes Erdvolumen/Falle: ca. 4l, ab 1.7.04: 1l. Auf allen drei Feldern erfasste Gattungen bzw. Familien: *Agriotes*, *Hemicrepidius* (*H. niger*), *Agriotinae* und *Adrastinae* (sehr kleine Individuen). n. u.: nicht untersucht. 103

Tabelle 50: Anzahl Drahtwürmer, die mit Hilfe von Lockenwicklerfallen (Köder: Weizen-Mais-Gemisch und Kartoffel) an vier Terminen auf dem Untersaatversuchsfeld 2005 gefangen bzw. in der umgebenden Erde gefunden wurden. 32 Fallen/Ködertyp/Termin. 105

Tabelle 51: Verwendete Nährmedien zur Herstellung eines Pilzpräparates 106

1. Ziele und Aufgabenstellungen des Projektes

Drahtwürmer, die Larven der Schnellkäfer, sind im Boden lebende Schadorganismen. Sie verursachen an den unterschiedlichsten Feldkulturen oftmals erhebliche Ernteverluste. Im vorliegenden Projekt standen die Fraßschäden an Kartoffeln im Mittelpunkt. Die Metamorphose vom Ei zum Käfer dauert sehr lange; sie nimmt zwischen drei und sechs Jahren ein und vollzieht sich ausschließlich im Boden. Käferpopulationen sorgen ständig für neue Nachkommen, so dass sich in der Regel an einem Standort mehrere Generationen überschneiden. So ist das gehäufte Vorkommen von Schnellkäferlarven verschiedenen Alters zu erklären. All diese Fakten machen es schwierig, den Organismus so einzuengen, dass die durch ihn verursachten Kulturschäden gering bleiben.

Die Ziele des Projektes gliederten sich in zwei Schwerpunkte: Erstens in das Monitoring der Schnellkäfer und ihrer Larven und zweitens in die Regulierung der Schadorganismen über indirekte und direkte Eingriffe.

Dem Monitoring kommt die Bedeutung zu, den Drahtwurmbesatz einer Fläche abschätzen und Kulturschäden vorhersagen zu können. Der Praktiker reagiert darauf, indem er bei einem hohen Besatz seine Anbauplanung ändert oder zwecks Schadensbegrenzung sogar auf den Anbau bestimmter Kulturen verzichtet. Zwei Möglichkeiten gibt es, ein Monitoring durchzuführen: Die erste besteht darin, den Drahtwurmbesatz im Boden abzuschätzen, die zweite, Käfermännchen mit Pheromonen abzufangen. Im durchgeführten Projekt wurde geprüft, welche Techniken sich am besten eignen.

Versuche im Labor, Halbfreiland und Freiland hatten zum Ziel, in den Zyklus der kulturschädigenden Schnellkäferarten *Agriotes obscurus* und *Agriotes lineatus* regulierend einzugreifen. Deren Entwicklungsstadien sollten so stark gestört werden, dass keine Kulturschäden mehr auftraten. Über indirekte und direkte Maßnahmen kann dies erreicht werden. Zu den indirekten Maßnahmen zählen u. a. die Fruchtfolgegestaltung, wie der Anbau bestimmter Pflanzen mit insektenabwehrenden Eigenschaften als Vor- und Zwischenfrüchte oder Untersaaten, die Sortenwahl, der Erntezeitpunkt und die Düngung. Zu den direkten Maßnahmen zählt die Schädigung des Schadorganismus mit Hilfe eines biologischen Pflanzenschutzmittels. Ziel war hier, einen Stamm des entomopathogenen Pilzes *Metarhizium anisopliae* im Boden anzureichern und zu testen. Er parasitiert bodenbürtige Insekten, verpilzt sie und schädigt sie dadurch.

Aus den Ergebnissen sollten Erfolg versprechende Handlungsempfehlungen für den ökologischen Kartoffelanbau abgeleitet und in die Praxis getragen werden. Dies erfolgte durch die Präsentation der Ergebnisse auf Tagungen und Seminaren vor Praktikern und Beratern, in Demonstrationen bei Feldbegehungen und in Fachzeitschriften.

1.1 Planung und Ablauf des Projektes

Die Projektdurchführung gliederte sich in drei Teilprojekte. Die Projektleitung und Koordination lag bei der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (Teilprojekt A). Kooperationspartner waren die Biologischen Bundesanstalten in Braunschweig (Teilprojekt B) und Darmstadt (Teilprojekt C). Jeder Partner fasste seine Ergebnisse in einem Bericht zusammen, der in den vorliegenden Endbericht eingearbeitet wurde.

In Teilprojekt A, durchgeführt an der Landwirtschaftskammer NRW, wurde von 2004 bis 2006 ein Monitoring für Drahtwürmer und Schnellkäfer mittels Bodenproben/ Köderfallen und Pheromonfallen durchgeführt. Es wurden folgende Fragen gestellt:

Zum Monitoring:

- Gibt es eine Korrelation zwischen den Larvenaufsammlungen auf dem Feld und den durch sie verursachten Fraßschäden an Kartoffeln? Ist eine Schadensvorhersage möglich?
- Wie viele Käfer lassen sich mit einer Pheromonfalle abfangen?
- Lässt sich eine Wechselbeziehung zwischen der Anzahl aufgesammelter Drahtwürmer und der Anzahl abgefangener Käfer aufstellen?
- Kann der Drahtwurmbesatz einer Fläche langfristig reduziert werden, wenn über Jahre kontinuierlich Käfer abgefangen werden?

Zur Indirekten Drahtwurmregulierung:

- Kann über den Anbau bestimmter Vorfrüchte, Zwischenfrüchte und Untersaaten der Larvenfraß an Kartoffeln verringert werden?

Zusätzlich wurden folgende Fragen geklärt:

- Sind Kartoffeln unterschiedlich fraßanfällig? Kann durch eine gezielte Kartoffelsortenwahl der Drahtwurmfraß an den Knollen reduziert werden?
- Welche Rolle spielt der Erntezeitpunkt der Kartoffeln und kann über die Wahl des Erntetermins der Drahtwurmbefall an Kartoffeln beeinflusst werden?
- Wie wirken sich eine tierische und/oder eine pflanzliche organische Düngung auf den Drahtwurmfraß an Kartoffeln aus?

Zur direkten Drahtwurmregulierung:

- Helfen insektenschädigende (entomopathogene) Pilzpräparate dabei, den Drahtwurmbesatz im Freiland zu reduzieren?

Im Teilprojekt B, durchgeführt an der Biologischen Bundesanstalt in Braunschweig, wurde in Labor- Halbfreilandversuchen untersucht, ob Schnellkäferlarven bestimmte pflanzliche Nahrungsquellen bevorzugen und wie sie die im Ackerbau möglichen Haupt- und Zwischenfrüchte als Nahrungsquelle verwerten. In Freilandversuchen wurde die Wirkung dreier verschiedener Untersaaten auf die Drahtwurmpopulation überprüft. Des Weiteren wurden verschiedene Köderverfahren zum Aufsammeln von Drahtwürmern getestet, weiterentwickelt und miteinander verglichen.

Die Beschaffung und Qualitätskontrolle der verschiedenen in Freilandversuchen getesteten Pilzpräparate oblag der Biologischen Bundesanstalt in Darmstadt im Teilprojekt C. Dort wurde überprüft, inwieweit die im Freiland eingesetzten Mittel die Schnellkäferlarven verpilzten.

Teilprojekt A

Versuche zur Fruchtfolgegestaltung mit Vorfrüchten, Zwischenfrüchten und Untersaaten fanden auf Flächen von insgesamt acht Betrieben statt. Alle ausgewählten Versuchsflächen wiesen über die vergangenen Jahre ein hohes Schadenspotential durch Drahtwurmfraß auf. Bei den Vorfruchtversuchen war es nicht möglich, die ausgewählten Körnerleguminosen sinnvoll in das Fruchtfolgekonzept der Praxis-

betriebe einzubinden. Daher wurden diese Versuche am Standort Köln-Auweiler, dem Versuchsbetrieb der Landwirtschaftskammer NRW, angelegt. Bei Versuchen mit Zwischenfrüchten bzw. Untersaaten musste berücksichtigt werden, dass nicht durch den Anbau bestimmter Kulturen Krankheiten wie z.B. die Kohlhernie in den Nachkulturen begünstigt wurden.

Versuche zum Monitoring der Schnellkäfer und Drahtwürmer fanden auf Versuchsfeldern des Gartenbauzentrums Köln-Auweiler und auf insgesamt vier Praxisbetrieben statt. Die Versuche mit drei verschiedenen *Metarhizium*-Präparaten wurden ausschließlich im Gartenbauzentrum Köln-Auweiler durchgeführt. Für die Einfuhr der Präparate wurden Genehmigungen beim Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (BVL) eingeholt.

Geplante Arbeitsschritte	Tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte
Sommer 2004, Frühjahr/Herbst 2005, 2006 Auswahl der Betriebe	Die Betriebsauswahl fand jährlich, in Abhängigkeit von der jeweiligen Versuchsanstellung, statt; insgesamt nahmen an dem Projekt 8 Betriebe teil.
Herbst 2003, Sommer/Herbst 2004, 2005 Vorfruchtversuche vor Kartoffeln	Vorfruchtversuche mit Körnerleguminosen fanden ausschließlich am Versuchsstandort Köln-Auweiler, Landwirtschaftskammer NRW, statt. Auf den Flächen der Praxisbetriebe standen entweder keine Körnerleguminosen in der Fruchtfolge oder aber es wurden nach ihnen keine Kartoffeln angebaut.
Sommer/Herbst 2004, 2005 Anlage Zwischenfruchtversuche vor Kartoffeln	Der Zwischenfruchtanbau war im Spätsommer/Herbst 2004 aufgrund der nassen Witterung an zwei Standorten nicht möglich; an einem Standort wurden Zwischenfrüchte gesät; deren Entwicklung war aber unzureichend. In 2005/2006 fanden an zwei Standorten auswertbare Zwischenfruchtversuche statt.
Sommer 2004, 2005, 2006 Untersaatversuche in Kartoffeln	2004 wurden Untersaaten zwischen die Kartoffel-dämme eingesät. Die Untersaaten entwickelten sich aufgrund der anhaltenden Trockenheit im Juni/Juli nicht. 2005 und 2006 wurden Ergebnisse zu Untersaaten auf insgesamt acht Standorten ausgewertet.
Frühjahr 2004, 2005, 2006 Metarhizium-Versuche	In Köln-Auweiler wurden in Feldversuchen verschiedene <i>Metarhizium</i> -Präparate auf ihre Wirksamkeit gegen Schnellkäferlarven getestet.
Juni 2004, April 2005, 2006 Monitoring der Schnellkäfer	Das Monitoring der Schnellkäfer fand an fünf Standorten statt.
Frühjahr/Herbst 2004, 2005, 2006 Monitoring der Drahtwürmer	Auf insgesamt 36 Flächen wurden zweimal jährlich Drahtwürmer aufgesammelt.

Geplante Arbeitsschritte	Tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte
Sommer/Herbst 2004, 2005, 2006 Kartoffelbonituren	Die Versuchskartoffeln wurden parzellenweise geerntet und auf Drahtwurmfraßschäden bonitiert. Fraßschäden wurden gegenüber Schäden, die durch <i>Rhizoctonia solani</i> verursacht wurden, abgegrenzt. Die jeweiligen Schadenshöhen wurden ermittelt.
Winter 2004, 2005, 2006 Versuchsauswertungen	Die Versuchsauswertungen erfolgten erntenah.
Frühjahr/Sommer 2005, 2006 Diskussion der Ergebnisse mit den Kooperationspartnern	Treffen mit den Kooperationspartnern zur Versuchsabsprache und zur Ergebnisdiskussion fanden einmal jährlich statt.
Herbst/Winter 2004, 2005, 2006 Erfolgskontrollen	Erfolgskontrollen erfolgten auf den Betrieben über die Versuchsauswertungen; Ergebnisdiskussionen mit den am Projekt beteiligten Landwirten fanden regelmäßig statt.
2004, 2005, 2006 Öffentlichkeitsarbeit	Die Versuchsergebnisse wurden regelmäßig auf Tagungen, in Arbeitskreisen, auf Gruppentreffen und auf Feldtagen präsentiert. Die Versuchsergebnisse wurden regelmäßig in der einschlägigen Fachpresse, in Beratungsempfehlungen und Rundbriefen veröffentlicht.
Frühjahr 2005, 2006, 2007 Verbreitung der Ergebnisse im Internet	Die Ergebnisse wurden regelmäßig im Internetportal der Landwirtschaftskammer NRW, in www.oekolandbau.nrw.de , publiziert.
Winter 2005, 2006, Sommer 2007 Berichte	Im Januar 2005 und 2006 wurde jeweils ein Zwischenbericht angefertigt. Im Juli 2007 wurde der Schlussbericht erstellt.

Teilprojekt B

Geplante Arbeitsschritte:	Tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte:
Ab April 2004 Anzucht von Pflanzen und Vorbereitung der Nahrungseffizienz- und Nahrungswahlversuche in der Klimakammer bzw. im Folienhaus.	Wie vorgesehen, jedoch Anzucht von Pflanzen für Nahrungswahlversuche auf Grund von Drahtwurmmangel erst ab 2005.

Geplante Arbeitsschritte:	Tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte:
<p>Mai 2004, 2005, 2006</p> <p>Auswahl landwirtschaftlich genutzter Flächen (evtl. auch Grünland), die mit Drahtwürmern befallen sind. Aufsammeln und Bestimmen von Drahtwürmern für Labor- und Halbfreiland-Versuche.</p>	<p>Zum Auffinden von Drahtwürmern im Boden wurden an verschiedenen Stellen im Grünland, auf Ackerflächen, Klee-grasfeldern, Ackerrandstreifen und in alten Gärten Bodenausgrabungen vorgenommen. Die ergiebigsten Stellen wurden von April bis November je nach Drahtwurmbedarf mehrmals beprobt und die aufgesammelten Drahtwürmer nach Gattungen getrennt, in etwas feuchtem Substrat und ohne Nahrung in einer 5°C-Klimakammer bis zu ihrem Einsatz in den Labor- und Halbfreiland-Versuchen aufbewahrt.</p>
<p>Mai bis Dezember 2004, 2005, 2006</p> <p>Durchführung der Nahrungseffizienz- und Nahrungswahlversuche mit Drahtwürmern im Labor. Überprüfung von Ergebnissen der Nahrungseffizienzversuche bei einer Auswahl von Pflanzen im Halbfreiland-Versuch.</p>	<p>Ab 2004 wurden 6 Nahrungseffizienzversuche im Labor und 4 Versuche im Halbfreiland durchgeführt. 2005 und 2006 wurden 30 Nahrungswahlversuche mit 15 verschiedenen Kulturpflanzen durchgeführt.</p>

Anlage und Betreuung des Untersaatversuchs und Optimierung von Ködertechniken

Geplante Arbeitsschritte:	Tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte:
<p>Mai 2004, 2005, 2006</p> <p>Erfassung der Drahtwurmdichte und der Arten auf dem zu untersuchenden Kartoffelfeld für den speziellen Untersaatversuch.</p>	<p>2004: Erfassung der Drahtwurmdichte mit Hilfe von Kartoffelködern alle 1 - 2 Wochen von Mai bis September.</p> <p>2005: Erfassung der Drahtwurmdichte durch die Entnahme von Bodenproben alle 1 - 2 Monate von Januar bis September; Emergenzerfassung der Elateridae mittels Photoektoren von April bis Ende Juni.</p> <p>2006: mehrmalige Probennahmen im Winterhalbjahr zur Ermittlung der günstigsten Lage für die Versuchsfläche und Erfassung während der Vegetationsperiode.</p>

Geplante Arbeitsschritte:	Tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte:
<p>Juni, Juli 2004, 2005, 2006</p> <p>Einmessen der Versuchspartzellen im Kartoffelfeld. Aussaat der Untersaaten nach der letzten Bodenbearbeitung bzw. dem letzten Häufeln.</p>	<p>2004: 2 Feldversuche mit den Untersaaten Ackerbohne, Sonnenblume und W.-Weizen.</p> <p>2005: Feldversuch mit den Untersaaten Ackerbohne, Phacelia und Winterweizen. Unterteilung der Versuchfläche in Bereiche mit und ohne mechanische Unkrautbekämpfung.</p> <p>2006: 1 Feldversuch mit Untersaaten wie im Vorjahr und einer zusätzlichen „unkrautfreien“ Variante.</p>
<p>Mai bis Dezember 2004, 2005, 2006</p> <p>Optimierung von Ködertechniken im Freiland (in Abstimmung mit Teilprojekt A).</p>	<p>2004: Erprobung von EPPO-Getreideköderfalle, Kunststofflockenwicklern und von Kartoffelköderfallen aus Drahtgeflecht.</p> <p>2005: Erprobung von Lockenwicklerfallen mit Kartoffelbohrkernen und keimendem Getreide als Köder.</p> <p>2006: Erprobung von Lockenwickler- und EPPO-Getreideköderfalle und von Kartoffelködern.</p>
<p>Juni bis September 2004, 2005, 2006</p> <p>Erfassung der Drahtwurmverteilung in den Versuchspartzellen des Kartoffelfeldes mit Hilfe von Ködern und anschließendes Wiederaussetzen der Drahtwürmer an den Fundstellen.</p>	<p>2004: Erfassung der Drahtwurmverteilung mittels Lockenwicklerfallen an 2 Terminen im August.</p> <p>2005: Monitoring mittels Lockenwicklerfallen an 4 Terminen von Juli bis September.</p> <p>2006: Erfassung mittels 40 Lockenwicklerfallen im August und 2 Probennahmen.</p>
<p>September 2004, 2005, 2006</p> <p>Kartoffelernte, Bonitur der Kartoffelknollen auf Drahtwurmfraßschäden.</p>	<p>Wie vorgesehen; Kartoffelernten am 8.9.04, am 21.9.05, am 7.9.06. In den Jahren 2005 und 2006 wurden neben Drahtwurmschäden auch Schäden durch <i>Rhizoctonia solani</i> (dry core) und Erdräupen erfasst.</p>

Teilprojekt C

In allen drei Projektjahren waren die in Teilprojekt C geplanten Arbeitsschritte mehr oder weniger identisch. Eine Gegenüberstellung der geplanten und durchgeführten Arbeitsschritte im Jahr 2006 ist im Folgenden aufgeführt:

Geplante Arbeitsschritte	Tatsächlich durchgeführte Arbeitsschritte
Februar-April 2006 Beschaffung eines <i>Meta-rhizium</i> -Präparates	Januar-April 2006 Versuche zur Herstellung und Produktions-Optimierung eines eigenen <i>Metarhizium</i> -Präparates Beschaffung eines kommerziellen <i>Metarhizium</i> -Präparates von der Firma Ibu – Labor für Boden- und Umweltanalytik (Schweiz)
März-April 2006 Qualitätskontrolle Überprüfung der Wirksamkeit in Feldversuchen Biotests	Januar-April 2006 Qualitätskontrolle der selbsthergestellten Präparate sowie des kommerziellen Präparates Gemeinsame Feldversuche mit Auweiler und BS Versorgung von Drahtwürmern für Biotests
März-April und September-Oktober 2006 Bodenuntersuchungen zum Nachweis von <i>Metarhizium anisopliae</i> Haltung der in Versuchspartzen (Teilprojekt A) gefundenen Drahtwürmer	März-April und September-Dezember 2006 Bodenuntersuchungen zum Nachweis von <i>Metarhizium anisopliae</i> Es konnten keine Drahtwürmer im Biotest getestet werden, da auf der Fläche keine zu finden waren.

1.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand

Kartoffelbauberater und Landwirte im gesamten Bundesgebiet berichten immer wieder von jahresabhängig unterschiedlich starken Fraßschäden an Kartoffeln und anderen Feldkulturen, die auf Drahtwürmer zurückzuführen sind. Auch auf Versuchsflächen des Gartenbauzentrums Köln-Auweiler wurden in den vergangenen Jahren Drahtwurmschäden vornehmlich an Kartoffeln beobachtet und in Versuchen quantifiziert. Die Höhe der Schäden liegt oftmals im zweistelligen Bereich. In der 2003 durchgeführten Status-Quo-Analyse gaben knapp 40 % aller befragten Landwirte den Fraßschaden mit mindestens 11 %, maximal 80 % an. Der Großhandel akzeptiert aber nur Kartoffelpartien, deren Drahtwurmschäden unter 5 % liegen. Oftmals lohnt das Aussortieren beschädigter Knollen nicht, da es zu zeit-, arbeits- und kostenaufwändig ist. So landet häufig die Speisekartoffel im Futtertrog.

Biologie und Ökologie der Schnellkäfer

Drahtwürmer sind die Larven verschiedener Schnellkäferarten (Elateridae). In Mitteleuropa kommen etwa 150 Arten vor (Jacobs & Renner, 1988). Es wird zwischen zwei Gruppen von Schnellkäfern unterschieden. Die einen entwickeln sich in Gehölzen, während die anderen, die für diese Arbeit wichtigere Gruppe, im Boden

leben. Sie verursachen Schäden an einem breiten Spektrum von Kultur- und Zierpflanzen. Dabei sind vor allem Getreide, Gräser, Mais und Rüben als Wirtspflanzen betroffen (Radtke et al., 2002). Bis zu 39 Arten von zwölf Gattungen werden als Schädlinge an Kartoffeln aufgezählt (Jansson & Seal, 1994). Die Larven von 15 bis 20 Arten sind in unseren Breiten an fast allen Kultur- und vielen Zierpflanzen schädlich. Drahtwürmer fressen bevorzugt an unterirdischen Pflanzenteilen wie Wurzeln, sprossbürtigen Organen und Rhizomen, manchmal jedoch auch an bodennahen Pflanzenteilen, wie Früchten (Gratwick, 1989).

Zu der in Mitteleuropa wichtigsten Gattung *Agriotes* gehören die drei Arten *Agriotes lineatus* (Saatschnellkäfer), *Agriotes sputator* (Salatschnellkäfer) und *Agriotes obscurus* (Dunkler Humusschnellkäfer) (Parker & Howard, 2001). Die Käfer erreichen eine Länge von 7,5 bis 12mm. Sie sind braun oder schwärzlich gefärbt mit abgeflachtem Körper. An der Unterseite befindet sich zwischen Vorder- und Mittelbrust ein nach hinten gerichteter Dorn. Dieser kann, einer Feder gleich, einrasten, sich spannen und sich schlagartig entriegeln. So gelingt es dem Käfer, sich in die Luft zu katapultieren: Einerseits, um sich aus der Rückenlage zu befreien, andererseits, um vor Feinden zu fliehen. Beim Hochschnellen ist ein knipsendes Geräusch zu hören, weswegen diese Käferfamilie im Englischen auch *Click Beetle* heißt.

Schnellkäfer haben nach der Diapause eine sehr kurze Lebenszeit und sterben nach circa sechs bis acht Wochen. Zuvor aber findet die Paarung der Käfer zwischen Mai und Juli statt. Für die Eiablage ab Mai bevorzugen die weiblichen Käfer dicht bewachsene und ungestörte Bestände mit viel Feuchtigkeit. Es werden 150 bis 200 Eier je Gelege in Bodenschichten bis zu 2 cm tief abgelegt. Etwa drei bis vier Wochen später schlüpfen die Junglarven. Die Entwicklung des Drahtwurms zum Käfer vollzieht sich im Boden und dauert zwischen drei und sechs Jahren (Blund, 1925; Jossi, 1999). Dabei können die Drahtwürmer bis zu 14 Larvenstadien durchlaufen. Die Verpuppung erfolgt im Spätsommer. Nach drei bis vier Wochen schlüpfen die Schnellkäfer. Sie überwintern im Boden und vergraben sich dort bis 30cm tief. Im zeitigen Frühjahr erscheinen die Männchen 14 Tage vor den Weibchen (Proterandrie). Sobald die Weibchen ihr Bodenquartier verlassen, verpaaren sich die Käfer. Ab Mai wird mit der Eiablage begonnen (Jacobs & Renner, 1988; Traugott & Kromp, 2002).

Die Larven haben einen langen, dünn gestreckten, gelb bis hellbraun gefärbten Körper, der bis auf eine Länge von 30mm heranwachsen kann. Am vorderen Teil des Körpers befinden sich drei Paar kurze Beine. Der konisch geformte Hinterleib, der typisch für die Gattung *Agriotes* ist, wird durch zwei große Atemöffnungen charakterisiert.

Im Gegensatz zu den Adulten (= Käfer) verursachen die Larven große Schäden an landwirtschaftlichen Kulturen (Demmler, 2004), da sie sich polyphag ernähren. Im Allgemeinen sind Drahtwürmer unter 5 mm nicht pflanzenschädigend. Je älter und größer sie werden, desto gefräßiger sind sie. Nach Literaturangaben soll die Schadensschwelle bei Getreide ab einem Drahtwurm pro Quadratmeter erreicht sein. Für Mais soll sie bei 2, für Zuckerrüben bei 3-4 und für Kartoffeln bei 6 Drahtwürmern pro Quadratmeter liegen (Lauenstein, 1991). Dennoch sind Schadensvorhersagen schwierig. Die Variationsbreiten sind zu groß, als dass Korrelationen zwischen der Anzahl von Drahtwurmfängen einer Fläche und dem tatsächlichen Schaden am Erntegut festgestellt wurden (Chabert & Blot, 1992). Daher dienen die bisherigen Sammelmethode für Schnellkäferlarven nur als Nachweis für ihre An- oder Abwesenheit (Parker & Howard, 2001).

In Abhängigkeit von Bodentemperatur, Feuchtigkeit und Nahrungsangebot unterscheidet sich die Lebensdauer der Drahtwürmer innerhalb der Arten. Furlan (1998) gibt an, dass sich die Larven im ersten Jahr von lebendiger organischer Masse ernähren. Saatkörner und organische Bodensubstanz sind aufgrund ihres harten Gewebes nicht zum Fressen und damit nicht zum Überleben der Larven geeignet. Kannibalismus zwischen den Tieren bei hoher Larvendichte und aktiver Häutungsphase ist ebenfalls zu beobachten (Jansson et al., 1994; Furlan, 1998). Die Drahtwürmer fressen fast ausschließlich unterirdische Pflanzenteile an und verhindern so z.B. das Auflaufen von Keimlingen. Gratwick (1989) differenziert in seinen Untersuchungen zwei aktive Phasen der Larven im Jahr. Die erste Phase wurde für die Monate März bis Mai beobachtet. Im Zeitraum September bis Oktober liegt die zweite Phase. In Untersuchungen von Burrage (1963a) und Doane (1977a, 1977b) wurden demgegenüber Larven- und Käferaktivitäten für drei saisonale Perioden erfasst, die sich auf den Zeitraum von Juni bis September beschränken.

Fraßaktive Phasen, aber auch Perioden, in denen Drahtwürmer keine Nahrung zu sich nehmen, kommen zwischen den Häutungs- und Puppenphasen vor (Furlan, 1998). Eine rege Nahrungsaufnahme wurde jedoch stärker in feuchten als in trockenen Böden festgestellt (Bryson, 1935; Evans, 1944). Die Gewichtszunahme der Larven während der Häutung erfolgt durch die Flüssigkeitsaufnahme über die Kutikula, da vor der Häutung Mund und Anus mit Wachs verklebt werden (Evans et al., 1942). Chemorezeptoren, die zur Futtersuche benötigt werden, liegen an den Maxillen und der Zunge. Die Stimulation zur Orientierung im Boden erfolgt nach Crombie et al. (1947) durch Antennen. Klingler (1957) fand heraus, dass sich Drahtwürmer gezielt auf Kohlendioxidquellen hinbewegen. Kohlendioxid wird von lebenden Pflanzenwurzeln abgegeben und ist daher für das Anlocken der Drahtwürmer bedeutsam. Chaton et al. (2003) stellte im Gegensatz zu diesen Ergebnissen keine Attraktivität durch Kohlendioxid fest.

Die Verteilung der Drahtwürmer im Boden wurde in Untersuchungen von Jones & Shirck (1942) beobachtet. So verteilen sich Drahtwürmer in den verschiedenen Bodenschichten in Abhängigkeit von der Larvenart, dem Nahrungsangebot und dem Larvenstadium. Drahtwürmer, die im ersten Lebensjahr bis zu drei Larvenstadien durchleben können, halten sich in den obersten Bodenschichten (20 cm) auf. Die älteren Larven werden aktiver und wandern auch in tiefere Bodenschichten ab (Jansson et al. 1994).

Bodentemperatur und Feuchtigkeit wurden im Zusammenhang mit dem Fraß- und Bewegungsverhalten des Drahtwurms von Mc Colloch & Hayes (1923), Campell (1937), Lees (1943) und Lafrance (1968) diskutiert. Campell (1937) und Doane (1981) bestätigten den Einfluss der Bodentemperatur auf die Aktivität der Drahtwürmer. Wenn die Temperatur der oberen Bodenschichten circa 3°C erreicht, wandern die Larven aus tieferen in höhere Schichten. In Laboruntersuchungen von Falconer (1945) bevorzugten die Drahtwürmer eine Bodentemperatur von etwa 17°C. Bei sehr hohen Temperaturen im Sommer wanderten die Larven erneut in tiefere Bodenschichten. Sobald aber der Boden an Feuchtigkeit zunahm, bewegten sich die Drahtwürmer zurück an die Bodenoberfläche. So wurde von Falconer (1945) weiterhin beobachtet, dass sich Drahtwürmer bei niedriger Temperatur weniger bewegten, während sie bei höheren Temperaturen häufig in tiefere Bodenschichten abwanderten. Furlan (1998) fand in seinen Untersuchungen Ähnliches heraus. Die Verteilung der Drahtwürmer wurde im Herbst, Winter und Frühjahr durch die Bodentemperatur und im Sommer durch die Bodenfeuchtigkeit beeinflusst. Gleichartige Kenntnisse von Lees (1943) verweisen darauf, dass Drahtwürmer sehr

trockene Böden meiden, während die Larven in wasserübersättigten Böden inaktiv werden.

Die Vorfrucht Klee gras scheint zu einer guten Entwicklung der Drahtwurmpopulationen beizutragen (Parker & Seeney, 1997). Zeitpunkt und Intensität der Bodenbearbeitung können eine wesentliche Rolle bei der Regulierung des Drahtwurmbefalls spielen, indem empfindliche Entwicklungsstadien wie Eier, Junglarven, Puppen geschädigt werden (Schepl & Paffrath, 2003).

Verschiedenen Leguminosen und Kruziferen werden drahtwurmabschreckende oder gar -reduzierende Wirkungen zugesprochen, was in Laborversuchen bestätigt wurde. Es gibt jedoch keine Erfahrungsberichte aus Freilandversuchen (Griffiths, 1974).

Der bodenbürtige Pilz *Metarhizium anisopliae* wurde in Kanada in Laborversuchen gegen Elateridenlarven positiv getestet. Der Wirkungsgrad gegenüber Larven der Schnellkäferart *Agriotes obscurus* lag bei etwa 90%. In Freilandversuchen sank dieser bis auf 30%. In Kanada wurde in den Jahren 2004/2005 ein noch effektiverer *Metarhiziumstamm* isoliert, dessen Wirkung im Freiland noch nicht kontrolliert wurde (Kabaluk & Vernon 2001, mündliche Mitteilung 2005).

2. Material und Methoden

2.1 Monitoring

Monitoring ist ein Überbegriff für alle Arten der systematischen Erfassung, Beobachtung oder Überwachung eines Vorgangs oder Prozesses mittels technischer Hilfsmittel oder anderer Beobachtungssysteme. Ein Monitoring ist eine in die Zukunft gerichtete Langzeitbeobachtung.

2.1.1 Monitoring Drahtwürmer

An der Landwirtschaftskammer NRW und an der Biologischen Bundesanstalt in Braunschweig wurden verschiedene Möglichkeiten getestet, den Drahtwurmbesatz einer Fläche zu ermitteln.

2.1.1.1 Bodenproben (Teilprojekt A)

An sechs Versuchsstandorten wurden in den Versuchsjahren 2004 bis 2006 insgesamt 36 Flächen auf Drahtwürmer untersucht. Dabei befanden sich 19 Flächen am Standort Köln-Auweiler und 17 Flächen auf Praxisbetrieben (Tabelle 1). Auf den Flächen standen in einem der drei Versuchsjahre Kartoffeln.

Auf den Versuchsfeldern wurden jeweils zehn Bodenproben im Frühjahr und im Herbst genommen. Mit einem Spaten wurde Boden einer Fläche von 25 x 25 cm und einer Tiefe von 30 cm ausgehoben; der Aushub wurde direkt im Feld auf Drahtwürmer untersucht. Die Probenahmepunkte lagen entlang eines Transektes (= Messpunkte entlang einer Linie), und waren über das gesamte Versuchsfeld verteilt. Nach Jossi (2001) entsprechen 10 Bodenaushübe des angegebenen Volumens dem Drahtwurmvorkommen eines Quadratmeters. 2006 wurden nur noch Bodenproben gezogen.

Tabelle 1: Versuchsstandorte und die Anzahl der Flächen, deren Drahtwurmbesatz untersucht wurde

Standort	Anzahl Flächen		
	2004	2005	2006
Köln-Auweiler	4	7	8
Much	1	-	-
Wachtberg	-	1	-
Düren	-	1	-
Minden	-	2	2
Offenbach/Queich	-	5	5

2.1.1.2 Köderfallen

Kartoffelhälften und Getreideköder (Teilprojekt B)

Eine geviertelte Kartoffel der Sorte Princess diente als Fraßköder für Drahtwürmer. 2004 wurde der Drahtwurmbesatz der Kartoffelfelder in Apelnstedt (außerhalb der Versuchsanlage) entlang 100 m langer Transekte durch das Eingraben von Kartoffelstücken erfasst. Die Köder wurden 8-12 cm tief im Abstand von etwa 10 m in die Erde eingesetzt und wöchentlich auf Drahtwürmer kontrolliert (Anhang Tabelle 49). An etwa jedem 2. Kontrolltermin wurden die Kartoffelköder erneuert und um 2-3 m versetzt wieder eingegraben. Entsprechend wurde ein drittes Kartoffelfeld in Riddagshausen beprobt.

Bodenfallen der Universität Innsbruck (Teilprojekt A)



In 2004 war ein Fallensystem im Einsatz, das an der Universität Innsbruck entwickelt wurde. Eine Falle bestand aus einem 30 cm langen PVC-Rohr, in dessen unterem Drittel eine Blechdose bündig steckte. Darin befand sich keimendes Getreide als Köder. Im oberen Teil des Rohres waren 2 cm große Löcher gefräst, durch die Drahtwürmer zum Köder gelangten (Bild links). Bei Trockenheit funktionierte dieses System hervorragend. Bei Regen drang Wasser in die Blechdose, die Getreidekörner begannen zu gären und verpilzten schließlich. Trotz intensiver Reinigung

der Gefäße verkeimte der Getreideköder ständig, so dass mit diesem System keine Drahtwürmer mehr angelockt werden konnten. Das Fallensystem wurde daher in den Folgejahren nicht mehr verwendet (Anhang Tabelle 47).

Torftöpfe (Teilprojekt A)

Im Frühjahr 2005 vor der Feldbestellung und im Spätsommer/Herbst 2005 nach der Kartoffelernte wurden 10 Köderfallen je Feld in zufälliger Verteilung eingegraben, um das Drahtwurmvorkommen der Versuchsfelder zu ermitteln. Als Köderfallen wurden Anzuchtöpfe aus Torf (\varnothing 6 cm) verwendet. Sie wurden mit keimendem Weizen befüllt und in 25 cm Bodentiefe eingegraben. Nach 10 Tagen wurden die Töpfe ausgegraben und auf Drahtwürmer untersucht. Die Auszählungen der Köderfallenversuche wichen unmerklich von denen der Bodenproben ab (Anhang Tabelle 48). Daher sind in 3.1.1.1 nur die Ergebnisse aus den Bodenproben dargestellt.

Lockenwicklerfallen (Teilprojekt B)

Im Handel erhältliche, perforierte Lockenwickler wurden als Falle für den Drahtwurmfang verwendet. In Abbildung 1 ist rechts die Lockenwicklerfalle dargestellt. Im Feldversuch lag ein Kunststoffdeckel obenauf. Die Lockenwickler wurden mit einem Gemisch aus Weizen und Gerste gefüllt (je 15 g), das zwischen 24 und 36 h bei Zimmertemperatur vorgequollen wurde.

2004 wurden in den 16 Versuchspartzen des Untersaatenversuches Lockenwicklerfallen eingesetzt. Als Köder dienten Kartoffelbohrkerne bzw. keimendes Getreide. Die Fallen wurden an zwei Terminen im August und September im Feld dicht unter der Oberfläche exponiert.

2005 wurde das Monitoring auf der Versuchsfäche ebenfalls mit Lockenwicklerfallen an insgesamt 4 Terminen von Ende Juli bis Mitte September durchgeführt (Anhang Abbildung 29, Tabelle 50). Als Köder dienten ein vorgequollenes Weizen-Mais-Gemisch und Kartoffelbohrkerne. Pro Termin und Ködertyp wurden 32 Fallen mit Deckel eingesetzt. Nach 7 Tagen Expositionsdauer wurden die Köder mitsamt der sie umgebenden Erde mittels eines Probennehmers (\varnothing 10 cm) entnommen und nach Drahtwürmern durchsucht.

