



**Evaluierung von Möglichkeiten zur biologischen
Kontrolle der Reblaus durch den entomophagen Pilz
Metarhizium anisopliae im ökologischen Weinbau**

Erstellt von:

Forschungsanstalt Geisenheim
Institut für Weinbau und Rebenzüchtung
Eibinger Weg 1, 65366 Geisenheim
Tel.: +49 6722 502-121, Fax: +49 6722 502-120
E-Mail: e.ruehl@fa-gm.de
Internet: <http://www.campus-geisenheim.de>

Gefördert vom Bundesministerium
für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau

Dieses Dokument ist über <http://forschung.oekolandbau.de> verfügbar.



Prof. Dr. E.H. Rühl
Forschungsanstalt Geisenheim
Fachgebiet Rebenzüchtung und Rebenveredlung
Eibingerweg 1

65366 Geisenheim

Geisenheim, 14.Mai 2004

An die

Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau
- Frau D. Hahn -
Ferdinand-Lassalle-Str. 1-5

53175 Bonn

Schlussbericht

zum Forschungsvorhaben 03OE001:

Evaluierung von Möglichkeiten zur biologischen Kontrolle der Reblaus durch den entomopathogenen Pilz *Metarhizium anisopliae* im ökologischen Weinbau

I Einleitung

Das Gesamtziel dieses Projektes war es, die Möglichkeiten einer biologische Kontrolle der Reblaus durch den entomophagen Pilz *Metarhizium anisopliae* auf ökologisch bewirtschafteten Weinanbauflächen zu untersuchen. Die Grundlagen für dieses Forschungsvorhaben waren einerseits die bisher im Rahmen verschiedener von der DFG und dem FDW geförderter Projekte durchgeführten Untersuchungen der Zuwendungsempfänger, insbesondere Topfversuche, welche im Jahr 2002 an der Forschungsanstalt Geisenheim durchgeführt wurden (KIRCHMAIR et al. 2003).

Weitere Grundlagen entstammten aus von der EU finanzierten Forschungsvorhaben, die von Kooperationspartnern am Institut für Mikrobiologie an der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck (Österreich) durchgeführt wurden. Ziel dieser EU-Forschungsprojekte war es, die Effektivität insektenpathogener Pilze für die biologische Schädlingsbekämpfung zu verbessern. Durch diese Projekte konnte das biotechnologische Verfahren so weit weiterentwickelt werden, dass es in der Praxis für Freilanduntersuchungen eingesetzt werden kann. Daher besteht nun erstmals die Möglichkeit, den Hauptstressfaktor für Reben – die Reblaus – direkt, ökologisch verträglich und nachhaltig zu kontrollieren. So könnte der für die Absterbescheinungen von Reben maßgebliche Stressfaktor eliminiert und die Schädigung der Reben vermindert werden

Ermöglicht werden die Freilanduntersuchungen auch durch ein an der Universität Mainz und der Forschungsanstalt Geisenheim neu entwickeltes System zur Bonitur von Reblauspopulationen (PORTEN & HUBER 2003). Dieses System erlaubt erstmals die vergleichende Darstellung der Populationsentwicklung der Reblaus im Freiland unter dem Einfluss verschiedener Fakto-

ren (z.B. Mortalität). Im Rahmen des diesem Schlussbericht zugrunde liegenden Projektes sollten die bisher gewonnenen Erkenntnisse in praktischen Freilanduntersuchungen weiter vertieft werden und die biologische Kontrolle der Reblaus durch *Metarhizium anisopliae* bis zur Praxisreife weiterentwickelt werden.

Die Aufgabenstellung beinhaltete folgende Punkte:

1. Nachweis der Effektivität von *M. anisopliae* gegen die Reblaus
2. Nachweis, dass *M. anisopliae* mit praxisüblichen Techniken (z.B. Saatmaschinen) in Weinbergsböden inkorporiert werden kann
3. Nachweis der Persistenz von *M. anisopliae* in Weinbergsböden
4. Nachweis der Unbedenklichkeit beim Einsatz von *M. anisopliae* im Hinblick auf Schadwirkungen von *M. anisopliae* gegenüber Nützlingen (non-target-effects) und natürlich vorkommenden konspezifischen Bodenpilzen

Die Untersuchungen gliederten sich dabei in drei einzelne Workpackages (Wp 1-3):

- **Wp1** Nachweis der Effektivität von *M. anisopliae*
- **Wp2** Nachweis der Persistenz von *M. anisopliae*
- **Wp3** Verträglichkeitsuntersuchungen von *M. anisopliae* gegenüber non-target-Organismen (Invertebraten) und standorttypischen Bodenpilzen

Als Voraussetzungen zur Durchführung der Untersuchungen wurden verschiedene Vorarbeiten der Zuwendungsempfänger genutzt. Diese Versuchsfläche wird bereits seit vielen Jahren von den Antragstellern wissenschaftlich betreut.

- Standort: **Geisenheim/Rhein**
- Gemarkung: Geisenheim
- Flur: 56, Flurstücknummer: 74
- Größe: 1985 qm, davon im Versuch 1580 qm
- Edelreissorte: Weißer Riesling, Unterlagssorte: 5C
- Pflanzjahr: 1985
- Zeilenbreite: 2,0 m; Stockabstand: 1,35 m; Standraum/Rebe: 2,7 qm
- Zeilenzahl: 10; Rebstöcke/Zeile: im Mittel 58
- Stockzahl gesamt: 585
- Düngevariantenzahl: 4
- Reblausbefall: langjährig, stark bis sehr stark,
- Bodengruppe 3: tiefgründig, meist frisch, meist schwach kalkhaltig
- Ausgangsgestein: Rigolhorizont: Lößhanglehm, zum Teil geringer Schiefer
- Bodenart: Rigolhorizont, Lehm bis toniger Lehm, schwach steinig, grusiger Untergrund
- Kalkgehalt: Rigolhorizont: 0-2%;
- Wasserhaushalt: Wasserdurchlässigkeit mittel bis hoch, Feldkapazität hoch
- Melorationshinweis: keiner, da optimaler Bodenzustand

Im Rahmen verschiedener Langzeituntersuchungen wurden eine Reihe von Daten erhoben, die eine wichtige Datengrundlage für das Forschungsvorhaben bildeten:

- Faunistische Untersuchungen (Nematodenzönosen, Invertebratebzönosen, speziell Gamasina)
- Biologische Aktivität (Dekompositionsmessung, Köderstreifen-Test)
- Bodenmikrobiologische Untersuchungen (Pilzzönose, Mikrobielle Biomasse, Basisrespiration)
- Oenologische Untersuchungen (Leistungs- und Ertragsparameter)
- Monitoring der Reblauspopulationen (1997-2001)
- Monitoring des Rebenwachses

Tab 1: Soll-Ist-Vergleich des Projektstandes mit dem Arbeits- und Finanzierungsplan.

√ = Arbeiten abgeschlossen nach Zeitplan; █ = zeitliche Verteilung der Arbeitsschritte nach dem Arbeitsplan der Antragstellung vom 16.04.2003; x = Termin witterungsbedingt verschoben; ▣ = Ersatztermin, Arbeiten abgeschlossen oder von den Antragstellern zusätzlich durchgeführte Untersuchungen

Monat (Jahr 2003)		03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	2004
Vorarbeiten												
Herstellung <i>Metarhizium</i> -Inokulat	√	√	√									
Anlage der Versuchsfläche	√		√	√								
<i>Metarhizium</i>-Applikation (Versuchsbeginn)	√			√								
Wp1												
Bonitur Reblauspopulationen	√			√		√		√	√			
Bonitur Rebwuchs	√			√		√		√	√			
Wp2												
Probennahme <i>Metarhizium</i>	√			√		√		x	√			
Cfu-Bestimmung <i>Metarhizium</i>	√			√	√	√	√	x	√			
Wp3												
Probennahme Bodenfauna	√			x		√	x	√				
Probennahme konspezifische Pilze	√			√		√		x	x			
Probennahme Carabidae	√			√		√	√	√	√			
Probennahme Lumbricidae	√			√		√	√	√	√			
Extraktion Edaphon und Collembola 1. Beprobung	√			x	x		√	√				
Extraktion Edaphon und Collembola 2. Beprobung	√						x	√	√			
1. Beprobung												
Abundanzbestimmung Edaphon	√											
Abundanz- und Artbestimmung Collembola	√			√	√	√	√	√	√	√	√	√
Abundanz- und Artbestimmung Lumbricidae	√			√	√	√	√	√	√	√	√	√
Abundanz- und Artbestimmung Carabidae	√			√	√	√	√	√	√	√	√	√
Cfu und Artbestimmung konspezifische Pilze	√			√	√	√	√	√	√	√	√	√
2. Beprobung												
Abundanzbestimmung Edaphon	√						√	√	√	√	√	√
Abundanz- und Artbestimmung Collembola	√						√	√	√	√	√	√
Abundanz- und Artbestimmung Lumbricidae	√						√	√	√	√	√	√
Abundanz- und Artbestimmung Carabidae	√						√	√	√	√	√	√
Cfu und Artbestimmung konspezifische Pilze	√						√	√	√	√	√	√
3. Beprobung												
Cfu und Artbestimmung konspezifische Pilze	√							√	√	√	√	√
Begleituntersuchungen												
Persistenz und Wirkweise <i>Metarhizium</i>	√				√	√	√	√				
Probennahme: Abiotische Bodenparameter	√			x		√	x	√				
Bearbeitung: Abiotische Bodenparameter	√			x	x	√	√	√	√			
Einzelstocklese und oenologische Untersuchungen	√								√	√		
Datenauswertung	√								√	√	√	√

Diese Datengrundlage erlaubte eine hochauflösende zeitliche und räumliche Differenzierung der zu untersuchenden Parameter sowie eine umfassende Analyse der in diesem Forschungsvorhaben gewonnenen Ergebnisse.

Die Versuchsfläche wurde auch aufgrund der bisher sehr geringen oberirdischen Schädigungen der Rebstöcke ausgewählt. Aufgrund dieses geringen Schadausmaßes ist die Fläche für die Auswirkungen einer *Metarhizium*-Applikation auf ökologisch bewirtschaftete Weinbergböden besser geeignet als ein Fläche, welche starke Schäden aufweist. Der Einfluss der *Metarhizium*-Applikation auf das Rebwachstum konnte leichter untersucht werden, weil die Auswirkungen nicht durch eine Vielzahl von Stressfaktoren überlagert werden.

Tab. 1 gibt einen Überblick über die Planung und den zeitlichen Ablauf der Untersuchungen. Die zusätzlich zu den im ursprünglichen Antrag genannten Untersuchungen umfassten:

- Zwei zusätzliche Probennahmen Carabidae
- Eine zusätzliche Probennahme Lumbricidae
- Eine zusätzliche Bestimmung der *Metarhizium*-Dichte im Unterstockbereich
- Monitoring der Ausbreitung von *M. anisopliae* im Boden unter Verwendung des SMM-Systems (Soil Microorganism Monitoring System)

Bei der Entwicklung pilzlicher biologischer Kontrollorganismen (fungal biological control agents; BCA) für den Einsatz im Rahmen eines integrierten Pflanzenschutzes (integrated pest management; IPM) konnten in den letzten Jahren deutliche Fortschritte erzielt werden. Dies gilt v.a. für den Einsatz des Insektenpathogens *M. anisopliae* (BUTT & COPPING 2000; PICKETT et al. 1995; INGLIS et al. 2001). Obwohl einige dieser auf *Metarhizium* basierenden Produkte bereits im Handel verfügbar sind, ist deren Einsatz nur begrenzt zugelassen. Diese Produkte kommen zum Einsatz wenn:

- Chemische Stoffe aus Umweltgründen bzw. aufgrund ihrer Toxizität verboten sind (z.B. Organochlorverbindungen, Methylbromid)
- Pestizide aufgrund Pestizidresistenz unwirksam sind
- Für Menschen, Tiere oder Pflanzen (v.a. Nützlinge) Gefahren zu erwarten sind (z.B. an der Öffentlichkeit zugänglichen Orten)
- Chemische Pestizide nicht eingesetzt werden können (z.B. nachhaltig-ökologischer Anbau, Weideflächen und Kulturen, in denen eine Bestäubung durch Bienen erforderlich ist)

In diesem Projekt sollte der Einsatz eines *Metarhizium*-Produktes zur Bekämpfung der Reblaus untersucht und bewertet werden. Dadurch könnte die Anerkennung und Zulassung von *Metarhizium*-Präparaten beschleunigt werden, um der ökologischen Weinwirtschaft eine dringend benötigte Möglichkeit zur biologischen Bekämpfung der Reblaus an die Hand zu geben.