2006 fand die Erfassung der Drahtwürmer mit Hilfe von Lockenwicklerfallen vom 15. bis 22. August statt. Die Hälfte der Köderfallen war bestückt mit einem Weizen-Mais-Gemisch, die andere Hälfte mit einem Weizen-Gerste-Gemisch (1:1, 24 Stunden vorgequollen). Pro Parzelle wurden 2 Fallen jeden Typs mit einem Deckel versehen dicht unter der Bodenoberfläche eingesetzt. Nach einer Woche wurden die Fallen und die sie umgebende Erde mit Hilfe eines Probennehmers (\varnothing 10 cm) bis in 10 cm Tiefe entnommen und nach Drahtwürmern durchsucht (Abbildung 15). Direkt im Anschluss wurden in den 10 Parzellen mit den meisten Drahtwurmfängen Bodenproben zur Erfassung der tatsächlichen Drahtwurmdichte gezogen. Am Tag der Kartoffelernte wurden in der Kontrollvariante zusätzlich 20 Bodenproben, je 5 pro Parzelle genommen (Anhang Abbildung 30).

EPPO-Falle (Teilprojekt B)

In Abbildung 1 ist links die EPPO-Falle (EPPO-Richtlinie PP 1/46 (3)), im Feldversuch mit Deckel, abgebildet. Sie wurde mit einem Gemisch aus Weizen und Gerste gefüllt (je 35g), das zwischen 24 und 36 h bei Zimmertemperatur vorgequollen wurde.

2004 wurde zusätzlich zu den Kartoffelködern auf dem Feld in Riddagshausen am 10. und am 17. Juni 2004 die Lockwirkung der EPPO-Falle getestet.

Abbildung 1: EPPO - und Lockenwicklerfalle, ohne Deckel abgebildet.



Larvenbestimmung (Teilprojekte A und B)

Alle aufgesammelten Drahtwürmer einer Fläche wurden nach Klausnitzer auf Artniveau bestimmt. Entsprechend diesem Ergebnis wurden anschließend die Pheromone ausgewählt, mit denen die Schnellkäfermännchen ab April auf den jeweiligen Flächen angelockt wurden.

Kartoffelbonituren (Teilprojekt A)

Nach der Ernte wurden die Kartoffelknollen der einzelnen Versuchspartellen auf Drahtwurmfräßgänge und *Rhizoctonia* untersucht. Hierzu wurden jeweils 100 Knollen pro Parzelle zufällig entnommen, gewaschen und auf Lochfraß untersucht. Jede Knolle mit einer verdächtigen Beschädigung in der Knollenschale wurde aufgeschnitten. So konnte diese eindeutig dem jeweiligen Schadbild zugeordnet werden.

Versuchsanlage Köderversuche

Die Köderfallen und der Kartoffelköder wurden mit einem Abstand von 1 m zueinander an den Eckpunkten eines gedachten gleichschenkligen Dreiecks 15 cm tief (Unterkante des Köders) mit Hilfe eines Probennehmers (Ø 10 cm) in den Boden eingesetzt. In der Mitte des Dreiecks wurde eine Bodenprobe, 20 cm tief, entnommen. Pro Termin fanden 8 Wiederholungen dieser Versuchsanordnung statt. Diese waren gleichmäßig über die Versuchsfäche verteilt und wurden von Termin zu Termin um ca. 2 m versetzt. Die Fallen wurden durchschnittlich 10 Tage nach dem Einsetzen mittels Probennehmer mitsamt der sie umgebenden Erde bis 20 cm Tiefe wieder entnommen. Dabei wurde der Inhalt des 20 cm tiefen Loches in die obere, ca. 8 cm dicke Bodenschicht oberhalb des Köders, den restlichen Boden um und unterhalb des Köders und den Köder selbst separiert. Anschließend fand im Labor eine Durchsicht der Fallen von Hand statt. Die Erde der Fallenpunkte sowie die Bodenproben für die Bestimmung der Drahtwurmdichte wurden in der Regel in eine Kempsonanlage überführt und die enthaltenen Drahtwürmer auf diese Weise innerhalb von 2 bis 3 Wochen mittels Hitze ausgetrieben. Alle Drahtwürmer wurden bis zur Gattung bestimmt und gewogen.

Tabelle 2: Termine des Köderfallenvergleichs (WH: Wiederholung, Bp: Bodenproben, SG: Sommergerste).

Termin	Expositionsdauer	Sommergerstenfläche	Kartoffelfläche
1) 31.3.-10.4.06	10 Tage	----	9 WH, vor der Bodenbearbeitung
2) 10.-22.5.06	12 Tage	8 WH, nach Aussaat	8 WH, nach dem Legen der Kartoffeln
3) 15.-23.6.06	8 Tage	8 WH	4 Kartoffelköder, 4 Bp
4) 22.8.-1.9.06	10 Tage	8 WH, nach Ernte SG	4 Kartoffelköder, 4 Bp
5) 13.-23.10.06	10 Tage	8 WH	----

2.1.2 Monitoring Schnellkäfer (Teilprojekt A)

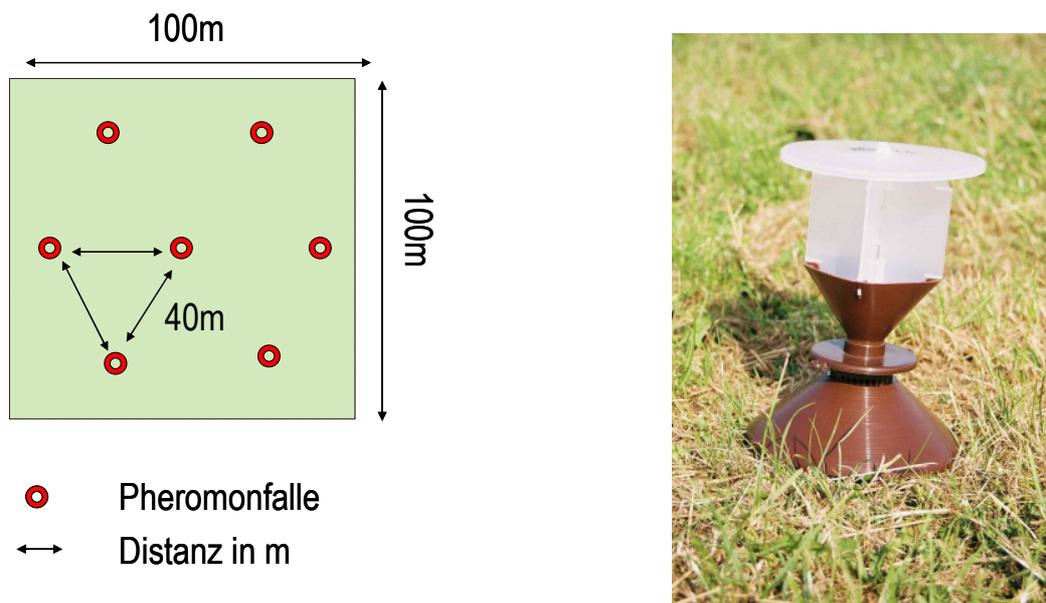


Abbildung 2: Versuchsdesign der Pheromonfallen, links: YF-Falle rechts

Die Pheromonfallen vom Typ Yf wurden auf den Versuchsfeldern im Abstand von je 40 m zwischen Mitte April und Mitte August aufgestellt (Abbildung 2). Alle zwei bis drei Wochen wurden die Fallen geleert und die darin befindlichen Schnellkäfermännchen ausgezählt. Über die artspezifischen Pheromone wurden die beiden Schnellkäferarten *Agriotes obscurus* und *Agriotes lineatus* abgefangen. Nach 45 Tagen wurden die Pheromondispenser ausgewechselt (Dispenser ist eine Bezeichnung für verschiedene manuelle, halbautomatische oder automatische Ausgabevorrichtungen, hier: Ausgabebehälter für Pheromone). Die Fallen wurden zu Saisonende mit Wasser gereinigt und im Folgejahr mit neuen Dispensern wiederaufgestellt. Die Pheromondispenser wurden von der Firma CSalomon, Budapest, Ungarn bezogen.

2.2 Indirekte Regulierungsmaßnahmen

Nachfolgend wird dargestellt, wie über die Fruchtfolgegestaltung, die Sortenwahl, den Erntezeitpunkt und die Düngung der Drahtwurmfraß an Kartoffeln beeinflusst werden kann.

2.2.1 Labor- und Halbfreilandversuche (Teilprojekt B)

An der BBA in Braunschweig wurden über drei Jahre Versuche zur Nahrungseffizienz von Drahtwürmern mit unterschiedlichen Kulturen in Labor- und Halbfreilandversuchen durchgeführt. Versuche zur Nahrungswahl von Schnellkäferlarven fanden 2005 und 2006 im Labor statt.

2.2.1.1 Nahrungseffizienz – Laborversuche (Teilprojekt B)

Verschiedene im ökologischen Landbau genutzte Kulturpflanzen wurden hinsichtlich ihrer Eignung als Nahrungsquelle für Drahtwürmer der landwirtschaftlich bedeutendsten Gattung *Agriotes* untersucht. Hierfür wurden die Kulturpflanzen nach Sorten getrennt mit je 6 Wiederholungen pro Variante in 5l-Töpfen bis zur

ausreichenden Wurzelmassebildung kultiviert. Dies war in der Regel 3–4 Wochen nach der Aussaat erreicht. Anschließend wurden pro Topf zwei Larven zugesetzt, die sich in Größe und Gewicht deutlich voneinander unterschieden, so dass eine Zuordnung der Larvengewichte bei Versuchsende möglich war. Als Maß für die Eignung einer Pflanzenart als Nahrungsquelle für Drahtwürmer wurde die Gewichtszunahme der Larven am Ende der vierwöchigen Versuchsdauer bestimmt.

Da die Artbestimmung bei den Larven der Gattung *Agriotes* schwierig und bisher nur bei etwa der Hälfte der mitteleuropäischen Arten möglich ist, wurden für die einzelnen Versuchsansätze jeweils nur Larven von einem Herkunftsort verwendet. Dadurch sollten Einflüsse artspezifischer Natur auf die Ergebnisse so gering wie möglich gehalten werden. Die verwendeten Larven gehörten überwiegend zu den Arten *Agriotes obscurus/lineatus* und *Agriotes sputator*. Drahtwürmer aus anderen Gattungen (*Athous*, *Hemicrepidius*) wurden nicht für die Versuche genutzt.

2.2.1.2 Nahrungseffizienz – Halbfreilandversuche (Teilprojekt B)

Die Nahrungseffizienzversuche unter Halbfreilandbedingungen dienten der Überprüfung der Laborergebnisse unter natürlicheren Bedingungen über einen längeren Zeitraum. Hierfür wurden nach Anzucht der Pflanzen bis zur ausreichenden Wurzelmassebildung in 12 l-Töpfen (6 - 8 Wiederholungen/Variante) in der Regel zwei Larven der Gattung *Agriotes* pro Topf zugesetzt. Um Temperaturschwankungen gering zu halten, wurden die Töpfe bis zur Hälfte im Boden eines Frühbeetes eingegraben.

Die Versuchsdauer betrug bei den Halbfreilandversuchen 7,5 bis 10 Wochen, je nach Abreifezeitpunkt der einzelnen Kulturpflanzen. Ein Versuchsansatz wurde beendet sowie die erste Kulturpflanze zu welken begann. Auf diese Weise sollte sichergestellt werden, dass den Larven bis zum Versuchsende frische Wurzeln als Nahrung zur Verfügung standen. Als Maß für die Eignung einer Pflanzenart als Nahrungsquelle für Drahtwürmer wurde wie in den oben genannten Laborversuchen die Gewichtszunahme der Larven bei Versuchsende bestimmt.

2.2.1.3 Nahrungswahl – Laborversuche (Teilprojekt B)

Zur Ermittlung von Kulturpflanzen, die für Drahtwürmer besonders attraktiv sind und somit als ablenkende Untersaat zur Reduzierung von Fraßschäden im ökologischen Kartoffelanbau beitragen könnten, wurden 30 Nahrungswahlversuche durchgeführt (Tabelle 37). Dabei wurden sieben verschiedene Pflanzenkombinationen mit insgesamt 15 Kulturpflanzen getestet.

Pro Versuchsansatz wurde die Attraktivität von jeweils drei Kulturpflanzen im Vergleich zur Kartoffel untersucht. Dafür wurden die zu testenden Pflanzen zusammen mit einer Kartoffelpflanze/-knolle im gleichen Abstand zueinander in einen viereckigen 5 l-Topf gepflanzt und in ein Loch in der Mitte der Pflanzenkombination ein bis zwei Larven der Gattung *Agriotes* eingesetzt. Testpflanzen und Kartoffel befanden sich dabei in zylindrischen Drahtkörben (Maschenweite 5 mm), in denen die Pflanzen zuvor auch angezogen worden waren. 24 Stunden nach dem Einsetzen der Larven wurde der Aufenthaltsort der Drahtwürmer bestimmt und die Kartoffelknollen auf Fraßspuren untersucht.

2.2.2 Freilandversuche (Teilprojekte A und B)

Am Standort Köln-Auweiler werden seit 1998 Versuche zum viehlosen ökologischen Landbau angelegt. Seitdem werden Fraßschäden an Kartoffeln, die durch Drahtwürmer verursacht wurden, bonitiert.

Während des Projektzeitraumes von 2004 bis 2006 wurden verschiedene Versuche zu Vorfrüchten, Zwischenfrüchten und Untersaaten angelegt, mit dem Ziel, den Drahtwurmfraß an der Folgefrucht Kartoffel zu reduzieren. Als Maß für den Drahtwurmbefall wurden im Folgejahr die Drahtwurmfraßgänge der geernteten Kartoffelknollen bonitiert. Alle Versuche wurden als randomisierte Blockanlagen in vierfacher Wiederholung angelegt. Die Einzelparzellen waren jeweils 30 m² (3 x 10 m²) groß. Die Versuchsanlage der Fruchtfolgeversuche ist in Längsparzellen angelegt, die jeweils 7,5 x 20 m² groß sind. Die Klee-grasparzellen wurden direkt vor der Kartoffelpflanzung umgebrochen. Die Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet.

2.2.2.1 Langjährige Fruchtfolgeversuche (Teilprojekt A)

Seit 1998 werden auf einem Teil der Versuchsflächen am Standort Köln-Auweiler zwei fünfgliedrige Fruchtfolgen gefahren. Die Versuchsanlage besteht aus Langparzellen, die jeweils 20 m lang und 7,5 m breit sind. Darin sind zwei echte und zwei unechte Wiederholungen enthalten. Die beiden Fruchtfolgen stellen sich wie folgt dar (Tabelle 3):

Tabelle 3: Fruchtfolgeglieder der Fruchtfolgeversuche in Köln-Auweiler

Fruchtfolge1	Fruchtfolge 2
Ackerbohnen ± Zwischenfrucht (Winterwicken)	Klee-gras
Weißkohl	Sellerie
Kartoffeln	Winterweizen ± Zwischenfrucht
Sommerweizen ± Weißklee-gras	Kartoffeln
Möhren	Winterroggen ± Untersaat

Die Vorvorfrucht-wirkung von Ackerbohne und Klee-gras auf den Drahtwurmbefall an Kartoffeln wurde an dem Anteil prozentual geschädigter Knollen festgemacht.

2.2.2.2 Vorfrüchte (Teilprojekt A)

Vor Kartoffeln wurden über eine gesamte Vegetationszeit verschiedene Leguminosen wie Ackerbohnen, Lupinen, Buschbohnen, Erbsen und Klee gras sowie Getreide angebaut. Die Aussaatstärken sind Tabelle 4 zu entnehmen.

Tabelle 4: Aussaatstärken der Vorfrüchte, Zwischenfrüchte und Untersaaten, in alphabetischer Reihenfolge; VF = Vorfrucht, ZF = Zwischenfrucht, US = Untersaat

Kultur	Aussaatstärke in kg/ha	angebaut als
Ackerbohne	200 (Keimfähigkeit beachten!)	VF, ZF, US
Buchweizen	50	US
Buchweizen ± Seradella	50 ± 40	ZF
Buschbohnen	200 (Keimfähigkeit beachten!)	VF
Calendula	10	VF, US
Calendula ± Tagetes	6 ± 14	VF
Futtermalve	15	US
Futtermalve ± Alexandrinerklee	15 ± 25	ZF
Hafer	150	ZF, US
Körnererbsen	200 (Keimfähigkeit beachten!)	VF
Mais	8-10 Körner/m ²	US
Ölrettich	25	ZF, US
Perserklee	25	ZF
Phacelia	15	US
Phacelia ± Perserklee	15 ± 25	ZF
Senf	20	US
Seradella	40	US
Sonnenblume	40	US
Sommerweizen	230	VF
Tagetes	6	US
Weißer Lupine	180 (Keimfähigkeit beachten!)	VF, ZF

Mehrjähriges Klee gras, Calendula-Tagetes, Sommerweizen

Außerdem wurde ein Calendula-Tagetes-Gemenge in seiner Wirkung auf Schnellkäferlarven untersucht. 2003 wurde eine langjährige Klee grasfläche in 16 Teilflächen unterteilt und teilweise umgebrochen. Auf jeweils vier Parzellen standen Kartoffeln, Sommerweizen und ein Calendula-Tagetes-Gemenge. Auf den restlichen vier Parzellen verblieb Klee gras. 2004 standen auf der gesamten Fläche Kartoffeln (Abbildung 3).

Abbildung 3: Fruchtfolgeplan einer Versuchsfläche in Köln-Auweiler

Mehrjähriges Klee gras			2002
Calendula-Tagetes	Sommerweizen	Kartoffeln	2003
Kartoffeln			2004

2.2.2.3 Zwischenfrüchte (Teilprojekt A)

Vor der Hauptfrucht Kartoffel wurden im Vorjahr ab August verschiedene Zwischenfrüchte auf den Versuchsfeldern der Praxisbetriebe in ihrer als Hauptfrucht üblichen Aussaatstärke (Tabelle 4) angebaut. Die Versuchsanlage bestand aus Längsparzellen mit vierfacher Wiederholung. Der Zwischenfruchtumbruch erfolgte betriebsüblich im Winter. In Tabelle 5 sind die Zwischenfrüchte aufgelistet, die auf den Praxis schlägen ausgesät wurden.

Tabelle 5: Kulturen, die als Zwischenfrüchte auf den Praxisbetrieben angebaut wurden; 2004 und 2005

Ölrettich	Perserklee	Hafer
Phacelia	Ackerbohnen	Weiß e Lupine
standortübliche Variante: z. B. Dinkel, Erbsen		

Auf den Versuchsfeldern des Gartenbauzentrums Köln-Auweiler wurden weitere Zwischenfrüchte in ihrer als Hauptfrucht üblichen Aussaatstärke, zum Teil in Gemengen, angebaut. Die Zwischenfrüchte standen in Blockanlagen in vierfacher Wiederholung. Die Versuchspartellen wurden direkt vor der Kartoffelpflanzung umgebrochen. In Tabelle 6 sind die Zwischenfrüchte aufgelistet, die in Köln-Auweiler ausgesät wurden.

Tabelle 6: Kulturen, die als Zwischenfrüchte in Köln-Auweiler angebaut wurden; 2005 und 2006

Ölrettich	Phacelia + Perserklee	Futtermalve + Alexandrinerklee
Ackerbohnen	Perserklee	Buchweizen + Seradella

2.2.2.4 Untersaaten (Teilprojekt A und B)

Sowohl in Teilprojekt A als auch in Teilprojekt B wurden Untersaatenversuche angelegt. Ziel war es, Drahtwürmer von der Hauptkultur Kartoffel abzulenken, um so den Fraßschaden gering zu halten.

Untersaaten- Freilandversuche (Teilprojekt A)

Zwölf verschiedene Kulturen wurden als Untersaaten zwischen die Kartoffeldämme manuell eingesät: Der Saatzeitpunkt folgte unmittelbar nach dem letzten Häufeltermin und lag zwischen Anfang Juni und Anfang Juli. Die Standzeiten der Untersaaten beliefen sich zwischen neun und zwölf Wochen. In Tabelle 7 sind die Kulturen aufgelistet, die in ihrer Wirkung auf Drahtwürmer untersucht wurden.

Tabelle 7: Kulturen, die als Untersaaten zwischen den Kartoffeldämmen standen

Ackerbohnen	Futtermalve	Mais	Seradella
Buchweizen	Gelbsenf	Ölrettich	Sonnenblume
Calendula	Hafer	Phacelia	Tagetes

Die Untersaaten wurden in ihrer als Hauptfrucht üblichen Aussaatstärke manuell ausgesät (Tabelle 4).

Untersaaten- Freilandversuche (Teilprojekt B)

In 4 Feldversuchen wurden die Kulturpflanzen Ackerbohne, Winterweizen, Sonnenblume und Phacelia auf ihre Eignung als ablenkende Untersaat in Kartoffeln getestet. Pro Anbausaison wurden drei verschiedene Kulturpflanzen nach dem letzten Häufeln in anbauüblicher Stärke zwischen die Kartoffeldämme ausgesät und mit einem Rechen in den Boden eingearbeitet. Die drei Kulturpflanzen- und eine Kontrollvariante ohne Untersaat wurden in vierfacher Wiederholung angelegt. Die Parzellengröße lag je nach Jahr zwischen 4 x 6 und 4 x 11 m. Alle Versuche fanden auf ökologisch bewirtschafteten Kartoffelfeldern statt. Während der Versuche erfolgte die Erfassung der Drahtwurmverteilung im Versuchsfeld an mehreren Terminen mit Hilfe von Lockenwicklerfallen.

2004 wurden zwei Untersaatversuche in Apelnstedt (Ap. 1 und Ap. 2) 10 km südlich von Braunschweig durchgeführt. Die Versuchsfläche umfasste auf beiden Feldern jeweils eine Größe von ca. 500 m², die in 16 Parzellen unterteilt war. Am 1. Juli 2004 wurden als Untersaaten Ackerbohne, Sonnenblume und Winterweizen in jeweils vier Parzellen zwischen die Kartoffeldämme ausgesät. Die Ernte erfolgte am 08. September 2004. Alle Kartoffeln der jeweils 9 m² großen Kernbereiche der Untersaatparzellen wurden auf Drahtwurmfraß bonitiert, insgesamt ca. 1300 Knollen/Variante/Feld. In die Auswertung gingen neben den bis zu 15 mm langen Fraßgängen, auch oberflächliche und teils zugewachsene Fraßspuren bzw. -gänge mit geringem Durchmesser ein.

2005 wurde der Untersaatversuch in Riddagshausen/Braunschweig nach zweijährigem Klee gras angelegt. Standort und Lage der Versuchsfläche im Feld wurden auf Grund relativ großer Drahtwurmfunde im Herbst 2004 ausgewählt. Die später auf dieser Versuchsfläche durchgeführten Erhebungen zum Vorkommen von Drahtwürmern deuteten jedoch nur auf einen mäßigen Befall mit Elateridenlarven hin. Die ca. 1000 m² umfassende Versuchsfläche war in 16 Parzellen und diese jeweils in 2 Unterparzellen unterteilt. Auf der Hälfte einer jeden Parzelle fand eine mechanische Beikrautbekämpfung statt.

Am 24. Juni 2005 erfolgte die Aussaat der Untersaaten Ackerbohne, Phacelia und Winterweizen zwischen die Kartoffeldämme. Ackerbohne und Winterweizen entwickelten sich bis zur Ernte am 21. September 2005 ebenso gut wie im Jahr 2004. Bei Phacelia war eine Nachsaat erforderlich. Trotzdem entwickelte sich der Bestand sehr ungleichmäßig in Folge stellenweise sehr starker Beschattung durch die Kartoffelpflanzen.

Die Bonitur des gesamten Ernteguts der je 2 x 9 m² großen Kernbereiche der Untersaatparzellen (ca. 3700 Knollen/Variante) erfolgte wie 2004. Ausgewertet wurden wie im Vorjahr neben Fraßgängen von Drahtwürmern ins Kartoffelinnere auch oberflächliche und teils zugewachsene Fraßspuren bzw. -gänge mit geringem

Durchmesser. Zusätzlich wurden die Kartoffeln auf Befall durch *Rhizoctonia solani* und Erdräupen untersucht.

2006 wurde der Versuch mit den Untersaaten Ackerbohne, Phacelia und Winterweizen in Gliesmarode/Braunschweig ebenfalls nach zweijährigem Klee gras durchgeführt. Die Aussaat erfolgte am 27. Juni 2006. Zusätzlich zur Kontrolle wurde eine zweite Variante ohne Untersaat angelegt. In den Kernbereichen dieser Variante fand in regelmäßigen Abständen eine mechanische Entfernung des Unkrauts statt. Geerntet wurde am 07. September 2006. Wie in den beiden Vorjahren wurde das gesamte Erntegut der jeweils 9 m² großen Kernbereiche der Parzellen bonitiert (ca. 1200 Knollen/Variante). Auf Grund der starken Drahtwurmschäden mit einem hohen Anteil an mehrfach geschädigten Knollen, wurde in diesem Jahr nicht nach unterschiedlichen Fraßspuren unterschieden. Stattdessen wurde die Gesamtzahl der Fraßspuren/Knolle erfasst. Zusätzlich wurden die Kartoffeln wieder auf Befall durch *Rhizoctonia solani* und Erdräupen untersucht.

2.2.2.5 Sortenwahl (Teilprojekt A)

Immer wieder wird von Landwirten berichtet, dass bestimmte Kartoffelsorten von Drahtwürmern bevorzugt werden. Daher wurden 2005 im Rahmen einer Diplomarbeit sechs im Rheinland übliche Speisekartoffelsorten unter diesem Gesichtspunkt am Standort Köln-Auweiler untersucht (Tabelle 8). Die Versuchsanlage war eine Blockanlage mit vier Wiederholungen je Variante.

Tabelle 8: Sechs Kartoffelsorten im Test; Standort Köln-Auweiler, 2005

Princess	frühe, festkochende Speisekartoffel
Ditta	mittelfrühe und festkochende Speisekartoffel
Nicola	mittelfrühe und festkochende Speisekartoffel
Edelstein	mittelfrühe, schorfresistente und festkochende Speisekartoffel
Steffi	Mittelfrühe, phytophthoraterolerante und vorwiegend festkochende Speisekartoffel
Granola	rauschalige und vorwiegend festkochende Speisekartoffel

CO₂-Messungen bei zwei Kartoffelsorten: Princess und Granola (Teilprojekt A)

Um zu klären, warum Sortenunterschiede auftreten, wurde folgende Hypothese aufgestellt: Die Kartoffelsorten Granola und Princess werden unterschiedlich stark von Fraßschädlingen befallen. Die Sorten unterscheiden sich in einer unterschiedlich starken CO₂-Produktion der Wurzeln. Anhand derer können die Schädlinge die Knollen lokalisieren.

Die CO₂-Produktion der beiden Kartoffelsorten wurde mit einem empfindlichen Nachweisverfahren für Spurengase quantifiziert und mit Kontrollmessungen ohne Kartoffelknollen verglichen.

Die Kartoffelsorten Granola und Princess wurden hierfür in Einzeltöpfen angezogen. Die Töpfe wurden jeweils mit einer Gaszuleitung in der Erde präpariert, um nicht nur einen oberflächlichen Gasaustausch bei den Messungen zu erreichen. Hierzu wurden 1 m lange Silikonschläuche an einem Ende mit einem Kabelbinder abgebunden

und die verschlossene Schlauchhälfte alle 5 cm mit einem kleinen Schnitt perforiert. Eine Windung des Schlauches wurde in der Erde unter der Kartoffel ausgelegt. Das offene Schlauchende ragte aus dem Topf heraus.

Für die Messung wurde ein Gasfluss von 3,9 l/h CO₂-freier Luft in den Schlauch geleitet. Um die Kohlendioxidkonzentration mittels eines photoakustischen Spektrometers zu bestimmen, wurde der Topf in einer großen Plastiktüte gasdicht verpackt. So konnte sich in der Tüte ein leichter Überdruck aufbauen und das Gas über eine Schlauchleitung dem Spektrometer zugeführt werden. Unmittelbar vor der Messung wurde das Kraut abgeschnitten.

Photoakustischer Spurengasnachweis

Der photoakustische Nachweis eignet sich für den hochempfindlichen Gasnachweis von IR-aktiven Molekülen. Voraussetzung für den Nachweis ist, dass ein Überlapp zwischen einer Emissionsfrequenz einer Lichtquelle und der Absorptionsfrequenz des Zielmoleküls besteht. Für den CO₂-Nachweis eignet sich daher insbesondere ein Kohlendioxid-Laser.

Anhand des Prinzipbildes kann man die Funktionsweise nachvollziehen (Abbildung 4). Die Nachweiszelle ist ein einfaches zylindrisches Rohr. Befinden sich Kohlendioxidmoleküle in der Gasprobe, regt das Laserlicht die Moleküle zu Vibrationen und Rotationen an. Stöße mit dem Hintergrundgas (Sauerstoff und Stickstoff sind nicht IR-aktiv) führen zu einer Relaxation der angeregten Moleküle, indem die Anregungsenergie die Geschwindigkeit der beiden Stoßpartner erhöht und darüber hinaus Folgestöße die Geschwindigkeit des gesamten Gases erhöhen. Die Geschwindigkeitserhöhung bedingt eine minimale Temperaturerhöhung, die wiederum in der Zelle eine Druckerhöhung bewirkt. Wird der Laser mit einem Chopper (rotierende Lochblende) an- und ausgeschaltet, führt dies zu einer periodischen Druckmodulation. Es entsteht ein akustisches Signal, das mit einem Mikrophon nachgewiesen werden kann.

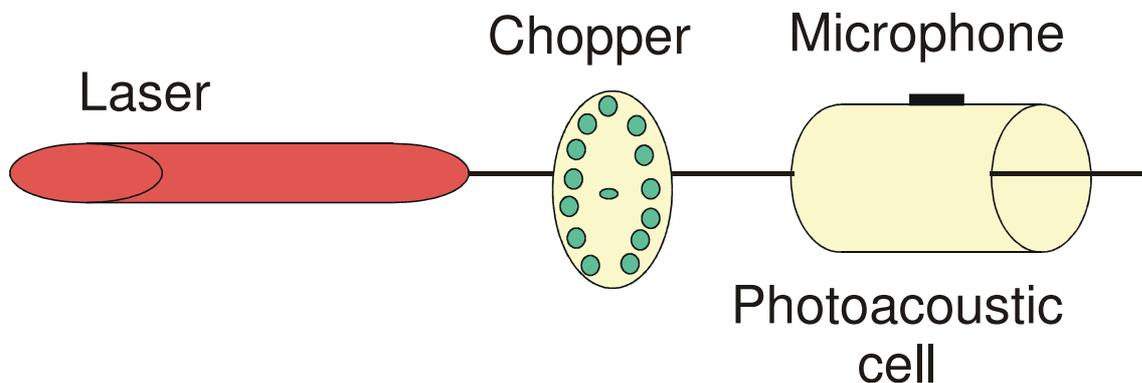


Abbildung 4: Prinzipbild eines Kohlendioxidlasers

Die Amplitude des akustischen Signals entspricht einer bestimmten Gaskonzentration innerhalb der Nachweiszelle. In Abhängigkeit von der eingestrahlten Lichtleistung können sehr gute Nachweisempfindlichkeiten für verschiedene Gase erreicht werden. Die Quantifizierung des Spektrometers muss über Eichgase erfolgen. Da die Absorptionskoeffizienten bekannt sind, erfolgte im aktuellen Fall die Eichung über eine Ethyleneichmessung.

2.2.2.6 Erntetermin (Teilprojekt A)

Der Drahtwurmfraß nimmt im Spätsommer kontinuierlich zu. So erklärt sich, warum Kartoffeln als eine der letzten Feldfrüchte besonders stark davon betroffen sind.

Inwieweit sich unterschiedliche Erntetermine auf den Drahtwurmbefall verschiedener Kartoffelsorten auswirken, wurde 2005 an den oben beschriebenen Kartoffelsorten am Standort Köln-Auweiler experimentell geprüft. Die Erntetermine wurden abhängig vom Abreifezustand des Krautes festgelegt (Tabelle 9). Die erste Beprobung erfolgte jeweils sortenabhängig zu dem Zeitpunkt, als 80 % der Krautmasse abgestorben waren. Alle weiteren Ernten schlossen sich im Abstand von sieben bis zehn Tagen an. Die Versuchsanlage war eine Blockanlage mit vier Wiederholungen je Sorte und Termin.

Tabelle 9: Erntetermine (T 1 – T 5) sechs verschiedener Kartoffelsorten in 2005, Standort Köln-Auweiler

2005	Princess	Ditta	Nicola	Edelstein	Steffi	Granola
T 1	08.08.	15.08.	15.08.	15.08.	24.08.	24.08.
T 2	18.08.	24.08.	24.08.	24.08.	02.09.	02.09.
T 3	29.08.	02.09.	02.09.	02.09.	12.09.	12.09.
T 4	08.09.	12.09.	12.09.	12.09.	21.09.	21.09.
T 5	19.09.	21.09.	21.09.	21.09.	30.09.	30.09.

2.2.2.7 Düngung (Teilprojekt A)

Am Standort Much wurde 2004 untersucht, ob sich Unterschiede im Drahtwurmfraß an Kartoffeln zeigen, wenn wahlweise mit Stallmist oder mit Ackerbohnschrot gedüngt wird. Die Versuchsflächen wurden mit 80 kg N in Form von Ackerbohnschrot oder Stallmist gedüngt. Der Stallmist wurde unmittelbar vor der Pflanzung ausgebracht, Ackerbohnschrot direkt nach der Pflanzung (Tabelle 10).

Tabelle 10: Varianten des Düngungsversuches am Standort Much

Kontrolle	Stallmist	Ackerbohnschrot	Stallmist + Ackerbohnschrot
Ohne N-Gabe	80 kg N	80 kg N	80 kg N

2.3 Direkte Regulierungsmaßnahmen (Teilprojekte A und C)

Metarhizium anisopliae ist einer der wichtigsten insektenpathogenen Pilze in der Insektenmykologie. Er gehört zu den wenigen Pilzen, die weltweit verbreitet sind. Bevorzugte Wirte sind vor allem Käfer, darunter die Familien Curculionidae (Rüsselkäfer), Scarabaeidae (Blatthornkäfer) und Elateridae (Schnellkäfer). 2003 wurde durch Mitarbeiter des Pacific Agri-Food Research Centre (PARC) im kanadischen Agassiz ein hoch wirksamer *Metarhizium anisopliae*-Stamm aus *Agriotes obscurus*-Larven isoliert. In Laborversuchen wurden Wirkungsgrade gegen Larven von *A. obscurus* von über 90 % erreicht.

2.3.1 Beschaffung und Herstellung von *Metarhizium*-Präparaten (Teilprojekt C)

Die Beschaffung der beiden *Metarhizium*-Pilzpräparate in 2004 (Kanadischer Pilzstamm und Prophyta-Produkt) erfolgte durch Dr. Neuhoff, Universität Bonn, bzw. die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Im Oktober 2004 erhielt die BBA in Darmstadt zwei neue *Metarhizium*-Isolate von Dr. Keller/Schweiz. Diese hatten in bisherigen Versuchen gegen Drahtwürmer in der Schweiz bereits nach 2-3 Wochen eine Mortalität von etwa 50-60 % verursacht. Die Isolate sollten in zukünftigen Biotests der BBA Darmstadt mit überprüft werden.

In Absprache mit der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen wurde von der BBA-Darmstadt im Juni 2005 bei der Firma Agrifutur, Italien, ein *Metarhizium*-Produkt für Freilandversuche bestellt. Ferner wurde beschlossen, nachdem sich die Beschaffung eines qualitativ einwandfreien *M. anisopliae*-Produktes für die Versuche als problematisch herausgestellt hatte, stattdessen ein eigenes Produkt herzustellen. Dafür wurde damit begonnen, Versuche zur Massenproduktion von *M. anisopliae* (Isolat M.a. 43) durchzuführen. In einem ersten Versuch wurde der Pilz in speziell für die Pilzkultur entwickelten Säcken (SacO2, Belgien) auf je 500 g Reis bzw. Gerstenflocken angezogen. In einem zweiten Versuch wurden zu den bisherigen Feststoffmedien Reis und Gerstenflocken noch Weizenkörner dazugenommen.

2005 wurden keine neuen *Metarhizium*-Isolate beschafft, da aus Mangel an Versuchstieren auch keine neuen Isolate hätten getestet werden können.

Da sich keine schnelle Lösung des Kontaminationsproblems bei der Massenproduktion des Eigenproduktes der BBA Darmstadt abzeichnete, wurde am 15. Februar 2006 ein Telefonat mit Frau Sabine Cleres, Laborleiterin von Ibu – Labor für Boden- und Umweltanalytik in Thun (Schweiz) geführt. Dabei sagte Frau Cleres zu, dass sie 6 kg (5 Produktionsbeutel) ihres *Metarhizium*-Präparates für Feldversuche in KW 12 nach Darmstadt (DA) schickt. Nach ihrer Aussage handelte es sich um einen neuen, vom Gartenlaubkäfer (*Phyllopertha horticola*) isolierten Stamm von *Metarhizium anisopliae* (Nr. 714; „Vulpera“), den sie erst im Dezember 2005 von S. Keller (Agroscope, Reckenholz) erhalten haben. Laut Herrn Keller soll dieses Isolat auch gegen Drahtwürmer wirken. Nach Auskunft von Frau Cleres bemüht sich die Firma Ibu – Labor für Boden- und Umweltanalytik um die Zulassung gegen beide Bodenschädlinge in der Schweiz. Am 24. März 2006 kam das Paket mit den *Metarhizium*-Pilzkörnern in DA an. Am selben Tag wurde eine Qualitätskontrolle durchgeführt. Bis zur Ausbringung wurde das Präparat im Kühlraum bei 4°C gelagert.

Am 11. April 2006 wurde festgelegt, auch bei der BBA in Braunschweig (BS) einen Feldversuch mit *Metarhizium*-Pilzkörnern durchzuführen. Freundlicherweise stellte Frau Cleres der Firma Ibu – Labor für Boden- und Umweltanalytik dazu erneut 3 kg des kommerziellen *Metarhizium*-Präparates zur Verfügung, das sie am 18. April 2006 nach DA schickte. Bis zu seiner Versendung am 03. Mai 2006 nach BS wurde das Präparat bei 4°C gelagert. Von diesem Präparat wurde keine Qualitätskontrolle durchgeführt.

Versuche zur Selbstherstellung eines *Metarhizium*-Präparates (Teilprojekt C)

Aufgrund der erfahrenen Schwierigkeiten bei der Beschaffung eines Präparates für die vorgesehenen Feldversuche wurde im letzten Projektabschnitt an der Produktion

eines eigenen *Metarhizium*-Präparates gearbeitet. Hierfür wurde das Isolat M.a. 43 ausgewählt, auf dem das in der Vergangenheit in Deutschland einmal zugelassene Produkt ‚BIO 1020‘ der ehemaligen Firma Bayer basierte. Im Anhang Tabelle 51 sind die verwendeten Nährmedien beschrieben.

Massenproduktion in Säcken

In drei Anläufen wurde versucht, das Isolat M.a. 43 in größeren Mengen, in speziellen Säcken (SacO2, Belgien), auf verschiedenen Festmedien zu produzieren. Als Substrate wurden Reis (Uncle Ben's, parboiled Reis), Gerstenflocken (DERBY, gequetscht) und Weizenkörner (Nacktweizen) verwendet. Pro Sack wurde 1 kg Feststoffmedium eingewogen, mit 500 ml Wasser gemischt und 45 Minuten autoklaviert (121 °C, 1 bar). Der Pilz wurde auf Malz-Pepton Agar angezogen. Mit den so gewonnenen Sporen wurde eine flüssige Vorkultur beimpft (1×10^6 Sporen/ml; ½ Adamek) und für 72-96 Stunden bei 25 °C und 130-160 rpm inkubiert. Das Feststoffmedium wurde mit 200 ml flüssiger Vorkultur pro Kilogramm Substrat inokuliert. Die Säcke wurden im Klimaschrank bei 25 °C inkubiert. Das Substrat in den Säcken wurde täglich geknetet, um so ein gleichmäßiges Durchwachsen zu erreichen. Nach zwei Wochen wurde aus jedem Sack eine Probe genommen und die Anzahl Sporen pro Gramm, nach dem Ausschütteln mit Tween 80 (0,5 %), durch Zählung am Mikroskop mit Hilfe einer Thomakammer bestimmt. Nach drei Wochen wurde der Versuch beendet.

Produktion auf verschiedenen Festmedien im kleinen Maßstab

Zur Optimierung der Sporenproduktion wurde ein Versuch mit den folgenden zwölf Substraten angesetzt: Reis, Hirse, Quinoa, Amaranth, rote Linsen, Weizenkörner, Weizengrütze, Couscous, Weizenkleie, Maisgrütze, Haferflocken, Gerstenflocken. Je 10 g Substrat (Weizenkleie 5 g) wurden in Erlenmeyerkolben (100 ml) und in autoklavierbaren Säcken (14x23 cm; je drei Wiederholungen) eingewogen, mit je 10 ml Wasser (Weizenkleie 5 ml) gemischt und autoklaviert (2 Mal 40 Minuten bei 121 °C und 1 bar mit 24 Stunden Pause dazwischen). Wie zuvor beschrieben wurde eine flüssige Vorkultur angesetzt und die Festmedien damit inokuliert. Die Säcke und Kolben wurden bei 25 °C in einem Klimaschrank inkubiert.

Nach zwei Wochen wurde der Inhalt der Säcke in sterile Glasflaschen umgefüllt. Die Sporen wurden durch Schütteln in einer Tween 80-Suspension vom Substrat gelöst und anschließend am Mikroskop mit Hilfe einer Thomakammer gezählt. Nach einer ersten visuellen Beurteilung, erschienen die Substrate in den Kolben besser bewachsen und mit Sporen besetzt zu sein. Dabei wurden die Substrate Couscous, Reis und Weizenkleie am besten eingeschätzt (gut dunkel sporuliert, loses-lockeres Substrat, wenig Mycel), gefolgt von Quinoa, Hirse, Weizengrütze, Amaranth und Maisgrütze. In den Säcken wurden die gleichen Substrate als die besten eingeschätzt. Bei den Zählungen am Mikroskop zeigte sich in fast allen Substraten eine Verunreinigung mit *Penicillium*-Sporen. Bei einigen wurden außerdem bakterielle Verunreinigungen festgestellt. Trotz der Verunreinigung konnten die Proben ausgewertet werden.

Testung verschiedener Flüssigmedien zur Inokulumproduktion

Neben der Testung verschiedener Feststoff-Substrate, wurde auch die Zusammensetzung des Flüssigmediums zur Inokulum-Produktion variiert. Das Isolat M.a. 43 wurde in einem Standardmedium für *Metarhizium* (½-Adamek) sowie in einem im Rahmen von Forschungsarbeiten am Institut entwickelten Medium

(Biomalz/Hefeextrakt) und einem Medium, das von Kollegen in den USA favorisiert wird (SPM; Grace & Jaronski, persönl. Mitteil.) produziert. In Kürze: 50 ml steriles Medium im 300 ml-Erlenmeyerkolben mit 5×10^7 Konidien inokuliert, so dass die Endkonzentration 1×10^6 Sporen ml^{-1} beträgt. Anschließend die Sporen drei Tage auf einem rotierenden Schüttelinkubator bei 28°C und 150 rpm inkubieren. Je Flüssigmedium wurden je drei kleine Säcke Reis, Weizen und Gerstenflocken mit 3 ml Sporensuspension beimpft. Die Säcke wurden im Klimaschrank bei 25°C inkubiert und etwa zwei Wochen später die Sporen wie zuvor beschrieben ausgeschüttelt und gezählt.

Aus Zeitgründen wurden nur je zwei Wiederholungen pro Variante ausgezählt.

2.3.2 Nachweis von Pilzsporen (Teilprojekt C)

Bodenuntersuchungen auf Pilzsporen

Die Untersuchung erfolgte nach der Standardmethode zur Re-Isolierung von Pilzsporen aus Bodenproben. In Kürze: 20 g Erde werden in einer Tween 80-Suspension ausgeschüttelt. Nach Herstellung einer seriellen Verdünnungsreihe werden pro Verdünnungsstufe Aliquote auf je drei Platten Selektivnährmedium (Selektivagar für pathogene Pilze, Merck) ausplattiert. Die Anzahl koloniebildender Einheiten wird nach 7 und 14 Tagen Inkubation bei 25°C festgestellt. Die Differenzierung der gewachsenen Pilze erfolgt nach weiteren 7-14 Tagen.

Biotest

Drahtwürmer wurden in eine Sporensuspension von 5×10^7 Sporen/ml getaucht. Die Larven wurden einzeln in Fruhstorfer Einheitserde, Typ 0, bei 20°C im Dunkeln gehalten. Sie wurden mit Karottenscheiben gefüttert. 27 Tiere pro Variante wurden getestet.

Aufbewahrung der Drahtwürmer

Im Laufe des Jahres 2004 erhielt die BBA Darmstadt wir etwa 320 Drahtwürmer von Dr. Burghause, Mainz, und Frau Schepl, Bonn, für Versuchszwecke. Die Haltung erfolgte in feuchter Erde bei etwa 20°C im Dunkeln mit Kartoffeln und Karotten als Futter.

In 2005 scheiterten mehrere Anläufe zur Beschaffung von Drahtwürmern für Biotests. Erst im November erhielt die BBA Darmstadt von Frau Katzur, Braunschweig, etwa 70 Drahtwürmer.

2.3.3 Freilandversuche mit *Metarhizium* (Teilprojekt A)

Standort Köln-Auweiler

Auf Versuchsflächen der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen wurden im Zeitraum 2004 bis 2006 drei verschiedene *Metarhizium*-Präparate aus Kanada, Italien und der Schweiz getestet. Die Präparate wurden in unterschiedlichen Ausbringungsmengen (zwischen 100 und 300 kg/ha) auf die Flächen vor bzw. kurz nach der Kartoffelpflanzung ausgebracht. Die Wirkung der Präparate wurde überprüft im Hinblick auf die drei Aspekte Boden, Drahtwurmbesatz und Kartoffelqualität. Unmittelbar vor der Anwendung des Pilzpräparates im Frühjahr und nach der Kartoffelernte im Herbst wurden auf der Fläche Bodenproben gezogen; es handelte sich um Mischproben mit jeweils 10 Einstichen pro Parzelle, 30 cm tief. Diese wurden

in Darmstadt auf Pilzsporen von *Metarhizium anisopliae* untersucht. Des Weiteren wurden nach Versuchsende Drahtwürmer auf der Fläche aufgesammelt und für den Biotest nach Darmstadt geschickt. Es sollte überprüft werden, ob Drahtwürmer verpilzt waren. Nach den Ernten 2005 und 2006 wurden auf den Versuchsflächen kaum Drahtwürmer gefunden, so dass die Biotests in Darmstadt nicht durchgeführt werden konnten.

Standort Braunschweig

An der BBA in Braunschweig sollten etwa 84 m² (zwei Parzellen, Nr. 2 & 4, je 7 m lang x 6 m breit), entsprechend dem Versuch in Köln-Auweiler, mit einem *Metarhizium*-Präparat mit einer Aufwandmenge von 50 kg ha⁻¹ behandelt werden. Zwei weitere Parzellen (Nr. 1 & 3) blieben als Kontrollflächen unbehandelt. Vor der Ausbringung des *Metarhizium*-Präparates wurden auf jeder Parzelle eine Bodenprobe (Mischprobe aus je 10 Einzeleinstiche, 20 cm tief) genommen und zur Untersuchung nach Darmstadt geschickt. Entsprechend wurde nach der Behandlung verfahren. Die letzten Proben wurden aus zeitlichen Gründen erst nach der Kartoffelernte genommen und am 16. September 2006 zur Aufarbeitung nach Darmstadt geschickt.

2.4 Am Projekt beteiligte Betriebe (Teilprojekt A)

Versuchsbetrieb der Universität Bonn, Institut für Organischen Landbau, Wiesengut, Hennef

Der 76 ha große Acker- und Grünlandbetrieb mit Mutterkuhhaltung und Rindermast befindet sich in der Siegniederung bei Hennef in der Niederrheinischen Bucht in Nordrhein-Westfalen. Seit 1991 ist der Betrieb dem Institut für Organischen Landbau der Universität Bonn zugehörig. Er wird nach Naturland-Richtlinien bewirtschaftet. Rund 60 ha der Nutzflächen werden ackerbaulich genutzt, auf etwa 15 ha wird Grünland angebaut. Betriebsschwerpunkte stellen Mutterkühe, die Ochsen- und Färsenmast dar. Die 6-gliedrige Fruchtfolge setzt sich aus Rotklee-Gras, Kartoffeln, Winterweizen mit Zwischenfrucht, Ackerbohnen mit Untersaat oder Zwischenfrucht, Sommerweizen, Winterroggen mit Untersaat Rotklee-Gras zusammen. Die Böden bestehen aus lehmig-schluffigen bis sandig-schluffigen Auensedimenten unterschiedlicher Mächtigkeit und Korngrößenzusammensetzung. Der Grundwasserstand schwankt durch die Flussnähe extrem, das Vordeichsgelände wird bei Hochwasser der Sieg regelmäßig überschwemmt. Die Böden weisen Ackerzahlen zwischen 20 und 70 auf, die Grünlandzahlen bewegen sich zwischen 38 und 66 Bodenpunkten. Der Betrieb liegt auf einer Meereshöhe von 65 m, die Jahresniederschläge schwanken zwischen 700 und 750 mm.

Betrieb Ralf Gensheimer, Offenbach/Queich

Der 40 ha große Gemüsebaubetrieb ist in Offenbach an der Queich in Rheinland-Pfalz ansässig. Er wird seit 2001 nach Bioland-Richtlinien bewirtschaftet. Auf einem Drittel der Flächen wird zweijährige Luzerne angebaut, ein weiteres Drittel ist Anbaufläche für Kartoffeln, Getreide und Körnererbsen. Auf dem verbleibenden Drittel werden über das ganze Jahr rund 40 verschiedene Gemüsesorten angebaut, die nahezu ausschließlich über den Hofladen und verschiedene Wochenmärkte in der Umgebung direkt vermarktet werden. Die durchschnittlichen Jahresniederschläge belaufen sich auf 450 mm. Die Böden sind den Bodenarten Sand bis sandiger Lehm (Löss) zuzuordnen und weisen Bodenpunkte zwischen 40 und 80 auf.

Betrieb Heinz-Peter Bochröder, Neuer Hof, Düren

Der 60 ha große Ackerbau, Grünland- und Milchviehbetrieb befindet sich am Rande Dürens in der Zülpicher Bucht in Nordrhein-Westfalen auf 100 m über NN. Er wird nach Demeter-Richtlinien bewirtschaftet. Betriebsschwerpunkte stellen Milchviehhaltung, Schweinehaltung, Feldfutterbau (Luzerne), Zuckerrüben, Kartoffeln und Getreide dar. Die sehr fruchtbaren Böden sind der Bodenart Lößlehm zuzuordnen und weisen Bodenpunkte von 80 auf. Die Jahresniederschläge liegen bei durchschnittlich 550 mm.

Betrieb Christoph Leiders, Stautenhof, Willich-Anrath

Der 45 ha große Stautenhof in Willich-Anrath, Niederrheinische Bucht, in Nordrhein-Westfalen ist ein dem Naturland- (seit 1998) und dem Bioland-Verband (seit 2004) angeschlossener Biohof. Betriebsschwerpunkte sind Sauenhaltung, Mastschweine, Kartoffeln, Winterweizen, Körnermais und Ackerbohnen. Die Böden mit der Bodenart Sandiger Lehm weisen Bodenpunkte zwischen 60 und 80 auf. Die durchschnittlichen Jahresniederschläge liegen um 700 mm.

Betrieb Wilfried Tölkes, Gut Höfferhof, Much

Der 110 ha große Acker- und Grünlandbetrieb mit Milchviehhaltung ist in Much, im südlichen Bergischen Land, in Nordrhein-Westfalen beheimatet. Der Betrieb wird seit 1996 nach Bioland-Richtlinien bewirtschaftet. Betriebsschwerpunkte stellen Milchkühe, Grünland bzw. mehrjähriges Klee gras, Silomais, Winterweizen, Kartoffeln und Lupinen dar. Die Betriebsflächen liegen zwischen 150 und 220 m Meereshöhe. Sie sind der Bodenart sandiger Lehm bzw. Lehm zuzuordnen und haben durchschnittliche Ackerzahlen von 55 Bodenpunkten. Die Jahresniederschläge liegen bei durchschnittlich 1100 mm.

Betrieb Bernhard Luhmer, Wachtberg-Niederbachem

Der 52 ha große Betrieb in Wachtberg-Niederbachem wird von Bernhard Luhmer seit 1984 nach Bioland-Richtlinien bewirtschaftet. Betriebsschwerpunkte sind neben Mutterkuhhaltung (Glanvieh) Getreide, Kartoffeln und Feldgemüse. Die Feldbestellung erfolgt unter reduzierter pflugloser Bodenbearbeitung. Die Böden der Bodenart sandiger Lehm sind den Bodentypen Braunerde bzw. Parabraunerde zuzuordnen. Sie weisen Bodenpunkte zwischen 60 und 80 auf. Der durchschnittliche Jahresniederschlag liegt bei 800 mm.

Betrieb Friedrich Kinkelbur, Minden-Haddenhausen

Der Ackerbau-, Grünland- und Milchviehbetrieb befindet sich in Minden-Haddenhausen, am Fuße des Wieherngebirges, in Nordrhein-Westfalen. Er wird nach Bioland-Richtlinien bewirtschaftet. Betriebsschwerpunkte stellen neben Milchvieh, Grünland, Rotklee gras, Sommer- und Winterweizen, Winterroggen, Silomais und Kartoffeln dar. Die Böden mit der Bodenart Sandiger Lehm (Löss) haben Bodenpunkte zwischen 50 und 70. Im Durchschnitt regnet es 720 mm im Jahr. Die Flächen liegen auf 60 m über NN.

Versuchsbetrieb der Landwirtschaftskammer NRW, Gartenbauzentrum Köln-Auweiler

Das Gartenbauzentrum Köln-Auweiler befindet sich im Westen Kölns in der Kölner Bucht auf 46 m über NN. Der Betrieb wird nach Biolandrichtlinien bewirtschaftet. Betriebsschwerpunkt ist der viehlose Ackerbau mit Versuchsschwerpunkten Bodenbearbeitung, Fruchtfolgegestaltung, Alte Sommer- und Wintergetreidesorten, Behandlungsversuche mit Pflanzenstärkungsmitteln, Sortenversuche zu Ackerbohnen, Lupinen und Sojabohnen. Die Versuchsflächen mit der Bodenart sandige Lehme sind den Bodenarten Braunerden bzw. Parabraunerden zuzurechnen. Sie weisen Ackerzahlen von 70 auf. Im Jahresdurchschnitt regnet es 650 mm.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse

Die Ergebnisse werden wie folgt dargestellt:

1. Monitoring der Drahtwürmer: Bodenproben und Köderfallen
2. Monitoring der Schnellkäfer: Pheromone
3. Indirekte Regulierungsmaßnahmen: Ergebnisse aus Labor-, Halfreiland- und Freiland-Versuchen zu
 - Nahrungseffizienz und Nahrungswahl der Drahtwürmer
 - Vorfrüchte, Zwischenfrüchte, Untersaaten
 - Kartoffelsorten, Erntetermine und Düngung
4. Direkte Regulierungsmaßnahmen: Ergebnisse aus Labor- und Freilandversuchen
 - Qualitätsuntersuchungen verschiedener *Metarhizium*-Präparate
 - Herstellung eines Pilzpräparates
 - Einsatz verschiedener Pilzpräparate im Freiland

3.1.1 Monitoring

Monitoring ist ein Überbegriff für alle Arten der systematischen Erfassung, Beobachtung oder Überwachung eines Vorganges oder Prozesses mittels technischer Hilfsmittel oder anderer Beobachtungssysteme. Ein Monitoring ist eine in die Zukunft gerichtete Langzeitbeobachtung.

3.1.1.1 Monitoring Drahtwürmer

Das Monitoring der Drahtwürmer erfolgte mittels Bodenproben und Köderfallen an verschiedenen Zeitpunkten und Standorten.

3.1.1.1.1 Bodenproben (Teilprojekt A)

An sechs Versuchsstandorten wurden in den Versuchsjahren 2004 bis 2006 insgesamt 36 Flächen auf Drahtwürmer untersucht.

Auf allen Versuchsstandorten kamen zwei Käfergattungen vor. Die dominante war *Agriotes* mit einer Häufigkeit von 90 – 95 %. Sie war durch die beiden Arten, *A. lineatus* und *A. obscurus* vertreten (Tabelle 11).

Tabelle 11: Pflanzenschädigende Schnellkäferlarven, die auf den Versuchsflächen vorkamen; 2004 bis 2006

Gattung	Art	Häufigkeit in %
Agriotes	Agriotes lineatus, Agriotes obscurus	90-95
Hemicrepidius	Hemicrepidius niger	5-10

Die Zahlen der aufgesammelten Drahtwürmer je Versuchsfläche unterschieden sich sehr stark voneinander. Grundsätzlich ist festzustellen, dass sich im Frühjahr vor der

Feldbestellung mehr Drahtwürmer im Oberboden aufhielten als im Herbst nach der Ernte. Die höchsten Drahtwurmdichten wies der Standort Offenbach/Queich in den Jahren 2005 und 2006 mit 53 Drahtwürmern je m² auf (Tabelle 12). An den Standorten Düren und Wachtberg wurden im Frühjahr 2005 20 bzw. 17 Drahtwürmer je m² gesammelt, im Herbst dagegen 2 und 3. Der Standort Köln-Auweiler wies über die Versuchsjahre 2004 bis 2006 sowohl in den Frühjahrs- als auch in den Herbstaufsammlungen Schwankungen zwischen 0 und maximal 25 Schnellkäferlarven/m² auf (Tabelle 12).

Tabelle 12: Übersicht der Drahtwurmaufsammlungen an verschiedenen Versuchsstandorten und -flächen; Ergebnisse der Bodenproben; Anzahl Drahtwürmer je m²; 2004 bis 2006

	Anzahl Drahtwürmer/m ²					
	2004		2005		2006	
Standort	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
Köln-Auweiler	5-12	3-25	1-10	0-5	0-6	0-4
Much	9	7				
Wachtberg	-	-	17	3	-	-
Düren	-	-	20	2	-	-
Minden	-	-	-	-	2-13	0-6
Offenbach/Queich	-	-	15-53	0-3	9-53	3-13

Drahtwurmbesatz in den Vorfruchtversuchen

Die Vorfruchtversuche wurden am Standort Köln-Auweiler durchgeführt. Der Drahtwurmbesatz der Versuchsfelder lag unterschiedlich hoch, war aber über die Versuchsjahre hinweg rückläufig (Tabelle 13).

Auf Fläche Nr. 1 mit der Vorfrucht Calendula-Tagetes wurden im Frühjahr 2004 zwölf Larven/m² gezählt. Auf Fläche Nr. 4, auf der mehrjähriges Klee gras direkt vor Kartoffeln stand, wurden im Frühjahr nur fünf Larven/m² aufgesammelt. Die bonitierten Fraßschäden an Kartoffelknollen beliefen sich auf verschiedenen Niveaus. Auf Fläche Nr. 1 lag er bei 11 % (Abbildung 8), auf Fläche Nr. 4 bei 80 % (Abbildung 27). Es war nicht möglich, eine Beziehung zwischen dem Drahtwurmbesatz einer Fläche und dem zu erwartenden Schaden herzustellen.

Tabelle 13: Drahtwurmaufsammlungen auf den Flächen mit Vorfruchtversuchen am Standort Köln-Auweiler; ¹Vorfrucht Calendula-Tagetes, ²Vorvorfrucht Ackerbohne, ³Vorvorfrucht einjähriges Klee gras, ⁴Vorfrucht mehrjähriges Klee gras, ⁵Vorfrucht Lupinen, ⁶Vorfrüchte Ackerbohne, Buschbohne, Körnererbse, einjähriges Klee gras, ⁷Vorfrucht mehrjähriges Klee gras (Much); Anzahl Drahtwürmer je m²; Standort Köln-Auweiler, 2004 bis 2006

Nr.	Anzahl Drahtwürmer/m ²					
	2004		2005		2006	
	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
1	12	3	4	2	3	2
2	7	4	2	3	6	4
3	8	6	5	5	5	4
4	5	25	7	1	0	1
5	-	-	1	0	-	-
6	-	-	10	1	4	2
7	9	7	-	-	-	-

Drahtwurmbesatz in den Zwischenfruchtversuchen

An drei Standorten wurden ab August 2005 Zwischenfrüchte eingesät. Nur auf zwei Flächen entwickelten sich diese so gut, dass eine Wirkung auf die Folgefrucht vermutet werden konnte. Der Drahtwurmbesatz der beiden Versuchsflächen in Köln-Auweiler und Offenbach/Queich unterschied sich stark voneinander. In Offenbach wurden im Frühjahr 2006 mit 15 Drahtwürmern zweieinhalb Mal so viele Larven je m² aufgesammelt wie in Köln-Auweiler (Tabelle 14). Dennoch waren die Boniturergebnisse beider Standorte vergleichsweise niedrig (Abbildung 11, Abbildung 14). Der ermittelte Drahtwurmbesatz einer Fläche ließ auch hier nicht auf das zu erwartende Schadenspotenzial schließen.

Tabelle 14: Drahtwurmaufsammlungen auf den Flächen mit Zwischenfruchtversuchen; Anzahl Drahtwürmer je m²; 2005 und 2006

Standort	Anzahl Drahtwürmer/m ²			
	2005		2006	
	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
Köln-Auweiler	-	-	6	4
Offenbach/Queich	24	1	15	7

Drahtwurmbesatz in den Untersaatversuchen

Die Wirkung von Untersaaten auf die Drahtwurmaktivität wurde an sechs Standorten geprüft (Teilprojekt A). An vier Standorten wurden Bodenproben gezogen, um den Drahtwurmbesatz der Flächen zu ermitteln.

Im Frühjahr 2005 wurden am Standort Offenbach/Queich die meisten Drahtwürmer aufgesammelt (Tabelle 15). Dennoch war der durch sie verursachte Fraßschaden an den Kartoffelknollen mit maximal 10 % sehr niedrig (Tabelle 38). Am Standort Köln-Auweiler wurden in 2005 die höchsten Qualitätsmängel mit maximal 20 % bonitiert (Tabelle 38), obwohl im Frühjahr nur 8 Drahtwürmer/m² festgestellt wurden (Tabelle 15).

An den Standorten Wachtberg und Düren wurden mit 17 bzw. 20 Drahtwürmern/m² ähnlich hohe Besatzzahlen festgestellt (Tabelle 15). Dennoch betrug der drahtwurmbedingte Ernteausschlag in Düren maximal 17 %, in Wachtberg maximal 7 % (Tabelle 38).

Beziehungen zwischen dem Drahtwurmbesatz einer Fläche und dem zu erwartenden Schaden konnten nicht abgeleitet werden.

Tabelle 15: Drahtwurmaufsammlungen auf den Flächen mit Untersaatversuche; Anzahl Drahtwürmer je m²; 2005 und 2006

	Anzahl Drahtwürmer/m ²			
	2005		2006	
Standorte	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
Auweiler	8	1	5	4
Wachtberg	17	3	-	-
Düren	20	2	-	-
Offenbach	37	0	15	7

Standort Braunschweig

Die Erfassung der Drahtwurmverteilung in der Versuchsanlage erfolgte mittels Lockenwicklerfallen, von denen jeweils zwei pro Parzelle vom 15. bis 22. August 2006 in den Kartoffeldämmen eingesetzt waren. Mit Hilfe der insgesamt 40 Fallen wurden 125 Drahtwürmer, hauptsächlich Larven der Gattung *Agriotes* gefangen. Davon befanden sich 22 % direkt in den Fallen, die übrigen in der Erde um die Falle herum, die mit einem Probennehmer (Ø 10 cm) bis in 10 cm Tiefe entnommen worden war. Insgesamt war die Verteilung der Drahtwürmer in der Versuchsanlage sehr ungleichmäßig (Abbildung 5). Von den 125 Drahtwürmern wurden die meisten, nämlich 32 % in den Parzellen der Kontrolle und 26 % in denen der Ackerbohne gefangen. In diesen Varianten war auch die Schädigung der Kartoffeln mit 4,7 bzw. 4,5 Fraßspuren/Knolle am höchsten. In den Winterweizenparzellen wurden die wenigsten Drahtwürmer gefangen (6 %), die Schädigung der Kartoffeln war jedoch in der unkrautfreien Variante am geringsten (Tabelle 42). Unabhängig von der Variante konnte zwischen der Anzahl gefangener Drahtwürmer pro Parzelle und den durch sie verursachten Fraßschäden (Fraßspuren/Knolle) eine deutliche Beziehung festgestellt werden ($r=0,66$).

Insgesamt erschwert die sehr ungleiche Verteilung der Drahtwürmer in der Versuchsfläche eine klare und eindeutige Versuchsaussage.

K	P	A	U	W
1 DW	12 DW	17 DW	0 DW	0 DW
4,8	4,4	6,0	1,9	0,5
80,3 %	87,4 %	90,3 %	55,8 %	26,9 %
W	K	P	A	U
8 DW	25 DW	4 DW	6 DW	1 DW
3,9	7,1	2,3	3,9	2,3
87,1 %	85,9 %	69,3 %	79,1 %	71,0 %
U*	W	K	P	A
21 DW	0 DW	10 DW	2 DW	7 DW
5,0	5,7	5,0	3,1	3,7
87,1 %	83,5 %	66,2 %	71,9 %	80,3 %
A*	U	W	K	P
3 DW	3 DW	0 DW	4 DW	1 DW
-----	2,3	3,6	1,9	4,4
-----	59,7 %	73,3 %	63,3 %	77,6 %

Abbildung 5: Feldskizze des Untersaatversuchs 2006 (nicht maßstabsgetreu). Oben: Anzahl Drahtwürmer (DW)/Parzelle, die mit Hilfe von jeweils zwei Lockenwicklerfallen im August erfasst wurden (Ernte: 07.09.2006). Mitte: Durchschnittliche Anzahl von Fraßspuren/Knolle. Unten: durchschnittlicher Anteil DW-geschädigter Knollen (%). P: Phacelia, A: Ackerbohne, W: Winterweizen, K: Kontrolle = ohne Untersaat, U: unkrautfreie Variante, ohne Untersaat. Mittelwerte aus je 3 Einzelwerten. U* bzw. A*: Angabe von nur 1 bzw. keinem Teilprobenwert, da es während der Ernte zu Verschleppungen von Kartoffeln in Nachbarparzellen kam.

Drahtwurmbesatz in Sorten-, Erntetermin- und Düngungsversuchen

Tabelle 16 gibt die Ergebnisse der Drahtwurmaufsammlungen auf den Flächen der Sorten-, Erntetermin- und Düngungsversuche wieder. Im Frühjahr waren auf allen drei Flächen etwa 9 Drahtwürmer/m². Im Herbst war im Düngungsversuch der Drahtwurmbesatz mit 7 Tieren/m² hoch. Die drahtwurmbedingten Ernteverluste waren in allen drei Versuchen zu einem vergleichbaren Zeitpunkt unterschiedlich hoch. In den Sortenversuchen lagen sie bei maximal 27 % (Abbildung 16), in den Versuchen zum Erntetermin bei maximal 47 % (Abbildung 18). 61 % der Kartoffeln waren im Düngungsversuch geschädigt (Abbildung 19).

Tabelle 16: Drahtwurmaufsammlungen auf den Flächen der Sorten-, Erntetermin-, und Düngungsversuche; Anzahl Drahtwürmer je m²; Standorte Köln-Auweiler und Much; 2004 und 2005

		Anzahl Drahtwürmer/m ²	
		2004/2005	
Standort	Versuch	Frühjahr	Herbst
Köln-Auweiler	Kartoffelsorten	8	1
Köln-Auweiler	Erntetermin	10	1
Much	Düngung	9	7

Drahtwurmbesatz in den *Metarhizium*-Versuchen

Die Versuchsfelder, auf denen drei verschiedene *Metarhizium*-Präparate ausgebracht wurden, wurden ebenfalls auf Drahtwürmer untersucht. In 2004 war der höchste Drahtwurmbesatz zu verzeichnen, allerdings lag er im Herbst höher als im Frühjahr. Der niedrigste Drahtwurmbesatz wurde 2006 festgestellt; im Frühjahr war kein Drahtwurm in den Bodenproben, im Herbst nur einer.

Die in 2004 geernteten Kartoffeln wiesen mit rund 80 % Fraßschäden die höchsten Ernteverluste auf. In 2005 lagen die Fraßschäden um 20 %, in 2006 unter 5 % (Abbildung 27). Diese Ergebnisse deuten auf eine Korrelation zwischen den Drahtwürmern im Boden und den durch sie verursachten Schäden hin.

Tabelle 17: Drahtwurmaufsammlungen auf den Flächen mit *Metarhizium*-Versuchen; Anzahl Drahtwürmer je m²; Standort Köln-Auweiler; 2004 bis 2006

2004		Anzahl Drahtwürmer/m ²			
		2005		2006	
Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
5	25	2	4	0	1

3.1.1.1.2 Fallentypen und Köder (Teilprojekt B)

Drei Fallentypen wurden an der BBA miteinander verglichen: 1. Lockenwicklerfalle, 2. EPPO-Falle und 3. Kartoffelköder.

2004 wurden in den 16 Versuchspartzen des Untersaatenversuches alle drei Fallentypen eingesetzt. Als Köder dienten Kartoffelbohrkerne und Getreide. An 2 Terminen im August und Anfang September (je 1 Falle/Parzelle/Termin) wurden im Versuchsfeld Ap.1 insgesamt 8 Drahtwürmer und in Ap. 2 ein Drahtwurm gefangen. Mit den Getreideköderfallen wurden keine Drahtwürmer gefangen (Anhang Abbildung 28).

2005 wurden in den Untersaatenversuchen zwei verschiedene Köder getestet: Erstens Kartoffeln und zweitens Getreide. In den Lockenwicklern befanden sich insgesamt 10 Drahtwürmer, 5 befanden sich in der ausgegrabenen Erde. Ein Vergleich der verschiedenen Köder ist jedoch nur für die beiden letzten Termine möglich, da hier beide Köder zeitgleich eingesetzt wurden. Hier konnten mit Hilfe der

Getreideköderfallen 4 Larven und mit Hilfe der Kartoffelköder 2 Larven gefangen werden (Anhang Abbildung 29; Tabelle 50).

Der Vorteil der Lockenwicklerfalle gegenüber der Kartoffel- und der EPPO-Getreideköderfalle lag im sehr kleinen und damit schnell durchsehbaren Ködervolumen. Ein Vergleich dieser beiden Fallentypen auf einem Rasenstück des BBA-Geländes an zwei Terminen zeigte eine ähnlich gute Lockwirkung beider Typen. Ein Nachteil der EPPO-Getreideköderfallen 2004 war das schnelle Verpilzen des Getreides, so dass hier ein Erneuern des Köders sehr viel öfter erfolgen musste als bei den Kartoffeln.

Vergleich von drei verschiedenen Ködertechniken 2006

2006 wurden an fünf Terminen von April bis Oktober Fängigkeit und Praxistauglichkeit dreier Fallentypen miteinander verglichen. Die drei Fallen erbrachten an den 5 Erhebungsterminen insgesamt 163, die Bodenproben 20 Drahtwürmer aus allen Larvenentwicklungsstadien. Im Vergleich zur durchschnittlichen Larvenanzahl von 0,5 Larven in ca. 1,5 l Boden (Probenvolumen) konnte die Larvenanzahl mit Hilfe der Fallen um etwas mehr als das 2½-fache im selben Volumen erhöht werden. Über den gesamten Zeitraum betrachtet war die Fängigkeit der drei Ködertechniken in etwa gleich gut. Durchschnittlich wurden mit Hilfe von Kartoffelköder und EPPO-Falle je 1,3, mit Hilfe der Lockenwicklerfalle 1,4 Larven pro Fallenstandort gefangen (Tabelle 18). Von Termin zu Termin war die Lockwirkung der drei Fallentypen jedoch sehr unterschiedlich. Im April und Mai konnten die meisten Drahtwürmer mit Hilfe der EPPO-Falle gefangen werden, bezogen auf die gesamte Probe, bestehend aus Erde und Falle. An diesen beiden Terminen wurde eine Anreicherung von Drahtwürmern um den Faktor 5,5 bzw. 2,0 gegenüber der reinen Bodenprobe erzielt. Im Juni und August dagegen wurden die meisten Drahtwürmer mit Hilfe der Lockenwicklerfalle gefangen. Gegenüber der reinen Bodenprobe kam es hier zu einer Anreicherung von Drahtwürmern um das 1,8- bzw. 5-fache. Im Oktober bewirkte der Kartoffelköder die größte Anreicherung von Drahtwürmern und zwar um den Faktor 8,2 gegenüber der Bodenprobe.

Werden nur die Fallenfänge betrachtet, d. h. nur die Anzahl der Drahtwürmer, die sich in oder direkt an den Fallen bzw. den Kartoffelstücken befanden, so schnitt die Lockenwicklerfalle in allen Monaten außer im Mai am besten von allen drei Fallentypen ab. Der durchschnittliche Fang lag bei 0,6 Larven pro Lockenwicklerfalle gegenüber 0,4 und 0,1 Larven pro EPPO-Falle bzw. Kartoffelköder. Im April und Oktober wurden in den Lockenwicklerfallen sogar 2,5 bzw. 3,3 mal mehr Drahtwürmer gefangen als in den etwa 20 mal größeren Bodenproben an diesen Terminen. Abgesehen von der größeren Effektivität der Lockenwicklerfalle war der Zeitaufwand, der für die Durchsicht dieser Falle benötigt wurde, mit ca. 9 Minuten geringer als bei der EPPO-Falle (15 Minuten) und dem Kartoffelköder (inkl. Umgebender Erde 10 Minuten).

Der Anteil der durch Drahtwurmfraß geschädigten Kartoffeln in der Teilfläche dieser Versuchsanlage betrug 73 %. Die Probennahme auf dieser Fläche im April vor der Bodenbearbeitung ergab eine Dichte von 28 Drahtwürmern/m². In der Lockenwicklerfalle wurden an diesem Termin durchschnittlich 0,56 Drahtwürmer/Falle gefangen. Dies war 2,5-mal so viel wie die durchschnittliche Drahtwurmzahl von 0,22 in den Bodenproben (Tabelle 18).

Tabelle 18: Durchschnittliche Anzahl von Drahtwürmern in Bodenproben und Köderfallen (je 8 WH) an 5 Terminen von April bis Oktober 2006 (BBA-Gelände, Braunschweig) sowie der Anteil der Bodenproben (Bp.) und Fallenpunkte (Fp.), die Drahtwürmer (Dw) enthielten in %. Ø: mittlere Dw-Zahl aller Termine. Σ Dw: Anzahl Drahtwürmer insgesamt.