In diesem Kontext wurden von den Zuwendungsempfängern bereits mehrere Forschungsvorhaben durchgeführt:

- Das Fachgebiet Rebenzüchtung und Rebenveredlung arbeitet seit vielen Jahrzehnten (mit Förderung des BMVEL) an der biologischen Bekämpfung der Reblaus durch die Züchtung von toleranten und resistenten Unterlagsreben.
- Zusammen mit dem Fachgebiet Botanik der FA Geisenheim werden die Vorgänge bei der Reblausattacke und die Abwehrmechanismen resistenter Unterlagsreben untersucht, um die physiologischen und genetischen Mechanismen zu verstehen und zukünftig zur Kontrolle einsetzen zu können.
- Mit dem Institut für Zoologie der Universität Mainz laufen Arbeiten zur Wechselwirkung der Reblaus mit verschiedenen Organismen der Biozönose mit dem Ziel der Begrenzung von Reblauschäden in befallenen Anlagen.

Viele der weinbaulich relevanten Interaktionen zwischen der Rebe und den sie beeinflussenden Umweltfaktoren sind noch nicht untersucht. Die von den Zuwendungsempfängern v.a. in den Jahren 1996-2003 durchgeführten Untersuchungen erlauben eine Vielzahl von Aussagen zu verschiedenen dieser Wechselwirkungsketten. Diese bereits durchgeführten Arbeiten umfassen z.B. bodenkundliche, -zoologische, -mikrobiologische, ökologische, phytomedizinische und oenologische Untersuchungen verschiedener involvierter Umweltfaktoren. Zu den Hauptzielen dieser vorangegangenen Forschungsvorhaben gehörten das Monitoring und die Beschreibung verschiedener Interaktionen (HUBER et al. (2003), KIRCHMAIR 2003, PORTEN et al. 2000, PORTEN & HUBER 2003, STURM et al. 2002).

Verschiedene Autoren weisen im Zusammenhang mit den von der Reblaus verursachten Absterbeerscheinungen an Reben auch auf eine Beteiligung von pathogenen

Mikroorganismen hin (THÜMEN 1878, PETRI 1909, GRANETT et al. 1998, PORTEN et al. 2000 b, HUBER et al. (2003); Abb. 1). Phytopathogene verursachen in der Agrarwirtschaft weltweit erhebliche Ernteaufschläge. Die Ertragsmengen könnten durch effektive Pflanzenschutzmaßnahmen durchschnittlich um 15-20 %, in vielen Fällen um über 100 % gesteigert werden (COOK et al. 1995). Forschungsvorhaben der letzten Jahrzehnte haben gezeigt, dass nachhaltige Bodenbewirtschaftung mit organischen Düngern im Rahmen eines integrierten Pflanzenschutzes eine effektive Kontrollmöglichkeit v.a. für bodenbürtige phytopathogene Mikroorganismen darstellt (z.B. DECEUSTER & HOITINK 1999). Die strukturellen Veränderungen in der Agrarwirtschaft der letzten 50 Jahre, v.a. auch im Weinbau, führten zu stark veränderten Bodenbewirtschaftungsmaßnahmen, geprägt durch einen deutlich geringeren Einsatz organischer Substanz (z.B. STATISTISCHES BUNDESAMT 1970, BUCHNER & STURM 1980, BMVEL 2000). In vielen Untersuchungen konnte aber gezeigt werden, dass Böden mit geringem Humusgehalt eine oft signifikant verminderte bodenbiologische Aktivität (z.B. Basisrespiration, Dekomposition, Bioturbation) aufweisen (z.B. KILLHAM 1994, DOUBE et al. 1994, COLEMAN & CROSSLEY 1996, GISI 1997, STURM et al. 2002). Dies beeinflusst u.a. die Mineralisierung und somit die Freisetzung pflanzenverfügbarer Nährstoffe (MENGEL & KIRKBY 2001). Ein ausreichendes Nährstoffangebot ist für die vegetative Leistung von Rebstöcken, v.a. unter der Einwirkung von Stressfaktoren (z.B. Reblausbefall), aber elementar (z.B. CURRLE et al. 1983, RAVEN et al. 1999).

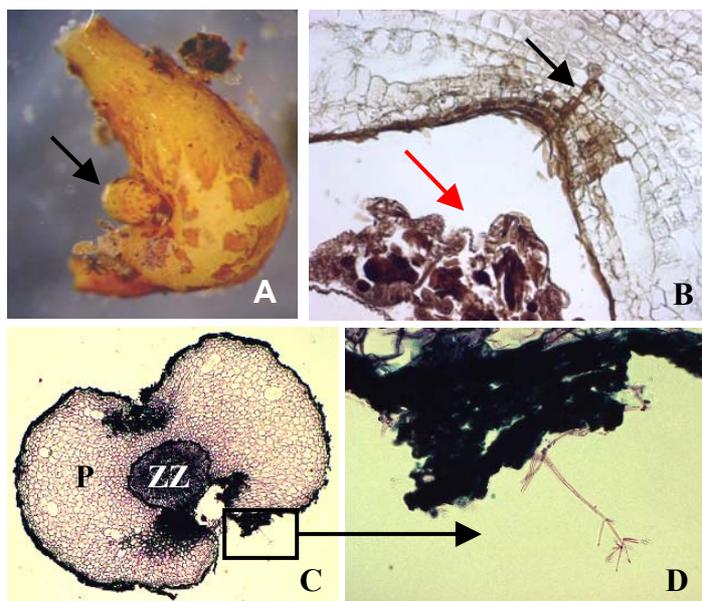


Abb. 1

A: Wenige Tage alte Nodosität mit Reblaus (Pfeil) und durch Dehnungsrisse verletzter Rhizodermis.

B: Längsschnitt durch eine Nodosität mit ansitzender Reblaus (roter Pfeil) und deren Stechrüssel (schwarzer Pfeil) im Nodositätengewebe.

C: Längsschnitt durch eine Nodosität mit auswachsenden Pilzhyphen (Kasten) und stark geschädigtem Parenchym- (P) und Rhizodermisgewebe. Schädigungen greifen auf den Zentralzylinder (ZZ) über.

D: Rhizodermiszellen mit Pilzbewuchs und nach außen wachsendem asexuellem Fruchstand (aff. *Verticillium* sp.)

Ein verminderter Gehalt an organischer Bodensubstanz wirkt sich außerdem auf die abiotischen und biotischen Bodenparameter aus, die ihrerseits einen starken Einfluss auf die verschiedenen Stoffkreisläufe haben (z.B. GISI 1997). Von diesen Veränderungen besonders stark betroffen sind die pathogensuppressiven bzw. -konduktiven Eigenschaften von Böden (z.B. AMIR & ALABOUVETTE 1993, DEGENS 1998, DECEUSTER & HOITINK 1999, KNUDSEN et al. 1999).

Bei der nur sehr gering geschädigten Versuchsfläche in Geisenheim handelt es sich um eine Anlage, die seit vielen Jahren von Ihrem Besitzer intensiv mit sehr hohem Arbeitsaufwand nachhaltig-organisch auf der Basis von Stallmist bewirtschaftet wird.

Eine Bestandsaufnahme der Reblauspopulationen mit einem neu entwickelten, mehrstufigen Bonitursystem (PORTEN & HUBER 2003) zeigt in vielen Fällen auch hohe Werte auf den schwach geschädigten Flächen wie der VF Geisenheim. Das Bonitursystem beruht auf der Anzahl von alten und neuen Nodositäten, Rebläusen (aller Stadien) und Reblauseiern.

Dies zeigt, dass das Absterben der Rebstöcke nicht direkt auf die Saugaktivität der Reblaus und die Bildung von Nodositäten zurückzuführen ist, sondern die Reblaus als Stressfaktor oder -vektor für die Reben anzusehen ist, unter deren Einfluss das Absterben der Rebstöcke ausgelöst oder verstärkt wird.

Als Anzeiger für den Stresszustand eines Bodens bzw. der Pflanzen können nicht nur biotische, sondern auch abiotische Bodenparameter herangezogen werden. So können Pflanzen auf Nährstoffmangel mit einer erhöhten Ausscheidung von H^+ -Ionen reagieren, um die im Boden an Tonminerale fixierten kationischen Nährstoffe zu lösen (MENGEL & KIRKBY 2001). Dies zeigt sich in der Absenkung des pH-Wertes in der Rhizosphäre. Diese Reaktion konnte im Vergleich der Versuchsflächen zueinander deutlich gezeigt werden..

Die Beziehungen zwischen Ursache und Wirkung sind gerade im Bereich der Mikroorganismenzönosen und der daraus resultierenden mikrobiellen Biomasse äußerst vielfältig (GISI 1997, MENGEL & KIRKBY 2001). Den Großteil der mikrobiellen Biomasse stellen in gesunden Böden die vom Abbau toter organischer Substanz lebenden Saprobier. Von vielen Mikroorganismen ist bekannt, dass sie bei ausreichendem Nahrungsangebot saprobisch leben, bei schlechten Lebensbedingungen allerdings zum Parasitismus übergehen (z.B. HÖFER 1992, GREGORI & TIZIO 1997), was eine enge räumliche Bindung an den Wirt voraussetzt.

Mikrobiologische Untersuchungen wie die Isolation von Bodenpilzen aus wurzelfreiem Boden, der Rhizosphäre, der Rhizoplane und Wurzel- bzw. Nodositätengewebe (Abb. 1) bestätigen diese o.g. Zusammenhänge. Für wenige der isolierten Arten liegen Erkenntnisse über Ökologie und Wirkungsweise vor (z.B. GILMAN 1957, WEBSTER 1980, PEARSON & GOHEEN 1988, DOMSCH et al. 1993).

Viele Bodenmikroorganismen sind als fakultative Pflanzenparasiten bekannt, z.B. während bestimmter Phasen ihres Generationswechsels oder bei veränderten Umweltbedingungen (z.B. THROM 1997, ESSER 2000). So kann z.B. *Rosleria subterranea* (Synonyme: *R. hypogaea*, *R. pallida* pro parte) viele Jahre als Saprobier im Boden überdauern, ohne eine pflanzenparasitäre Wirkung zu zeigen. Erst bei verschlechterten Nahrungsbedingungen ändert der Pilz seine Lebensweise und wird pflanzenparasitisch aktiv (z.B. HÖFER 1992).

Ein zentraler Punkt ist die Reduzierung der auf die Reben einwirkenden Stressfaktoren. Diese Stressfaktoren sind größtenteils nicht oder nur in geringem Maße durch anthropogene Eingriffe zu steuern. So kann z.B. der Faktor Wasserstress nicht direkt, sondern nur durch eine bewirtschaftungsbedingte Verbesserung der Bodenwasserhaltekapazität verringert werden. Ähnliche Probleme bestehen bei der Kontrolle von Bodenpilzen im Allgemeinen und phytopathogener Pilze im Besonderen. So lassen sich weder die Habitatbesiedlung noch die Ausbreitung im Boden bisher gezielt kontrollieren. Die hierfür nötigen Kenntnisse über Ökologie und Wirkweise sind für die meisten Bodenpilzarten nicht oder nur bruchstückhaft bekannt. Dieser Themenkomplex wird von den Zuwendungsempfängern derzeit im Rahmen verschiedener Projekte näher untersucht.