		April	Mai	Juni	August	Oktober	Ø	Σ Dw
	Bodenpr. (= 1,5 l)	0,22	0,75	0,63	0,5	0,38	0,49	20
	Anteil Bp. Mit Dw (%)	22,2	37,5	50	25	25		
Lockenwickler	Falle	0,56	0	0,38	0,75	1,25	0,59	24
	Erde oben	0,11	0,38	0,38	1,13	0,63	0,52	21
	Erde um + unter Falle	0,11	0,13	0,38	0,63	0,38	0,32	13
	Σ Fp. (= 1,5 l)	0,79	0,5	1,13	2,5	2,25	1,43	58
	Anteil Fp. Mit Dw (%)	55,6	37,5	87,5	87,5	87,5		
EPPO-Falle	Falle	0,33	0,13	0,25	0,25	1	0,39	16
	Erde oben	0,67	1	0,25	0,25	0,75	0,58	24
	Erde um + unter Falle	0,22	0,38	0,13	0,13	0,63	0,29	12
	Σ Fp. (= 1,5 l)	1,22	1,5	0,63	0,63	2,38	1,27	52
	Anteil Fp. Mit Dw (%)	55,6	62,5	25	50	87,5		
Kartoffelköder	Köder	0	0,13	0	0,25	0	0,08	3
	Erde oben	0,56	0,63	0	0,63	1,38	0,64	26
	Erde um + unter Falle	0,22	0,38	0,38	0,25	1,75	0,59	24
	Σ Fp. (= 1,5 l)	0,79	1,13	0,38	1,13	3,13	1,31	53
	Anteil Fp. mit Dw (%)	44,4	62,5	37,5	75	87,5		

Köderfallen im Untersaatenversuchsfeld

Zur Erfassung der Drahtwürmer im Versuchsfeld waren vom 15. – 22. August 2006 insgesamt 40 Lockenwicklerfallen im Boden eingegraben. Die Hälfte der Köderfallen war mit einem vorgequollenen Mais-Weizen-Gemisch, die andere Hälfte mit einem vorgequollenen Gerste-Weizen-Gemisch gefüllt. Die Anzahl der mit diesen Fallentypen angelockten Drahtwürmer unterschied sich kaum. Mit Hilfe der Mais-Weizen-Fallen wurden durchschnittlich 3,05, mit Hilfe der Gerste-Weizen-Fallen 3,2 Drahtwürmer angelockt. Direkt in der Falle befanden sich bei den Mais-Weizen-Fallen durchschnittlich 0,85, in den Gerste-Weizen-Fallen dagegen nur 0,55 Drahtwürmer. Die Fangzahlen der Drahtwürmer in beiden Versuchsflächen lagen im August in etwa auf gleicher Höhe (Tabelle 19). Dies korrespondiert mit den Schäden

von knapp 80 % Befallshäufigkeit, die in beiden Versuchsflächen nachgewiesen wurden.

Tabelle 19: Ø Anzahl und Gesamtzahl der an einem Termin mit Lockenwicklerfallen (je 20) gefangenen Drahtwürmer im Untersaatenversuchsfeld; Standort Braunschweig; 2006

Köder	Falle Ø	umgebende Erde Ø	gesamt Ø	Gesamtzahl
Mais-Weizen	0,85	2,2	3,05	61
Gerste-Weizen	0,55	2,65	3,2	64

3.1.1.2 Monitoring Schnellkäfer

Pheromonfallen (Teilprojekt A)

Die Ergebnisse aus dem Monitoring der Schnellkäfer zeigen extrem hohe Schwankungsbreiten zwischen den einzelnen Jahren, den einzelnen Betrieben und innerhalb der Flächen eines Betriebes. Aus diesen Gründen werden die Daten für die jeweiligen Betriebe getrennt dargestellt.

Standort Offenbach/Queich

In den drei Folienhäusern des Betriebes und auf acht Außenflächen standen in den Versuchsjahren 2005 und 2006 insgesamt 50 Pheromonfallen. 46 Pheromonfallen wurden auf insgesamt 5 ha Ackerfläche verteilt; 4 Fallen wurden in den Folienhäusern aufgestellt. Die Fallen wurden mit den Sexualpheromonen der beiden am häufigsten vorkommenden Schnellkäferarten *Agriotes lineatus* und *Agriotes obscurus* bestückt. Auch hier traten in den Vorjahren im zeitigen Frühjahr Fraßschäden auf, vornehmlich an verschiedenen Blattsalaten wie Lollo Rosso, grünem Blattsalat und Eichblattsalat, aber auch an Radies.

Die Fallenstandorte waren in beiden Jahren identisch (Tabelle 22); die Pheromonfallen wurden auf Gesamtschlägen bzw. in Teilbereichen einzelner Schläge verteilt. Auf diesen hatte der Betriebsleiter seit Jahren Drahtwurmschäden an Kulturpflanzen festgestellt. Von Mitte April bis Mitte August standen die Fallen auf den jeweiligen Flächen.

Tabelle 20 sind die in 2005 und 2006 den angebauten Kulturen am Standort Offenbach/Queich zu entnehmen.

Tabelle 20: Fruchtfolgen der einzelnen Versuchsflächen am Standort Offenbach/Queich

Fläche		Fruchtfolge	
Nr.	Versuchsfläche	2005	2006
1	Folienhaus 1	Blattsalate, Tomaten, Gurken, Paprika, Auberginen	Blattsalate, Tomaten, Gurken, Paprika, Auberginen
2	Folienhaus 2	Radies, Rucola, Tomaten	Stangenbohnen, Gurken
3	Folienhaus 3	Stangenbohnen, Gurken	Radies, Rucola, Tomaten

Fläche		Fruchtfolge	
Nr.	Versuchsfläche	2005	2006
4	Ackerfläche	Dinkel	Kartoffel
5	Dauerkultur Spargel alt	Spargel	Spargel
6	Dauerkultur Spargel neu	Spargel	Spargel
7	Gemüse	Möhren, Kürbis	Zuckermais, Zwiebeln
8	Acker-, Gemüsefläche	Kartoffeln	Erbsen
9	Acker-, Gemüsefläche	Zwiebeln, Fenchel	Lauch, Kartoffeln, Schwarzbrache
10	Acker-, Gemüsefläche	Kartoffeln	Rote Beete, Mangold
11	Grünbrache Luzerne	Luzerne	Luzerne

Die mit Abstand meisten Käfermännchen mit 400 je Falle wurden 2005 im Luzernenbestand auf Fläche Nr. 11 gefangen (Tabelle 22). Der Bestand wurde zweimal im Jahr gemulcht. Auf dieser Fläche erfolgten keine weiteren Eingriffe.

Auf den Flächen Nr. 7 und 9 waren in 2005 die zweithäufigsten Fänge je Falle. Hier wurden deutlich über 300 Tiere abgefangen (Tabelle 22).

2005 standen auf Fläche Nr. 9 Lauch und Zwiebeln. Neben den Käferfängen wurde auch der Drahtwurmbesatz mittels Bodenproben ermittelt. Dieser lag mit 53 Larven/m² sehr hoch (Tabelle 21). Im Frühjahr waren die Larven äußerst fraßaktiv, so dass innerhalb einer Woche der frisch gepflanzte Lauch umfiel. Um eine Massenverunkrautung zu verhindern, wurde die Fläche bearbeitet und vier Wochen später mit Fenchel bepflanzt. Der Fenchel zeigte keine bemerkenswerte Schädigung durch Drahtwürmer. In 2006 wurde ein Teil dieser Fläche schwarz gehalten, mit dem Ziel, die Larven auszuhungern. Die Auswirkung dieser Maßnahme kann erst in den folgenden Jahren überprüft werden.

Auf den übrigen Freilandflächen wurden in 2005 im Schnitt 250 Schnellkäfermännchen/Falle abgefangen. In den Folienhäusern waren die Fangzahlen mit 23 Käfern/Falle sehr niedrig (Tabelle 22).

In 2006 wurden knapp 3.000 Käfermännchen weniger gefangen als in 2005 (Tabelle 22). Eine Erklärung könnte sein, dass Schnellkäfer mit langen Entwicklungszyklen einem sog. synchronisierten Rhythmus unterliegen. Dies ist beispielsweise von Mai- und Junikäfern hinlänglich bekannt, die ähnlich lange Entwicklungszeiten haben.

Auf Fläche Nr. 5, einer der beiden Spargelflächen, lag der in 2005 bei 42 Drahtwürmern/m², in 2006 sogar bei 53 Drahtwürmern/m² (Tabelle 21). Der hohe Flächenbesatz war mit einer hohen Fraßaktivität der Larven in 2006 gekoppelt. Zusätzlich war es im April sehr kühl und nass, was den Spargel langsam wachsen ließ. Diese Umstände führten zu großen finanziellen Einbußen, gerade in den ersten drei Erntewochen. In 2005 beliefen sich diese auf 1.500 € je Woche, in 2006 auf 2.000 € je Woche zuzüglich der Kosten für die Erntehelfer.

Tabelle 21: Drahtwurmaufsammlungen auf den Pheromonfallenstandorten bzw. potentiellen Kartoffelflächen in Offenbach/Queich; Ergebnisse aus jeweils 10 Bodenproben je Fläche und Termin. Diese entsprechen jeweils der Anzahl Drahtwürmer je m².

Fläche	Anzahl Drahtwürmer je m ²			
	2005		2006	
Nr.	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
1	32	0	30	5
4	24	1	15	7
5	42	3	53	5
9	53	0	32	13
10	37	0	9	3

Tabelle 22: Durchschnittliche Käferfänge/Pheromonfalle auf den Versuchflächen in Offenbach/Queich, 2005 und 2006

Fläche	Anzahl Fallen	Käfer/Falle	
		2005	2006
Nr.			
1	2	23	34
2	1	38	58
3	1	8	64
4	12	232	185
5	8	236	312
6	3	246	139
7	4	370	273
8	5	265	86
9	4	324	198
10	4	298	234
11	6	406	304
Summe	50	13.233	10.402

In 2005 lag die Hauptflugzeit der Schnellkäfermännchen zwischen Mitte Mai und Anfang Juni (N=7.693). Dies entspricht 58% aller in 2005 gefangenen Männchen (Tabelle 23).

In 2006 lag die Hauptflugzeit der Käfermännchen etwa vier Wochen später. Die meisten Käfer wurden erst Mitte Juli mittels Pheromonfallen detektiert (N=5.227). Dies entspricht 50% aller in 2006 gefangenen Käfermännchen (Tabelle 24). Vermutlich ist dies auf das kühle und nasse Wetter im Mai 2006 zurückzuführen. Durch kürzere Leerungsintervalle der Fallen und ausführliche Klimadaten der Standorte ließe sich diese Beobachtung deutlicher belegen.

In 2005 wurden im Dinkel auf Fläche Nr. 4 mit 12 Pheromonfallen die meisten Käfer (N=2.780) abgefangen (Tabelle 23). In 2006 hingegen wurden die meisten Käfer im Spargel auf Schlag Nr. 5 gefangen (Tabelle 24).

Aus den bisherigen Fangzahlen lässt sich ableiten, dass Pheromonfallen zwischen Mitte April und Mitte Juli aufgestellt werden müssen, um die meisten männlichen Käfer abzufangen. Möglicherweise werden sie an ihrer Reproduktion gehindert.

Tabelle 23: Käferfänge an verschiedenen Terminen in 2005 am Standort Offenbach/Queich

Fläche	Anzahl Käfer/Fläche in 2005				
Nr.	11.05.	01.06.	18.06.	09.07.	Summe
1	14	20	9	3	46
2	6	25	3	4	38
3	1	0	0	7	8
4	861	1.368	551	beerntet	2.780
5	228	1.229	352	82	1.891
6	129	434	128	48	739
7	251	1.001	177	49	1.478
8	326	717	197	87	1.327
9	289	679	216	111	1.295
10	299	726	134	34	1.193
11	572	1.494	259	113	2.438
Summe	2.976	7.693	2.026	538	13.233

Tabelle 24: Käferfänge an verschiedenen Terminen in 2006 am Standort Offenbach/Queich

Fläche	Anzahl Käfer/Fläche in 2006			
Nr.	10.05.	01.06.	05.07.	Summe
1	2	61	5	68
2	11	22	25	58
3	21	43	0	64

Fläche	Anzahl Käfer/Fläche in 2006			
	Nr.	10.05.	01.06.	05.07.
4	341	657	1.226	2.224
5	670	567	1.257	2.494
6	32	162	223	417
7	121	330	640	1.091
8	150	242	39	431
9	79	153	561	793
10	212	128	596	936
11	501	670	655	1.826
Summe	2.140	3.035	5.227	10.402

Standort Köln-Auweiler

Bedingt durch den verspäteten Projektbeginn in 2004 wurden erst ab Juni zehn Pheromonfallen am Standort Köln-Auweiler in einem Transekt aufgestellt. Vier Fallen wurden mit dem Sexuallockstoff von *Agriotes obscurus*, weitere vier Fallen mit dem Lockstoff von *A. lineatus* und zwei mit dem Lockstoff von *A. ustulatus* bestückt. Zu 92% wurden Käfer der Art *Agriotes lineatus* mit insgesamt 556 Individuen abgefangen (Tabelle 25).

Der Verdacht lag nahe, dass die Hauptflugzeiten der beiden übrigen Schnellkäferarten schon vorbei waren. In den beiden Folgejahren wurden ab Mitte April Pheromonfallen aufgestellt. Die Zahl der *A. obscurus*-Individuen stieg um 30% an. Da auch im Boden vermehrt Larven der Schnellkäferart *A. obscurus* identifiziert wurden, wurden sowohl *Agriotes lineatus* als auch *A. obscurus* in den Folgejahren mit einem Kombinationspheromon abgefangen.

Tabelle 25: Summe der Käferfänge am Standort Köln-Auweiler zwischen dem 24.06.2004 und dem 12.08.2004

Schnellkäferart	Käferfänge in 2004	Anteil in %
<i>Agriotes lineatus</i>	556	92
<i>Agriotes obscurus</i>	38	7
<i>Agriotes ustulatus</i>	8	1

Der Käferflug verlief in dem zweimonatigen Fangzeitraum in drei Peaks, wobei die Peakhöhe immer ähnlich hoch lag (Tabelle 26). Die niedrigen Fangzahlen zwischen dem 01.07. und dem 15.07. und zwischen dem 22.07. und dem 29.07. sind vermutlich auf die Regenperioden in diesen Zeiträumen zurückzuführen.

Daraus könnte gefolgert werden, dass sich Schlechtwetterperioden auf die Fangzahlen von Pheromonfallen stark negativ auswirken. Es könnte aber auch sein,

dass Schnellkäfer in Schlechtwetterperioden weniger aktiv sind als bei trockenem und warmem Wetter.

Tabelle 26: Käferfänge dreier Schnellkäferarten an verschiedenen Terminen in 2004 am Standort Köln-Auweiler

Fallenleerung	Käferfänge verschiedener Schnellkäferarten			
	A. lineatus	A. obscurus	A. ustulatus	Summe
24.06.2004	84	7	1	92
01.07.2004	137	4	1	142
07.07.2004	33	0	1	34
15.07.2004	12	0	0	12
22.07.2004	124	2	1	127
29.07.2004	32	9	2	43
05.08.2004	117	13	2	132
12.08.2004	17	3	0	20
Summe	556	38	8	602

Die Fruchtfolgen der Versuchsflächen am Standort Köln-Auweiler stehen in Tabelle 27.

Tabelle 27: Fruchtfolgen der einzelnen Versuchsflächen am Standort Köln-Auweiler

Fläche		Fruchtfolge		
Nr.	Versuchsfläche	2004	2005	2006
1.1	Fruchtfolgeversuch 1	Kartoffeln	Sommerweizen	Möhren
1.2	Fruchtfolgeversuch 2	Winterweizen	Kartoffeln	Winterroggen
2	Metarhizium 2004/2006	Kartoffeln	Kleegrass	Kartoffeln
3	Untersaaten/Sorten 05	Leguminosen	Kartoffeln	Sommergerste
4	Lupinenachwirkung	Lupinen	Kartoffeln	Sommergerste
5	Metarhizium 05	Kleegrass	Kartoffeln	Sommergerste
6	Calendula-Tagetes 03	Kartoffeln	Winterungen	Sommergerste
7	Zwischenfruchtversuch 05	Ackerbohne	Wintergerste	Kartoffeln

Jeweils im Frühjahr und Herbst wurden einzelne Versuchsflächen am Standort Köln-Auweiler auf ihre Drahtwurmvorkommen untersucht. Es handelte sich hierbei um Flächen, auf denen im Projektzeitraum Kartoffeln gepflanzt wurden (Tabelle 28).

Tabelle 28: Drahtwurmaufsammlungen auf den Versuchsflächen in Köln-Auweiler; Ergebnisse aus jeweils 10 Bodenproben/Fläche/Termin. Dies entspricht jeweils der Anzahl Drahtwürmer je m².

Fläche	Anzahl Drahtwürmer je m ²					
	2004		2005		2006	
Nr.	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
1.1	7	4	2	5	6	4
1.2	8	6	5	3	5	4
2	5	25	7	1	0	1
3	-	-	8	1	4	2
4	-	-	1	0	0	0
5	-	-	2	1	0	1
6	12	10	4	2	3	2
7	-	-	-	-	6	4

In 2005 wurden die meisten Käfer/Falle auf Fläche Nr. 2 ausgezählt (Tabelle 29). Diese Fläche war eine langjährige Klee grasfläche, die eigens für den *Metarhizium*versuch in 2004 umgebrochen wurde. Hier wurde auch das Drahtwurmvorkommen mit sieben Larven/m² ermittelt (Tabelle 28). Es ist erwiesen, dass sich dort mehrere Generationen Schnellkäferlarven im Boden befinden. Dennoch lassen sich aus dem bisherigen geringen Datenumfang keine konkreten Wechselbeziehungen zwischen der Anzahl aufgesammlter Larven (Tabelle 28) und der Anzahl abgefangener Schnellkäfer (Tabelle 29) berechnen.

In 2006 wurden die meisten Käfer/Falle auf Fläche Nr. 5 ausgezählt. Auch auf dieser Fläche stand bis zum Frühjahr 2003 und im Jahr 2004 Klee gras.

Tabelle 29: Durchschnittliche Käferfänge/Pheromonfalle auf den Versuchsflächen in Köln-Auweiler, 2005 und 2006

Fläche	Anzahl Fallen	Käfer/Falle	
		2005	2006
Nr.			
1	4	95	379
2	1	174	336
3	1	103	500
4	1	56	160
5	1	111	711
6	2	92	436

Am Standort Köln-Auweiler wurden in 2006 viermal mehr Käfermännchen über die Pheromonfallen angelockt als in 2005. Dies steht im Gegensatz zu den Fangergebnissen am Standort Offenbach/Queich. Auch die zeitliche Verteilung der Käferfänge verhält sich gegensätzlich zum Standort Offenbach/Queich. In Köln-Auweiler wurden zwischen Mitte Mai und Anfang Juni in beiden Jahren die meisten Käfer abgefangen. Bis Anfang Juni waren es 72 % aller in 2005 abgefangenen Käfer, im selben Zeitraum 2006 waren es 62 %. Bis Ende Juni 2006 wurden 99 % aller am Standort angelockten Käfer erfasst.

Auf Fläche Nr. 1 wurden in beiden Jahren die meisten Käfer/Fläche angelockt (Tabelle 30, Tabelle 31). Es handelte sich in beiden Jahren um die einjährige Klee grasfläche des Fruchtfolgeversuches. Es gilt zu überprüfen, ob Klee gras ein geeigneter Paarungsort für Schnellkäfer ist. Im Zeitraum des höchsten Käferaufkommens waren die Bestände zwischen 20 und 30 cm hoch. Nach Literaturangaben sind dies auch die geeignetsten Eiablageplätze, da sie meist ungestört, dicht bewachsen und daher bodenfeucht sind (Parker & Howard, 2001). Schnellkäferpaarungen konnten im Freiland bisher nicht beobachtet werden.

Tabelle 30: Käferfänge an verschiedenen Terminen in 2005 am Standort Köln-Auweiler

Nr.	Anzahl Käfer/Fläche in 2005					
	12.05.	01.06.	15.06.	13.07.	11.08.	Summe
1	103	188	39	26	25	381
2	58	70	21	18	7	174
3	27	34	6	10	26	103
4	16	31	4	5	6	62
5	47	47	4	13	7	118
6	55	57	27	25	19	183
Summe	306	427	101	97	90	1.021

Tabelle 31: Käferfänge an verschiedenen Terminen in 2006 am Standort Köln-Auweiler

Nr.	Anzahl Käfer/Fläche in 2006				Summe
	09.05.	01.06.	29.06.	25.07.	
1	132	974	386	22	1.514
2	15	117	198	6	336
3	21	223	250	6	500
4	31	92	32	5	160
5	68	480	150	13	711
6	34	365	469	4	872
Summe	301	2.251	1.485	56	4.093

Standorte Minden-Haddenhausen, Düren und Wachtberg-Niederbachem

Am Standort Minden-Haddenhausen sollten im Frühjahr 2006 nach mehrjährigem Klee-grasanbau Kartoffeln angebaut werden. Daher wurden im Frühjahr 2005 auf einem Teil der Fläche ab Anfang Mai fünf Pheromonfallen aufgestellt. Am 09. Juni wurden in allen Fallen 3.422 Käfer gezählt, was 684 Käfern/Falle entspricht (Tabelle 32). Anfang Juni waren auf dieser Fläche bereits 83 % aller in diesem Jahr gefangenen Käfer angelockt, 14 Tage später schon 90 %.

Aufgrund dieses hohen Käferaufkommens entschloss sich der Landwirt gegen einen Kartoffelanbau auf dieser Fläche in 2006.

2006 wurden auf dieser Fläche keine Pheromonfallen aufgestellt, dafür wurde im Frühjahr und Herbst das Drahtwurmaufkommen ermittelt. Es stellte sich heraus, dass der Drahtwurmbesatz auf dem Teil der Fläche, auf dem im Vorjahr Pheromonfallen standen, deutlich geringer war (Tabelle 33). Möglicherweise ist dieses Ergebnis auf die Pheromonfallen zurückzuführen, da die Larven der Vergleichsfläche Junglarven waren. Dieser Tatbestand sollte über die nächsten fünf Jahre kontinuierlich kontrolliert werden, um eine abgesicherte Aussage über die Wirkung von Pheromonfallen treffen zu können.

Die Käfer auf den Flächen der Standorte Düren und Wachtberg wurden über den gesamten Fangzeitraum nur im zweistelligen Bereich abgefangen (Tabelle 32). Die Drahtwurmaufsammlungen im Frühjahr lagen mit 20 bzw. 17 Larven/m² sehr hoch (Tabelle 12).

Tabelle 32: Durchschnittliche Käferfänge/Pheromonfalle auf potentiellen Kartoffelflächen verschiedener Standorte; 2005

Standort	Käfer/Falle 2005				
	11.05.	01.06.	18.06.	16.07.	13.08.
Minden	253	684	79	105	13
Düren	23	64	15	33	4
Wachtberg	8	20	7	10	0

Tabelle 33: Drahtwurmaufsammlungen auf der Versuchsfläche in Minden; die Ergebnisse resultieren aus jeweils 10 Bodenproben je Fläche und Termin. Dies entspricht jeweils der Anzahl Drahtwürmer je m²

Standort	2006			
	Frühjahr		Herbst	
	+ Falle	- Falle	+ Falle	- Falle
Minden	2	13	0	6

3.1.1.3 Zusammenfassung Monitoring

Drahtwürmer

- Hauptsächlich kommt auf den untersuchten Flächen die Gattung *Agriotes* vor. Sie ist durch die beiden Arten *A. lineatus* und *A. obscurus* vertreten.
- Das Frühjahr eignet sich für ein Drahtwurmmonitoring am besten; im Herbst wurden weniger Drahtwürmer je Fläche aufgesammelt.
- Drahtwürmer sind im Boden ungleichmäßig verteilt.
- Köderfallen zeigten gute Lockwirkungen auf Drahtwürmer. Die Lockenwicklerfalle eignet sich für einen Praxiseinsatz am besten.
- Zum Teil wurden in Köderfallen mehr Drahtwürmer ausgezählt als in zufälligen Bodenproben.
- Zum Teil konnten Beziehungen zwischen dem Drahtwurmbesatz einer Fläche und dem eingetretenen Schaden hergestellt werden.

Käfer

- Zwischen 2004 und 2006 wurden mit insgesamt 115 Fallen 35.000 Käfer angelockt.
- Die Höhe des Käferflugs schwankt von Jahr zu Jahr; möglicherweise sind diese Unterschiede in der Populationsdynamik (biotischer Faktor) begründet und vom Wetter abhängig (abiotischer Faktor).
- Die Anzahl abgefangener Käfer ist flächen- und/oder kulturabhängig.
- Der Käferflug unterliegt einer Jahresrhythmik: Die Flugaktivität ist zwischen Mitte Mai und Ende Juni am höchsten.

- Wechselwirkungen zwischen der Anzahl Drahtwürmer im Boden und den abgefangenen Käfern waren noch nicht abzuleiten.
- Eine Prognose für Schäden ist noch nicht ableitbar.

3.1.2 Indirekte Regulierungsmaßnahmen (Teilprojekte A und B)

In der Literatur werden verschiedene Anbaukulturen beschrieben, die Drahtwürmer anlocken, abschrecken oder gar reduzieren sollen. Die Mechanismen sind erstens in einer erhöhten Wurzelatmung der Pflanzen begründet. Kohlendioxid wird freigesetzt, der eine anlockende Wirkung auf Drahtwürmer hat. Zweitens sind sie in toxischen Inhaltsstoffen der Wurzeln begründet, die auf Insektenlarven eine tödliche Fraßwirkung haben. Zu dieser Pflanzengruppe zählen Vertreter aus der Familie der Schmetterlingsblütler, Kreuzblütler und Korbblütler.

3.1.2.1 Labor- und Halbfreilandversuche (Teilprojekt B)

An der Biologischen Bundesanstalt in Braunschweig wurden über drei Jahre Labor- und Halbfreilandversuche zur Nahrungseffizienz und zur Nahrungswahl von Schnellkäferlarven durchgeführt. Über drei Jahre wurden in Freilandversuchen verschiedene Untersaaten auf ihre Wirkung gegen Drahtwürmer getestet.

3.1.2.1.1 Nahrungseffizienz – Laborversuche (Teilprojekt B)

Im Labor wurde die größte Gewichtszunahme im Vergleich zur Kontrolle ohne Nahrungspflanzen bei den Larven festgestellt, die sich vier Wochen von den Wurzeln der Phacelia und den Leguminosen, besonders der Ackerbohne, ernährt hatten. Ebenfalls sehr hohe Zuwachsraten waren bei den Larven im Raps und in den Getreidearten zu verzeichnen. Sehr gering war die Gewichtszunahme dagegen außer bei Larven der Kontrollansätze auch bei Larven, die in Töpfen mit Gelbsenf, Ölrettich oder der Kartoffel gehalten wurden (Tabelle 34).

In den Versuchen 2 und 3 kam es außerdem zu Verpuppungen von einigen Elateridenlarven. Im Versuch 2 war die Zahl der Verpuppungen in Varianten mit hohen Zuwachsraten größer als in Varianten mit geringem Larvenzuwachs. Möglicherweise ist die schnellere Entwicklung dieser Larven ebenfalls ein Hinweis auf die höhere Effizienz der Nahrung. In Versuch 3 war der Anteil der Puppen zu gering, um Unterschiede erkennen zu lassen.

Tabelle 34: Gewichtszunahme (%), relative Gewichtszunahme im Vergleich zur Kontrolle (%) (und zur Kartoffel in Versuch 1) und Anzahl wieder gefundener Larven von *Agriotes* spp. nach vierwöchiger Versuchsdauer in den einzelnen Varianten in 5 Laborversuchen. Außerdem angegeben: Anzahl der Puppen, der toten Larven und der Verluste. Einsatz von 12 Larven je Variante bei Versuchsbeginn.

Vers. 1 (Juni '04)	Ackerbohne	Weizen	Ringelblume	Kontrolle	Kartoffel
Zuwachs %	11,7	10,1	6,1	3,1	2,7
rel. Zuwachs %	377,4	325,8	196,8	100	87,1
rel. Zuwachs %	433,3	374,1	225,9	114,8	100
Anzahl Larven	10	11	10	10	11
Verluste/ tote L.	2/ 0	1/ 0	1/ 1	2/ 0	1/ 0

Vers. 2 (Aug. '04)	Lupine	Sonnenblume	Mais	Gelbsenf	Kontrolle	Ölrettich
Zuwachs %	49,1	33,7	31,4	22,4	21,9	19,7
rel. Zuw. %	224,2	153,9	143,4	102,3	100	90,0
Anzahl Larven	7	8	8	8	9	11
Verluste/ Puppen	0/ 5	1/ 3	0/ 4	1/ 3	1/ 2	0/ 1

Vers. 3 (Sept. '04)	Erbse	Tagetes	Gerste	Färberwaid	Kontrolle
Zuwachs %	43,7	25,8	25,2	20,8	16
rel. Zuwachs %	273,1	161,3	157,5	130,0	100
Anzahl Larven	10	9	10	11	10
Verluste / Puppen	1/ 1	2/ 1	1/ 1	0/1	1/ 1

Vers. 4 (Nov. '04)	Phacelia	Raps	Schwarzer Senf	Buchweizen	Lein	Kontrolle
Zuwachs %	12,0	8,2	7,2	6,4	5,7	3,3
rel. Zuwachs %	363,6	248,5	218,2	193,9	172,7	100
Anzahl Larven	12	11	12	11	9	10
Verluste	0	1	0	1	3	2

Vers. 5 (Feb. '05)	S.-Gerste	W.-Weizen	Hafer	Mais	Roggen	Kontrolle
Zuwachs %	18,3	18,2	18,2	15,8	15,6	7,7
rel. Zuwachs %	238,5	237,2	236,8	206,5	203,0	100
Anzahl Larven	8	12	12	12	12	9
Verluste	4	0	0	0	0	3

Vier Wochen wurden *Agriotes*-Larven a) jungen und b) älteren Kulturpflanzen zugesetzt. Die Larven nahmen in Jungpflanzenkulturen deutlich mehr an Gewicht zu als in den Altpflanzenkulturen (Tabelle 35). Insgesamt wurde die größte Gewichtszunahme bei den Larven festgestellt, die in den beiden Kartoffelvarianten gehalten wurden.

Tabelle 35: Larvenwachstum bei Aufzucht der Larven an Jung- und Altpflanzen verschiedener Kulturen. Gewichtszunahme (%) und relative Gewichtszunahme im Vergleich zur Kontrolle (%) und Anzahl wieder gefundener Larven von *Agriotes* spp. nach vierwöchiger Versuchsdauer in einem Laborversuch im Aug. '06. Außerdem angegeben: Anzahl der Puppen und der Verluste. Einsatz von 12 Larven je Variante bei Versuchsbeginn.

Jungpflanzen, BBCH:	Kartoffel 12 - 43	Ackerbohne 14 - 51	S.-Weizen 10 - 50	Kontrolle
Zuwachs %	24,2	6,9	11,0	0,8
rel. Zuwachs %	3025,0	862,5	1000	100
Anzahl Larven	9	9	10	8
Verluste / Puppen	0 / 3	1 / 2	0 / 2	2 / 2

Altpflanzen, BBCH:	Kartoffel 43 - 60	Ackerbohne 61 - 79	S.-Weizen 60 - 80	Kontrolle
Zuwachs %	13,8	5,9	2,2	1,1
rel. Zuwachs %	1254,5	536,4	275,0	100
Anzahl Larven	10	10	12	11
Verluste / Puppen	0 / 2	2 / 0	0 / 0	0 / 1

3.1.2.1.2 Nahrungseffizienz – Halbfreilandversuche (Teilprojekt B)

Auf Grund der großen Anzahl von Verpuppungen und geschlüpften Käfern, sowie der relativ großen Anzahl nicht wieder gefundener Larven (Verluste) im 1. Halbfreilandversuch standen für die Berechnung der Gewichtszunahme nur noch ein bis zwei Drittel der eingesetzten Larven zur Verfügung. Da hierdurch die Zuordnung der Larvenendgewichte zu deren Anfangsgewichten oft problematisch war, sind die Ergebnisse mit einem Unsicherheitsfaktor behaftet. 2005 und 2006 wurden in diesen Versuchen daher nur noch 2 anstatt 3 Larven/ Topf eingesetzt, dafür aber die Zahl der Wiederholungen auf 8 Töpfe/Variante erhöht.

Unter Halbfreilandbedingungen wurden in den Versuchen 1 und 2, evtl. auf Grund einer doppelt so langen Versuchszeit, deutlich größere Gewichtszunahmen bei den Larven festgestellt als im Labor (Tabelle 36). In den Versuchen 3 und 4 waren die Gewichtszunahmen dagegen nicht höher als im Labor; dies lag möglicherweise an der Jahreszeit, in der die Versuche durchgeführt wurden. Zudem waren die Temperaturen niedriger als bei den Versuchen 1 und 2.

Tabelle 36: Gewichtszunahme (%) und Anzahl wieder gefundener Larven von *Agriotes* spp. in den einzelnen Varianten in 4 Halbfreilandversuchen von 7,5 bis 10 Wochen Dauer. Zusätzlich ist die Anzahl der Puppen, der Käfer, der toten Larven und der Verluste je Variante angegeben. Bei Versuchsbeginn wurden im 1. Versuch 18 Larven, im 2. Versuch 6 Larven, im 3. und 4. Versuch 16 Larven / Variante eingesetzt.

Versuch 1: 18 Larven 16.6. - 25.8.04 (10 Wochen)	Weizen	Ringelblume	Kartoffel	Ackerbohne
Zuwachs %	80,0	60,4	57,8	35,6
rel. Zuwachs %	138,4	104,5	100	61,6
Anzahl Larven	7	7	12	7
Verluste/ Puppen	5/ 6	5/ 5	2/ 3	5/ 4
Käfer	0	1	1	2

Versuch 2: 6 Larven 2.9. – 27.10.04 (8 Wochen)	Mais	Kartoffel	Lupine	Gelbsenf	Ölrettich	Sonnenblume
Zuwachs %	89,8	46,7	35,6	21,5	20,2	17,8
rel. Zuwachs %	192,3	100	76,2	46,0	43,3	38,1
Anzahl Larven	4	4	4	3	4	3
Verluste/ Puppen	0/ 1	2/ 0	0/ 2	0/ 2	0/ 2	0/ 3
Tote Larven	1	0	0	1	0	0

Versuch 3: 16 Larven 12.5. – 11.7.05 (8 Wochen)	W.-Gerste	Erbse	Kartoffel	S.-Gerste	Raps	W.-Roggen	Hafer	S.-Weizen	W.-Weizen
Zuwachs %	23,5	19	17,9	12,7	9,6	9,2	9,2	7,8	6,4
rel. Zuwachs %	131,3	106,1	100	70,9	53,6	51,4	51,4	43,6	35,8
Anzahl Larven	12	15	15	15	16	15	16	15	16
Verluste	4	1	1	1	0	1	0	1	0

Versuch 4: 16 Larven 26.5. – 17.7.06 (7,5 Wochen)	Mais	Erbse	W.-Gerste	Kartoffel	Phacelia	Ackerbohne	W.-Weizen	Tagetes
Zuwachs %	27,3	24,0	17,3	15,4	8,8	8,1	5,4	3,6
rel. Zuwachs %	177,3	155,8	112,3	100	57,1	52,6	35,1	23,4
Anzahl Larven	14	13	13	11	11	10	10	7
Verluste/ Puppen	1/ 1	2/ 0	3/ 0	5/ 0	5/ 0	5/ 0	6/ 0	8/ 0
Tote Larven	0	1	0	0	0	1	0	1

Im Halbfreiland bestätigte sich die im Labor beobachtete Wirkung der untersuchten Pflanzen auf die Gewichtszunahme der Larven nur teilweise. Larven, die in der Maisvariante gehalten wurden, nahmen am meisten zu. Die Kartoffel bewirkte im Vergleich zu den anderen Kulturpflanzen eines Versuchsansatzes eine mittlere Gewichtszunahme bei den Larven. Die Ergebnisse sind auf Grund der Verluste und der aufgetretenen Puppen und Käfer nur schwer interpretierbar. So traten z.B. im

Versuch 1 sechs Puppen und Käfer in der Ackerbohne auf, so dass für diese Tiere kein Zuwachs berechnet werden konnte.

3.1.2.1.3 Nahrungswahl – Laborversuche (Teilprojekt B)

Von insgesamt 224 Larven befanden sich 2005 24 Stunden nach Versuchsbeginn 65 % innerhalb der Pflanzkörbe. Die übrigen Larven wurden außerhalb der Körbe gefunden, zum Teil in der Mitte des Topfes (9 %), wo sie freigelassen worden waren. Lupine, Erbse und Raps wurden in den Pflanzkombinationen 1 bis 3 jeweils am häufigsten von den Larven aufgesucht (Tabelle 37). Im Wurzelbereich dieser 3 Pflanzen wurden zwei- bis fünfmal so viele Larven wie in den Pflanzkörben der Kartoffel angetroffen. Die Häufigkeit, mit der die Wurzeln und Knollen der Kartoffelpflanzen aufgesucht wurden, scheint etwas größer zu sein als die, mit der noch nicht gekeimte Kartoffeln von Larven ausgewählt wurden.

Tabelle 37: Nahrungswahlversuche. Anteil der Larven im Wurzelbereich von je 4 Kulturpflanzen in % der Larvenzahl, die sich 24 Stunden nach Versuchsbeginn im Wurzelbereich aller Testpflanzen befanden. 2005 wurden die Kombinationen 1 bis 3, 2006 die Kombinationen 4 bis 7 getestet.