Die Untersuchung der non-target-Organismen legte besonderes Gewicht auf die Carabidae (Laufkäfer), die Lumbricidae (Regenwürmer) und die Collembola (Springschwänze). Laufkäfer spielen als Prädatoren verschiedener Tiere eine große Rolle im Nahrungsnetz. Viele Laufkäferarten sind zudem durch das Bundesnaturschutzgesetz und die Bundesartenschutzverordnung unter Schutz gestellt. Die Collembola gehören neben den Milben zu den häufigsten Bodentieren. Sie spielen eine große Rolle bei der Dekomposition und der Bodenbildung (RUSEK 1998). Sie ernähren sich hauptsächlich saprophag, viele sind als Pilzhyphenfresser bekannt (u.a. LEONARD & ANDERSON 1991,). Viele Vertreter der Gruppe der Collembola sind natürlicherweise mit entomopathogenen Pilzen im Boden assoziiert, sie tragen Konidien und Sporen auf dem Körper. Zusätzlich zu diesem passiven Transport dienen die Pilze den Tieren als Nahrung und werden auch durch den Kot verbreitet (DROMPH 2001, DROMPH & VESTERGAARD 2002).

Aufgrund der Komplexität und Interdisziplinarität der in diesem Forschungsvorhaben bearbeiteten Aufgabenstellung ist eine Gesamtdarstellung der verwendeten Fachliteratur nicht möglich. Allein Teile der Ergebnisauswertung beruhen auf einer von den Antragstellern erstellten Literaturliteraturdatenbank mit über 14.000 Einträgen.

Verwendete Literatur (Auswahl):

- Amir, H. & C. Alabouvette (1993): Involvement of soil abiotic factors in the mechanisms of soil suppressiveness to *Fusarium* Wilts.- *Soil Biol. Biochem.* 25 (2): 157-164.
- Andrate, O.A., Mathre, D.E. & D.C. Sands (1994): Natural suppression of take-all disease of wheat in Montana soils.- *Plant and Soil* 164: 9-18.
- Berlese, A. (1905): Apparachio per raccogliere presto ed in gran numero piccoli Arthropodi. – *Redia* 2: 85-89.
- BMVEL: Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (2000): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland.- Landwirtschaftsverlag, Münster.
- Bruggen van, A.H.C. & A.M. Semenov (1999): A new approach to the search for indicators of root disease suppression.- *Australasian plant pathology* 28: 4-10.
- Buchner, A. & H. Sturm (1980): Gezielter Düngen.- DLG-Verlag, Frankfurt.
- Burgess, D.R., Bretag, T. & P.J. Keane (1997): Biocontrol of seedborne *Botrytis cinerea* in chickpea with *Gliocladium roseum*.- *Plant Pathology* 46: 298-305.
- Butt, T. M. & Copping, L. (2000): Fungal Biological Control Agents.- *Pesticide Outlook* (11): 186-191.
- Coleman, D.C. & D.A. Crossley (1996): Fundamentals of soil ecology.- Academic Press, San Diego.
- Cook, R.J., Gabriel, C.J., Kelman, A., Tolin, S. & A.K. Vidaver (1995): Research on plant disease and pest management is essential to sustainable agriculture.- *BioScience* 45 (5): 354-357.
- Corrie, A. (1998): Phylloxera problems in Australia and possible solutions.- 19. Internat. Geisenheimer Reberedlertagung, Geisenheim 1998.
- Currle, O., Bauer, B., Hofäcker, W., Schumann, F. & W. Frisch (1983): Biologie der Rebe.- Meiningen Verlag, Neustadt.
- DeCeuster, T.J.J. & H.A.J. Hoitink (1999): Prospects for Composts and Biocontrol Agents as Substitutes for Methyl Bromide in Biological Control of Plant Diseases.- *Compost Science & Utilization* 7 (3): 6-15.
- Degens, B.P. (1998): Microbial functional diversity can be influenced by the addition of simple organic substrates to soil.- *Soil Biol. Biochem.* 30 (14): 1981-1988.
- Domsch, K.H., Gams, W. & T. Anderson (1993): Compendium of soil fungi.- Academic Press, London.
- Doube, B.M., Stephens, P.M., Davoren, C.W. & M.H. Ryder (1994): Earthworms and the introduction and management of beneficial soil microorganisms.- In: Pankhurst, C.E., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. & P.R. Grace (Hrsg.): *Soil microbiota*.- CSIRO, Victoria: 32-49.
- Dromph, K.M. (2001): Dispersal of entomopathogenic fungi by collembolans.- *Soil Biology and Biochemistry* 33: 2047-2051.
- Dromph, K.M. & S.Vestergaard (2002): Pathogenicity and attractiveness of entomopathogenic hyphomycete fungi to collembolans.- *Applied Soil Ecology* 21 (3): 197-210.
- Dunger, W. & H.J. Fiedler (1997): Methoden der Bodenbiologie.- Fischer, Jena.
- English-Loeb, G., Villani, M., Martinson, T., Forsline, A. & N. Consolie (1999): Use of entomophagic nematodes for control of grape phylloxera (Homoptera: Phylloxeridae): A laboratory evaluation.- *Biol. Cont.* 28 (5): 890-894.
- Esser, K. (2000): Kryptogamen.- Springer, Berlin.
- Gilman, J.C. (1957): A manual of soil fungi.- The Iowa State University Press, Iowa.

- Gisi, U. (1997): Bodenökologie.- Thieme, Stuttgart.
- Grannet, J., Timper, P. & L. Lider (1991): Deadly insect pest poses increased risk to north coast vineyards.- Calif. Agric. 45: 30-32.
- Grannet, J., Omer, A. D., Pessereau, P. & M.A. Walker (1998): Fungal infections of grapevine roots in phylloxera-infested vineyards.- Vitis 37: 39-42.
- Grannet, J., Walker, M.A., Kocsis, L. & A.D. Omer (2001): Biology and management of grape phylloxera.- Annu. Rev. Entomol. 46: 387-412.
- Gregori, M.T. & R. Tizio (1997): Effect of the mycelium, diffused substances and extracts of the fungus *Cladosporium herbarum* (Pers.) Link on the in vitro and in vivo growth of grapevine (*Vitis vinifera* L.) cv. Cabernet Sauvignon.- Vitis 36 (2): 61-65.
- Hedlund, K.; Bengtsson, G.; & S. Rundgren (1995): Fungal odour discrimination in two sympatric species of fungivorous collembolans.- Functional Ecology 9 (6): 869-875.
- Hetherington, A.C. & H. Raistrick (1931): On the production and chemical constitution of a new colouring matter, citrinin, produced from glucose by *Penicillium citrinum*.- Phil. Trans. R. Soc. B. 220: 269-295.
- Höfer, M. (1992): Untersuchungen über *Rosleria hypogaea* THÜM. & PASS. als Erreger des Wurzelschimmels der Weinrebe.- Geisenheimer Berichte 13.
- Huber, L., Eisenbeis, G., Porten, M. & E.H. Rühl (2003): The influence of organically managed vineyard-soil on the phylloxera-populations and the vigour of grapevines.- Acta Horticulturae 617: 55-59.
- Huber, L., Eisenbeis, G., Hammes, H., Porten, M., Rainer, J., Kirchmair, M., Strasser, H. & E.H. Rühl (2003): Hilft ein Bodenpilz gegen die Reblaus?.- Das Deutsche Weinmagazin 12: 16-18.
- Jörger, V. (1989): Die edaphische Mesofauna, speziell Gamasina-Zönose (Acari: Mesostigmata), verschieden bewirtschafteter Weinberge des Badischen Weinanbaugebietes und ihre Eignung für eine Belastungsindikation.- Dissertation Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität zu Bonn.
- Inglis, D. G., Goettel, M. S., Butt, T. M. & H. Strasser (2001): Use of hyphomycetous fungi for managing insect pests.- In: Fungi as biocontrol agents: Progress, Problems and Potential.- Butt, T.M., Jackson, C.W. & N. Magan (eds): CAB International, Wallingford, Oxon, U.K. Chapter 3: 23-69.
- Jung, C. (1998): Aktuelle Reblausprobleme im Reingau.- Geisenheimer Berichte 40: 12.
- Kempson, D., Lloyd, M. & J. Geglhardi (1963): A new extraktor for woodland litter. – Pedobiologia 3: 1-21.
- Killham, K. (1994): Soil ecology.- Cambridge University Press, Cambridge.
- Kirchmair, M., Huber, L., Porten, M., Rainer J., & H. Strasser (2004): *Metarhizium anisopliae*, a potential agent for the control of grape phylloxera.- BioControl (Prepublication 23.10.2003).
- Knudsen, I.M.B., Debosz, K., Hockenhull, J., Jensen, D.F. & S. Elmholt (1999): Suppressiveness of organically and conventionally managed soils towards brown foot rot of barley.- Applied soil ecology 12: 61-72.
- Lavelle, P. (1988): Earthworm activities and the soil system.- Biology and Fertility of Soils 6: 237-251.
- Leclant, F. & A. Coer D'Acier (1995) : Doit-on à nouveau craindre le phylloxéra?.- Phytoma 477: 20-25.
- Leonard, M.J. & J.M. Anderson (1991): Grazing interactions between a collembolan and fungi in a leaf litter matrix.- Pedobiologia 35: 239-246.
- Mengel, K. & E.A. Kirkby (2001): Principles of plant nutrition.- Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Mühlenberg, M. (1976): Freilandökologie.- Quelle & Meyer, Heidelberg.
- Pearson, R. C. & A.C. Goheen (1988): Compendium of grape diseases.- APS Press, St Paul.

- Petri, L. (1909): Über die Wurzelfäule phylloxerierter Weinstöcke.- Z. Pflanzenkrankheiten 19: 18-48.
- Pickett, J.A., Butt, T.M., Doughty, K.J., Wallsgrave, R.M. & I.H. Williams (1995): Minimizing pesticide input in oilseed rape by exploiting natural regulatory processes.- Plenary lecture. Proceedings of the GCIRC 9th International Rapeseed Congress, Cambridge, U.K., 4-7 July 1995. 2: 565-571.
- Porten, M., Schmid, J. & E.H. Rühl (2000 a): Sap flow measurements on phylloxera infested grapevines.- Acta Horticulturae 537: 367-373.
- Porten, M., Schmid, J. & E.H. Rühl (2000 b): Current problems with phylloxera on grafted vines in Germany and ways to fight them.- In: Powell, K.S. & J. Whiting (eds.): Proceedings of the International Symposium on grapevine phylloxera management.- Dept. of natural resources and environment, Melbourne, Australia.
- Porten, M. & L. Huber (2003): An assessment method for the quantification of *Daktulosphaera vitifoliae* (Fitch; Hemiptera: Phylloxeridae) populations in the field.- J. Appl. Entomol. 127:157-162.
- Prell, H.H. (1996): Interaktionen von Pflanzen und phytopathogenen Pilzen.- Fischer, Jena.
- Presser, C., Schmid, J. & E.H. Rühl (1993): Die Reblaus - kein Problem mehr?.- Das Deutsche Weinmagazin 23: 22-25.
- Raven, P.H., Evert, R.F & S.E. Eichhorn (1999): Biology of plants.- 6. Aufl., Worth Publishers, New York.
- Redl, H. (1999): Die Reblaus auch in Österreich wieder (beängstigend?) im Kommen.- Der Pflanzenarzt 52: 8-12.
- Remund, U. & E. Boller (1994): Die Reblaus - wieder aktuell?.- Schweiz. Z. f. Obst- und Weinbau 130: 242-244.
- Robertson, J.L. & H.K. Preisler (1992): Pesticide bioassays with arthropods.- CRC Press, Boca Raton.
- Rusek, J. (1998): Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem.- Biodiversity and Conservation 7 (9): 1207-1219.
- Sopp E., Bleser, E., Rühl, E.H., Hirschmann, J., Jung, C. & A. Booß (1998): Reblaus – Aktuelle Situation und Möglichkeit der Schadensbekämpfung.- Deutsches Weinbau Jahrbuch 49: 207-214.
- Statistisches Bundesamt (1970): Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland.- Kohlhammer, Stuttgart.
- Strasser, H., Forer, A. & F. Schinner (1996): The optimization of nutrient media toward the identification and achievement of virulence of *Beauveria brongniartii*.- In Jackson, T. & T. Glare (eds.), Microbial Control of Soil Dwelling Pests.- AgResearch, Lincoln. pp. 125-130.
- Sturm, M. Jr., Sturm, M. & G. Eisenbeis (2002): Recovery of the biological activity in a vineyard soil after landscape redesign: A three-year study using the bait-lamina method.- Vitis 41 (1): 43-45.
- Thielemann, U. (1986): Elektrischer Regenwurmfang mit der Oktett-Methode.- Pedobiologia 29: 296-302.
- Throm, G. (1997): Biologie der Kryptogamen I.- Haag + Herchen, Frankfurt.
- Thümen, F. von (1878): Die Pilze des Weinstockes.- Wilhelm Braumüller, Wien.
- Tullgren, A. (1918): Ein einfacher Ausleseapparat für terricole Tierformen. – Z. ang. Ent. 4: 149-150.
- Webster, J. (1980): Introduction to fungi.- Cambridge University Press, Cambridge.
- Wollum, A.G. (1982): Cultural methods for soil microorganisms.- In: Page, A. L. (Editor): Methods of soil analysis.- Agronomy, Madison.
- Zahradnik, J. (1985): Käfer Mittel- und Nordwesteuropas.- Parey, Hamburg.

Die Arbeiten im Rahmen dieses Forschungsvorhabens bzw. die Verwertung der Ergebnisse erfolgten in Zusammenarbeit mit den in Tab. 2 aufgeführten Kooperationspartnern.

Tab. 2: Kooperationspartner und ihre Aufgabengebiete im Rahmen des Projektes

Partner	Organisation	Ort/Land	Team	Aufgabengebiet(e)
1	Universität Mainz AG Bodenökologie	Mainz, D	Prof. Dr. G. Eisenbeis Dipl. Biol. L. Huber Dipl. Biol. E. Leither Dipl. Biol. M. Hammes 2 TA	Koordination und Organisation des Verbundprojekts; Non-target-effects: Edaphon, Raubmilben und epigäische Fauna, Reblausbonitur; Rebwuchsbonitur, alle Probennahmen, Technologie- und Wissenstransfer
2	Forschungsanstalt Geisenheim Fachgebiet Rebenzüchtung	Geisenheim, D	Prof. Dr. E.H. Rühl Dipl. Ing. H. Konrad Kellermeister R. Grundel Gärtnermeister H. Lotz 2 TA	Bereitstellung Maschinen, Betreuung Gewächshausversuche, Most- und Weinanalytik, Technologie- und Wissenstransfer
3	Universität Innsbruck Inst. für Mikrobiologie	Innsbruck A	Prof. Dr. R. Pöder Dr. M. Kirchmair Dr. H. Strasser	Produktion und Qualitätskontrolle <i>Metarhizium</i> präparate
4	Forschungsanstalt Geisenheim Fachgebiet Phytomedizin	Geisenheim, D	Dr. B. Berkelmann- Löhnertz	Bereitstellung von Maschinen zur Blattapplikation
5	Mykon OEG Technisches Büro für Biologie und Mykologie	Schwarz, A	Mag. J. Rainer	Bestimmung konspezifische Bodenpilze; Bestimmung <i>Metarhizium</i> -Dichte Boden
6	Lehner Agrar GmbH	Westerstetten D	Herr Lehner, H.Fisch	Bereitstellung Scheibenstreuer
7	Clemens & Co. GmbH Maschinenfabrik	Wittlich, D	T. Clemens	Bereitstellung Unterstockkreisel Schwergrubber, Kreiselegge
8	Maschinenfabrik Rust	Meckenheim, D	W. Rust	Bereitstellung Scheibenpflug (Unterstock)
9	Weingut Hans Lang	Eltville, D	H. Lang	Pilotbetrieb
10	Weingut Weihermühle	Geisenheim, D	F. Böhm	Pilotbetrieb
11	Weingut Hermes	Bretzenheim D	W. Hermes	Pilotbetrieb
12	Weingut Beiser	Vendersheim, D	S. Beiser	Pilotbetrieb
13	ECOVIN	Oppenheim, D	U. Gebert (Geschäftsführerin)	Technologie- und Wissenstransfer
14	BIOLAND	Mainz, D	E. Reiners (Ressortleiter Landbau)	Technologie- und Wissenstransfer
15	Rheingauer Weinbauverband e.V.	Oestrich-Winkel D	R. Naegler (Präsident) N. Zohm (Geschäftsführerin)	Technologie- und Wissenstransfer
16	Bauern- und Winzerverband Rheinland-Pfalz Süd e.V. Weinbauverband Pfalz	Mainz, D	Weinbaupräsident Pfalz; E. Schrank	Technologie- und Wissenstransfer
17	Weinbauamt Eltville	Eltville, D	Dr. Boos, Hr. Wolf, C. Jung	Technologie- und Wissenstransfer
18	SLVA Oppenheim	Oppenheim, D	B. Fader	Technologie- und Wissenstransfer
19	Porten Consulting Ökol. Weinbau	Mehring, D	Dipl. Oen. M. Porten	Kosten- und Nutzenanalysen Technologie- und Wissenstransfer

II Ergebnisse

Das *Metarhizium*-Präparat wurde im Frühjahr 2003 mit einer Anbaukombination bestehend aus Saatmaschine und Fräse (Heckanbau) ausgebracht. Die Applikation erfolgte nur im Bereich der Fahrgasse und nicht im Unterstockbereich. Die Anlage der Versuchspartzen erfolgte in Anlehnung an internationale Richtlinien, um eine Verwertung der Ergebnisse für die Zertifizierung und Zulassung zu gewährleisten.

Zur Bewertung der Wirksamkeit von *M. anisopliae* gegen Schadinsekten stehen prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Einerseits können infizierte und abgetötete Insekten gesucht und ausgezählt werden. Andererseits kann eine vergleichende Bewertung der Reblauspopulationen auf behandelten und unbehandelten Untersuchungsarealen durchgeführt werden. Im Fall der Reblaus ist aufgrund der sehr geringen Größe des Zielorganismus bzw. des potentiellen Kontrollorganismus im Freiland nur die vergleichende Bewertung der Reblauspopulationen durchführbar. Nach Infektionen der Reblaus durch *M. anisopliae* ist diese innerhalb weniger Tage vollständig mineralisiert, sodass ein Auffinden infizierter Rebläuse in Freilandbodenproben als sehr unwahrscheinlich anzusehen ist.

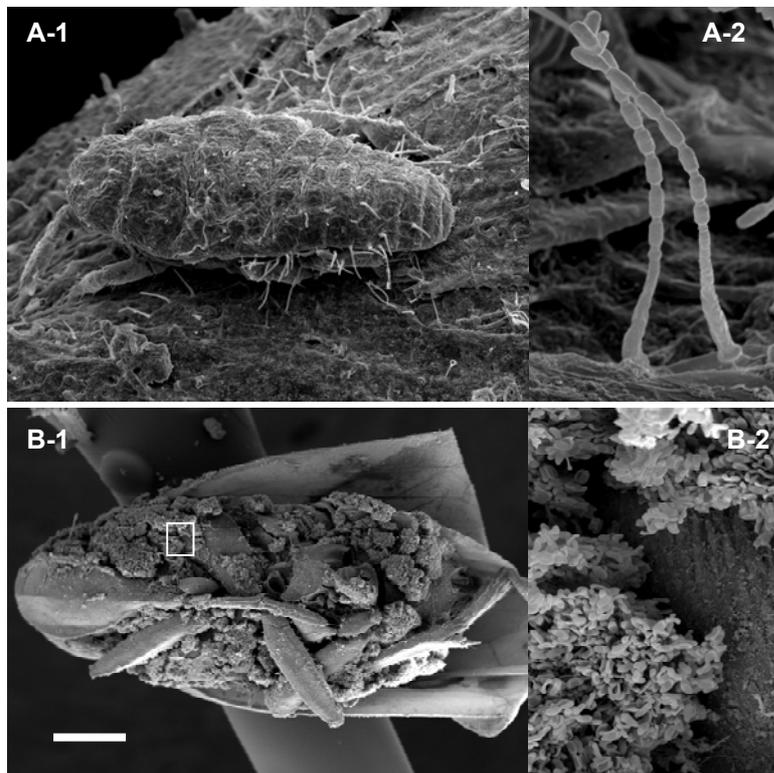


Abb. 2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen des *Metarhizium*-Befalls an:

A. *Daktulosphaira vitifoliae* (Reblaus).

A-1: Aus der Reblaus wachsende Hyphen (Pilzfäden) von *M. anisopliae*.

A-2: Konidienträger und Konidienketten von *M. anisopliae* am Abdomen einer infizierten Reblaus (Konidien = Verbreitungseinheiten)

B. *Hyalesthes obsoletus*

B-1: Nach der Infektion gebildete Konidiencluster von *M. anisopliae* auf der gesamten Ventralseite der Zikade

B-2: Vergrößerter Ausschnitt eines Konidienclusters aus B-1

Größenskalen:

A-1: 50µm; A-2: 8µm

B-1: 300 µm; B-2: 25µm

Wie histologische Wurzeluntersuchungen gezeigt haben, besiedeln Bodenpilze nicht nur die Rhizodermis, sondern dringen auch tief ins Parenchymgewebe der Rebwurzeln ein (Abb. 1). Die Ergebnisse der Isolationsversuche zeigen drei Hauptarten (*Alternaria alternata*, *Gliocladium roseum* und *Nectria inventa*) sowie eine weitere Art (*Cylindrocarpon* sp.), die bei bisherigen Untersuchungen trotz ihres Eindringens in das Wurzelgewebe keine phytopathogenen Wirkungen gezeigt haben. Hierfür können verschiedene Mechanismen verantwortlich sein. Die Ursachen einer Pathogensuppression liegen oft im Konkurrenzverhalten der Bodenpilze um Nahrungsquellen (z.B. ANDRATE et al. 1994, PRELL 1996). Es ist möglich, dass die Phytopathogene auf der VF Geisenheim durch ihr sehr schwaches Konkurrenzverhalten kein Wurzelgewebe besiedeln können, da nichtpathogene Pilze wie die aus Nodositäten isolierten Arten die Infektionsstellen bereits bewachsen haben.

Tab. 4:

Befallsraten [%] von Pilzen in Nodositätengewebe, nachgewiesen durch histologische Wurzeluntersuchungen (Mikrotomschnitte) (Diplomarbeit HAMMES 2002).

Rhizodermis: Pilzhyphen nur in Zellschichten der Rhizodermis, kein Befall in tieferen Zellschichten.

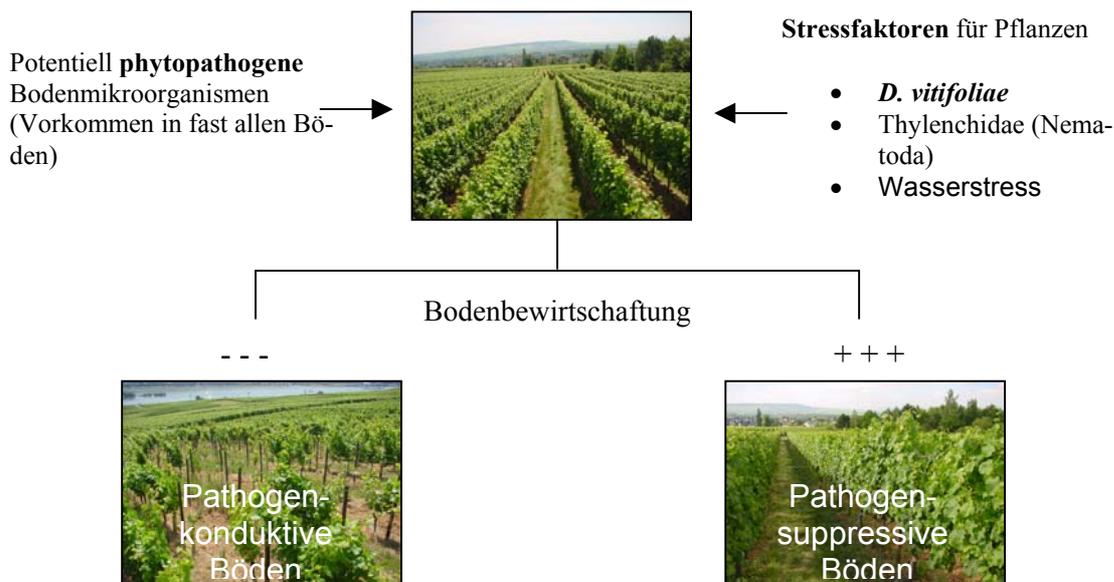
Wurzelgewebe: Pilzhyphen in tieferen Zellschichten (Parenchymgewebe und Zentralzylinder)

	n gesamt	kein Befall	Wurzelgewebe	Rhizodermis	Wurzelgewebe + Rhizodermis
VF Geisenheim	67	7,5	55,2	85,1	50,7
VF Kiedrich	120	15,8	48,3	55,0	40,8

Die häufige, aus bis zu 71% der Nodositäten isolierte Pilzart *Gliocladium roseum* ist sogar als Antagonist gegen Pathogene (*Botrytis cinerea*) bekannt (BURGESS et al. 1997). Somit besteht die Möglichkeit, dass mit *G. roseum* besiedelte Nodositäten vor einem Befall durch Phytopathogene geschützt sind und die Degeneration des Nodositätengewebes so verhindert wird. Weiterhin besteht die Möglichkeit, dass die im Kontext von Pathogensuppression immer wieder nachgewiesenen Vorgänge der Antiobiose und Fungistase eine wesentliche Rolle spielen (z.B. ANDRATE et al. 1994, PRELL 1996). So ist beispielsweise von *Penicillium citrinum* eine fungistatische und antibiotische Wirkung (Wirkstoffe u.a. Citrinin, Coprogen) bekannt (z.B. HETHERINGTON & RAISTRICK 1931).