Kombination 1	Lupine	Mais	Sonnenblume	Kart.pflanze
4 Versuche, je 7-8 WH; von 31 DW waren 15 = 100% in Pflanzkörben	40,0	33,3	13,3	13,3
Kombination 2a	Erbse	Gerste	Tagetes	Kart.pflanze
8 Versuche, je 4-8 WH; von 103 DW waren 66 = 100% in Pflanzkörben	47,0	21,2	10,6	21,2
Kombination 2b	Erbse	Gerste	Tagetes	Kart.knolle
3 Versuche, je 6 WH; von 36 DW waren 27 = 100% in Pflanzkörben	37,0	18,5	25,9	18,5
Kombination 3	Raps	Buchweizen	Lein	Kart.knolle
6 Versuche, je 4-7 WH; von 54 DW waren 37 = 100% in Pflanzkörben	45,9	29,7	16,2	8,1
Kombination 4	Ackerbohne	Lupine	Erbse	Kart.knolle
3 Versuche, je 6-9 WH; von 22 DW waren 5 = 100% in Pflanzkörben	100	0	0	0
Kombination 5	W.-Weizen	W.-Gerste	S.-Gerste	Kart.knolle
3 Versuche, je 6-8 WH; von 20 DW waren 6 = 100% in Pflanzkörben	50	16,7	16,7	16,7

Kombination 6	Ackerbohne	Phacelia	W.-Weizen	Kart.pflanze
2 Versuche, je 9-10 WH; von 19 DW waren 12 = 100% in Pflanzkörben	33,3	25	25	16,7
Kombination 7	W.-Weizen	Ackerbohne	Ringelblume	Kart.knolle
1 Versuch, 12 WH; von 24 DW waren 10 = 100% in Pflanzkörben	40	30	30	0

2006 befanden sich 24 Stunden nach Versuchsbeginn von insgesamt 85 Larven nur 39% innerhalb der Pflanzkörbe. 25 % der Larven wurden außerhalb der Pflanzkörbe, 36% sogar an ihrem Freilassungsort in der Mitte der Töpfe wieder gefunden. In den 2006 durchgeführten Versuchen 4 bis 7 (Tabelle 37) suchten die Drahtwürmer bevorzugt die Wurzeln von Ackerbohne und Winterweizen auf. Die Kartoffel gehörte wie in 2005 zu den Pflanzen, in deren Umfeld die wenigsten Drahtwürmer gefunden wurden.

3.1.2.2 Freilandversuche (Teilprojekte A und B)

Die Kenntnisse zu verschiedenen Abwehrmechanismen einzelner Kulturen basieren ausschließlich auf Laborversuchen unter kontrollierten Bedingungen. Ob sich auch im Freiland die Wirkungsweisen dieser Fang- oder Feindpflanzen entfalten können, wurde in den vergangenen Jahren auf Versuchsflächen der Landwirtschaftskammer NRW und auf Praxis schlägen überprüft. Hierzu wurden Versuche zu Vorfrüchten, Zwischenfrüchten und Untersaaten angelegt und ausgewertet.

3.1.2.2.1 Langjährige Fruchtfolgeversuche (Teilprojekt A)

1998 wurden zwei Fruchtfolgeversuche am Standort Köln-Auweiler angelegt, die jeweils fünfgliedrig sind (Tabelle 3). Ab der Ernte 1999 traten starke Qualitätsverluste auf, die durch Drahtwurmfraß bedingt waren. Dabei waren die Einbußen in Fruchtfolge 2 bis auf das Versuchsjahr 2003 immer deutlich höher als in Fruchtfolge 1 (Abbildung 6). Grund hierfür dürfte mit großer Wahrscheinlichkeit das Fruchtfolgeglied Klee gras sein, das über eine Vegetationsperiode angebaut wurde und wird. Diese Fläche wird im Jahresverlauf zwei- bis dreimal gemulcht, aber sonst nicht weiter bearbeitet.

Anders in Fruchtfolge 1, in der der Stickstofflieferant für das gesamte System die Zwischenfrucht Winterwicke nach Ackerbohnen darstellt. Ackerbohnen werden mehrmals gehackt, ebenso der nachfolgende Weißkohl, was die Drahtwurmpopulation einer Fläche möglicherweise negativ beeinflusst.

In Fruchtfolge 2 wird hingegen nur das zweite Fruchtfolgeglied Sellerie gehackt.

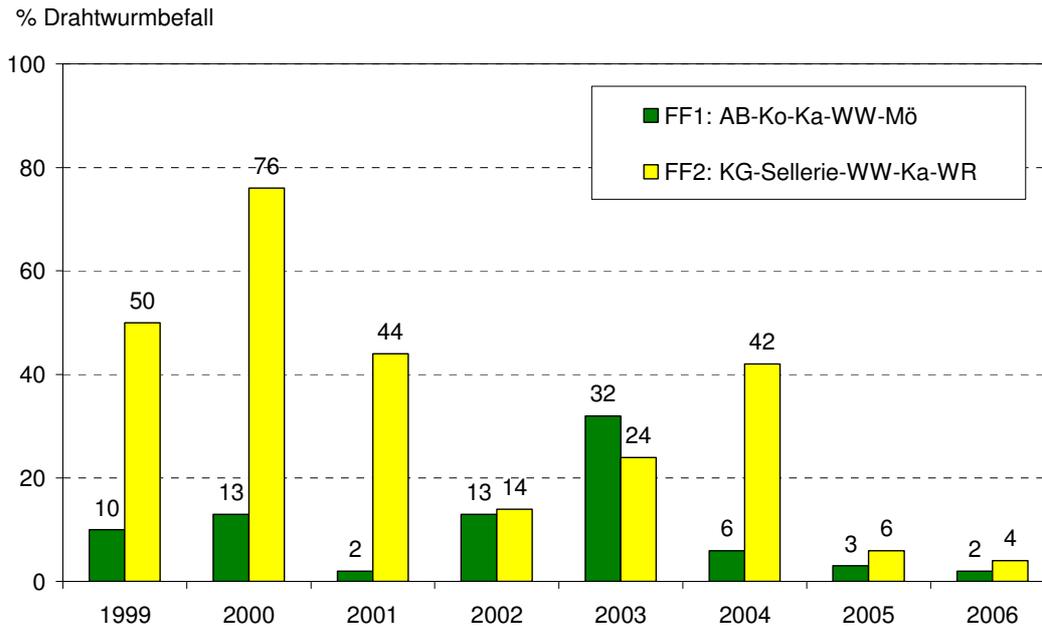


Abbildung 6: Fruchtfolgeversuch in Köln-Auweiler seit 1998; Drahtwurmbefall der Kartoffeln in den einzelnen Versuchsjahren, Boniturergebnisse; FF1=Fruchtfolge 1, AB= Ackerbohne, Ko=Kohl, Ka=Kartoffel, WW=Winterweizen, Mö=Möhre, FF2=Fruchtfolge 2, KG=Klee gras, WR=Winterroggen

3.1.2.2.2 Vorfrüchte (Teilprojekt A)

Am Standort Köln-Auweiler wurde der Frage nachgegangen, wie sich einzelne Vorfrüchte auf den Drahtwurmbefall an der Folgekultur Kartoffeln auswirken. Verschieden Versuche wurden angelegt und ausgewertet.

Mehrjähriges Klee gras, Calendula-Tagetes, Sommerweizen

Auf einer Fläche mit mehrjährigem Klee gras wurden 2003 in Köln-Auweiler zum ersten Mal Kartoffeln angebaut und auf Drahtwurmfraß bonitiert. Die Kartoffelknollen waren mit durchschnittlich 51 % geschädigt. Die Werte bewegten sich parzellenabhängig zwischen 32 und 76 % (Abbildung 7). Die großen Schwankungen deuten auf eine unregelmäßige Verteilung der Drahtwürmer innerhalb der Versuchsfläche hin.

Drahtwurmbefall in %

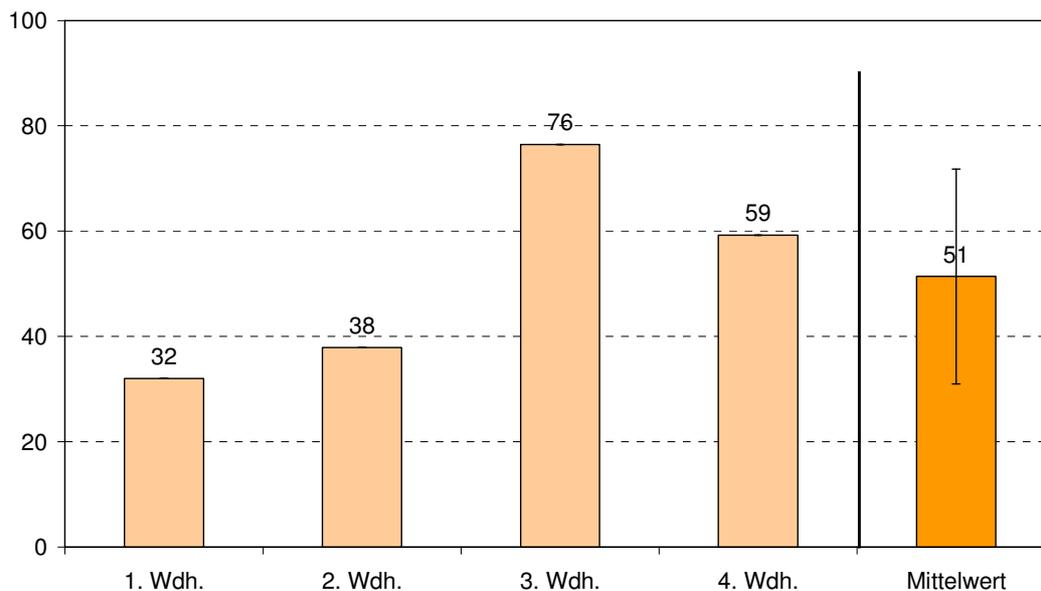


Abbildung 7: Drahtwurmfraß an Kartoffeln nach mehrjährigem Klee gras als Vorfrucht auf vier Parzellen, 2003

2003 wurde eine langjährige Klee grasfläche teilweise umgebrochen. Auf jeweils vier Parzellen standen Kartoffeln, ein Calendula-Tagetes-Gemenge, mehrjähriges Klee gras und Sommerweizen als Referenzfrucht. *Calendula officinalis* wird eine phytosanitäre Wirkung zugeschrieben, ebenso *Tagetes patula*. Daher wurden diese beiden Kulturen im Gemenge angebaut (Abbildung 3). Im Folgejahr standen Kartoffeln auf der Fläche, um die Wirkung der Vorfrüchte auf den Drahtwurmfraß zu bestimmen. Die niedrigsten Qualitätsmängel an Kartoffeln wurden nach der Vorfrucht Kartoffel mit 8% bonitiert, was möglicherweise mit der im Kartoffelbau üblichen Bodenbearbeitung zusammenhängt (Abbildung 8). Nach Calendula-Tagetes lag der Qualitätsverlust durch Drahtwurmfraß bei 11 % und nach Sommerweizen bei 33 % (Abbildung 8). Wurden Kartoffeln direkt nach mehrjährigem Klee gras angebaut, lag der Anteil aussortierter Knollen bei 35% (Abbildung 8). Dieser Wert liegt tendenziell niedriger als 2003 (Abbildung 7), ist aber für einen Qualitätskartoffelanbau deutlich zu hoch.

Folgende Schlussfolgerungen können gezogen werden:

- Die Fraßaktivitäten der Schnellkäferlarven sind jahresabhängig. Dies kann sowohl in klimatischen Faktoren begründet sein als auch an der Populationsrhythmik der Schnellkäfer liegen.
- Kartoffelbau nach mehrjährigem Klee gras kann nicht empfohlen werden.

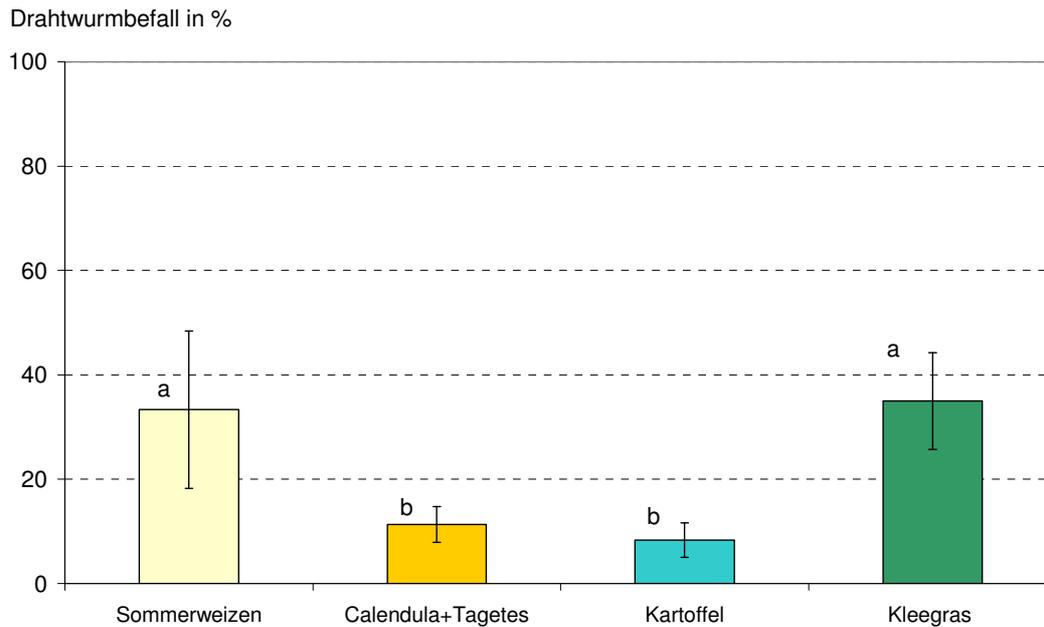


Abbildung 8: Drahtwurmfraß an Kartoffeln nach den Vorfrüchten Sommerweizen, Calendula-Tagetes, Kartoffeln, Klee gras in 2002 und Klee gras in 2003; Signifikanzen

Ackerbohnen, Körnererbsen, Buschbohnen und Klee gras

Von 2002 bis 2004 standen jeweils vor Kartoffeln Ackerbohnen, Körnererbsen, Buschbohnen, Grünbrache, bestehend aus Klee und die Referenzfrucht Sommerweizen.

In allen Versuchsjahren waren die Fraßschäden an Kartoffeln nach Sommerweizen am höchsten (Abbildung 9). Wurden Kartoffeln nach einer Grünbrache angebaut, so lagen die drahtwurmbedingten Ausfälle bei 55% bzw. 20% in den Versuchsjahren 2003 und 2004. Nach den Leguminosen Ackerbohnen, Körnererbsen und Buschbohnen lag der Anteil aussortierter Ware zwischen 1% und 11% (Abbildung 9). Diese drei Vorfrüchte wurden gehackt, was sich auf die Drahtwurmpopulation im Boden negativ ausgewirkt haben könnte. Sei es dadurch, dass die Tiere mechanisch verletzt wurden oder dadurch, und das ist wahrscheinlicher, dass die Bodenbearbeitung den Boden austrocknete und damit die Drahtwürmer indirekt schädigte.

Drahtwurmbefall in %

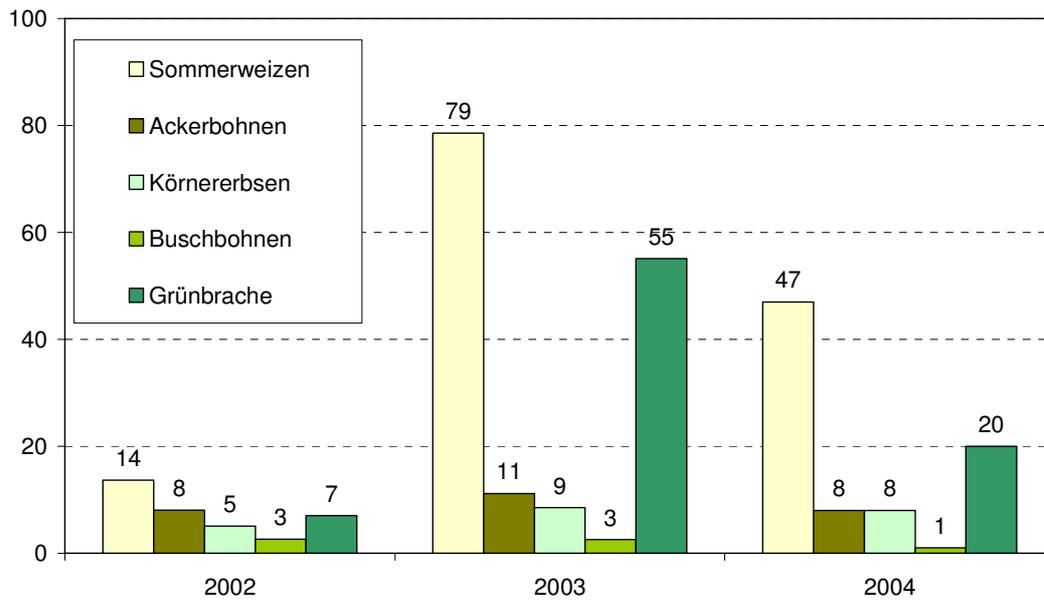


Abbildung 9: Drahtwurmfraß an Kartoffeln; Anbau verschiedener Leguminosen vor Kartoffeln, Referenzfrucht Sommerweizen; Boniturergebnisse

Ackerbohnen, blaue und weiße Lupinen

In 2005 wurden Kartoffeln nach Ackerbohnen, zwei Sorten Blauen Lupinen und einer Sorte Weißer Lupinen angebaut. Referenzfrucht war Sommerweizen. Unterschiede im Drahtwurmbefall wurden in den einzelnen Varianten nicht festgestellt. Der drahtwurmbedingte Ausfall lag nach allen fünf Vorfrüchten zwischen 8 % und 16 %. Dagegen wurde der durch *Rhizoctonia* (Dry Core) verursachte Schaden zwischen 30 % und 34 % beziffert (Abbildung 10). Dieses Ergebnis widerlegt die These, dass *Rhizoctonia*- und Drahtwurmbefall eng miteinander korrelieren.

% Drahtwurmbefall

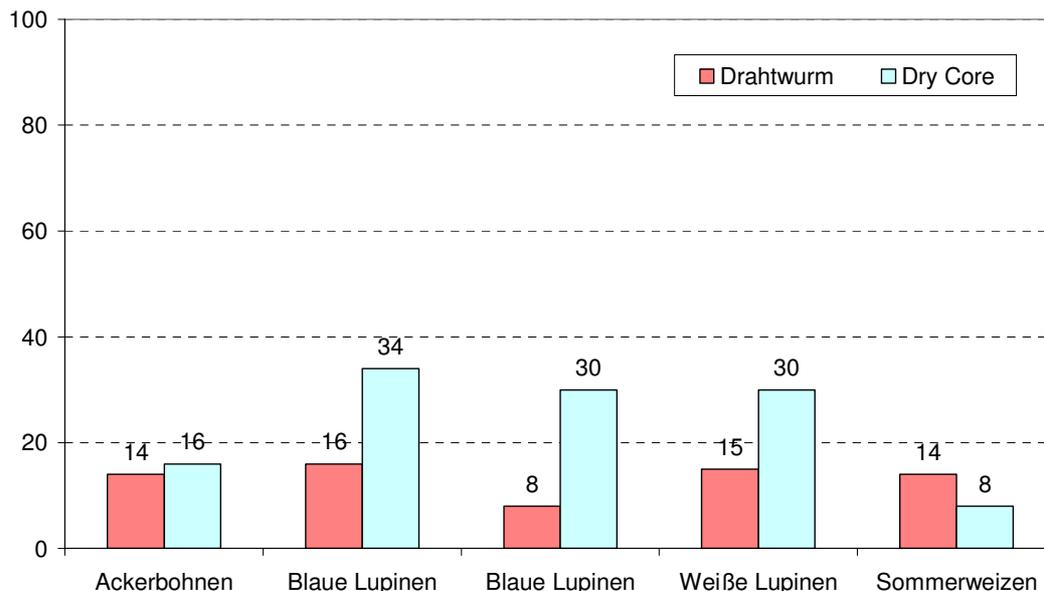


Abbildung 10: Drahtwurmfraß an Kartoffeln; Anbau von Ackerbohne und Lupinen vor Kartoffeln, Sommerweizen als Referenzfrucht; Boniturergebnisse

3.1.2.2.3 Zwischenfrüchte (Teilprojek A)

Standort Köln-Auweiler

Am Standort Köln-Auweiler wurden im August 2005 verschiedene Zwischenfrüchte angebaut. Versuch wurde in einer Blockanlage mit jeweils 4 Wiederholungen angelegt. Im Folgejahr standen auf diesen Flächen Kartoffeln. Im Abstand von 14 Tagen wurden die Versuchspartellen zwei Mal beerntet. Am ersten Boniturtermin Ende August konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der Kontrolle Schwarzbrache und der Variante Perserklee festgestellt werden. Die zweite Bonitur 14 Tage später konnte diesen Unterschied nicht mehr bestätigen. Insgesamt lagen jedoch die drahtwumbedingten Schäden an Kartoffeln nach dem Zwischenfruchtanbau mit Werten zwischen 3 % und 7 % sehr niedrig (Abbildung 11).

% Drahtwurmbefall

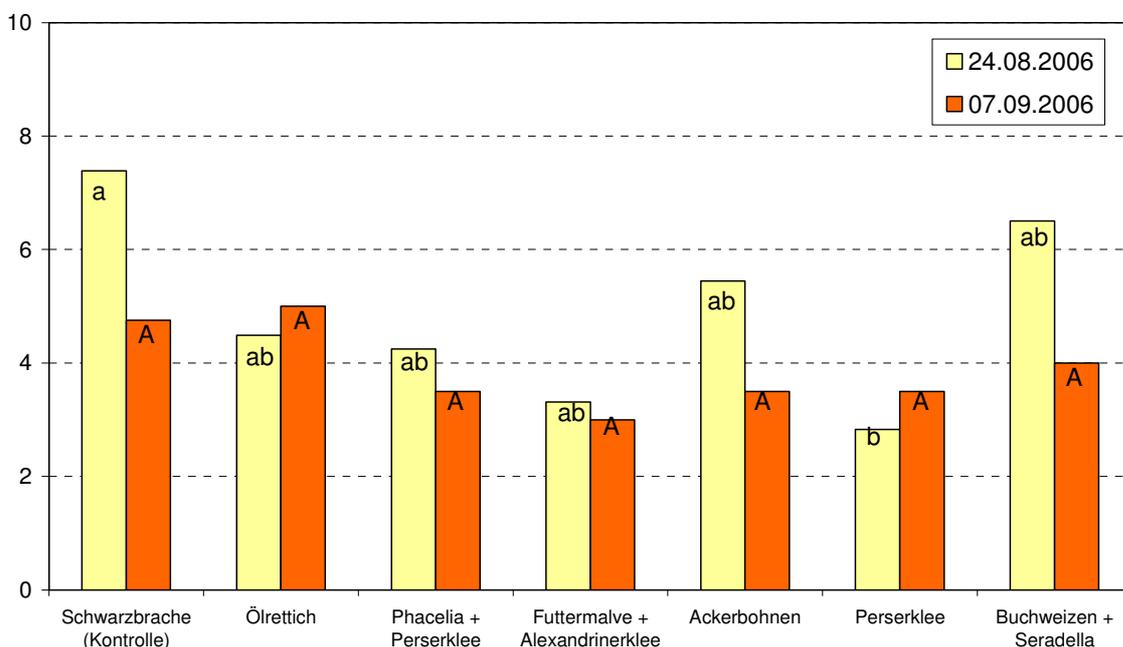


Abbildung 11: Drahtwurmfraß an Kartoffeln; Anbau verschiedener Zwischenfrüchte vor Kartoffeln am Standort Köln-Auweiler; Boniturergebnisse und Signifikanzniveaus; 2 Ernten. 1. Ernte: 24.08.2006; 2. Ernte: 07.09.2006

In Abbildung 12 und Abbildung 13 sind die Boniturergebnisse der einzelnen Versuchspartellen farblich dargestellt, um die Verteilung der Drahtwürmer im Boden sichtbar zu machen. Die Farben sind wie folgt definiert:

Weiß = drahtwurminaktive Zonen

Grün = drahtwurmaktive Zonen

Rot: sehr stark drahtwurmaktive Zonen

Die grauen Zonen wurden vom ersten zum zweiten Erntetermin weniger, was auf eine geringere Drahtwurmaktivität im Boden schließen lässt. Die Drahtwurmschäden fielen beim ersten Termin höher aus als beim zweiten Termin, was sehr untypisch ist. Nach Literaturangaben und eigenen Untersuchungen ist ab Ende August eine stetige Zunahme des Drahtwurmbefalls zu beobachten (Abbildung 18).

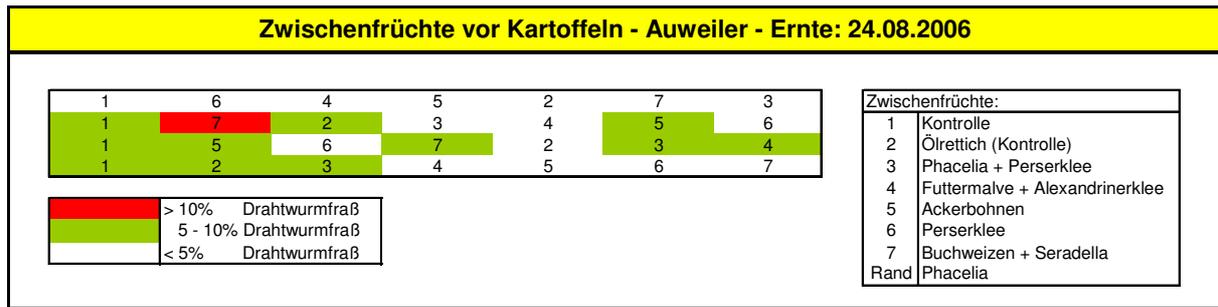


Abbildung 12: Drahtwurmfraß an Kartoffeln in den einzelnen Versuchspartellen, Boniturergebnisse: 1. Erntetermin am 24.08.2006, Standort Köln-Auweiler; weiß: <5% Drahtwurmfraß; grau: 5 – 10 % Drahtwurmfraß; schwarz: > 10 % Drahtwurmfraß, Ziffern = verschiedene Kulturen

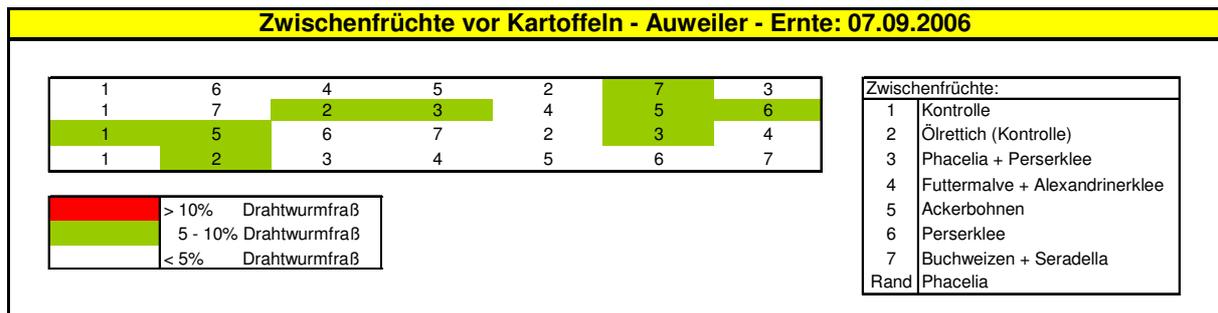


Abbildung 13: Drahtwurmfraß an Kartoffeln in den einzelnen Versuchspartellen, Boniturergebnisse: 2. Erntetermin am 07.09.2006 Standort Köln-Auweiler; weiß: <5% Drahtwurmfraß; grau: 5 – 10 % Drahtwurmfraß; schwarz: > 10 % Drahtwurmfraß; Ziffern = verschiedene Kulturen

Standort Offenbach an der Queich

In Offenbach/Queich wurden in 2005 ebenfalls Zwischenfrüchte angebaut. Diese standen im Gegensatz zu Köln-Auweiler in Reinsaat. Die Bonitur der Folgefrucht Kartoffel ergab keine drahtwurmbedingten Qualitätsunterschiede zwischen den einzelnen Varianten (Abbildung 14).

Wie auch am Standort Köln-Auweiler (Abbildung 11) fielen die Fraßschäden mit maximal 5% sehr gering aus.

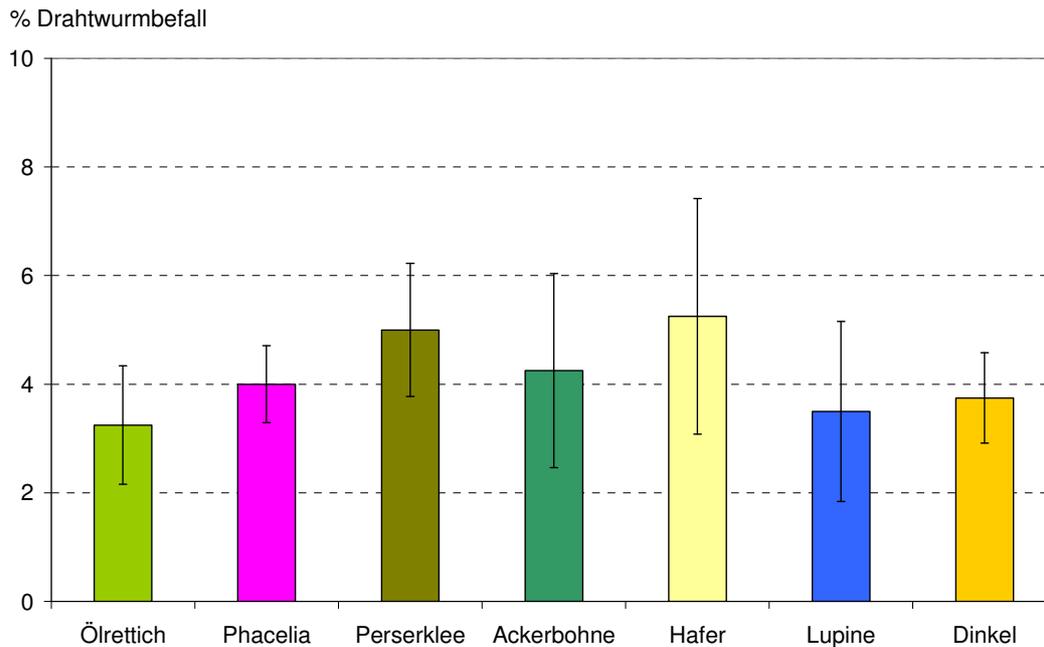


Abbildung 14: Drahtwurmfraß an Kartoffeln; Anbau verschiedener Zwischenfrüchte vor Kartoffeln am Standort Offenbach/Queich; Boniturergebnisse Kartoffeln

Aus der graphischen Darstellung der Boniturergebnisse lassen sich Drahtwurmnester herauslesen (gelbe Markierungen). Diese lagen unabhängig von den einzelnen Varianten (Abbildung 15).

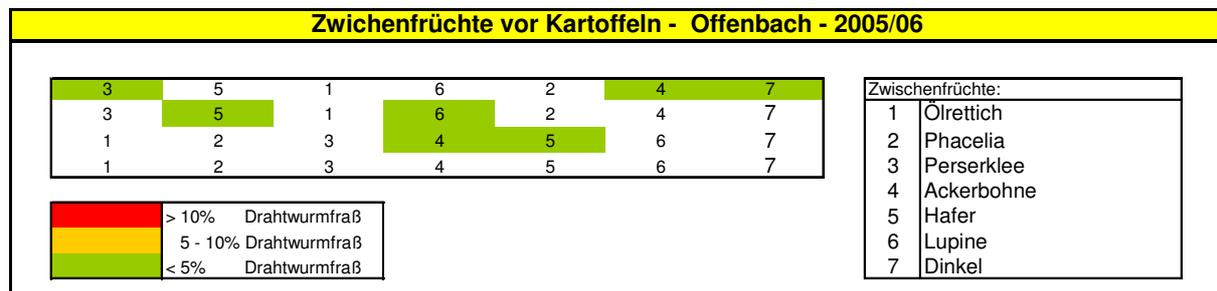


Abbildung 15: Drahtwurmfraß an Kartoffeln in den einzelnen Versuchspartellen, Boniturergebnisse: Ernte 06.09.2007 am Standort Offenbach/Queich; weiß: <5% Drahtwurmfraß; grau: 5 – 10 % Drahtwurmfraß; schwarz: > 10 % Drahtwurmfraß; Ziffern = verschiedene Kulturen

3.1.2.2.4 Untersaaten (Teilprojekt A)

2004 wurden an drei Standorten Untersaaten zwischen die Kartoffeldämme gesät. Die Aussaat erfolgte, nachdem 25 % des Kartoffelkrautes abgestorben war. Aufgrund der anhaltenden Trockenheit liefen die Untersaaten nur ungenügend oder gar nicht auf. Der Feldaufgang lag bei maximal 15%. Daher wurden in den Folgejahren die Untersaaten immer zum letzten Häufeltermin gesät.

In 2005 und 2006 wurden an sechs Versuchsstandorten insgesamt zwölf verschiedene Untersaaten nach dem letzten Häufelgang eingesät (Tabelle 39). In beiden Jahren standen die Untersaaten zwischen neun und zwölf Wochen.

Am Standort Köln-Auweiler wurden in 2005 keine Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten festgestellt. Die Drahtwurmschäden lagen im Mittel zwischen 13 und 21 % (Tabelle 38). Dies widerspricht den Ergebnissen aus den Laborversuchen zur Nahrungseffizienz, Teilprojekt B (Tabelle 34). Hier legten die Drahtwürmer in den

Varianten Phacelia, Ackerbohne und Getreide deutlich an Gewicht zu. Das könnte den Schluss zulassen, dass Drahtwürmer von anderen Nahrungsquellen wie z.B. der Kartoffel abgelenkt werden. Im Freiland traf das aber nicht zu, weder an den Versuchsstandorten im Teilprojekt A noch an denen von Teilprojekt B (Tabelle 40).

Am Standort Köln-Auweiler wurden 2006 innerhalb der Untersaatvarianten signifikante Unterschiede festgestellt. In der Variante Calendula mussten im Mittel nur 1% drahtwurmgeschädigte Knollen aussortiert werden, in den Varianten Hafer und Tagetes zwischen 4 und 6 % (Tabelle 39). Am Standort Offenbach/Queich hingegen lagen die Fraßschäden in den Varianten Calendula und Tagetes bei 9 % bzw. 30 %. Um sicherzugehen, dass in Köln-Auweiler der geringe Schaden tatsächlich auf die Untersaat Calendula zurückzuführen ist, sollte diese Variante erneut getestet werden. Hier muss angemerkt werden, dass 2006 der Aufwuchs der Untersaaten aufgrund der sehr trockenen Monate Juni und Juli insgesamt sehr spärlich war. Der Feldaufgang lag bei ca. 50%.

Am Standort Wachtberg/Niederbachem wurden keine Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt. Der Anteil drahtwurmgeschädigter, nicht vermarktungsfähiger Kartoffeln lag zwischen 1,6 % und 7,3 % (Tabelle 38).

Am Standort Hennef war der Drahtwurmfraß an Kartoffeln in der Variante Senf signifikant höher als in der Kontrolle. Alle übrigen Varianten zeigten keine Unterschiede. Der Drahtwurmfraß lag zwischen 1,8 % und 5,5 % (Tabelle 38).

Am Standort Düren wurden neben dem Standort Köln-Auweiler in 2005 insgesamt die höchsten Drahtwurmschäden an Kartoffeln bonitiert. Diese lagen zwischen 10,3 und maximal 17,5 %. Zwischen den einzelnen Varianten traten keine absicherbaren Unterschiede auf (Tabelle 38).

Am Standort Offenbach/Queich unterschieden sich in 2005 die Drahtwurmschäden an Kartoffeln in den Varianten Futtermalve, Buchweizen, Phacelia bzw. Seradella. Die fraßbedingten Schäden lagen zwischen 2,0 % und 10,3 % (Tabelle 38). In 2006 unterschieden sich nur noch die Varianten Seradella und Tagetes voneinander. In der Variante Seradella war der Drahtwurmfraß an Kartoffeln mit 7 % am geringsten, in der Variante Tagetes dagegen mit 30 % am höchsten (Tabelle 39).