Die bisher gewonnenen Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Wuchsdepressionen und Absterbeerscheinungen reblausbefallener Unterlagsreben nicht durch die Reblaus per se, sondern durch die Wechselwirkungen mit phytopathogenen Mikroorganismen verursacht werden. Diese Hypothese wird durch verschiedene Untersuchungen gestützt, bei denen Mikroorganismen ohne die Anwesenheit anderer Schadorganismen, z.B. tierischer Art, zum Absterben von Rebstöcken geführt haben, z.B. *Rosleria hypogaea* (HÖFER 1992). Für *Vitis* spp. wurde dieser Themenkomplex erst ansatzweise untersucht (PEARSON & GOHEEN 1988).

Aus den bisherigen Untersuchungen der Zuwendungsempfänger kann ein hypothetisches Arbeitsmodell zum Absterbeprozess reblausbefallener Pfropfreben abgeleitet werden (Abb. 3). Hieraus ergeben sich verschiedene Lösungsansätze zur Bekämpfung bzw. Vermeidung der Schäden an Rebstöcken auf reblausbefallenen Weinanbauflächen.

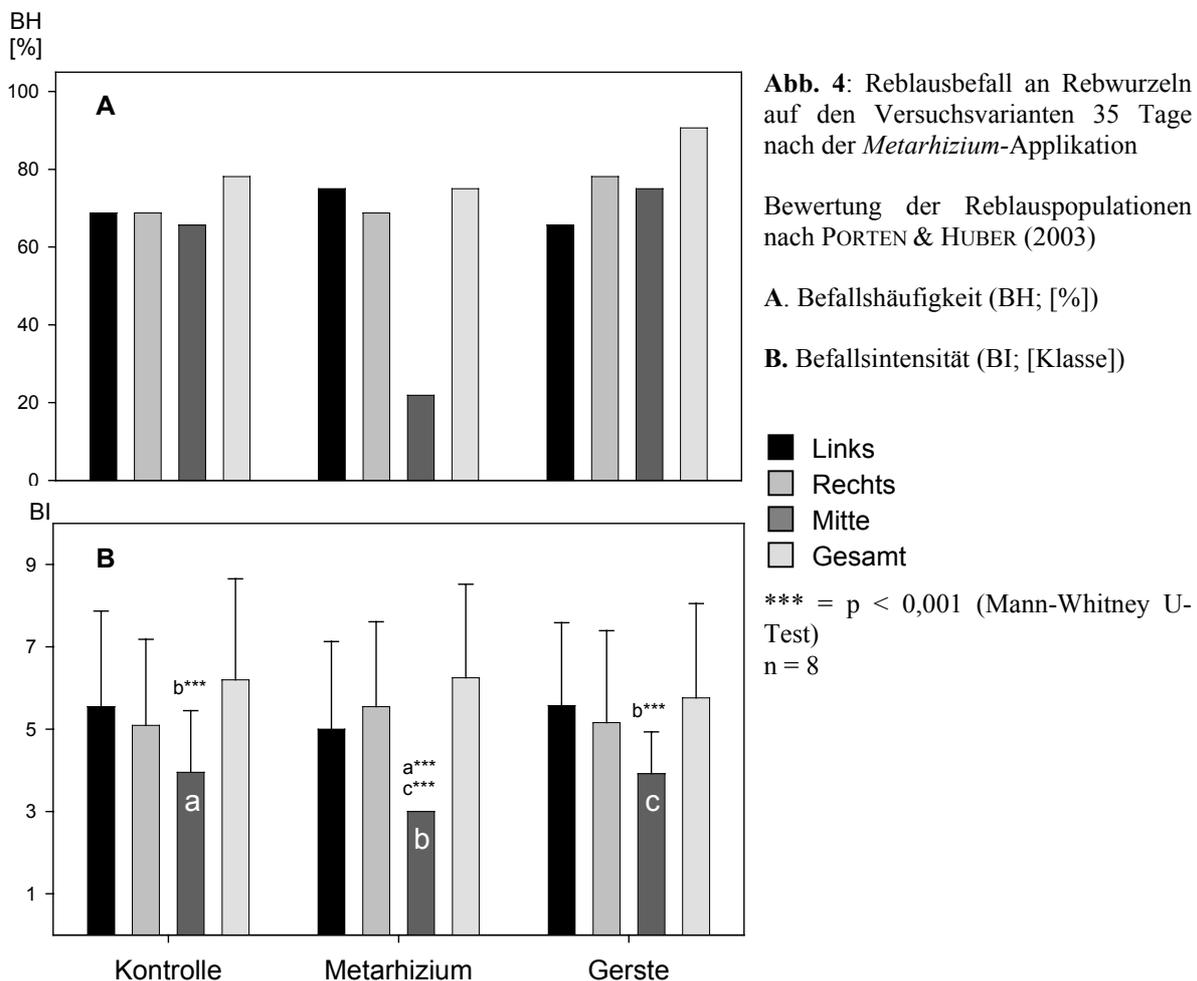
**Abb. 3:** Modell zum Absterbeprozess reblausbefallener Pfropfreben.

Als Stressfaktoren werden die bei den bisher durchgeführten Untersuchungen festgestellten Pflanzenschädlinge (Reblaus) sowie zusätzlich abiotische Außenfaktoren angenommen. Unterschiede im Schadbild zwischen den untersuchten Rebanlagen werden auf pathogensuppressive bzw. -konduktive Bodeneigenschaften zurückgeführt.

Wp1 Nachweis der Effektivität von *M. anisopliae*

Die Bewertung der Reblauspopulationen erfolgte nach dem Bonitursystem von PORTEN & HUBER (2003). Dieses System sieht aufgrund der inhomogenen Verteilung sowohl der Rebwurzeln als auch der Rebläuse an den Rebwurzeln drei Probenahmestellen je Rebstock zur Bewertung des Reblausbefalls vor. Zwei Probenpunkte liegen im Unterstockbereich jeweils 10-15 cm rechts und links des Stammfußes ("Unterstock links" und "Unterstock rechts"). Die dritte Probenahmestelle liegt im Bereich der Fahrgassenmitte gegenüber des Stammfußes ("Fahrgasse").

Auf der Grundlage der visuellen Bonitur und Klassifizierung der Reblauspopulationen mit diesem System können zwei Parameter zur Charakterisierung der Populationsgröße berechnet werden. Zum einen die Befallshäufigkeit (BH), d.h. die Anzahl reblausinfizierter Rebstöcke im untersuchten Rebbestand, zum anderen die Befallsintensität (BI), also die Stärke des Befalls der Rebwurzeln mit Reblaus. Eine vor der *Metarhizium*-Applikation durchgeführte Bewertung der Reblauspopulationen ergab eine gleichmäßige Reblausdichte auf der gesamten Fläche. Wie aus Abb. 4A ersichtlich, zeigt sich bereits 35 Tage nach der Applikation auf der



mit *Metarhizium* behandelten Versuchsvariante im Bereich der Fahrgasse eine deutliche Reduktion der Befallshäufigkeit. Während auf den Vergleichsvarianten ~ 70 der Rebstöcke einen Reblausbefall aufweisen, sind auf der mit *Metarhizium* behandelten Variante nur ~ 20 % der Rebstöcke mit Reblaus befallen. Auch bei der Befallsintensität (Abb. 4B) weisen die Rebwurzeln der *Metarhizium*-Variante signifikant ($p < 0,001$) geringere Reblausdichten auf.

Wp2 Nachweis der Persistenz von *M. anisopliae*

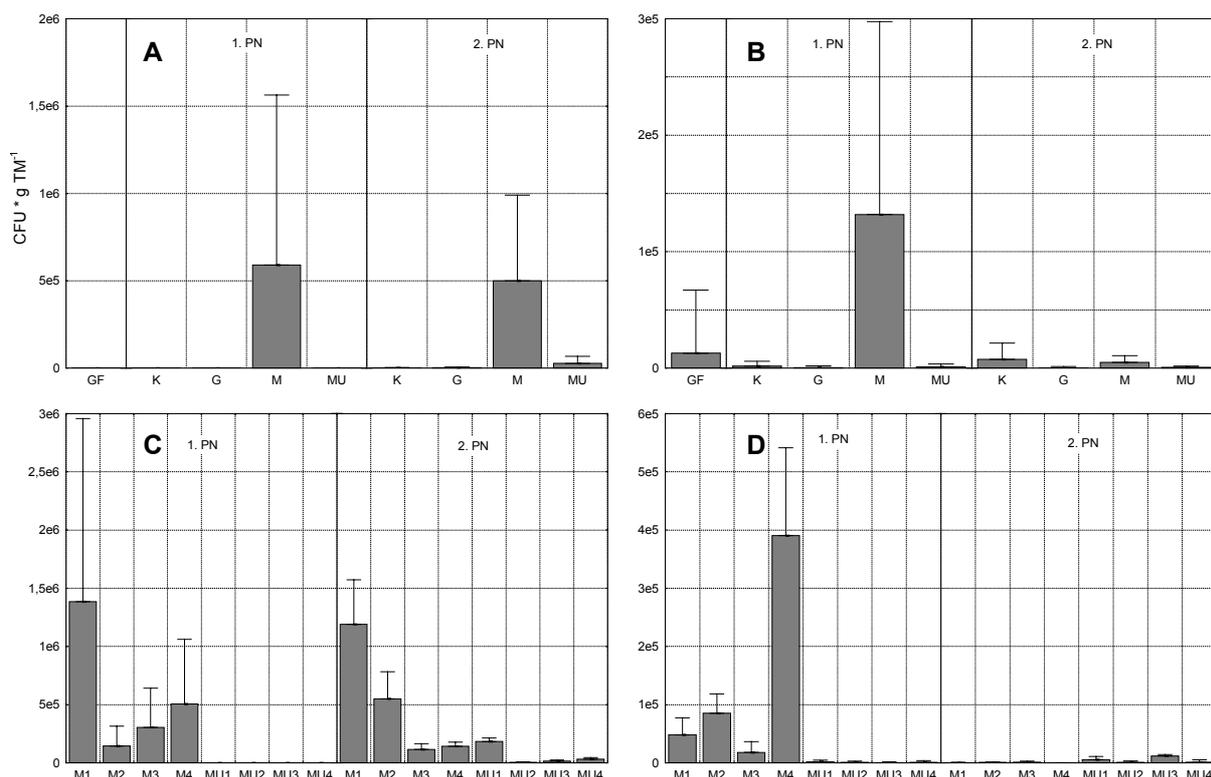


Abb.5: *Metarhizium*-Dichten (Mittelwert und Standardabweichung) vor (GF), sechs (1.PN) und 27 (2.PN) Wochen nach Applikation

A: *Metarhizium*-Dichten der Versuchsvarianten, Bodentiefe 0-10 cm

B: *Metarhizium*-Dichten der Versuchsvarianten, Bodentiefe 10-20 cm

C: *Metarhizium*-Dichten der Versuchsvarianten *Metarhizium* (Fahrgasse; M) und *Metarhizium* (Unterstock; MU) und Versuchspartellen (Wiederholungen 1-4); Bodentiefe 0-10 cm

D: *Metarhizium*-Dichten der Versuchsvarianten *Metarhizium* (Fahrgasse; M) und *Metarhizium* (Unterstock; MU) und Versuchspartellen (Wiederholungen 1-4); Bodentiefe 10-20 cm

Versuchsvarianten: **G** = Gerste (Fahrgasse), **K** = Kontrolle (Fahrgasse), **M** = *Metarhizium* (Fahrgasse), **MU** = *Metarhizium* (Unterstock); **1-4** = Versuchspartelle (Wiederholung) der Versuchsvariante
CFU = colony forming units (koloniebildende Einheiten), TM = Trockenmasse

n > 20

Man beachte die unterschiedliche Skalierung der Ordinaten.