Tabelle 38: Fraßschäden an Kartoffeln; Ergebnisse der Untersaatenversuche 2005 mit Standardabweichungen; in Klammern das Signifikanzniveau innerhalb der Standorte

2005	Köln-Auweiler	Wachtberg	Hennef	Düren	Offenbach/ Queich
Kontrolle	16,8±11,3	4,5±3,4	1,8±1,1 (a)	13,5±4,8	5,8±7,6 (abc)
Hafer	12,8±3,1	7,3±5,2	3,5±1,5	10,3±3,6	3,3±2,3 (ac)
Ölrettich	14,5±8,8	3,3±3,6	0,8±0,8	17,5±5,9	6,5±5,4 (abc)
Futtermalve	18,8±4,1	3,8±3,6	-	14,3±6,3	2,0±1,2 (c)
Ackerbohne	20,5±5,5	1,6±1,1	-	12,9±5,1	7,2±5,8 (abc)
Phacelia	21,3±11,4	1,6±1,8	2,3±2,3	11,85,4	8,4±2,7 (b)
Buchweizen	-	1,6±0,6	2,5±1,5	11,5±4,4	8,7±3,7 (a)

2005	Köln-Auweiler	Wachtberg	Hennef	Düren	Offenbach/ Queich
Seradella	-	4,4±3,9	--	13,0±6,3	10,3±3,5 (b)
Senf	-	-	5,0±1,6 (b)	-	-
Sonnenblume	-	-	5,5±4,5	-	-
Mais	-	-	2,72±1,8	-	-

Tabelle 39: Fraßschäden an Kartoffeln; Ergebnisse der Untersaatenversuche 2006 mit Standardabweichungen; in Klammern das Signifikanzniveau innerhalb der Standorte

2006	Köln-Auweiler	Offenbach/Queich	Willich
Kontrolle	5,5±4,0 (ab)	25±18 (ab)	2,5±1,8
Hafer	4,3±1,5 (b)	10±8 (ab)	-
Ölrettich	-	-	2,5±1,6
Futtermalve	-	12±8 (ab)	-
Ackerbohne	8,8±11,7 (ab)	16±10 (ab)	-
Phacelia	-	-	0,6±0,6
Buchweizen	-	-	2,8±2,3
Seradella	-	7±6 (b)	-
Tagetes	6,2±3,5 (b)	30±13 (a)	-
Calendula	1,0±0,6 (a)	9±12 (ab)	-
Senf	-	-	2,2±1,8
Sonnenblume	-	-	3,6±2,9

Standort Braunschweig (Teilprojekt B)

2004 wurden zwei Feldversuche mit den Untersaaten Ackerbohne, Sonnenblume und Winterweizen an zwei Standorten in Apelnstedt bei Braunschweig durchgeführt. Die Sonnenblumenuntersaat wurde durch Wildverbiss z. T. sehr stark geschädigt. Neuausgesäte und nachgepflanzte Sonnenblumen wurden ebenfalls abgefressen. Daher fehlten am Standort Ap. 1 ca. 90 % der ausgesäten Sonnenblumen, am Standort Ap. 2 ca. 30 %. Die Untersaaten Ackerbohne und Winterweizen entwickelten sich auf beiden Feldern trotz der relativ großen Konkurrenz durch Unkräuter (Bedeckungsgrad bis 60 %) bis zur Kartoffelernte am 08. September 2004 gut.

In diesem Jahr lag der Anteil der drahtwurmgeschädigten Kartoffeln auf beiden Feldern unter 5 %. Die Anzahl geschädigter Kartoffeln war in den einzelnen Parzellen sehr variabel. Die Befallsunterschiede zwischen den einzelnen Untersaat

Varianten und der Kontrolle waren sehr gering (Tabelle 40). Die offenbar geringe Auswirkung der Untersaaten könnte mit der starken Verunkrautung als natürlicher Nahrungsquelle der Drahtwürmer und dem insgesamt sehr niedrigen Drahtwurmbesatz in den Versuchsflächen zu erklären sein (Anhang, Abbildung 28, Tabelle 40). Für die Schadensermittlung erschwerend war die z. T. recht große Ähnlichkeit des von *Rhizoctonia solani* hervorgerufenen dry core-Symptoms mit den Fraßlöchern von Drahtwürmern.

Tabelle 40: Prozentualer Anteil der durch Drahtwurmfraß geschädigten Kartoffeln in den 3 Untersaaten und der Kontrolle ohne Untersaat (je 4 Wiederholungen) auf den Versuchsfeldern in Apelnstedt (2004) und Riddagshausen (2005). Riddagshausen: Befallswerte= Durchschnittswerte aus Unkraut behandelten und nicht behandelten Parzellenhälften.

Felder 2004 / Sorte	Ackerbohne	Sonnenblume	Winterweizen	Kontrolle
Ap. 1 / Rosella	4,0	3,6	3,4	2,7
Ap. 2 / Linda	4,6	3,8	3,5	5,0
Feld 2005 / Sorte	Ackerbohne	Phacelia	Winterweizen	Kontrolle
Rid. / Rosella	6,2	7,3	6,8	8,2

Außer sortenbedingten Ertragsunterschieden mit durchschnittlich 224 dt/ha der Sorte Rosella auf Versuchsfeld Ap. 1 und 207 dt/ha der Sorte Linda auf Feld Ap. 2 wurden zwischen den einzelnen Varianten kaum Unterschiede festgestellt (Tabelle 41).

Tabelle 41: Durchschnittliche Ernteerträge (dt/ha) in Abhängigkeit von der Untersaat (je 4 Wiederholungen) auf den Versuchsfeldern in Apelnstedt (2004), Riddagshausen (2005) und Gliesmarode (2006). 2006: Varianten mit *: Herausnahme von zwei bzw. drei Teilproben (von insgesamt 12/Variante) aus der Berechnung, da es bei der Ernte zu Verschleppungen von Kartoffeln in Nachbarparzellen kam.

Felder '04 / Sorte	Ackerbohne	Sonnenblume	Winterweizen	Kontrolle
Ap. 1 / Rosella	206	233	229	227
Ap. 2 / Linda	207	209	195	216
Feld '05 / Sorte	Ackerbohne	Phacelia	Winterweizen	Kontrolle
Rid. / Rosella	285	295	258	291

Feld '06 / Sorte	Ackerbohne*	Phacelia	Winterweizen*	unkrautfrei*	Kontrolle
Gl. / Linda	149	125	129	147	136

2005 wurden am Standort Riddagshausen die Untersaaten Ackerbohne, Phacelia und Winterweizen getestet. Ackerbohne und Winterweizen entwickelten sich wie im Vorjahr gut. Bei Phacelia war eine Nachsaat erforderlich. Der Bestand war jedoch auf Grund stellenweise starker Beschattung durch die Kartoffelpflanzen sehr ungleichmäßig. Da der Einfluss starker Verunkrautung auf den Drahtwurmbefall untersucht werden sollte, wurde auf jeweils der halben Parzellenfläche das Unkraut mechanisch entfernt.

In diesem Jahr waren durchschnittlich 7 % des Ernteguts durch Drahtwurmfraß geschädigt. Der Anteil befallener Kartoffeln in den einzelnen Parzellen war wie im Jahr 2004 sehr variabel (Anhang Abbildung 28). Der durchschnittliche Befall in den Untersaaten war geringfügig niedriger als in der Kontrolle ohne Untersaat (Tabelle 40). Zwischen den Parzellen mit und ohne mechanischer Unkrautbekämpfung wurde kein deutlicher Unterschied im Drahtwurmbefall der Kartoffeln festgestellt. Allerdings war eine Bekämpfung des Unkrauts nach Aussaat der Untersaaten Ende Juni nicht mehr möglich, so dass die beiden Parzellenhälften bereits mehrere Wochen vor der Ernte am 21. September 2006 wieder gleich stark verunkrautet waren.

Der Ertrag der Sorte Rosella lag 2005 mit durchschnittlich 282 dt/ha deutlich über dem Ertrag des Vorjahrs. Die Erträge lagen in der Weizenvariante mit durchschnittlich 258 dt/ha niedriger als in den übrigen Varianten.

2006 wurden am Standort Gliesmarode dieselben Untersaaten wie 2005 angebaut. Die Untersaaten liefen gleichmäßig auf, Ackerbohne und Winterweizen blieben jedoch auf Grund der geringen Niederschläge eher niedrig, während Phacelia wesentlich besser gedieh als im Vorjahr. Neben den drei Untersaatvarianten und der Kontrolle wurde eine zusätzliche Variante angelegt, die durch regelmäßiges Jäten, abgesehen von Quecken- und Schachtelhalm-Rhizomen, unkrautfrei gehalten wurde.

Der Anteil der durch Drahtwurm geschädigten Kartoffeln war in diesem Jahr mit durchschnittlich 73 % sehr hoch. Am stärksten waren die Knollen in der Ackerbohnenuntersaat mit 83 % befallen. Am geringsten geschädigt waren die Kartoffeln der unkrautfreien Variante mit 65 %, gefolgt von denen im Winterweizen mit 68 % (Tabelle 42). Im Gegensatz zu den Vorjahren waren die meisten Knollen mehrfach durch Drahtwürmer geschädigt. Die am stärksten Befallenen wiesen 10 bis 20 Löcher, z. T. sogar bis zu 30 Löcher auf. Die Kartoffeln der Kontrolle und der Ackerbohne waren mit durchschnittlich 4,7 und 4,5 Fraßspuren/Knolle am stärksten geschädigt, die Kartoffeln der unkrautfreien Variante mit 2,5 Fraßspuren/Knolle am geringsten (Tabelle 42).

Tabelle 42: Mittlere Anzahl von Fraßspuren/Knolle und mittlerer Anteil der durch Drahtwurmfraß geschädigten Kartoffeln (%) in den drei Untersaaten, der unkrautfreien Variante und der Kontrolle (jeweils ohne Untersaat) in 2006 (Ø-Werte + Standardabweichung). Die jeweils vier Wiederholungen/Variante bestanden aus je drei Einzelproben. Varianten mit *: der Berechnung der Mittelwerte liegen zwei bzw. drei Einzelwerte (von insgesamt zwölf Einzelwerten) weniger zugrunde, da es hier zu Verschleppungen von Kartoffeln während der Ernte kam.

	Ackerbohne*	Phacelia	Winterweizen	unkrautfrei*	Kontrolle
Löcher / Knolle	4,5 + 1,7	3,6 + 1,6	3,4 + 2,6	2,5 + 1,4	4,7 + 3,6
Befall (%)	83,2 + 9,2	76,6 + 11,9	67,7 + 27,1	64,7 + 19,0	73,9 + 15,8

Der durchschnittliche Ertrag der Sorte Linda war mit 137 dt/ha deutlich niedriger als in den beiden Vorjahren (Tabelle 40). Er betrug nur etwa die Hälfte des Ertrages von 2005. Dies wird auf die geringen Niederschläge und überdurchschnittlich hohen Temperaturen von Mitte Mai bis Anfang August zurückgeführt.

3.1.2.2.5 Einfluss der Kartoffelsortenwahl

Landwirte berichten immer wieder von Unterschieden in der Drahtwurmanfälligkeit ihrer angebauten Kartoffelsorten. Daher wurden in einer Diplomarbeit sechs im Rheinland verbreitete Speisekartoffeln auf ihre Drahtwurmanfälligkeit hin getestet.

Die Kartoffelsorte Nicola wurde durch Drahtwürmer am wenigsten geschädigt (13 %), die Sorte Princess am meisten (27 %). Die Sorten Ditta, Steffi und Granola zeigten beim Bonitieren ähnlich hohe Fraßschäden (22 %-25 %). Die drahtwurmbedingten Ausfälle der Sorte Edelstein lagen im Mittel bei 17 % (Abbildung 16).

In 2006 wurde der Sortenversuch auf einem Praxisschlag wiederholt. Hier konnten keine Unterschiede zwischen den einzelnen Sorten bonitiert werden.

% Drahtwurmbefall

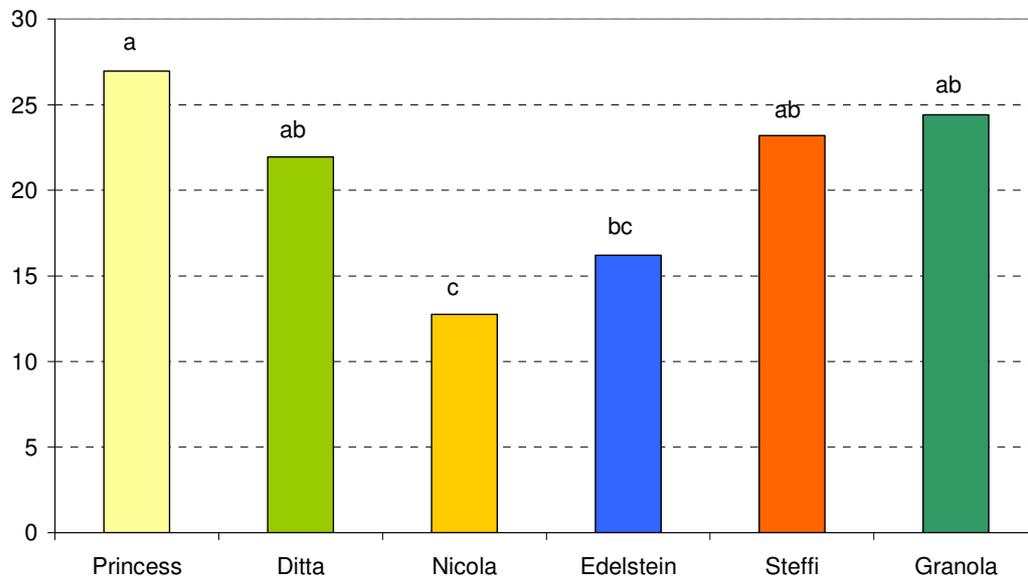


Abbildung 16: Drahtwurmbefall an Kartoffeln in Abhängigkeit von der Sorte; Mittelwerte über fünf Erntetermine je Sorte, Standort Köln-Auweiler, 2005; Signifikanzniveaus

CO₂-Messungen bei zwei Kartoffelsorten: Princess und Granola (Teilprojekt A)

Um zu klären, warum Sortenunterschiede auftreten, wurde folgende Hypothese aufgestellt: Die Kartoffelsorten Granola und Princess werden unterschiedlich stark von Fraßschädlingen befallen. Die Sorten unterscheiden sich in einer unterschiedlich starken CO₂-Produktion der Wurzeln. Anhand derer können die Schädlinge die Knollen lokalisieren.

Die CO₂-Produktion der beiden Kartoffelsorten wurde mit einem empfindlichen Nachweisverfahren für Spurengase quantifiziert und mit Kontrollmessungen ohne Kartoffelknollen verglichen: Da nur eine Nachweiskammer zur Verfügung stand, wurden die Messungen nacheinander durchgeführt und über einen Zeitraum von 48 h gemessen (Abbildung 17).

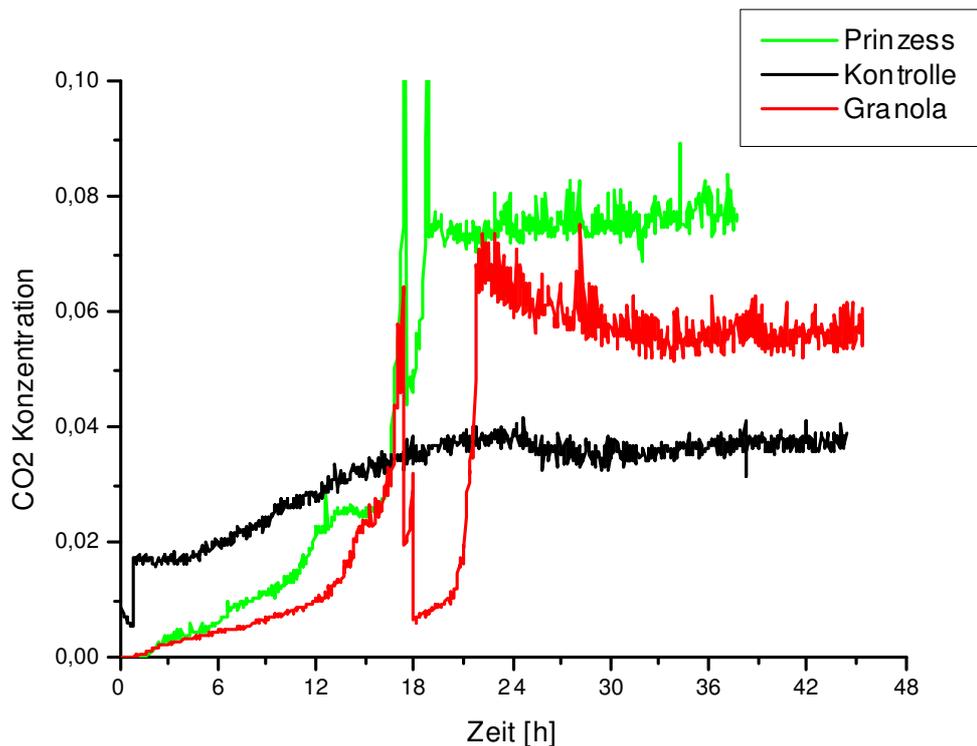


Abbildung 17: Messkurven der CO₂-Ausgasungen der Kartoffelwurzeln von Princess und Granola über 48 Stunden

Die Messkurven kann man in zwei Bereiche unterteilen. Zu Beginn muss die einströmende Luft die Plastiktüte langsam füllen. Mit der Zeit wird ein leichter Überdruck aufgebaut und damit ein Fluss durch den photoakustischen Sensor erzeugt. Die starken Signalschwankungen nach jeweils ca. 18 h sind auf das Entfalten der Tüten und die sich damit ändernden Druck- und Flussverhältnisse zurückzuführen (Abbildung 17). Nach ca. 24 h waren die Tüten prall gefüllt. Die weiteren Kurvenverläufe machen deutlich, dass sich konstante Bedingungen für den Gasnachweis eingestellt haben.

Der Konzentrationsvergleich zeigt signifikante Unterschiede zwischen den beiden Kartoffelsorten Granola und Princess, die sich deutlich von der Kontrollmessung ohne Kartoffelknollen unterscheiden (Abbildung 17).

Die gemessenen höheren CO₂-Konzentrationen von Princess unterstützen die These aus der Literatur, dass die Befallsstärke auf eine erhöhte CO₂-Produktionsrate zurückgeführt werden kann. Darin können auch Sortenunterschiede begründet sein.

Verbesserungsvorschläge

Die Plastiktüten sind aufgrund ihres Füllvorgangs zu Beginn nur bedingt für die Messungen geeignet. Besser wären Küvetten mit einem festen Volumen und einer besseren Dichtigkeit, so dass ab Messbeginn relevante Messpunkte vorliegen.

3.1.2.2.6 Erntetermin

Aufgrund früherer Beobachtungen liegt die Vermutung nahe, dass Drahtwurmbefall und Erntezeitpunkt miteinander korrelieren. Daher wurden am Standort Köln-Auweiler sechs Speisekartoffelsorten, abhängig von ihrer individuellen Abreife, an

fünf Terminen geerntet. Die Abstände zwischen den Ernten betragen zwischen sieben und zehn Tagen. Anschließend wurden die Drahtwurmschäden bonitiert.

Es zeigte sich bei allen Sorten, dass mit einer längeren Verweildauer der Knollen im Boden der Drahtwurmbefall der Knollen stieg. Die Fraßschäden der Sorte Princess lagen am 08. September 2005 schon bei 40 % und 11 Tage später bei 47 % (Abbildung 18). Solch große Schäden wurden bei keiner anderen Sorte erreicht, auch nicht zu erheblich späteren Zeitpunkten. Die maximalen Schäden an Kartoffeln der Sorten Edelstein, Steffi und Granola lagen um 30 %, der Sorte Ditta bei 37 % und von Nicola gerade einmal bei 20 %. Diese Unterschiede konnten statistisch abgesichert werden.

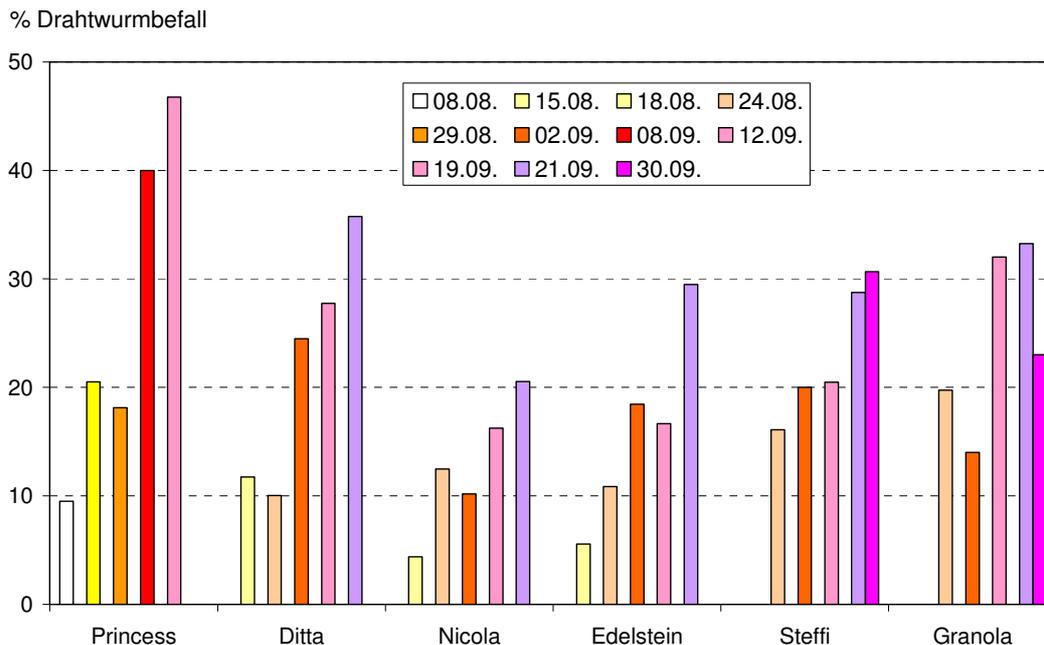


Abbildung 18: Drahtwurmbefall an Kartoffeln in Abhängigkeit von Sorte und Erntezeitpunkt; Standort Köln-Auweiler, 2005

3.1.2.2.7 Düngung

Am Standort Much wurde in 2004 untersucht, ob sich Unterschiede im Drahtwurmfraß an Kartoffeln zeigen, wenn wahlweise mit Stallmist oder mit Ackerbohnschrot gedüngt wird. Die Fraßschäden an Kartoffeln waren an diesem Standort mit Werten zwischen 53% und 61% sehr hoch. Zwischen den Varianten wurden keine Unterschiede festgestellt. Die Kartoffelerträge lagen in der Variante Ackerbohnschrot tendenziell höher als in allen übrigen Varianten. Statistisch konnte dieser Wert jedoch nicht abgesichert werden (Abbildung 19).

% Drahtwurmbefall
Ertrag dt/ha

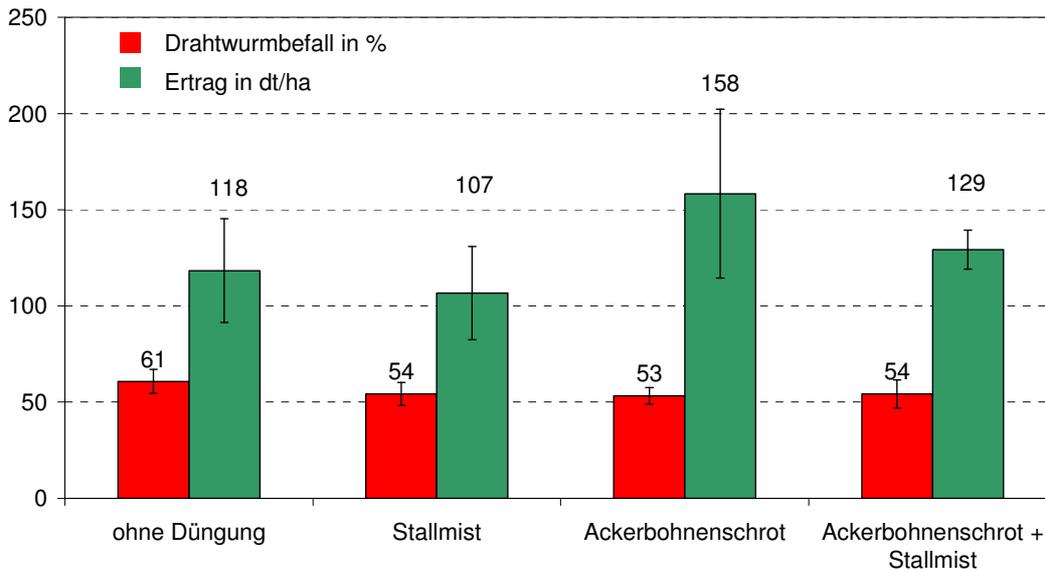


Abbildung 19: Drahtwurmbefall an Kartoffeln in Abhängigkeit von der Düngungsart, Standort Much, 2004

3.1.2.3 Zusammenfassung der indirekten Maßnahmen

Laborversuche Nahrungseffizienz

- Drahtwürmer legten an Gewicht zu nach dem Verzehr von Phacelia, Leguminosen, insbesondere Ackerbohnen, Raps und Getreide. Gewichtsverluste waren mit dem Verzehr von Gelbsenf, Ölrettich und Kartoffeln verbunden.

Halbfreilandversuche Nahrungseffizienz

- Nach dem Verzehr von Mais und Kartoffeln stiegen die Drahtwurmgewichte deutlich an.

Laborversuche Nahrungswahl

- Drahtwürmer bewegten sich aktiv auf Leguminosen zu: Lupine, Erbse, Raps; auch Ackerbohne und Winterweizen lockten Drahtwürmer an.

Vorfrüchte

- Mehrjähriges Klee gras sollte nicht vor Kartoffeln als Vorfrucht stehen.
- Körnerleguminosen sind sehr gute Vorfrüchte vor Kartoffeln.
- Die Wahl der Körnerleguminosen sollte in der Reihenfolge Buschbohnen, Körnererbsen, Ackerbohnen, Lupinen getroffen werden.

Zwischenfrüchte

- Keine der getesteten Zwischenfrüchte reduzierte den Drahtwurmfraß an Kartoffeln signifikant.
- Nach Zwischenfrüchten war der Qualitätsverlust durch Drahtwurmfraß niedrig (ca. 5%).

Untersaaten

- Keine der im Versuch getesteten Untersaaten zeigte über alle Jahre und an allen Standorten einen signifikanten Einfluss auf die Drahtwurmfraßaktivität.

Sortenwahl

- Es gibt Sortenunterschiede in der Fraßanfälligkeit: Die Sorte Nicola wies die niedrigsten Fraßschäden auf, die Sorte Princess die höchsten.

Erntetermin

- Je länger reife Kartoffeln im Boden liegen, umso mehr fressen Drahtwürmer an ihnen.

Düngung

- Drahtwürmer fressen alle Kartoffeln, einerlei ob sie tierisch oder pflanzlich organisch gedüngt wurden.

3.1.3 Direkte Regulierungsmaßnahmen

Metarhizium anisopliae ist einer der wichtigsten insektenpathogenen Pilze in der Insektenmykologie. Er gehört zu den wenigen Pilzen, die weltweit verbreitet sind. Am Pacific Agri-Food Research Centre, Kanada, wurde ein Pilzstamm isoliert, der hochwirksam gegen Schnellkäferlarven ist. Der hohe Wirkungsgrad wurde bisher nur im Labor nachgewiesen. Daher sollten nun auch Freilandversuche mit *Metarhizium anisopliae*-Präparaten am Standort Köln-Auweiler angelegt werden. Begleitet wurden diese Versuche durch Analysen der Biologischen Bundesanstalt in Darmstadt.

3.1.3.1 Analytik (Teilprojekt C)

An der BBA in Darmstadt erfolgte die Qualitätskontrolle der *Metarhizium anisopliae*-Produkte. In Tabelle 43 sind die Qualitätskontrollen verschiedener Pilzprodukte zusammengefasst; sie wurden im Freiland in Köln-Auweiler 2004 getestet.

Tabelle 43: Qualitätskontrollen verschiedener in Köln-Auweiler eingesetzter Pilzprodukte in 2004

2004	Prophyta-Produkt	Kanadisches Produkt	Kanadisches Produkt
1g Sporenpulver bzw. 1g Pilzkörner	5,25 x 10 ¹⁰ Konidien	2,48 x 10 ⁹ Sporen	1,83 x 10 ⁹ Sporen
Keimrate (25°C, 24 h)	20 %	0%	7,2 %
Verunreinigung	Stark; durch Bakterien	Keine Fremdkeime	Fast keine Fremdkeime

Agrifutur-Produkt aus Italien

Während eines Besuches in Auweiler am 12. Juli 2005 wurde von dem am 08. Juli 2005 dort angekommenen Produkt ‚GranMet‘ (= mit *M. anisopliae* bewachsene Getreidekörner in einem Papiersack) eine Probe unsteril entnommen.

Ergebnis:

- die Anzahl Sporen und deren Keimrate konnten nicht bestimmt werden, da kein (kaum) *Metarhizium* auswuchs.
- statt dessen wurde eine starke Verunreinigung mit einem schnellwachsenden Pilz (vermutlich *Mucor* sp. oder *Rhizopus* sp.) festgestellt.

Lbu-Produkt aus der Schweiz

2006 war ein Pilzpräparat aus der Schweiz im Einsatz. Da es sich um eine Produktionscharge handelte, wurde nur aus einem der fünf Beutel eine Probe entnommen. Davon wurden dreimal je 20 Körner auf feuchtem Filterpapier ausgelegt und bei 25° C inkubiert. Am 06. April 2006 wurden die Körner auf den Bewuchs mit *Metarhizium* und die Anwesenheit von Fremdkeimen qualitativ beurteilt. Das Ergebnis zeigte, dass die Körner zu über 90 % vollständig mit sporulierendem *Metarhizium*-Myzel besiedelt waren. Auf etwa 10 % der Körner wurde daneben eine schwache Verunreinigung mit einem anderen Pilz festgestellt.

Nachweis von *M. anisopliae* in Bodenproben

Am Standort Köln-Auweiler wurden im Mittel $1,64 \times 10^3$ Kolonien von *M. anisopliae* pro 1 g Boden aus der Versuchsvariante nachgewiesen. Die CFU-Werte in Kontrolle 2 und den drei Varianten waren gegenüber der unbehandelten Kontrolle deutlich erhöht. Bei der Variante „100 kg/ha“ und der Variante „Prophyta“ liegen die Werte um etwa eine Zehnerpotenz höher, bei der Variante „200 kg/ha“ sogar um 1,5 Zehnerpotenzen (Tabelle 44).

Tabelle 44: Bodenuntersuchung: Anzahl Konidien/CFU von *M. anisopliae* je 1 g Boden; Kontrolle1=unbehandelte Kontrolle im Frühjahr; Kontrolle 2=Kontrolle nach der Behandlung im Herbst nach der Ernte; 2004

Kontrolle 1	Kontrolle 2	100kg/ha	200kg/ha	Prophyta
$7,5 \times 10^2$	$4,38 \times 10^3$	$6,45 \times 10^3$	$1,29 \times 10^4$	$8,55 \times 10^3$

Am Standort Köln-Auweiler wurden in zwei Bodenproben, die 2005 vor der Behandlung mit *Metarhizium* genommen worden waren, keine Kolonien von *Metarhizium* festgestellt. In den zu Versuchsende gezogenen Bodenproben wurden geringe Anzahlen koloniebildender Einheiten (KBE; $21-167 \text{ g}^{-1}$) von *Metarhizium* nachgewiesen. Aufgrund der großen Varianz sind die Unterschiede nicht signifikant.

Das Ergebnis der Bodenuntersuchung 2006 am Standort Köln-Auweiler ist in Abbildung 20 graphisch dargestellt. In den Proben waren bereits vor der Ausbringung des Präparates im Mittel $1,6 \times 10^3$ cfu *Metarhizium anisopliae* g^{-1} Boden vorhanden (125 ± 0 cfu „oben“ bzw. 3125 ± 971 cfu „unten“). Unspezifische Bodenpilze – darunter auch *Beauveria bassiana* und *Paecilomyces fumosoroseus* – wurden mit $1,16 \times 10^4$ cfu/g Boden erfasst.

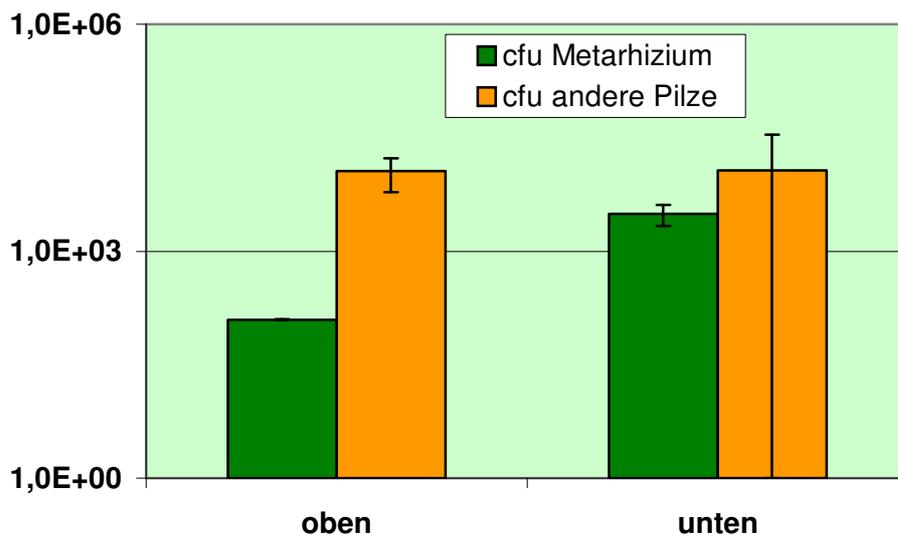


Abbildung 20: Koloniebildende Einheiten (cfu) [g⁻¹] von *Metarhizium* und anderen Pilzen in zwei Bodenproben, die vor der Ausbringung des *Metarhizium*-Präparats auf dem Versuchsfeld in Köln-Auweiler gezogen worden waren; 2006

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen am Standort Braunschweig sind in Abbildung 21 und in Abbildung 22 dargestellt. Vor der Ausbringung des *Metarhizium*-Präparates (50 kg/ha) wurde in keiner der vier Parzellen *Metarhizium* nachgewiesen. Über die gesamte Fläche wurden im Mittel 8×10^3 Pilzsporen g⁻¹ Boden festgestellt. Die Auswertung wurde in einigen dieser Proben von schnell wachsendem *Mucor* erschwert.

In den Proben nach der Ernte wurden dagegen in allen Parzellen *Metarhizium*-Sporen gefunden. Bei der Ernte wurde versäumt, die behandelte und die unbehandelte Parzelle getrennt zu beernten. Daher kann eine Verschleppung von Pilzmaterial nicht ausgeschlossen werden. In den behandelten Parzellen Nr. 2 & 4 wurden im Mittel 194 ± 173 bzw. 28 ± 48 cfu *Metarhizium* g⁻¹ Boden festgestellt. In den unbehandelten Parzellen Nr. 1 & 3 waren es 28 ± 48 bzw. 56 ± 96 cfu *Metarhizium* g⁻¹ Boden. Aufgrund der großen Standardabweichung ist der Unterschied zwischen den behandelten und unbehandelten Parzellen nicht signifikant.

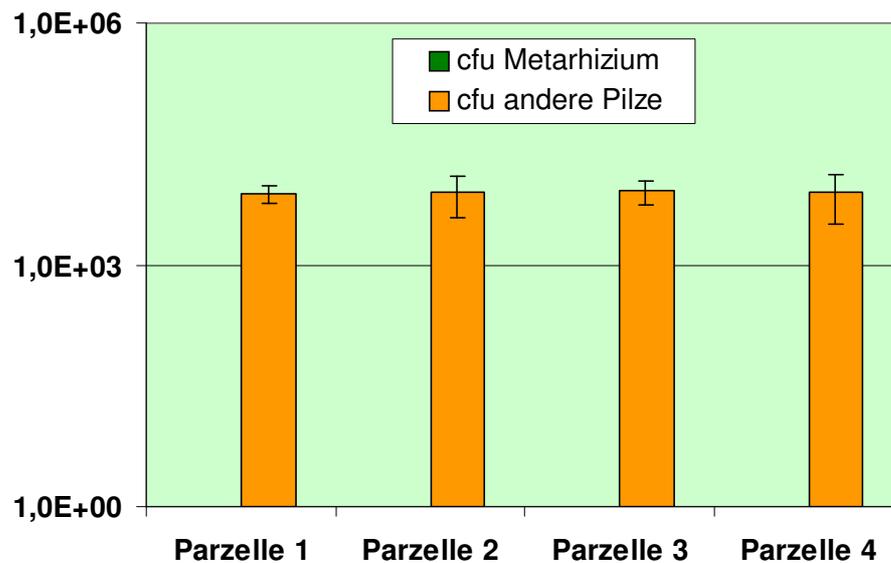


Abbildung 21: Koloniebildende Einheiten (cfu) [g⁻¹] von *Metarhizium* und anderen Pilzen in Bodenproben die vor der Ausbringung des *Metarhizium*-Präparates auf dem Versuchsfeld in BS gezogen worden waren.

Insgesamt ist der Sporengehalt in der Behandlung mit im Mittel 1×10^2 cfu *Metarhizium* g⁻¹ Boden als zu gering für eine erfolgreiche Infektion von Drahtwürmern einzustufen. Zum Vergleich: Für den Pilz *Beauveria brongniartii* wird ein Sporengehalt von 1×10^3 - 1×10^4 g⁻¹ Boden zur erfolgreichen Bekämpfung von Maikäferengerlingen als notwendig erachtet. Die Schadensbonitur ergab keine Unterschiede zwischen den Parzellen. Ein Einfluss der Behandlung auf das Bodenleben konnte nicht festgestellt werden. Generell war der Sporengehalt der anderen Pilze in den September-Proben mit gemittelt $2,4 \times 10^4$ cfu g⁻¹ für die Kontroll- und $2,5 \times 10^4$ cfu g⁻¹ für die behandelten Parzellen, höher als im April.

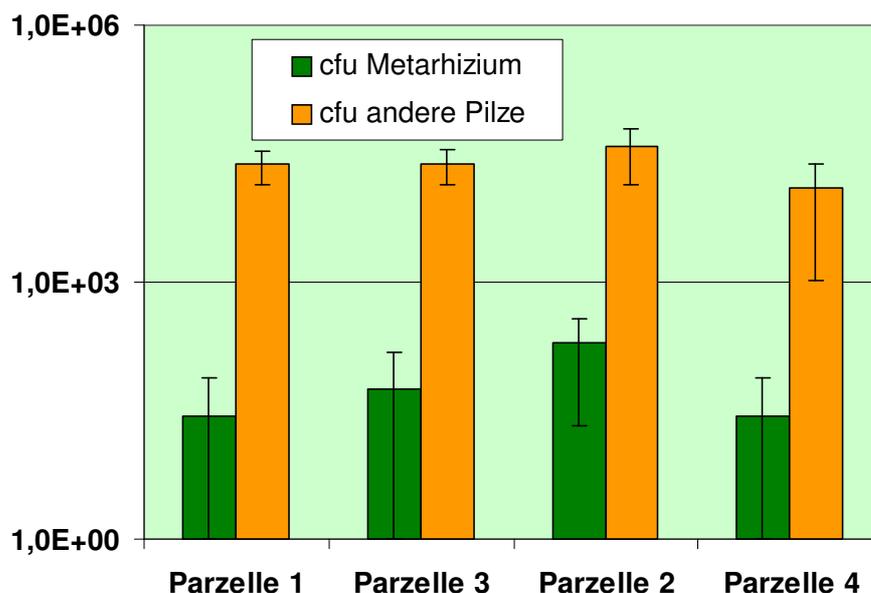


Abbildung 22: Koloniebildende Einheiten (cfu) [g⁻¹] von *Metarhizium* und anderen Pilzen in Bodenproben, die im Herbst, fünf Monate nach der Ausbringung des *Metarhizium*-Präparates auf dem Versuchsfeld in BS gezogen worden waren.

Das vorstehende Ergebnis ähnelt dem aus Bodenproben im Vorjahr erhaltenen Ergebnis. In Bodenproben aus Auweiler waren nach der Ausbringung eines *Metarhizium*-Präparates Sporengehalte von 21-167 cfu *Metarhizium* g⁻¹ bestimmt worden. Damals wurde als Ursache eine verminderte Produktqualität angenommen. Diese Erklärung scheidet für das Ergebnis von 2006 aus. Welche Rolle die Kulturpflanze spielt oder welchen Einfluss die übrige Bodenflora und -fauna auf die *Metarhizium*-Sporen gehabt haben ist unbekannt. Derartige Untersuchungen konnten im Rahmen des vorliegenden Projekts nicht durchgeführt werden. Generell besteht m. E. im biologischen Pflanzenschutz großer Forschungsbedarf im Bezug auf Interaktionen im Boden und die tritrophischen Level-Effekte.

Verpilzungsrate der Drahtwürmer im Freilandversuch in Köln-Auweiler

2004 wurde nach achtwöchiger Haltung der Drahtwürmer aus den 4 Varianten (je 20 Drahtwürmer) in keinem Fall eine durch *Metarhizium* verursachte Mortalität nachgewiesen. 2005 und 2006 standen keine Drahtwürmer zur weiteren Beobachtung aus dem Freilandversuch zur Verfügung.

Der Nachweis einer Wirksamkeit der eingesetzten Pilzpräparate in Feldversuchen konnte nicht erbracht werden. Einerseits wurden keine toten Drahtwürmer gefunden, die auf eine Verpilzung hin hätten untersucht werden können. Andererseits wurden weder in Braunschweig noch in Köln-Auweiler bei der Schadensbonitur Unterschiede zur unbehandelten Kontrolle festgestellt.

Biotest

2004 waren nach 6 Wochen bei M.a. 43 alle Drahtwürmer am Leben. Die Mortalität bei M.a. Kanada betrug nur 7,4 %. Die beiden *Metarhizium*-Produkte hatten eine schlechte Qualität (geringe Keimfähigkeit der Sporen), so dass das Ergebnis des Freilandversuchs nur bedingt aussagefähig ist. In bisherigen Biotests haben sich die eingesetzten *Metarhizium*-Isolate leider als wenig virulent gegenüber Drahtwürmern gezeigt. In beiden Fällen sind Optimierungen notwendig, um die Verwendung von *M. anisopliae* zur Drahtwurmbekämpfung erfolgreicher zu machen.

Mit den im Oktober 2004 erhaltenen zwei *Metarhizium*-Isolaten (M.a. 986 und M.a. 714) von Dr. Keller, die bei Versuchen gegen Drahtwürmer in der Schweiz bereits nach 2-3 Wochen eine Mortalität von etwa 50-60 % verursacht hatten, wurde ein Biotest durchgeführt. Die Drahtwürmer (7 Tiere pro Variante) wurden in eine Sporensuspension Sporen/ml, getaucht. Anstatt bei 20 °C, wurden die Versuchstiere hier bei 25 °C aufgestellt. Zum Vergleich wurde in diesem Test das kanadische *Metarhizium*-Isolat und auch ein chemisches Insektizid (Confidor, Wirkstoff Imidacloprid, 0,03 %) sowie die Kombination des Insektizids mit M.a. 714 als Varianten getestet. Nach drei Wochen waren bei M.a. Kanada alle Tiere am Leben. In den übrigen Varianten betrug die Mortalität 14 %. Nur in der Kombination Confidor + M.a. 714 waren doppelt soviel Drahtwürmer gestorben (28 % Mortalität). Nach 6 Wochen war dieses Ergebnis unverändert.

In einem weiteren Biotest wurde eines der Schweizer *Metarhizium*-Isolate (M.a. 714) mit einem anderen insektenpathogenen Pilz, *Paecilomyces fumosoroseus* Isolat P.fr. 17 aus der Stammsammlung des BBA-Instituts, verglichen. Bei diesem Test wurde sowohl die Tauch- als auch die Bodenbehandlungs-Methode verwendet. Bei der Tauchmethode wurde eine Sporenkonzentration von 1 x 10⁸ ml⁻¹, bei der Bodenbehandlung von 1 x 10⁷ g⁻¹ verwendet. Pro Variante wurden 15 Drahtwürmer

eingesetzt. Nach drei Wochen waren alle Drahtwürmer am Leben. Nach sechs Wochen betrug die Mortalität der mit P.fr. 17 behandelten Drahtwürmer für beide Methoden 7 %. Dagegen waren die in eine Suspension von M.a. 714 getauchten Drahtwürmer alle am Leben. Die Drahtwürmer, die sich im mit M.a. 714-Sporen kontaminierten Boden befanden, waren zu 13 % tot. Nach einer weiteren Woche betrug die Mortalität der mit M.a. 714 behandelten Drahtwürmer 20 und 27 % in der Tauch- bzw. Bodenbehandlung.

Das *Metarhizium*-Produkt aus Italien hatte eine schlechte Qualität (keine Sporen, Verunreinigung), so dass sein Einsatz im Freilandversuch vergeblich war. Der Sporengehalt des ersten, selbsthergestellten *Metarhizium*-Produktes war zwar niedriger als bei den früher untersuchten kommerziellen Produkten, aber die Qualität war insgesamt akzeptabel. Allerdings kam es in keinem Freilandversuch mehr zum Einsatz. Sowohl bei der Massenproduktion für den Freilandeinsatz, als auch bei den Biotests – hier insbesondere bei der Versorgung mit einheitlichen Versuchstieren – sind Optimierungen notwendig, um den Einsatz insektenpathogener Pilze zur Drahtwurmbekämpfung in Deutschland zu konsolidieren. Insgesamt ist anzumerken, dass die Versuchstiere in beiden Biotests sehr heterogen waren. Im zweiten Versuch verpuppten sich viele Tiere bereits nach der dritten Woche. Die verschiedenen Entwicklungsstadien und die einzelnen *Agriotes*-Arten können ganz verschieden empfindlich sein gegenüber insektenpathogenen Pilzen.

Aus Mangel an Versuchstieren konnten auch in 2006 keine Biotests durchgeführt werden. Die in 2005 aus Braunschweig erhaltenen Drahtwürmer wurden noch bis Juni 2006 gehalten, in der Hoffnung, dass sie 1) wachsen und einheitlicher werden und 2) noch welche dazu kommen. Beides ist nicht eingetreten. Im Gegenteil, die ursprüngliche Anzahl von etwa 70 Tieren reduzierte sich rasch, so dass zum Erhalt aussagekräftiger Daten zu keiner Zeit ausreichend Tiere vorhanden waren.

3.1.3.2 Herstellung eines Pilzpräparates (Teilprojekt C)

Es wurden mehrere Versuche an der BBA in Darmstadt unternommen, ein *Metarhiziumprodukt* zu entwickeln. Ergebnisse des ersten Versuchs sind in Tabelle 45 dargestellt.

Tabelle 45: Massenproduktion von *M. anisopliae* M.a. 43 auf Reis und Gerstenflocken. Anzahl Sporen/g Festmedium und relatives Pilzwachstum (Mittelwert von drei Produktionsbeuteln)

	Reis		Gerstenflocken	
	Sporen/g	Bewuchs	Sporen/g	Bewuchs
Ansatz I	$4,1 \times 10^6$	100 %	$4,1 \times 10^7$	66,7 %*
Ansatz II	$1,1 \times 10^7$	66,7 %	$4,1 \times 10^6$	0 %**
Ansatz III	$2,3 \times 10^7$	100 %	$1,8 \times 10^8$	100 %

* einer von drei Produktionsbeuteln nicht bewachsen/verunreinigt

**100 % verunreinigt

1 g Pilzkörner enthielt maximal $1,8 \times 10^8$ Sporen. Um noch höhere Sporenkonzentrationen zu erhalten ($1-2 \times 10^9$ - wie zuvor für die kommerziellen Produkte ermittelt), muss das Verfahren optimiert werden. Bis auf eine bakterielle Verunreinigung in Ansatz II (1 x Reis und 3 x Gerstenflocken) wurden keine Fremd

keime festgestellt. Die Inhalte der gut bewachsenen Produktionsbeutel wurden vereinigt und im Herbst für eine Bodenbehandlung an die Landwirtschaftskammer NRW geschickt. Das Pilzpräparat sollte dort sofort großflächig in den Boden eingearbeitet werden, was dort aus Zeitmangel nicht erfolgte.

Die Ergebnisse des ersten Versuchs sind in Abbildung 23 dargestellt. Bei Versuche lag die Anzahl Sporen pro Gramm Substrat zwischen 9×10^6 (Gerstenflocken) und 3×10^7 (Weizenkörner) und blieb somit erneut unter dem Erwartungswert ($1-2 \times 10^9$ Sporen g^{-1}), der früher für eines der kommerziellen Produkte ermittelt worden war. Pilzliche (*Penicillium* sp.) und bakterielle Verunreinigungen – letztere besonders in den Säcken mit Weizen sowie mit Gerstenflocken – sind vermutlich ein Teil der Ursachen für die reduzierte Sporenzahl. Bei der Probennahme zwei Wochen nach dem Inokulieren der Säcke (eine Woche vor Versuche) betrug die Anzahl Sporen pro Gramm Substrat 6×10^7 für Weizen sowie etwa $1,5 \times 10^7$ für Reis bzw. Gerstenflocken. Die nach zwei Wochen größere Anzahl Sporen als nach drei Wochen legt nahe, dass der Pilz besser keine weitere Woche mehr in den Säcken hätte inkubiert werden sollen. Dadurch haben eventuell auch autolytische Prozesse zur Reduktion der Sporen beigetragen.

Der zweite Versuch zur Massenproduktion auf den drei zuvor verwendeten Festmedien musste bereits eine Woche nach dem Inokulieren der Säcke abgebrochen werden, da kein Pilz-Wachstum auf den Substraten sichtbar war. Stattdessen schienen alle Substrate mit Bakterien verunreinigt zu sein, was sich an einem säuerlich-vergorenen/verdorbenen Geruch zeigte.

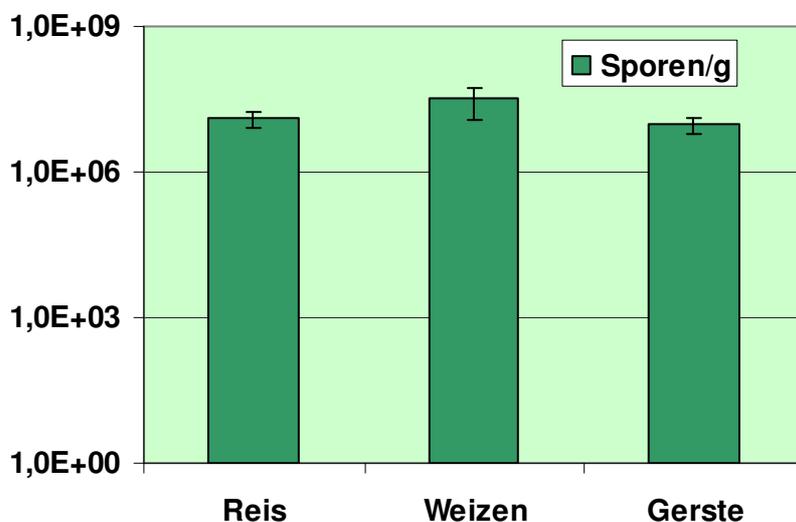


Abbildung 23: Anzahl Sporen [g-1 Substrat] von *Metarhizium anisopliae* nach drei Wochen Inkubation bei 25 °C; (Mittelwert±Standardabweichung, n=3). Produktion in speziellen Säcken auf Reis, Weizen und Gerste als Substrat

Beim dritten Versuch wurde die Inkubationszeit auf zwei Wochen begrenzt. Danach wurde das feuchte Substrat zum Trocknen in Papiertüten gefüllt. Nach zwei Wochen Trocknung bei Raumtemperatur wurde die Anzahl Sporen wie zuvor nach dem Ausschütteln mit Tween 80 durch Zählung am Mikroskop, mit Hilfe einer Thomakammer ermittelt. Zum Vergleich wurde außerdem die Anzahl koloniebildender Einheiten auf einem speziellen *Metarhizium*-Selektivmedium (modifiziert nach Chase et al., 1986) bestimmt.

Das Ergebnis des Vergleichs ist in Abbildung 24 dargestellt. Aufgrund des erneuten Auftretens bakterieller Verunreinigungen in einigen Substraten konnte nur ein Teil der Säcke ausgewertet werden. Alle drei Säcke Reis sowie zwei der Säcke mit Weizenkörnern wurden deshalb verworfen.

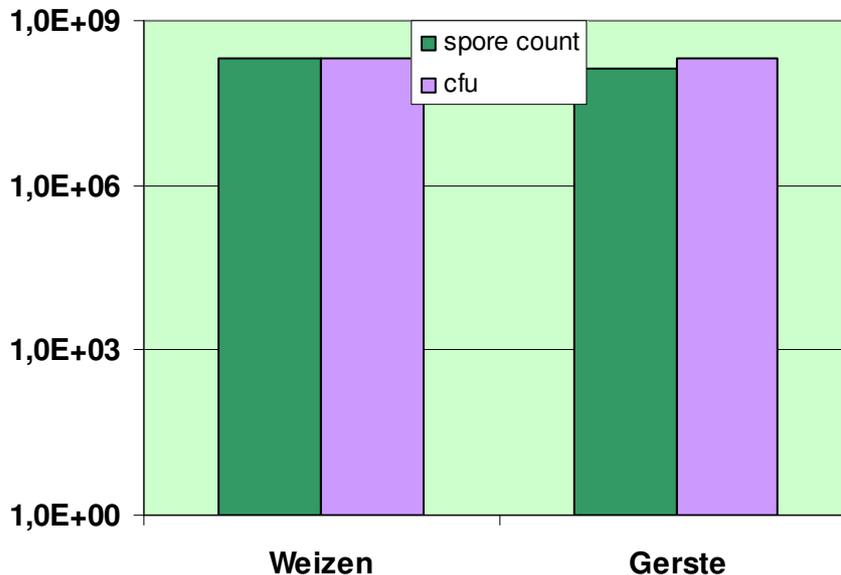


Abbildung 24: Anzahl Sporen [g^{-1} Substrat] von *Metarhizium anisopliae*, ein Mal ermittelt durch Sporenzählung (spore count) am Mikroskop sowie ein Mal als koloniebildende Einheiten (cfu) auf modifiziertem Chase-Medium. (Mittelwert, n=3)

Am Mikroskop wurden $1,4 \times 10^8$ Sporen/g Gerste (Mittelwert aus drei Säcken) sowie $2,1 \times 10^8$ Sporen/g Weizen (Wert eines Sacks) gezählt. Die mittlere Anzahl koloniebildender Einheiten betrug 2×10^8 pro Gramm bei beiden Substraten.

Da einerseits das Problem der Verunreinigungen nicht in den Griff zu bekommen war – weder zweimaliges oder längeres Autoklavieren, noch zusätzliche Hygienemaßnahmen (z.B. UV-Licht-Einsatz) hatten geholfen –, andererseits aber die Zeit der Feldversuche immer näher rückte, wurde bei der Firma Ibu – Labor für Boden- und Umweltanalytik (Thun, Schweiz) ein kommerzielles Präparat angefragt. Die Versuche zur Produktion eines eigenen *Metarhizium*-Präparates wurden im kleineren Maßstab fortgesetzt.

Produktion auf verschiedenen Festmedien im kleinen Maßstab

Zur Optimierung der Sporenproduktion wurde ein Versuch mit den folgenden zwölf Substraten angesetzt: Reis, Hirse, Quinoa, Amaranth, rote Linsen, Weizenkörner, Weizengrütze, Couscous, Weizenkleie, Maisgrütze, Haferflocken, Gerstenflocken.

Bei den Sporenzählungen am Mikroskop zeigte sich in fast allen Substraten eine Verunreinigung mit *Penicillium*-Sporen. Bei einigen wurden außerdem bakterielle Verunreinigungen festgestellt. Trotz der Verunreinigung konnten die Proben ausgewertet werden. Tabelle 46 zeigt die Ergebnisse der Sporenzählung.

Tabelle 46: Anzahl Sporen ml⁻¹ von *Metarhizium anisopliae*, produziert im kleinen Maßstab in Säcken und Kolben auf 12 verschiedenen Feststoffsubstraten. Der höchste und niedrigste Wert sind eingerahmt. (Mittelwert±Standardabweichung; n=3)

Säcke	Anzahl Sporen [ml ⁻¹]	Kolben	Anzahl Sporen [ml ⁻¹]	Festmedium
A	2,88E+07 ±8,58E+07	a	1,68E+08 ±4,77E+07	Haferflocken
B	3,74E+07 ±1,74E+07	b	2,12E+08 ±3,13E+07	rote Linsen
C	8,74E+07 ±3,26E+07	c	4,31E+08 ±9,12E+07	Hirse
D	3,84E+08 ±2,01E+07	d	6,99E+08 ±8,09E+07	Couscous
E	1,87E+07 ±4,27E+06	e	4,54E+07 ±1,90E+07	Amaranth
F	4,25E+07 ±1,23E+07	f	1,93E+08 ±9,27E+07	Quinoa
G	3,58E+07 ±2,14E+07	g	4,30E+08 ±1,27E+08	Reis
H	2,45E+07 ±7,45E+06	h	1,89E+08 ±1,13E+08	Maisgrütze
I	3,74E+07 ±3,33E+07	i	3,27E+08 ±6,43E+07	Weizengrütze
J	1,25E+08 ±4,39E+07	j	3,43E+08 ±2,53E+08	Weizenkleie
L	7,50E+06 ±1,32E+06	l	7,85E+07 ±1,19E+07	Weizenkörner
M	5,50E+06 ±1,15E+06	m	4,26E+07 ±1,09E+07	Gerstenflocken

Auf Couscous bildete der Pilz *M. anisopliae* mit im Mittel 4 und 7 x 10⁹ Sporen g⁻¹ in Säcken und Kolben die höchsten Sporenanzahlen (Abbildung 25). In Säcken wurde dieser Wert gefolgt von Weizenkleie mit 1 x 10⁹ Sporen g⁻¹, wohingegen in den Kolben Amaranth, Hirse und Reis folgten, die alle drei mit etwa 4 x 10⁹ Sporen g⁻¹ dicht beieinander lagen (Abbildung 25). Bereits in einem früheren Versuch hatte Couscous sich als besonders geeignet für die Produktion von *Metarhizium*-Sporen

gezeigt. Damals waren 8×10^9 bzw. 1×10^{10} Sporen g^{-1} Couscous in Säcken bzw. Kolben produziert worden (Jung, 2001, Intermediate Report FAIR6-CT98-4105, unveröffentl.). Die im vorliegenden Versuch geringere Sporenproduktion wird auf die Verunreinigungen zurückgeführt.

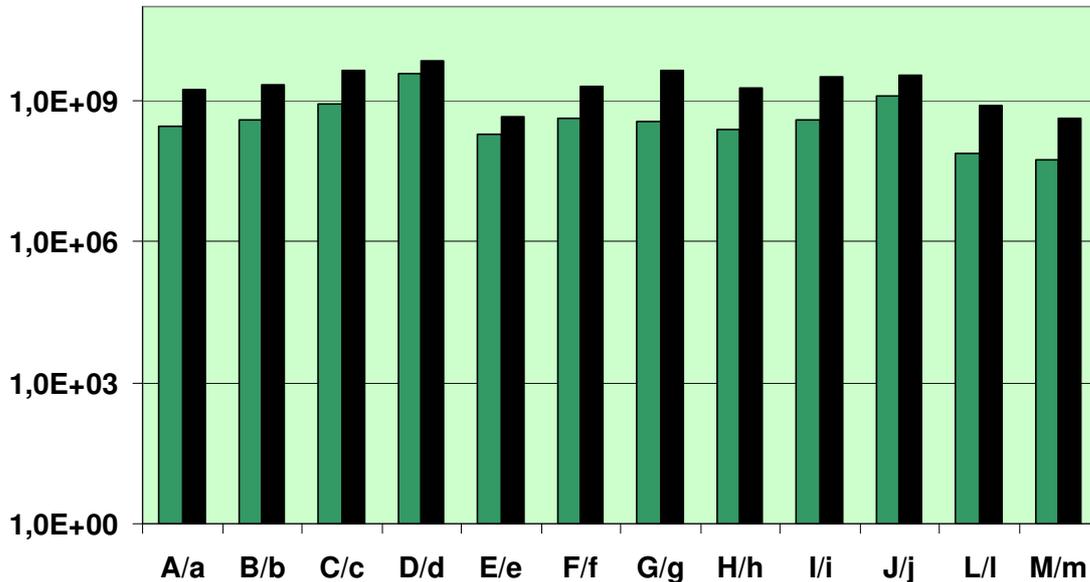


Abbildung 25: Anzahl Sporen [g^{-1} Substrat] von *Metarhizium anisopliae*, produziert in Säcken (a-m) und Kolben (A-M) auf verschiedenen Feststoffen (Tabelle 46); (Mittelwerte; n=3)

Testung verschiedener Flüssigmedien zur Inokulumproduktion

Neben der Testung verschiedener Feststoff-Substrate, wurde auch die Zusammensetzung des Flüssigmediums zur Inokulumproduktion variiert. In Abbildung 26 ist die produzierte Sporenmenge pro Gramm Substrat dargestellt. Es zeigte sich, dass die höchsten Sporenanzahlen auf den drei verwendeten Feststoffsubstraten produziert wurden, wenn das Inokulum in dem reduzierten Adamek-Medium hergestellt worden war. Ungeachtet der Inokulumvarianten schnitt hier der Reis mit $1,6 - 4,5 \times 10^9$ Sporen g^{-1} Substrat am besten ab.

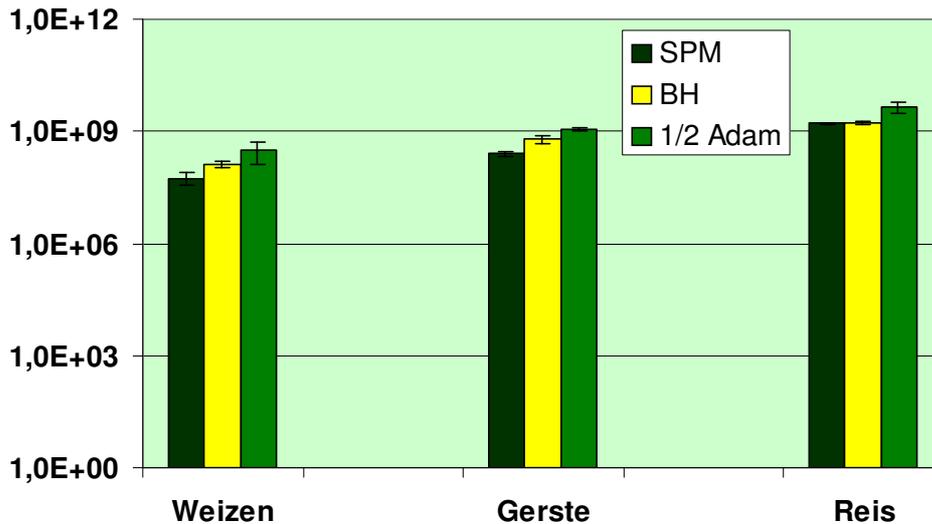


Abbildung 26: Anzahl Sporen g^{-1} Substrat von *Metarhizium* M.a. 43, dass zuvor in verschiedenen Flüssigmedien produziert worden war. ($\frac{1}{2}$ Adam= $\frac{1}{2}$ Adamek, BH=Biomalz/Hefeextrakt, SPM=Grace & Jaronski, unveröffentl.) (Mittelwerte \pm Standardabweichung; n=3)

3.1.3.3 Freilandversuche (Teilprojekte A und B)

Standort Köln-Auweiler

Von 2004 bis 2006 wurden am Versuchsstandort Köln-Auweiler Versuche mit verschiedenen *Metarhizium*-Präparaten durchgeführt (Abbildung 27). Die verschiedenen Präparate stammten aus Kanada (2004), Italien (2005) und der Schweiz (2006). 2005 wurde zusätzlich die Wirkung von Kanne-Brottrunk überprüft. Begleitend wurden die Präparate von der Biologischen Bundesanstalt in Darmstadt im Labor auf Sporenanzahl, Keimrate der Sporen und biozide Wirkung der Sporen auf den Insektenorganismus untersucht.

In den Freilandversuchen gab es in allen drei Versuchsjahren keine Unterschiede zwischen den Präparaten und den entsprechenden unbehandelten Kontrollen, gleichgültig wie hoch die Ausbringungsmenge der Präparate war. Diese Ergebnisse wurden in Laborversuchen der BBA Darmstadt bestätigt.

Unterschiede zeigten sich jedoch zwischen den Versuchsjahren. Lag der Drahtwurmfraß bei den bonitierten Kartoffeln in 2004 noch zwischen 60 und 80 %, so pendelten sich im Versuchsjahr 2005 die Qualitätseinbußen auf 20 % ein. In 2006 hingegen wurde in allen Varianten ein vergleichsweise geringer Drahtwurmfraß von deutlich unter 10 % ermittelt.

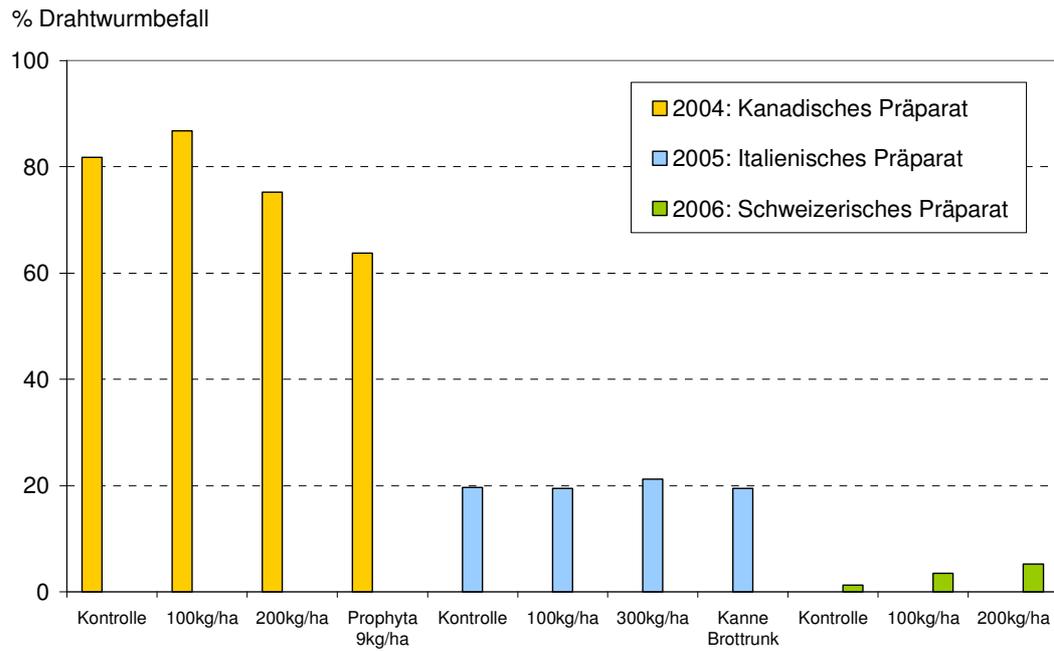


Abbildung 27: Wirkung verschiedener *Metarhizium*-Präparate in den Versuchsjahren 2004 bis 2006 auf den Drahtwurmfraß an Kartoffeln, Boniturergebnisse; Standort Köln-Auweiler

3.1.3.4 Zusammenfassung der direkten Regulierungsmaßnahmen

- Teilweise konnten mit Hilfe der *Metarhizium*-Präparate Pilzsporen im Boden angereichert werden.
- Die Pilzsporen waren gegenüber *Agriotes lineatus* und *A. obscurus* nicht aggressiv. Die Biotests im Labor zeigten keine nennenswerten Verpilzungsgrade der Schnellkäferlarven.
- Drahtwürmer, die nach der Behandlung im Feld aufgesammelt wurden, waren nicht verpilzt.
- Die Qualitäten der eingesetzten Pilzpräparate waren ungenügend.
- Die Massenproduktion von *Metarhizium anisopliae* ist prinzipiell gut möglich. Als Substrat kommen Getreide, Reis, Mais und Hülsenfrüchte in Frage.
- Im Feldversuch konnten keine Unterschiede in der Wirksamkeit verschiedener *Metarhizium*-Präparate festgestellt werden.

3.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse; Möglichkeiten der Umsetzung oder Anwendung der Ergebnisse für eine Ausdehnung des ökologischen Landbaus; bisherige und geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse

In das Projekt waren Praxisbetriebe eingebunden, die seit Jahren mit Drahtwurmschäden verstärkt zu kämpfen haben. Hier zeigten sich neben jahresabhängigen Schwankungen im Drahtwurmfraß auch kultur- und flächenabhängige Unterschiede. Auf diese wurde und wird mit Gegenmaßnahmen reagiert, indem beispielsweise die Fruchtfolge verändert wurde (z. B. Anbau von Winterackerbohnen statt zweijähriger Luzerne).

Direkt nach der Versuchsauswertung wurden die Ergebnisse Praxis und Beratung präsentiert, um eine großflächige und schnelle Umsetzung der erarbeiteten Maßnahmen zu gewährleisten. Verbreitet wurden die Ergebnisse auf Fachtagungen, Feldtagen, Seminaren für Landwirte und Berater und in wissenschaftlichen und landwirtschaftlichen Fachzeitschriften.

Im Wesentlichen können die folgenden zentralen Hinweise bereits jetzt an die Praxis weitergereicht und zur Berücksichtigung empfohlen werden:

- Mit Pheromonfallen werden große Mengen Schnellkäfermännchen abgefangen: In 2005 und 2006 waren es 35.000 Tiere in insgesamt 115 Fallen. Dies lässt vermuten, dass die gesamte Schnellkäferpopulation und damit auch die Larven im Boden auf längere Sicht reduziert werden können. Wichtig ist dabei, dass das richtige Pheromon eingesetzt wird.
- In der Fruchtfolgegestaltung sollte großer Wert auf die Vorfrucht vor Kartoffeln gelegt werden. Mehrjähriger Kleegrasanbau vor Kartoffeln führt meist zu hohem Drahtwurmbefall an Kartoffeln (ab 20% aufwärts).
- Als Vorfrüchte vor Kartoffeln eignen sich vor allem Körnerleguminosen wie Buschbohnen, Körnererbsen und Ackerbohnen. Nach ihrem Anbau reduzierte sich der Drahtwurmbefall an Kartoffeln deutlich.
- Die Kartoffelernte sollte nach der Abreife zügig erfolgen. So kann weitere Drahtwurmfraß verhindert werden.

Aus den Beobachtungen und Versuchsergebnissen wurde ein weiterer Forschungsbedarf erarbeitet:

- Weitere Beobachtung der
 - jahresabhängigen Schwankungen: mögliche Korrelation zwischen Klima- z.B. Niederschläge, Lufttemperaturen, Bodentemperaturen sowie lange Trocken- und/oder Feuchteperioden und der Drahtwurmaktivität
 - flächenabhängigen Schwankungen, mögliche Korrelationen zwischen Bodentyp (Bodenfeuchtigkeit, Humusgehalt, Wasserhaltekapazität der Böden) und der Drahtwurmaktivität
 - kulturabhängigen Schwankungen: mögliche Korrelation zwischen verschiedenen Anbaukulturen und der Drahtwurmaktivität

- biotischen Faktoren: Fraßfeinde, Parasiten
- Prüfung des Einsatzes von Pheromonfallen und deren Einfluss auf das Paarungsverhalten von Schnellkäfern
- Kontinuierliches Monitoring des Drahtwurmvorkommens einer Fläche durch Bodenfallen, Bodenproben, um den Flächenbesatz zu bestimmen.
- Untersuchungen zum Einfluss von Bodenbearbeitung, Mulchen und Beregnung auf die Drahtwurmaktivität
- Anbaumanagement bei reduziertem Kleegrasanbau

→ Erarbeitung verbesserter Schadensschwellen

→ Erarbeitung von Prognosemodellen

Beratungsbedarf

Eine intensive Schulung der Fachberater und weitere Aufklärungsarbeit in der Praxis sind notwendig, um Ursachen des Drahtwurmbefalls, Bekämpfungs- und Verwechslungsmöglichkeiten mit anderen Schadbildern (v. a. *Rhizoctonia*) sowie Regulierungsstrategien publik zu machen. Anbaumanagementsysteme, die den einzelbetrieblichen Anforderungen angepasst werden können, müssen entwickelt werden.

Feldbegehungen, Demonstrationen und Workshops mit Beratern, Praktikern und Wissenschaftlern sind Voraussetzung für einen stetigen Wissens- und Interessensaustausch, um die Produktionstechnik zu verbessern und Kulturausfälle durch Drahtwurmfraß zu vermindern. Der intensive Austausch mit Praktikern und Beratern fand während des Projektes kontinuierlich statt:

Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen (Teilprojekt A)

2004

- 20.-23. September: 54. Deutsche Pflanzenschutztagung in Hamburg; Veröffentlichungen in „Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem“; Vortrag: „Regulierung des Drahtwurmbefalls im Ökologischen Kartoffelanbau: Versuchsergebnisse“, S. 261f. Poster: Strategien zur Regulierung von Drahtwurmschäden (*Agriotes* spp. L) im Ökologischen Kartoffelanbau: Ergebnisse einer Status-Quo-Analyse“, S. 499f.
- 11.-13. Oktober: IOBC-Tagung in Innsbruck; Working Group „Insect Pathogens and Insect Parasitic Nematodes“, Subgroup „Melolontha“; Veröffentlichungen in „Proceeding of the Meeting, IOBC/wprs Bulletin Vol. 28 (2) 2005, ed. Siegfried Keller. Vortrag: „Strategies to regulate the infestation of wireworms (*Agriotes* spp. L) in organic potato farming: results, S. 101-104. Vortrag: „Status-Quo-Analysis and development of strategies to regulate the infestation of wireworms (*Agriotes* spp. L) in organic potato farming, S. 105-108
- 23.-24. November: Vortragsveranstaltung „Aktuelle Projekte im Ökologischen Pflanzenschutz“ im BMVEL, Bonn; Vortrag „Erprobung von Strategien zur Drahtwurmregulierung im Ökologischen Kartoffelanbau: Erste Ergebnisse“

- Dezember: Fachartikel in ERNTE < Zeitschrift für Landwirtschaft und Ökologie; „Kartoffeln in Gefahr“, Ausgabe 01/05, S. 26f.

2005

- 06. Januar: Fachseminar Ökologischer Ackerbau im Landwirtschaftszentrum Haus Düsse, „Kartoffelanbau im Ökologischen Landbau“; Vortrag: „Drahtwurm- und Pheromonfallen zur Abschätzung des Drahtwurmbefalls“
- Februar: Fachartikel LZ Rheinland, Bioland Fachzeitung
- 01.-04. März: 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau; „Ende der Nische“; Veröffentlichung in: Beiträge zur 8. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Hrsg.: J. Heß und G. Rahmann, Universität Kassel; Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften. Vortrag: „Regulierungsmaßnahmen des Drahtwurmbefalls im Ökologischen Kartoffelanbau: Ergebnisse einer Status-Quo-Analyse“, S. 137-140
- 15.-16. Juni: Feldtag der Landwirtschaftskammer NRW, Landwirtschaftszentrum Haus Düsse; Poster: „Drahtwurmregulierung“
- 22. Juni: Feldtag Köln-Auweiler; Versuchsbegehung
- Juli: Bericht im Internetportal www.oekolandbau.nrw.de
- 10.-12. Oktober: SÖL-Beratertagung in Bad Münster am Stein; Vortrag: „Regulierungsmaßnahmen des Drahtwurmbefalls im Ökologischen Kartoffelanbau: Ergebnisse“

2006

- 05. Januar: Kartoffeltagung auf Haus Düsse; Vortrag: „Aktuelles aus der Drahtwurmforschung“
- 29. Juni: Feldbegehung Ökologischer Kartoffelbau, Betrieb Vollmer in Rheda-Wiedenbrück
- 25.-28. September: 55. Deutsche Pflanzenschutztagung in Göttingen; Veröffentlichungen in „Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem“; Vortrag: „Einsatz von Pheromonfallen zur Drahtwurmregulierung im Ökologischen Landbau“, S. 337

2007

- 23. Januar: Ökoherz Thüringen; „Thüringer Ökolandbau-Fachtagung 2007, Schwerpunkt: Pflanzenbau“, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)/Jena. Vortrag: „Strategien zur Drahtwurmregulierung im Ökologischen Kartoffelanbau“
- 28.-30. Januar: Bioland NRW-Wintertagung 2007 aus Schloss Oberwerries; Vortrag: „Strategien zur Drahtwurmregulierung im Ökologischen Kartoffelanbau“
- 05. Februar: Bioland Rheinland-Pfalz/ Saarland, „Qualitätssicherung im ökologischen Gemüsebau“ in Bad Kreuznach. Vortrag: „Strategien zur Drahtwurmregulierung im Ökologischen Kartoffelanbau“

- Februar: Bericht im Internetportal www.oekolandbau.nrw.de
- Februar: Fachartikel LZ Rheinland, Landwirtschaftlichen Wochenblatt, Westfalen-Lippe, Ökumenischer Gärtnerbrief
- 20.-23. März: 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, „Zwischen Tradition und Globalisierung“; Veröffentlichung in Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Hrsg.: S. Zikeli, W. Claupein, S. Dabbert, B. Kaufmann, T. Müller und A. Valle Zárate, Universität Hohenheim, Stuttgart. Vortrag; „Wie lässt sich Drahtwurmfraß an Kartoffeln im Ökologischen Landbau reduzieren?“, S. 333-336

4. Zusammenfassung

Teilprojekt A

Das Projekt „Erprobung von Strategien zur Drahtwurmregulierung im ökologischen Kartoffelanbau“ wurde durch das Bundesprogramm Ökologischer Landbau finanziell gefördert. Zur Abschätzung des Drahtwurmbefalls und einer möglichen Schadensprognose wurde ein Monitoring der Schnellkäfer und ihrer Larven durchgeführt.