Die Ergebnisse der *Metarhizium*-Dichtebestimmung sechs und 27 Wochen nach der Applikation (Abb. 5) zeigen sehr hohe Werte auf der Variante M, d.h. auf der mit *Metarhizium* behandelten Variante im Bereich der Fahrgasse.

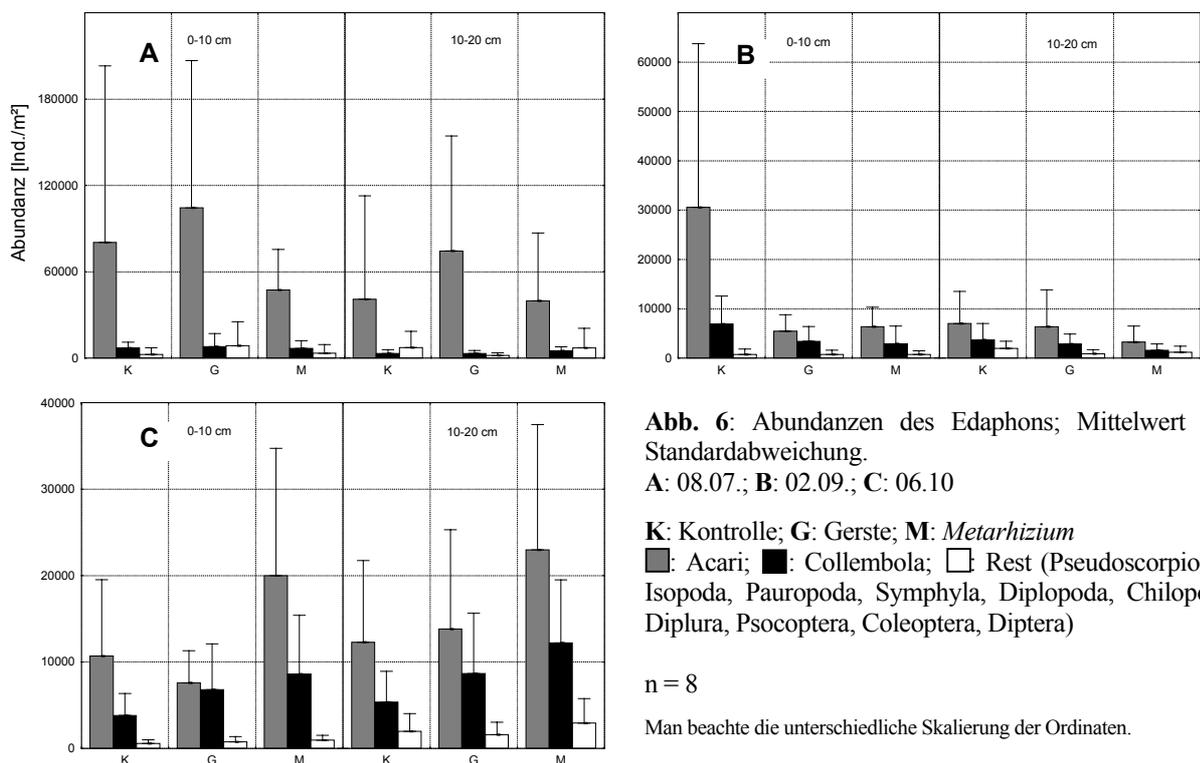
Die zusätzliche Dichtebestimmung im nicht direkt behandelten Unterstockbereich (Variante MU) ergab auch hier erhöhte *Metarhizium*-Dichten, was auf eine relativ rasche Ausbreitung des Pilzes vom Ort der Applikation (Fahrgasse) in den Unterstockbereich schließen lässt. Bei den Dichtebestimmungen im Mai 2003 vor der *Metarhizium*-Applikation (GF) wurden vereinzelt Werte $<1.0 \times 10^2$ festgestellt.

Es sind also natürliche Populationen von *M. anisopliae* auf der Versuchsfläche vorhanden, allerdings in sehr geringer Größe. Auf die rasche Ausbreitung des Pilzes im Boden lässt sich auch aufgrund der erhöhten Dichte-Werte der Varianten K und G in der Bodentiefe 10-20 cm schließen. Wie aus den Abb. 5 C+D ersichtlich, zeigen die einzelnen Partellen (Wiederholungen) der Versuchsvarianten sehr unterschiedliche *Metarhizium*-Dichten. Dies ist vermutlich auf die sehr inhomogene Bodenbeschaffenheit zurückzuführen. Aufgrund des sehr kurzen

Untersuchungszeitraums und der besonderen Klimabedingungen der Vegetationsperiode 2003 ist ohne weiterführende Untersuchungen keine eingehende/weiterführende Beurteilung dieses Befundes möglich.

Wp3 Verträglichkeitsuntersuchungen von *M. anisopliae* gegenüber non-target-Organismen (Invertebraten) und standorttypischen Bodenpilzen

Die langanhaltende Trocken- und Hitzeperiode des Sommers 2003 spiegelt sich auch sehr deutlich in der Abundanz der untersuchten Bodeninvertebraten wieder (Abb. 6). Zum Zeitpunkt der zweiten Probennahme Anfang September wurden signifikant ($p < 0,001$) weniger Tiere gefunden als Anfang Juli. Die Abundanzen stiegen zum Oktober hin wieder leicht an, lagen jedoch immer noch signifikant ($p < 0,001$) unter den Werten des Monats Juli. In beiden Bodentiefen konnten bei keiner der drei Probennahmen signifikante Unterschiede



zwischen den Versuchsvarianten festgestellt werden. Das zeigt, dass sowohl die Einbringung der Gerste in den Boden als auch die Applikation von *M. anisopliae* als BCA gegen die Reb-laus innerhalb der ersten Vegetationsperiode nach Applikation keinerlei nachweisbare Auswirkungen auf die Bodeninvertebratenzönosen (non-target Organismen) hatten. Die Acari (Milben) sind dabei die mit Abstand häufigste Ordnung der Bodentiere auf allen Varianten und Tiefen, gefolgt von den Collembola (Springschwänze) und den anderen Ordnungen, die unter 'Rest' zusammengefasst wurden. Dieser Befund steht in Einklang mit entsprechenden Literaturangaben vergleichbarer Untersuchungen (z.B. JÖRGER 1989).

Die gefundenen Collembola stammten aus insgesamt 27 Arten (Abb. ##). Die beiden häufigsten Arten waren *Mesaphorura krausbaueri* und *Folsomides parvulus*. Diese beiden Arten wurden auch in der statistischen Auswertung jeweils getrennt von den anderen berücksichtigt, die als 'Rest' in die statistischen Berechnungen einfließen. Sowohl die Gesamtabundanzen als auch die Zusammensetzung der Collembolenzönosen schwankte stark zwischen den einzelnen Probennahmen. Im Juli war die Gesamtabundanz hochsignifikant ($p < 0,001$) höher als im September, auch die Diversität war deutlich höher. Die trocken-heiße Periode im Sommer 2003 hat viele Arten zurückgedrängt, lediglich die beiden häufigsten Arten *M. krausbaueri* und *F. parvulus* kamen im September noch in ähnlich hohen Abundanzen vor wie im Juli.

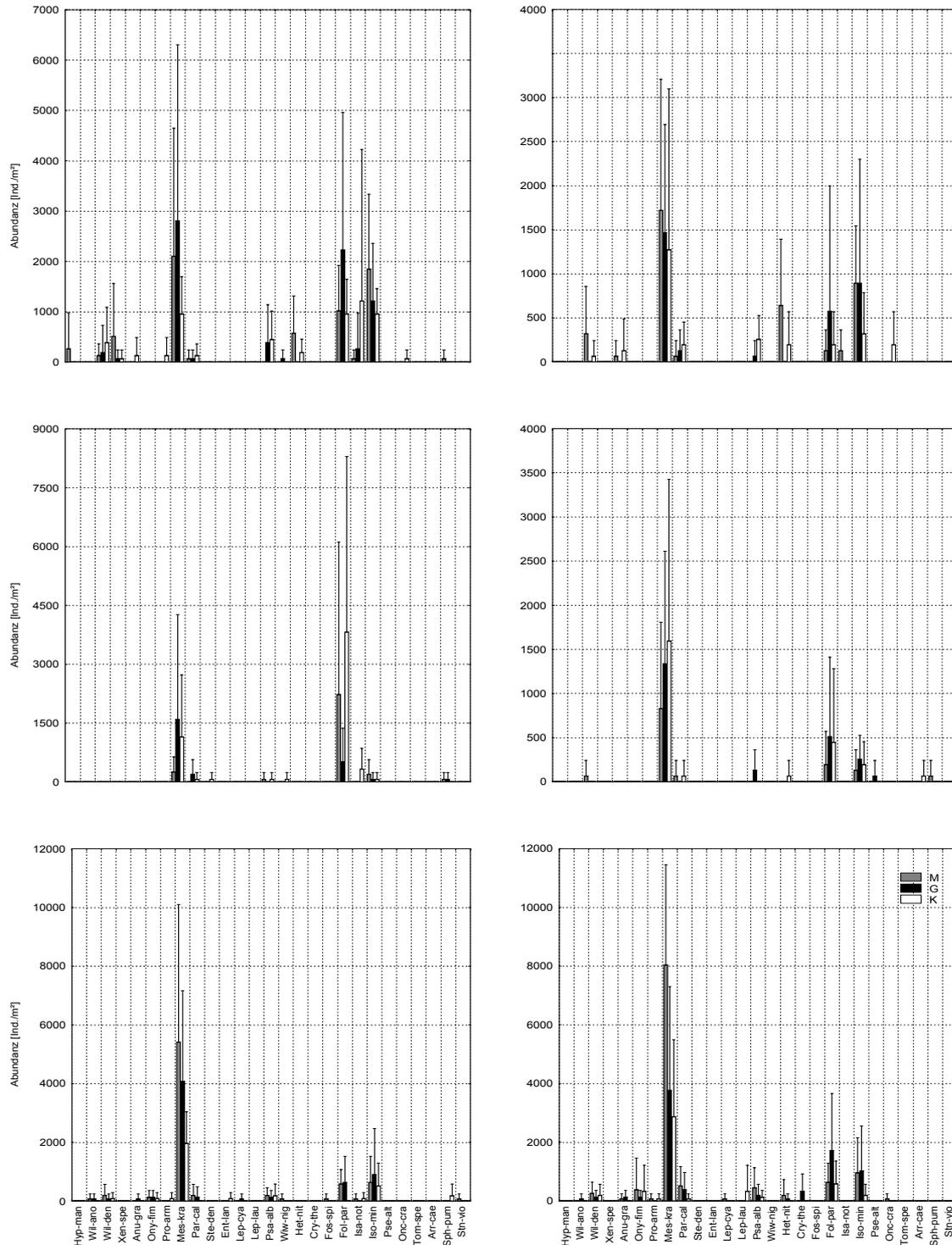


Abb.7: Abundanzen der gefundenen Collembola, Mittelwert und Standardabweichung.