In Feldversuchen wurde untersucht, mit welchen indirekten Regulierungsmaßnahmen Drahtwurmschäden an Kartoffeln vermindert werden können. Zu den geprüften Maßnahmen zählten der Anbau unterschiedlicher Vorfrüchte, Zwischenfrüchte und Untersaaten als mögliche Feind- oder Abwehrpflanzen. Sortenunterschiede, Erntezeitpunkt und der Düngung wurden ebenfalls untersucht. Als direkte Bekämpfungsmaßnahmen wurde die Wirksamkeit dreier *Metarhizium*-Präparate auf Drahtwürmer getestet.

1. Monitoring Drahtwürmer

Drahtwürmer lassen sich im Boden nachweisen, über Bodenproben wie über Köderfallen. Die Erfassung über Bodenproben zeigen ebenso gute Ergebnisse wie der Einsatz von Köderfallen. Bodenproben haben gegenüber Köderfallen den Vorteil, dass sie für den Praktiker bzw. Berater einfacher und schneller durchzuführen sind. Unter den Köderfallen schnitten selbst konstruierte Lockenwicklerfallen am besten ab (Teilprojekt B). Da im Frühjahr mehr Drahtwürmer im Boden gefunden wurden als im Herbst, sollten bei einmaliger Flächenbeprobung die Monate März und April genutzt werden. Trotz des Nachweises von Drahtwürmern im Boden konnte die Höhe der Schäden am Erntegut nicht vorausgesagt werden.

2. Monitoring Schnellkäfer

Mit Hilfe von Pheromonfallen konnten z. T. große Mengen Schnellkäfermännchen der Arten *Agriotus lineatus* und *obscurus* abgefangen werden, insgesamt waren es 35.000 Käfer mit 115 Fallen. Die Hauptflugzeit lag zwischen Mitte Mai und Ende Juni. Diese kann standort- und witterungsabhängig um ca. 14 Tage variieren. Die Anzahl Käfermännchen je Fläche ist kulturabhängig. Auf einer mit Luzerne eingesäten Fläche wurden die meisten Käfer abgefangen. Eine Korrelation zwischen abgefangenen Käfern und dem Drahtwurmbesatz im Boden konnte in der kurzen Projektzeit nicht nachgewiesen werden. Ein hohes Käferaufkommen einer Fläche zeigt ein hohes Gefährdungspotential an. Bei langjährigem Einsatz der Pheromonfallen könnte durch den Käferfang sogar die Gesamtpopulation der Schnellkäfer und somit auch ihrer Larven reduziert werden. Die Kosten für den Einsatz von Pheromonfallen sind für den Praktiker durchaus tragbar und liegen zurzeit bei ca. 130 €/ha.

3. Fruchtfolgegestaltung

Vorfrüchte

Mit dem Anbau von Körnerleguminosen als Vorfrüchte konnten die Drahtwurmschäden an nachfolgenden Kartoffeln im Vergleich zu Getreide und Klee gras reduziert werden. Körnerleguminosen zeigten in folgender Reihenfolge positive Effekte: Buschbohnen, Körnererbsen, Ackerbohnen, Lupinen. Allerdings ist nicht eindeutig geklärt, ob die Früchte selbst oder die unterschiedliche Kulturdauer und Bodenbearbeitung sowie die mechanische Unkrautregulierung (Störung der Populationen im Boden) den Erfolg brachten.

Zwischenfrüchte

Keine der im Versuch getesteten Zwischenfrüchte wirkte sich signifikant positiv auf die Kartoffelqualität aus. Nach Zwischenfrüchten war der Qualitätsverlust durch Drahtwurmfraß aber allgemein niedrig (ca. 5%).

Untersaaten

Keine der im Versuch getesteten Untersaaten zeigte über alle Jahre und an allen Standorten einen signifikanten Einfluss auf die Drahtwurmfraßaktivität

4. Kartoffelsorten

Die Sortenwahl hatte in einem einjährigen Versuch einen signifikanten Einfluss auf den Drahtwurmbefall. Der geringste Drahtwurmbefall wurde an den Sorten Nicola und Edelstein beobachtet. Die Sorten Granola und Ditta waren etwas anfälliger gegenüber Drahtwurmfraß. Das höchste Schadensmaß lag bei den Sorten Princess und Steffi vor. CO₂-Messungen im Wurzelraum von Princess und Granola zeigten im Labortest signifikant höhere CO₂-Werte bei Princess, was laut Literatur verstärkt anlockend wirkt. Darin könnte die höhere Anfälligkeit für Drahtwurmfraß begründet sein.

5. Erntetermin

Je später der Erntetermin liegt, umso höher ist der Qualitätsverlust bei Kartoffeln. Diese Beobachtung ist sortenunabhängig. Für den Praktiker bedeutet das, den Kartoffelbestand so früh wie möglich nach Erreichen der Schalenfestigkeit zu roden. Hierzu müssen genügend optimale Lagerbedingungen vorhanden sein oder geschaffen werden (Kühlager).

6. Düngung

Der Drahtwurmfraß an Kartoffeln hängt nicht von der Düngeform ab. Weder Stallmist noch Ackerbohenschrot noch eine Kombination beider Dünger wirkte sich auf die Höhe des Drahtwurmfraßes an Kartoffeln aus.

7. Metarhizium

Eine Feldwirkung dreier getesteter *Metarhizium*-Präparate konnte nicht nachgewiesen werden. Alle im Freiland eingesetzten Pilzpräparate hatten ungenügende Qualitäten. Die Schwankungen im Drahtwurmbefall der Kartoffelknollen waren jahresabhängig. Eine Zulassung eines wirksamen Präparates müsste über eine Produktionsfirma erfolgen und dauert in der Regel mehrere Jahre. Dies ist in naher Zukunft nicht absehbar.

Teilprojekt B

Im Teilprojekt B, das an der BBA Braunschweig den „Einfluss verschiedener Wirtspflanzen auf Drahtwürmer zur gezielten Auswahl von geeigneten Vor- und Zwischenfrüchten bzw. Untersaaten“ zur Regulierung von Drahtwürmern im ökologischen Kartoffelanbau untersuchte, sind in Nahrungseffizienzversuchen im Labor und im Halbfreiland, in Nahrungswahlversuchen im Labor, in einem dreijährigen Untersaatversuch sowie in Versuchen zur Erprobung und Weiterentwicklung von Ködertechniken folgende Ergebnisse erzielt bzw. Beobachtungen gemacht worden:

Die untersuchten Drahtwürmer aus der Gattung *Agriotes* spp. zeigten in Laborversuchen die größte Gewichtszunahme bei Leguminosen und Getreide als Futter. Unter Halbfreilandbedingungen bestätigte sich die Wirkung der untersuchten

Pflanzen nur teilweise. Hier wurde die größte Gewichtszunahme bei den Larven im Mais beobachtet.

Keine der untersuchten Kulturpflanzen bewirkte eine erhöhte Larvenmortalität. Bei Gelbsenf und Ölrettich wurde jedoch sowohl in den Labor- als auch in den Halbfreilandversuchen ein sehr geringes Larvenwachstum beobachtet, das dem der Larven ohne Nahrung entsprach.

In Nahrungswahlversuchen mit 7 Pflanzenkombinationen wurden den Larven jeweils 4 verschiedene Kulturpflanzen inklusive der Kartoffel angeboten. Die Leguminosen Lupine, Erbse und Ackerbohne sowie Raps und Winterweizen wurden in ihrer Kombination jeweils am häufigsten von den Larven aufgesucht, zwei- bis sechsmal so häufig wie die Kartoffel.

In zwei Freilandversuchen 2004 mit den Untersaaten Ackerbohne, Sonnenblume und Winterweizen konnten kaum Befallsunterschiede zwischen den einzelnen Varianten und der Kontrolle festgestellt werden. Dies wird auf den geringen Drahtwurmbesatz und die hohe Verunkrautung beider Kartoffelfelder zurückgeführt. Der durchschnittliche Anteil geschädigter Kartoffeln lag auf beiden Feldern deutlich unter 5%.

Im Freilandversuch 2005 wurde bei den Untersaaten Ackerbohne, Phacelia und Winterweizen ein etwas geringerer Schaden durch Drahtwurmfraß als in der Kontrolle ohne Untersaat (8,2 % Befall) festgestellt. Der durchschnittliche Befall betrug 7%.

2006 war der durchschnittliche Befall der Kartoffeln im Untersaatversuch mit 73 % außergewöhnlich hoch. Nur bei Winterweizen als Untersaat und in der unkrautfreien Variante war der Befall etwas geringer als in der Kontrolle (68 bzw. 65 % Befall zu 74 % Befall). Im Gegensatz zu den Vorjahren wiesen die meisten Kartoffeln Mehrfachschädigungen durch Drahtwürmer auf. Die mit Hilfe von Köderfallen festgestellte Verteilung der Drahtwürmer in der Versuchsfäche war wie in den Vorjahren sehr inhomogen, die Anzahl der gefangenen Drahtwürmer jedoch deutlich größer.

Von den in vier Freilandversuchen 2004 bis 2006 getesteten Untersaaten war der Drahtwurmbefall der Kartoffel in der Variante Winterweizen in drei von vier Versuchen am niedrigsten.

Bei der Erprobung und Weiterentwicklung von Ködertechniken auf der Basis von keimendem Getreide oder Kartoffelstücken erwies sich der Kunststofflockenwickler gefüllt mit einem Gerste-Weizen-Gemisch als effektivste Methode, Drahtwürmer im Boden zu erfassen. Die erzielten Fangzahlen der getesteten Fallen unterschieden sich aber je nach Bedingungen (Bodenart, Art der Bodenbearbeitung, Bodenfeuchte und -temperatur) von der Anzahl wirklich vorhandener Drahtwürmer im Boden und können daher nur ein Anhaltspunkt für die Prognose eines Schadens sein.

Teilprojekt C

Die Massenproduktion von *Metarhizium anisopliae* ist prinzipiell gut möglich. Als Substrat kommen die verschiedensten Sorten Körner Getreide, Reis, Mais und Hülsenfrüchte in Frage. Für die Produktion im Kilogramm-Maßstab ist die Einhaltung strikter Hygienemaßnahmen notwendig. Die sind am ehesten umsetzbar bei personeller Kontinuität und in separaten Räumlichkeiten. Im Gramm-Maßstab konnte gezeigt werden, dass sich Couscous (= Hartweizengries) für die Produktion von *M. anisopliae* M.a. 43 gut eignet. Pro Gramm Substrat wurden hier bis zu 7×10^9

Konidien produziert, was deutlich über dem in einer früheren Untersuchung für eines der kommerziellen Produkte ermittelten Wert von $1-2 \times 10^9$ Sporen g^{-1} liegt. Auch die Wahl des Flüssigmediums zur Inokulumproduktion beeinflusst die Sporenproduktion. Mit einem Standardmedium zur Produktion von *Metarhizium*-Sporen ($\frac{1}{2}$ -Adamek) wurden anschließend auf dem Feststoffsubstrat die höchsten Sporenanzahlen produziert (maximal $4,5 \times 10^9$ Sporen g^{-1} auf Reis).

Die Bereitstellung eines *Metarhizium*-Präparates – in Deutschland zunächst nur zu Versuchszwecken – durch die Firma Ibu – Labor für Boden- und Umweltanalytik (Thun, Schweiz) scheint jedoch gesichert. Die Wirksamkeit im Labor des hierin verwendeten Isolates vom Gartenlaubkäfer konnte mit Biotests gegen Drahtwürmer im Labor nicht untersucht werden. Das Sammeln von Drahtwürmern war aufgrund der begrenzten Möglichkeiten im Rahmen des Teilprojekts C nicht möglich.

In Feldversuchen mit dem *Metarhizium*-Präparat der Firma Ibu – Labor für Boden- und Umweltanalytik konnte keine Wirksamkeit gegenüber Drahtwürmern nachgewiesen werden. In einem Feldversuch in Braunschweig wurde zwar ein höherer Sporengehalt von *Metarhizium* im Boden nach der Behandlung festgestellt, jedoch ist dieser Gehalt vermutlich zu gering für eine erfolgreiche Infektion von Drahtwürmern. Bei der Schadensbonitur wurden keine Unterschiede festgestellt. Warum es trotz der Anwendung der empfohlenen Aufwandmenge (50 kg ha^{-1}) nicht zu einem deutlicheren Anstieg der Sporen im Boden kam ist unklar. Hierfür wären weitere Untersuchungen notwendig.

Als Fazit bleibt anzumerken, dass bei der biologischen Bekämpfung von Drahtwürmern mit dem insektenpathogenen Pilz noch viele Fragen offen sind – auch solche die im Rahmen des vorliegenden Projektes gar nicht angedacht wurden, z.B. die Möglichkeit der Kombination von *Metarhizium* mit Köderfallen, oder der Einfluss verschiedener Untersaaten auf die Überdauerung der Pilzsporen im Boden – deren Beantwortung nur durch intensivere Forschung erfolgen kann.

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

Teilprojekt A

Das Monitoring von Schnellkäfern und ihren Larven wurde im Projekt erfolgreich durchgeführt. Aufgrund des noch zu geringen Datenumfangs konnten aber bislang keine Beziehungen zwischen der Anzahl abgefangener Schnellkäfer und der Anzahl aufgesammelter Larven hergestellt werden. Des Weiteren konnte keine Beziehung zwischen der Anzahl aufgesammelter Larven/m² und den durch sie verursachten Fraßschäden am Erntegut abgeleitet werden. Hierbei scheint es sich nicht um eine einfache Korrelation zu handeln. Vielmehr müssen weitere Parameter wie beispielsweise Bodenart, Bodentemperaturen, Bodenfeuchtigkeit, das Wasserhaltevermögen der Böden, Klimaverlauf, aber auch biotische Faktoren wie beispielsweise Feldkulturen und Fraßfeinde (Laufkäfer, Nematoden, Pilze, Vögel etc.) mit berücksichtigt werden.

Mit Pheromonfallen ließen sich sehr große Mengen an Schnellkäfern abfangen. Eine Populationsabschätzung kann jedoch aus den bisherigen Daten nicht angestellt werden, da auch hierfür der Datenumfang noch zu gering ist. Dies ist frühestens nach vier Versuchsjahren möglich. Weiter wäre es wichtig, herauszufinden, aus welchen Entfernungen Schnellkäfermännchen durch Pheromone angelockt werden können. Erste einjährige Ergebnisse vom Institut für Organischen Landbau, Universität Bonn, liegen vor. Weitere Untersuchungen hierzu sind dringend notwendig. Die Herstellung von Schnellkäferpheromonen ist immer noch sehr teuer. Dennoch wäre eine flächendeckende Anwendung des Pheromons im Sinne der Verwirrungsmethode wie beispielsweise im Weinbau bei Traubenwickler überprüfenswert. Auf diese Weise könnten Käferpaarungen auf so behandelten Flächen stark eingeschränkt werden.

Körnerleguminosen als Vorfrüchte wurden in ihrer Wirkung auf den Drahtwurmfraß an Kartoffeln positiv bewertet. Es muss aber zusätzlich überprüft werden, ob diese Wirkung tatsächlich auf die Pflanze zurückzuführen ist oder gleichwohl/vielmehr auf die mit ihrem Anbau verbundene Bodenbearbeitung. Um dies zu überprüfen, müssen Bodenbearbeitungsversuche angelegt werden.

Die Ergebnisse zu Zwischenfrüchten sind nur einjährig; hierzu sollten noch weitere Versuche angestellt werden. Somit könnte belegt werden, ob durch einen beliebigen Zwischenfruchtanbau der Larvenfraß an der Folgefrucht zurückgedrängt werden kann.

Die Standzeiten der Untersaaten mit maximal 12 Wochen waren zu kurz als dass sie ihre anlockende bzw. abtötende Wirkung auf Schnellkäferlarven entfalten konnten. Möglicherweise sind die Wechselwirkungen mit anderen Pflanzen und/oder tierischen Organismen im Freiland doch größer als vermutet.

Weitere Fragen, die nicht Gegenstand des Projektantrags waren, konnten geklärt werden. So wurde festgestellt, dass der Drahtwurmfraß kartoffelsortenabhängig ist. Ferner wurde deutlich herausgearbeitet, dass ein früher Erntezeitpunkt einen niedrigen Drahtwurmfraß an Kartoffeln bedingt. Die Düngungsart, ob tierisch oder pflanzlich, übte keinen Einfluss auf das Fraßverhalten der Schnellkäferlarven aus.

Die in den Versuchen getesteten *Metarhizium*-Präparate waren völlig unzureichend. Großer Forschungsbedarf ist hier nötig, um praxistaugliche Mittel herzustellen.

Teilprojekt B

Wie vorgesehen wurden Nahrungswahl- und Nahrungseffizienzversuche im Labor- und Halbfreiland mit Kulturpflanzen durchgeführt, die im ökologischen Anbau als Haupt- und Zwischenfrüchte in Frage kommen (s. nachfolgende Auflistung).

In o. g. Versuchen wurden planmäßig folgende Kulturpflanzen hinsichtlich ihrer Attraktivität als Nahrungsquelle und ihrer Wirkung auf die Larvalentwicklung geprüft: Ackerbohne, Erbse, Lupine, Gelbsenf, Schwarzer Senf, Raps, Ölrettich, Färberwaid, Sonnenblume, Ringelblume, Tagetes, Phacelia, Lein, Buchweizen, Gerste, Hafer, Weizen. Zusätzlich wurden Mais und Roggen getestet.

Die Durchführung der Versuche fand wie geplant mit den in Deutschland kulturschädlichen Schnellkäferarten *Agriotes obscurus* und *Agriotes lineatus* statt. Da jedoch das Ausgraben von Drahtwürmern im Freiland sehr zeit- und arbeitsintensiv war und die Artbestimmung bisher nicht bei allen mitteleuropäischen *Agriotes*-Arten möglich ist, war es für eine ausreichende Anzahl an Versuchstieren notwendig, dass auch Larven anderer *Agriotes*-Arten, wie z. B. *A. sputator*, in den Versuchen eingesetzt wurden.

Je nach Fortschritt der Erkenntnisse sollte die Bearbeitung bestimmter Kulturpflanzen intensiviert werden. Dies erfolgte bei Ackerbohne, Weizen und Kartoffel, die jeweils als Jung- und Altpflanze hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Larvalentwicklung in einem vierwöchigen Nahrungseffizienzversuch untersucht wurden. Außerdem wurde ein Nahrungseffizienzversuch mit Kartoffelpflanzen bei unterschiedlichen Bodenfeuchtigkeiten durchgeführt. Dies sollte Aufschluss darüber geben, ob die Bodenfeuchtigkeit in Zusammenhang mit der Schädigung von Kartoffelknollen durch Drahtwürmer steht. Möglicherweise schädigen diese die Kartoffeln in trockenen Sommern besonders stark, um ihren Feuchtigkeitsbedarf durch Fraß an der wasserreichen Knolle zu decken (daher Beregnung von Kartoffelfeldern zur Schadensbegrenzung). Im hierzu durchgeführten Versuch gelang es jedoch nicht, einen für aussagekräftige Ergebnisse erforderlichen Unterschied in der Bodenfeuchtigkeit zwischen der trockenen und der „normal“ feuchten Variante zu etablieren. Es besteht daher weiterhin Forschungsbedarf, zu klären, warum Drahtwürmer im Feld die im Labor wenig attraktiven Kartoffeln schädigen.

Kulturpflanzen, die sich in den Laborversuchen durch eine hohe Attraktivität und/oder eine große Nahrungseffizienz auszeichneten, sollten als ablenkende Untersaat im Freilandversuch getestet werden. Für die Anbausaison 2004 waren die Untersaaten Ackerbohne, Winterweizen und Sonnenblume bereits im Projektantrag festgelegt worden. Zur besseren Absicherung der Ergebnisse wurden sie mit Ausnahme der Sonnenblume, die im ersten Versuchsjahr durch Wildverbiss stark dezimiert worden war, auch in den beiden folgenden Jahren als Untersaaten im Freilandversuch geprüft. Die Sonnenblume wurde in den Jahren 2005 und 2006 durch Phacelia ersetzt, die auf Grund der bis dahin vorliegenden Laborergebnisse am ehesten als Untersaat geeignet erschien.

Versuche zur Erprobung und Weiterentwicklung von Ködertechniken konnten aus Ermangelung an Versuchsflächen mit ausreichender Drahtwurmdichte erst 2006 intensiv durchgeführt werden. Es besteht weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Effektivität von Ködertechniken in weniger stark befallenen Flächen und der

Variabilität der nachweisbaren Drahtwürmer je nach Jahreszeit, Bodenbedingungen und wohl auch sonstiger Bedingungen.

Teilprojekt C

Aus Mangel an Versuchstieren konnten in 2005 und 2006 keine Biotests durchgeführt werden. Die in 2005 von Frau Katzur erhaltenen Drahtwürmer wurden noch bis Juni 2006 gehalten, in der Hoffnung, dass sie 1) wachsen und einheitlicher werden und 2) noch welche dazu kommen. Beides ist nicht eingetreten. Im Gegenteil, die ursprüngliche Anzahl von etwa 70 Tieren reduzierte sich rasch, so dass zum Erhalt aussagekräftiger Daten zu keiner Zeit ausreichend Tiere vorhanden waren.

Der Nachweis einer Wirksamkeit der eingesetzten Pilzpräparate in Feldversuchen konnte nicht erbracht werden. Einerseits wurden keine toten Drahtwürmer gefunden, die auf eine Verpilzung hin hätten untersucht werden können. Andererseits wurde in BS bei der Schadensbonitur nach Auskunft der Kollegen kein Unterschied zur unbehandelten Kontrolle festgestellt. Aus Auweiler liegen keine Angaben zum Versuchsergebnis vor.

6. Literaturverzeichnis

- Blund H. (1925): Biologische Unterschiede schädlicher Drahtwurmarten. Biologische Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Nr. 5
- Bryson H. R. (1935): Observation on the seasonal activities of wireworms (Elateridae) J. Kans. ent. Soc., 8, 131-140
- Burrage R. H. (1963a): Seasonal feeding of larvae of *Ctenicera destructor* and *Hypolithus bicolor* on potatoes placed in the field at weekly interval. Ann. Entomol. Soc. Am., 56, 306-313
- Campbell R. E. (1937): Temperature and moisture preferences of wireworms. Ecology, 18, 479 – 489
- Chabert A., Y. Blot (1992): Estimation des populations larvaires de taupins par un piège attractif. Phytoma, 436, 26 – 30
- Chanton P.F., M.H. Liegeois, J.C., Meyran, P. Ravanel & M. Tissut (2003): Feeding behaviour as a limiting step in insecticide absorption for the wireworm *Agriotes* sp. (Coleoptera: Elateridae). Pesticide Biochemistry & Physiology 77 (3), 106-114
- Chase, A.R., L.S. Osborne & V.M. Ferguson (1986). Selective isolation of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* from an artificial potting medium. Florida Entomologist 69: 285-292.
- Crombie A. C., J. H. Darrah (1947): The chemoreceptors of the wireworm *Agriotes* sp. and the relation of activity to chemical constitution. Journal of Experimental Biology, 24, 95 – 109
- Demmler D. (2004): Drahtwürmer erfolgreich bekämpfen. Kartoffelbau 3, 74-75
- Doane J. F. (1977a): The flat wireworm, *Aeolus mellilus*: studies on seasonal occurrence of adults and incidence of larvae in the wireworm complex attacking wheat in Saskatchewan. Environmental Entomology, 6, 818 - 820
- Doane J. F. (1977b): Spatial pattern and density of *Ctenicera destructor* and *Hypolithus bicolor* (Coleoptera: Elateridae) in soil in spring wheat. Canadian Entomologist, 109, 807 – 822
- Doane J. F. (1981): Evaluation of a larval trap and baits for monitoring the seasonal activity of wireworms in Saskatchewan. Environmental Entomology, 10, 335 – 342
- EPPO-Richtlinie PP 1/ 46 (3), Drahtwürmer, Stand Juni 2005. Hrsg. Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Braunschweig 2006
- Evans A. C., H. C. Gough (1942): Observation on some factors influencing growth in wireworms of the genus *Agriotes* Esch. Annals of Applied Biology, 29, 168 – 175
- Evans A.C. (1944): Observation on the biology and physiology of wireworms of the genus *Agriotes* Esch. Ann. Appl. Biol., 31, 235-50
- Falconer D. S. (1945): On the behaviour of wireworms of the genus *Agriotes* Esch. in relation to temperature. J.Exp. Biol., 21, 17-32
- 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

- Gratwick M. (1989): ed. Potato Pests. MAFF Reference Book 187, HMSO, London
- Griffiths D.C. (1974): Susceptibility of plants to attack by wireworms (*Agriotes* spp.). *Annals of Applied Biology*, 78, 7 – 13
- <http://www.bba.bund.de>
- Jacobs W., M. Renner (1988): *Biologie und Ökologie der Insekten*. 2. Auflage, Gustav Fischer Verlag. 212 - 213
- Jansson R. K., D. R. Seal (1994): Biology and management of wireworm on potato. Proceedings of the International Conference on “Advances in Potato Pest Biology and Management”, Jackson Hole, Wyoming, October, 191, 31 – 53
- Jones E. W., F. H. Shirck (1942): The seasonal vertical distribution of wireworms in the soil in relation to their control in the pacific northwest. *J. Agric. Res.*, 65, 125-142
- Jossi W. (1999): Drahtwürmerschäden zu verhüten wissen. *UFA-Revue*, 7-8
- Kabaluk T., M. Goettel, B. Vernon, C. Noronha (2001): Evaluation of *Metarhizium anisopliae* as a biological control for wireworms. Pacific Agri- Food Research Centre (Agassiz) contribution, 165
- Kempson, D. & Lloyd, M. & Ghelardi, R. (1963), A new extractor for woodland litter, *Pedobiologia* 3, S. 1-21
- Klausnitzer B. (1994): *Die Larven der Käfer Mitteleuropas*. 2. Band Myxophaga/Polyphaga, Goecke & Evers, Krefeld
- Klausnitzer B. (1997): *Die Larven der Käfer Mitteleuropas*. 4. Band Polyphaga, Goecke & Evers, Krefeld
- Klingler J. (1957): Über die Beobachtung des Kohlendioxydes für die Orientierung der Larven von *Otiorrhynchus sulcatus* F., *Melolontha* und *Agriotes* im Boden. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft Schweizerische Entomologische Gesellschaft Zürich*, 0036-75754, 317-322
- Lafrance J. (1968): The seasonal movements of wireworms (Coleoptera: Elateridae) in relation to soil moisture and temperature in the organic soils of south-western Quebec. *Canadian Entomologist*, 100, 801 – 807
- Lauenstein G. (1991): Schwellenwerte für tierische Schädlinge- wichtige Bausteine des Integrierten Pflanzenschutzes oder zuverlässiger Notbehelf?. *Gesunde Pflanze*, 10
- Lees A. D. (1943): On the behaviour of wireworms of the genus *Agriotes* Esch. (Coleoptera: Elateridae) II. Reactions to moisture. *Journal of Experimental Biology*, 20, 54 – 60
- McColloch J. W., W. P, Hayes (1923): Soil temperature and its influence in white grub activities. *Ecology*, 4, 29 – 36
- Parker W. E., F. M. Seeney (1997): An investigation into the use of multiple site characteristics to predict the presence and infestation levels of wireworms (*Agriotes* spp., Coleoptera: Elateridae) in individual grass fields. *Annals of Applied Biology*, 130, 409 – 425
- Parker W. E., J. J. Howard (2001): The biology and management of wireworms (*Agriotes* spp.) on potato with particular reference to U. K.. *Agricultural and Forest Entomology*, 3, 85 – 98

Radtke W., W. Rieckmann, F. Brendler (2002): Kartoffeln: Krankheiten, Schädlinge, Unkräuter. Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen, 272 S.

Schepl U., A. Paffrath (2003): Entwicklung von Strategien zur Regulierung des Drahtwurmbefalls (*Agriotes* spp. L.) im Ökologischen Kartoffelanbau. Beiträge zur 7. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau, Ökologischer Landbau der Zukunft. Hrsg. B. Freyer, Universität für Bodenkultur, Wien. S. 133 – 136

Schepl U., A. Paffrath (2004): Strategien zur Drahtwurmregulierung im ökologischen Kartoffelanbau, Schlussbericht, 62 S.

Traugott M., B. Kromp (2002): Wo Drahtwürmer ihre empfindlichen Stellen haben. Top agrar, 3

7. Anhang

Teilprojekt A, LWK NRW

Tabelle 47: Fängigkeit der Bodenfallen in den ersten drei Versuchswochen (wöchentliche Kontrollen, Drahtwurmfänge am 24.06.2004, 01.07.2004 und 07.07.2004)

1.1	0 0 0	1.2	0 0 0	1.3	0 0 0	1.4	0 0 4
2.1	1 0 0	2.2	0 0 0	2.3	0 3 0	2.4	0 0 0
3.1	0 0 0	3.2	1 0 0	3.3	0 0 0	3.4	9 5 2
4.1	0 0 0	4.2	0 0 0	4.3	0 0 0	4.4	3 0 0
5.1	0 0 0	5.2	0 2 0	5.3	0 0 0	5.4	2 0 0

Tabelle 48: Vergleich Köderfalle – Handgrabung, jeweils 10 Stück/Fläche, drei Standorte; 2005

	Köln-Auweiler		Düren		Wachtberg-Niederbachem	
	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
Köderfalle	10	0	25	0	10	0
Bodenproben	8	1	20	2	17	3

Teilprojekt B, BBA Braunschweig

Tabelle 49: Durchschnittliche Drahtwurmzahl in jeweils 10 Kartoffelköderfallen pro Kartoffelfeld (ab 1.7.04: 5 Fallen/Feld). Kontrolliertes Erdvolumen/Falle: ca. 4l, ab 1.7.04: 1l. Auf allen drei Feldern erfasste Gattungen bzw. Familien: *Agriotes*, *Hemicrepidius* (*H. niger*), Agriotinae und Adrastinae (sehr kleine Individuen). n. u.: nicht untersucht.

Datum	Apelstedt 1	Apelstedt 2	Riddagshausen
11.05.04	0,9	0,3	0,5
19.05.04	0,1	0,3	0,7
26.05.04	0	0,1	0,1
02.06.04	0	0,3	0,3
10.06.04	0,1	0	0
17.06.04	0,4	0,3	0,1
24.06.04	0,2	0	0
01.07.04	0,4	0	0
08.07.04	0,2	0	0
15.07.04	0,2	0,2	0,4
22.07.04	1,4	0,2	0
29.07.04	n. u.	n. u.	n. u.
05.08.04	n. u.	n. u.	n. u.
13.08.04	0	0	0
20.08.04	0	0	0,4
27.08.04	n. u.	n. u.	n. u.
03.09.04	0,2	0,2	0,2

A	K	W	S	W	A	K	S
	1 DW						
S	A	K	W	S	W	A	K
	1 DW	2 DW	1 DW				
W	S	A	K	K	S	W	A
	1 DW	1 DW	1 DW				
K	W	S	A	A	K	S	W
					1 DW		

Abbildung 28: Untersaatversuche 2004, Apelnstedt. Anzahl der mit Lockenwicklerfallen gefangenen Drahtwürmer (1 Falle/Parzelle/Termin) im August und September. Links: Standort Ap.1, rechts: Ap. 2. A: Ackerbohne, K: Kontrolle, W: Weizen, S: Sonnenblume, DW: Drahtwurm.

A1	0 DW 12,4	P1	1 DW 7,0	W1	2 DW 15,6	K1	1 DW 8,3
A1	7,7	P1	10,2	W1	6,0	K1	12,4
K2	1 DW 10,8	A2	0 DW 7,3	P2	1 DW 9,3	W2	0 DW 6,8
K2	5,3	A2	5,5	P2	8,2	W2	5,8
W3	0 DW 2,3	K3	1 DW 8,3	A3	0 DW 5,7	P3	1 DW 3,9
W3	4,5	K3	11,9	A3	2,5	P3	5,6
P4	1 DW 5,8	W4	3 DW 4,9	K4	3 DW 4,9	A4	0 DW 4,6
P4	8,7	W4	8,6	K4	3,6	A4	4,2

Abbildung 29: Feldskizze des Untersaatversuchs 2005 (nicht maßstabsgetreu). Fettgedruckt: Angabe der durch Drahtwurmfraß geschädigten Kartoffelknollen/Parzellenhälfte in % (grau unterlegt: mit Unkrautentfernung, weiß: ohne Unkrautentfernung), Gesamtzahl der mittels Köderfallen gefangenen Drahtwürmer (DW) an 4 Terminen von Ende Juli bis Mitte September 2005 (Tabelle 50); Einsatz von Köderfallen nur in Parzellenhälfte mit Unkrautentfernung. A: Ackerbohne, P: Phacelia, W: Winterweizen, K: Kontrolle = ohne Untersaat.

Tabelle 50: Anzahl Drahtwürmer, die mit Hilfe von Lockenwicklerfallen (Köder: Weizen-Mais-Gemisch und Kartoffel) an vier Terminen auf dem Untersaatversuchsfeld 2005 gefangen bzw. in der umgebenden Erde gefunden wurden. 32 Fallen/Ködertyp/Termin.

Exposition im Boden	Weizen-Mais-Gemisch		Kartoffelbohrkern	
	Falle	umgebende Erde	Falle	umgebende Erde
28.7.-4.8.05	4	2	-----	-----
11.8.-18.8.05	-----	-----	3	0
25.8.-1.9.05	0	2	1	0
8.9.-15.9.05	1	1	1	0

K	P	A	U	W
1 DW	12 DW	17 DW	0 DW	0 DW
0 DW	0 DW	0 DW		
W	K	P	A	U
8 DW	25 DW	4 DW	6 DW	1 DW
0 DW	1 DW	0 DW	0 DW	
	3 DW			
U*	W	K	P	A
21 DW	0 DW	10 DW	2 DW	7 DW
0 DW		0 DW		0 DW
		0 DW		
A*	U	W	K	P
3 DW	3 DW	0 DW	4 DW	1 DW
			0 DW	
			3 DW	

Abbildung 30: Feldskizze des Untersaatversuchs 2006 (nicht maßstabsgetreu). Oben: Anzahl Drahtwürmer (DW)/Parzelle, die mit Hilfe von jeweils 2 Lockenwicklerfallen im August erfasst wurden (Ernte: 07.09.06). Mitte: Anzahl Drahtwürmer, die bei Probennahmen am 30.08.06 erfasst wurden (Probennahme nur in 10 Parzellen, je 1 Probe). Unten: Anzahl Drahtwürmer aus Probennahmen am 07.09.06 (je 5 Proben nur in der Kontrolle). P: Phacelia, A: Ackerbohne, W: Winter-Weizen, K: Kontrolle = ohne Untersaat, U: unkrautfreie Variante, ohne Untersaat.

Teilprojekt C, BBA Darmstadt

Tabelle 51: Verwendete Nährmedien zur Herstellung eines Pilzpräparates

Metarhizium-Selektivnährmedium, modifiziert nach Chase et al. (1986)

20g	Kölln Instant Haferflocken
500ml	Wasser
20 Minuten bei 105 °C Autoklavieren	
anschließend durch 4 Lagen Mull filtern	
0,25g	Chloramphenicol
0,8mg	Benlate
0,3g	Dodin
10mg	Kristallviolett
15g Wasser	Agar ad 1 l entionisiertes
20 Minuten bei 105 °C Autoklavieren	

1/2-Adamek

2%	Glucose
2%	Hefeextrakt
1,5%	Cornsteep liquor
2%	Tween 80 (10 %ig)
20 Minuten bei 121 °C Autoklavieren	

Biomalz/Hefeextrakt

3%	Biomalz-Sirup
1%	Hefeextrakt
20 Minuten bei 121 °C Autoklavieren	

SPM (nach Grace & Jaronski, persönl. Mitteil.)

zu 1l entionisiertem Wasser dazugeben:

10g	Glucose
10g	Hefeextrakt
4g	K_2HPO_4
2g	KH_2PO_4
1g	NH_4NO_3
0,2g	$MgSO_4$
0,2g	KCl

Spurenelement: je 0,002g $FeCl_2$, $MnSO_4$, $ZnSO_4$

1ml Gentomycin (Antibiotikum)

20 Minuten bei 121 °C Autoklavieren