A: 08.07., 0-10 cm; **B:** 08.07., 10-20 cm; **C:** 02.09., 0-10 cm; **D:** 02.09., 10-20 cm
 : Kontrolle; : Gerste; : *Metarhizium*

Hyp-man: *Hypogastrura manubrialis*, Will-den: *Willemia denisi*, Xen-spe: *Xenylla spec.*, Anu-gra: *Anurida granaria*, Pro-arm: *Protaphorura armata*, Mes-kra: *Mesaphorura krausbaueri*, Par-cal: *Paratullbergia callipygos*, Ste-den: *Stenaphorura denisi*, Psa-alb: *Pseudosinella alba*, Wiw-nig: *Willowsia nigromaculata*, Het-nit: *Heteromurus nitidus*, Fol-par: *Folsomides parvulus*, Isa-not: *Isotoma notabilis*, Iso-min: *Isotomiella minor*, Pse-alt: *Pseudanurophorus alticolus*, Onc-cra: *Oncopodura crassicornis*, Arr-cae: *Arrhopalites caecus*, Sph-pum: *Sphaerida pumilis*

n=8

Man beachte die unterschiedliche Skalierung der Ordinaten.

In den oberen 10 cm Bodentiefe waren die Unterschiede stärker als in den 10 cm darunter. Im Oktober wurden jeweils hochsignifikant mehr Tiere gefunden als im Juli und September. Auch die Artenzahl erhöhte sich deutlich. Die klimatischen Schwankungen des Jahres 2003 haben sich unterschiedlich stark auf die Arten ausgewirkt. *M. krausbaueri* zeigte starke Schwankungen zwischen den Probennahmen, während die Abundanzen von *F. parvulus* in der unteren Tiefenstufe auf keiner der Flächen signifikante Unterschiede zwischen den drei Probennahme aufwies.

Sowohl im Juli als auch im September konnte in keiner der beiden Bodentiefen ein Unterschied zwischen den untersuchten Varianten festgestellt werden. Im Oktober gab es in der Tiefenstufe 10 – 20 cm Unterschiede zwischen der mit *Metarhizium* behandelten Fläche und der Kontrolle; auf der behandelten Fläche wurden signifikant mehr Tiere gefunden. Viele Collembola sind Hyphenfresser, von einigen ist auch aus der Literatur bekannt, dass sie *M. anisopliae* fressen und die Sporen des Pilzes an ihrer Körperoberfläche anhaften (z.B. DROMPH 2001). DROMPH & VESTERGAARD (2002) zeigten in ihren Laborversuchen, dass Collembola die drei untersuchten entomopathogenen Pilze *B. bassiana*, *B. brongniartii* und *M. anisopliae* als Nahrungsquelle gezielt aufsuchten und sie der als Kontrollfutter angebotenen Bäckerhefe vorzogen.

Tab. 5: Mittelwerte und Standardabweichung der Laufkäfer-Abundanzen (*Harpalus affinis*).

n(20.05.2003) = 6; n(Versuchsvariantenbeprobungen) = 4;
 Versuchsvarianten: VF = Versuchsfläche gesamt,
 K = Kontrolle, G = Gerste, M = *Metarhizium*;
 MW = Mittelwert, Stabw = Standardabweichung

Probennahme	Variante	MW	Stabw
		Gesamtabundanz [Ind. / qm]	Gesamtabundanz [Ind. / qm]
20.05.2003	VF	1,50	1,22
21.07.2003	K	1,25	0,96
	G	1,00	0,82
	M	1,25	0,50
15.08.2003	K	2,25	1,71
	G	2,00	0,82
	M	2,00	1,41
02.09.2003	K	2,00	2,00
	G	1,75	1,50
	M	2,00	2,00

Im Juli konnten in den oberen 10 cm des Bodens signifikant ($p < 0,05$) mehr Collembola gefunden werden als in den 10 cm darunter. *M. krausbaueri* zeigte keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Tiefenstufen, *F. parvulus* hielt sich signifikant häufiger in der oberen Bodenschicht auf. Auch im September war *F. parvulus* in den oberen 10 cm hochsignifikant ($p < 0,01$) häufiger vertreten als in der unteren Bodentiefe, weitere Unterschiede bezüglich der Bodentiefe ließen sich in dieser Probennahme nicht feststellen. Im Oktober wurden generell keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Tiefenstufen gefunden. *M. anisopliae* hat diesen ersten Erhebungen zufolge keine negativen Auswirkungen auf die non-target Organismen aus der Ordnung Collembola. Unsere Freilanduntersuchungen bestätigen hierin die aus Laborversuchen gewonnenen Ergebnisse von DROMPH & VESTERGAARD (2002). Die einzigen statistisch belegten Unterschiede zwischen den behandelten Parzellen

und den Kontrollparzellen zeigten sich in einer Erhöhung der Abundanz auf den behandelten Parzellen im Oktober. Diese Erhöhung kann sowohl durch eine erhöhte Vermehrungsrate der Tiere aufgrund des guten Nahrungsangebotes als auch durch eine vermehrte Einwanderung der Tiere in die behandelte Parzelle erklärt werden. Fungivore Collembola sind in der Lage, einen Nahrungspilz olfaktorisch wahrzunehmen (z.B. HEDLUND et al. 1995). Eine Veränderung in der Artzusammensetzung der Collembolenzönose aufgrund der Applikation von *M. anisopliae* konnte nicht festgestellt werden.

Laboruntersuchungen können als wichtige Grundlage von Freilandtests bei der Entwicklung und Verbesserung von BCAs dienen. Durch sie werden notwendige Erkenntnisse im Hinblick auf mögliche Wechselwirkungen zwischen den Non-target Organismen und *M. anisopliae* gewonnen. Die tatsächlichen Gegebenheiten vor Ort können in ihrer Komplexität aber nicht im Labor simuliert werden, Freilandversuche sind deshalb unabdingbar. Gerade die Frage, welche Pilze als Nahrung von verschiedenen Arten genutzt werden, hängt nicht nur von der Art des Pilzes, sondern vor allem auch vom Medium ab, auf dem er kultiviert wurde (JÖRGENSEN et al. 2003). Auf Nähragar bilden die Pilze andere Metabolite als in ihrer natürlichen Umgebung, diese Metabolite wiederum haben Einfluss darauf, ob und wenn ja in welchem Maße die Pilze von Collembola gefressen werden.

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass mehrere Wochen nach der Applikation von *M. anisopliae* die Abundanz der Collembola auf den behandelten Parzellen höher war als auf den unbehandelten. Dieses Ergebnis macht weiterführende Untersuchungen auf den gleichen Parzellen zur Ermittlung von Langzeitwechselwirkungen unabdingbar.

Alle Individuen der im Rahmen der Untersuchungen gefangenen Carabidae konnten der Art *Harpalus affinis* zugeordnet werden. Bei *Harpalus affinis* handelt es sich um eine ubiquitär vorkommende, xero-thermophile Art, die nicht nach BArtSchV geschützt ist. Die Ökologie dieser Art ist nicht vollständig bekannt, doch gibt es Hinweise auf diverse Nützlingsverhalten, beispielsweise durch Reduktion von Unkrautsamen oder Prädation kleiner Schadinsekten. Auch im Fall der Abundanz von *H. affinis* konnte keine negative Auswirkung der *Metarhizium*-Applikation festgestellt werden.

Tab. 6: Mittelwerte und Standardabweichung der Regenwurm-Abundanzen.

n(20.05.2003) = 6; n(Versuchsvariantenbeprobungen) = 2;
 Versuchsvarianten: VF = Versuchsfläche gesamt, K = Kontrolle,
 G = Gerste, M = *Metarhizium*;
 MW = Mittelwert, Stabw = Standardabweichung

Probennahme	Variante	MW	Stabw
		Gesamtabundanz [Ind. / qm]	Gesamtabundanz [Ind. / qm]
20.05.2003	VF	13,5	6,0
21.07.2003	K	7,0	2,8
	G	7,5	6,4
	M	8,5	6,4
02.09.2003	K	20,0	1,4
	G	16,0	1,4
	M	17,5	7,8

Gleiches gilt auch für die Regenwurmabundanzen, auch hier wurden auf den Versuchsvarianten annähernd gleiche Abundanzen festgestellt (Tab. 7). Alle gefundenen Individuen konnten der Art *Lumbricus terrestris* zugerechnet werden. Diese Art gehört zu den Tiefgräbern, die stabile Röhren baut (BOUCHÉ 1977).

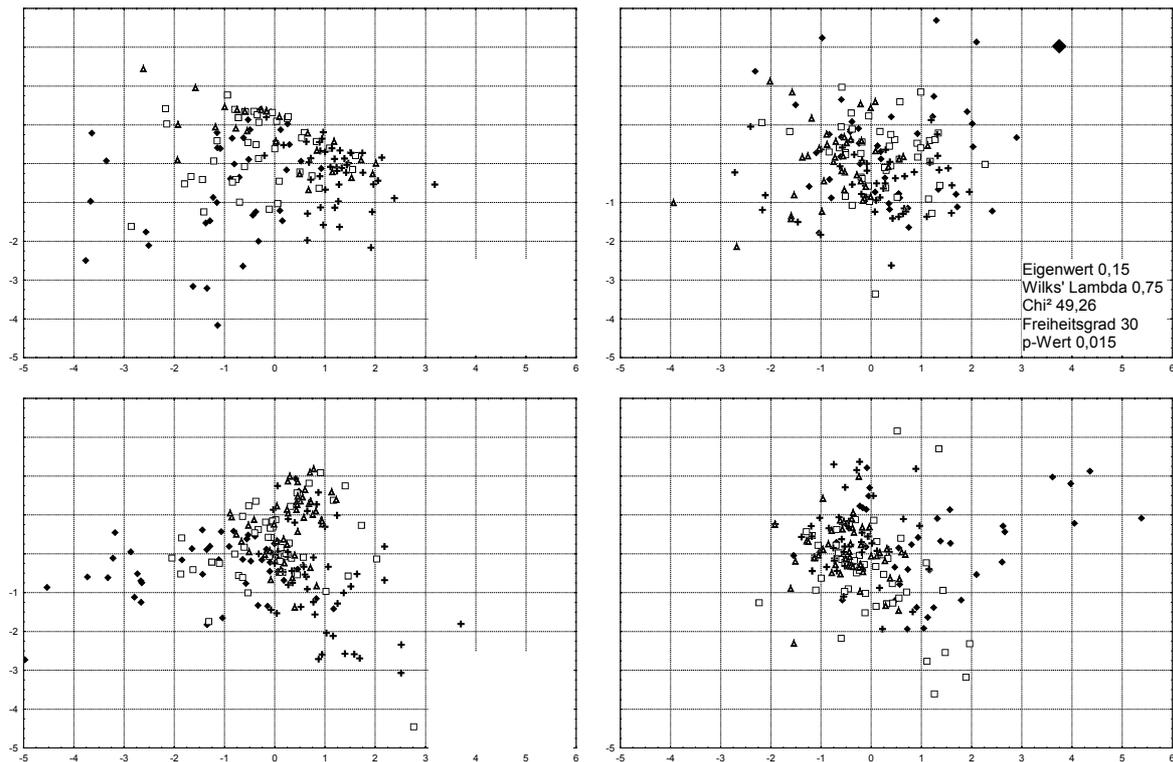


Abb. 8: Diskriminanzanalysen der Abundanzen der Bodenpilztaxa (*Alternaria* sp., *Aspergillus* sp., *Cladosporium* sp., *Fusarium* sp., *Glocladium* sp., *Paecilomyces* sp., *Penicillium* sp., *Trichoderma* sp., *Ulocladium* sp., *Zygomyzetes*, Hefen und Sonstige)

- A: Sechs Wochen nach *Metarhizium*-Applikation; Bodentiefe 0-10 cm
- B: Sechs Wochen nach *Metarhizium*-Applikation; Bodentiefe 10-20 cm
- C: 27 Wochen nach *Metarhizium*-Applikation; Bodentiefe 0-10 cm
- D: 27 Wochen nach *Metarhizium*-Applikation; Bodentiefe 10-20 cm

Versuchsvarianten: **G** = Gerste (Fahrgasse), **K** = Kontrolle (Fahrgasse), **M** = *Metarhizium* (Fahrgasse), **MU** = *Metarhizium* (Unterstock)

Achsen: x = Funktion 1, y = Funktion 2

Für die Bewertung und Darstellung der Ergebnisse der Untersuchung einer möglichen Beeinflussung standorttypischer Bodenpilzzönosen durch die *Metarhizium*-Applikation wurde die Diskriminanzanalyse gewählt (Abb. 8). Hierdurch ist es möglich, auch sehr große Datensätze qualitativer (Bodenpilztaxa) und quantitativer (Dichten der einzelnen Bodenpilztaxa) Parameter vergleichend darzustellen. Bereits aus der grafischen Verteilung lässt sich auf eine hohe Streuung sowohl innerhalb als auch zwischen den Versuchsvarianten schließen. Distinkte Gruppierungen sind nicht zu erkennen. Dies spiegelt sich auch in den diskriminanzanalytischen Kennzahlen wie den geringen Eigenwerten und den relativ niedrigen Werten für Wilks' Lambda wieder. Die χ^2 - und Signifikanzwerte bei gegebenen Freiheitsgraden weisen sowohl auf bestehende Unterschiede in den gruppenweisen Funktionsmittelwerten als auch auf die Validität des Modells zur Erklärung der abhängigen Variablen hin. Damit ergeben sich in der Gesamtbetrachtung der standorttypischen Pilztaxa und ihrer Häufigkeit keine Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass eine *Metarhizium*-Applikation keine negativen Auswirkungen auf die standorttypischen Bodenpilzzönosen hat.

Die Erhebung verschiedener Leistungs- und Ertragsparameter (Einzelstocklese 13.10.2003) der Rebstöcke der Versuchsvarianten (Tab. 1) zeigen keinerlei signifikante Unterschiede zwischen der mit *Metarhizium* behandelten und den unbehandelten Versuchsvarianten. Somit kann auch hier von der Unbedenklichkeit einer *Metarhizium*-Applikation ausgegangen werden.

Variante	Stockertrag [kg]	100-Beeren-Gewicht [g]	Brix	Most-pH	Säure
Kontrolle	4,1	142,5	20,3	3,06	8,7
Gerste	4,7	147,6	20,3	3,09	8,1
Metarhizium	4,4	150	20,7	3,06	8,2

Tab. 7: Leistungs- und Ertragsdaten

Lesetermin: 13.10.2003

n = 20

An dieser Stelle soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass die bisher gewonnenen Erkenntnisse lediglich als Tendenzen zu verstehen sind. Bei der Interpretation der Ergebnisse sind wie bereits erwähnt auch die besonderen Klimabedingungen der Vegetationsperiode 2003 zu berücksichtigen. Die bisherigen Untersuchungsergebnisse zeigen einerseits, dass der Einsatz von *M. anisopliae* auch unter Freilandbedingungen zu einer signifikanten Reduktion der Reblauspopulationen führt. Andererseits konnten weder negative Auswirkungen auf Nicht-Zielorganismen noch auf die Leistung und den Ertrag der Rebstöcke nachgewiesen werden.

Um die biologische Kontrolle tierischer Weinbauschädlinge wie z.B. der Reblaus in der Praxis etablieren zu können, sind weitere, über mehrere Vegetationsperioden andauernde Versuche unabdingbar. Aus Sicht der wissenschaftlichen Forschung sind möglichst umfassende Untersuchungen aller Einflussfaktoren wünschenswert, da jeder Erkenntnisgewinn zur Effektivitätssteigerung und Verbesserung der Präparate genutzt werden kann. Ziel der Forschung muss es sein, die bereits in Erprobung befindlichen Präparate an möglichst vielen unterschiedlichen Standorten auf ihre Effektivität und Umweltverträglichkeit zu untersuchen.

Bei der Erarbeitung ökologisch und ökonomisch verträglicher Konzepte für den Einsatz biologischer Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen muss den Erkenntnissen moderner Forschung verstärkt Rechnung getragen werden. Im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchungen sollten sowohl bodenökologische Grundlagen als auch praktische Aspekte der biologischen Schädlingsbekämpfung im Weinbau untersucht werden. Einerseits sollten erste Grundlagenuntersuchungen zu Persistenz, Wirkweise und ökologischem Verhalten (non-target-Effekte) insektenpathogener Pilze in Weinbergböden durchgeführt werden. Diese Erkenntnisse sind maßgebend für die biologische Kontrolle sowohl tierischer Schädlinge (z.B. Dickmaulrüssler, Engerlinge, Zikaden (Abb. 2B), virusübertragende Nematoden) als auch pflanzenschädigender Mikroorganismen (z.B. Wurzelfäule verursachende Bodenpilze). Andererseits sollte für den Einsatz in der Praxis die Wirkung des entomopathogenen Pilzes *M. anisopliae* zur Kontrolle von Reblauspopulationen untersucht werden.

Die notwendigen durchzuführenden Arbeiten bis zur Verfügbarkeit von *Metarhizium*-Präparaten zur biologischen Reblauskontrolle am Markt sind von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Hierbei sind v.a. die gesetzlichen Bestimmungen für Zulassung und Zertifizierung geeigneter Präparate zu nennen. Diese haben einen direkten Einfluss sowohl auf die Dauer der Untersuchungen und die dabei entstehenden Kosten als auch auf den Verkaufspreis der Präparate.

Auch im Fall der Abundanz von *H. affinis* konnte keine negative Auswirkung der *Metarhizium*-Applikation festgestellt werden.

Auf die von den Antragstellern erwarteten Erfolgsaussichten wurde kontextbezogen bereits in den o.g. Ausführungen eingegangen.

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten dieses Forschungsvorhabens sind schwer zu bewerten. Im Rahmen der Ausweitung des ökologischen Landbaues ist die Notwendigkeit und das Potential biologischer Schädlingsbekämpfungsmaßnahmen als ökologisch verträgliche Alternative zur chemischen Schädlingsbekämpfung als sehr hoch anzusehen. Zweifellos liegt der Hauptnutzen bei den Landwirten. Biologische Schädlingsmaßnahmen ermöglichen dem ökologischen Landbau auch bei Befall der Anlagen durch den Schädling eine nachhaltig-wirtschaftliche Produktion. Des Weiteren ermöglicht die biologische Bekämpfung der Reblaus die Ausbreitung des ökologischen Weinbaus in Bereiche, die mit der Reblaus infiziert sind.

Die Ziele dieses Forschungsvorhabens sind vorwiegend wissenschaftlicher bzw. technischer Art. Die wissenschaftlichen Erfolgsaussichten werden von den Antragstellern als sehr hoch bewertet. Die im Rahmen der Grundlagenforschung geplanten Untersuchungen dieses Forschungsvorhabens leisten einen wichtigen Beitrag zur Weiterentwicklung von Methoden zur biologischen Bekämpfung verschiedener Weinbauschädlinge im ökologischen Weinbau. Die angewandten Untersuchungen zur direkten Bekämpfung der Reblaus sind als innovativ anzusehen. Trotz jahrzehntelanger Forschungsbemühungen existiert bis dato keine Möglichkeit zur Kontrolle von Reblauspopulationen.

Während des Berichtszeitraums wurde auf der Versuchsfläche ein in der Arbeitsgruppe Bodenökologie neu entwickeltes Verfahren zur in-situ-Isolation von Bodenmikroorganismen (Soil Microorganism Monitoring System; SMMS) zum Monitoring der Ausbreitung von *M. anisopliae* in Weinbergböden eingesetzt. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass sich der Pilz, ausgehend vom Ort der Ausbringung, v.a. in Bodenschichten zwischen 16-22 cm in neue Bodenkompimente hinein ausbreitet. Hierfür ist vermutlich der höhere Wassergehalt in diesen Bodenschichten verantwortlich.

In Zusammenarbeit mit neu gewonnenen Kooperationspartnern wurden Feldversuche zur Unterstock- und Ganzflächenapplikation von biologischen Kontrollorganismen in Granulatform (inokulierte Gerstenkörner) vorgenommen. Hierbei hat sich die Verwendung einer Anbaukombination bestehend aus elektrischem Schleuderstreuer und einem hydraulisch gesteuerten Unterstockkreisel im Anbau an einen Schwergrubber und einer Kreiselegge als sehr effizient erwiesen. Im Vorfeld wurde eine Anhäufung im Unterstockbereich unter Verwendung eines Scheibenpflugs vorgenommen. Dies soll gewährleisten, dass ausreichend mischbare Bodenmasse für die Unterstockbearbeitung zur Verfügung steht.

Somit stehen neue Applikationsmethoden für die Ausbringung der Kontrollorganismen zur Verfügung.

Folgende Ergebnispräsentationen wurden bislang durchgeführt:

L. Huber, M. Kirchmair, H. Strasser, E. Leither & M. Porten (2004): Biological control of grape phylloxera using the entomogenous fungus *Metarhizium anisopliae*.- 1. Internationales Symposium für ökologischen Obst- und Weinbau INTERVITIS INTERFRUCTA, 11.-15.05.2004.

Martin Kirchmair, Lars Huber, Hermann Strasse (2004) The use of *Metarhizium anisopliae* als BCA against grape phylloxera.- Mikrobiologisches Colloquium, Institut für Allgemeine Mikrobiologie und Mikrobengenetik, Universität Jena 28.5.2004, Jena

Martin Kirchmair, Lars Huber, Hermann Strasser (2004): The use of *Metarhizium anisopliae* against grape phylloxera: first results. IOBC Meeting. Integration 2004. 9.-13. Juni 2004, S.Michele all'Adige, Trentino, Italy

Außerdem ist vorgesehen, interessierten Interessenvertretern (z.B. Winzer, Züchter, Veredler, Weinbaubeauftragte) im Rahmen von Workshops und Freilandexkursionen sowohl die Versuche als auch die Ergebnisse vorzustellen.

Anhang I

Zeile	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
8	8		8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11		11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	K2		12	12	G2	12	12	12	12	12	G1	12
13			9	13		13	23	13	30	13		13
14			14	14		14	14	14	14	14	14	14
15			15	15		15	15	15	15	15	15	15
16			16	16		16	16	16	16	16	16	16
17			17	17		17	17	17	17	17	17	17
18			18	18		18	18	18	18	18	18	18
19			19	19		19	19	19	19	19	19	19
20	3		20	20	17	20	24	20	31	20	38	20
21			21	10	21	21	21	21	21	21	21	21
22			22	22		22	22	22	22	22	22	22
23			23	23		23	23	23	23	23	23	23
24			24	24		24	24	24	24	24	24	24
25			25	25		25	25	25	25	25	25	25
26			26	26		26	26	26	26	26	26	26
27			27	27		27	27	27	27	27	27	27
28	G4		28	11	28	18	25	28	32	28	M1	28
29			29	29		29	29	29	29	29	29	29
30			30	30		30	30	30	30	30	30	30
31			31	31		31	31	31	31	31	31	31
32			32	32		32	32	32	32	32	32	32
33			33	33		33	33	33	33	33	33	33
34			34	34		34	34	34	34	34	34	34
35			35	35		35	35	35	35	35	35	35
36	5		36	36	M3	36	26	36	33	36	40	36
37			37	37		37	37	37	37	37	37	37
38			38	38		38	38	38	38	38	38	38
39			39	39		39	39	39	39	39	39	39
40			40	40		40	40	40	40	40	40	40
41			41	41		41	41	41	41	41	41	41
42			42	42		42	42	42	42	42	42	42
43			43	43		43	43	43	43	43	43	43
44	6		44	13	44	20	M4	44	34	44	41	44
45			45	45		45	45	45	45	45	45	45
46			46	46		46	46	46	46	46	46	46
47			47	47		47	47	47	47	47	47	47
48			48	48		48	48	48	48	48	48	48
49			49	49		49	49	49	49	49	49	49
50			50	50		50	50	50	50	50	50	50
51			51	51		51	51	51	51	51	51	51
52	7		52	G3	52	21	28	52	K4	52	42	52
53			53	53		53	53	53	53	53	53	53
54			54	54		54	54	54	54	54	54	54
55			55	55		55	55	55	55	55	55	55
56			56	56		56	56	56	56	56	56	56
57			57	57		57	57	57	57	57	57	57
58			58	58		58	58	58	58	58	58	58

oberer Fahrweg

Abb.9 Zufallsverteilung der Versuchsvarianten und ihrer Parallelen auf der Versuchsfläche Geisenheim.

Versuchsvarianten: M = Metarhizium, G = Gerste, K = Kontrolle; 1-4 = Parallelen (Wiederholungen) der Versuchsvarianten
Begrünte Fahrgassen sind dunkelgrün gekennzeichnet