Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz
Department für Wald- und Bodenwissenschaften
Universität für Bodenkultur, Wien

Untersuchungen zur Wirkung baumbürtiger Substanzen auf die Keimfähigkeit und das Wachstum entomopathogener Pilze

Masterarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieurin der Universität für Bodenkultur

Studienrichtung Forstwissenschaften

vorgelegt von
Bakk.techn. Ariadne Svoboda

Wissenschaftliche Betreuung und Begutachtung
Ao.Univ.Prof.Dr.phil.Rudolf Wegensteiner

Wien, Februar 2014

Das schönste Glück des denkenden Menschen ist, das Erforschliche erforscht zu haben und das Unerforschliche zu verehren.

JOHANN WOLFGANG V. GOETHE

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle sehr herzlich bei Ao. Univ. Prof. Dr. Rudolf Wegensteiner für die hervorragende Betreuung und Unterstützung bedanken. Er ist mir immer mit Rat und Tat zur Seite gestanden und hatte stets ein offenes Ohr für Fragen und Anliegen.
Durch ihn wurde in mir das Interesse an entomopathogenen Pilzen geweckt und die Arbeit hat meine Begeisterung an den biologischen Wissenschaften weiter ansteigen lassen. Die Faszination am „Wunder des Lebens“ wird mich stets begleiten. Danke dafür!

Ein besonders großes Dankeschön an Herrn Richard Schreieck vom Pecherhof „Hernstein“ in Niederösterreich, der durch die zur Verfügung gestellten Harzsubstanzen die Arbeit erst möglich gemacht hat.

Des Weiteren möchte ich mich beim gesamten Team des Institutes für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz für die stets kollegiale und freundliche Arbeitsatmosphäre sowie die große Hilfsbereitschaft bedanken. Mein besonderer Dank gilt Mag. Susanne Mottinger-Kroupa, die mich mit viel Geduld in die Laborarbeiten eingeschult hat und mir bei Problemen immer verständnisvoll zur Hilfe gewesen ist. Danke auch an D.I. Peter Kritsch für die kompetente Unterstützung bei der statistischen Datenauswertung. Danke an Thomas Weinkopf für die Hilfe bei der Bereitstellung der Filterpapierplättchen.

Zum Schluss möchte ich mich noch ganz besonderes herzlich bei meinen Eltern bedanken, die immer an mich geglaubt haben und mir zu jeder Zeit ermöglicht haben meinen Weg zu gehen. Vor allem bei meiner Mutter möchte ich mich für ihren unermüdlichen Einsatz und ihr Verständnis in allen Lebensbereichen und -lagen bedanken. Durch deine Unterstützung durfte ich zu dem werden, was ich bin. Vielen Dank auch an meine Schwester, die mich stets zu motivieren gewusst hat und mir immer hilfreich zur Seite gestanden ist. Danke an meinen Bruder, der durch Diskussionen meinen Blick auf diese Welt geschärft hat.

Danke auch an alle Persönlichkeiten, deren Lebenswege und Einstellungen mir die Augen für das Wesentliche im Leben geöffnet haben. Ihr habt damit meine Sicht auf diese Welt nachhaltig geprägt und bereichert.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung VI

Abstract VIII

1 Einleitung 1

1.1 Entomopathogene Pilze 1

1.2 Baumbürtige Substanzen 7

2 Material und Methoden 13

2.1 Keimungstest 13

2.2 Hemmhoftest 15

2.3 Statistische Auswertung 16

3 Ergebnisse 18

3.1 Keimfähigkeitsuntersuchungen 18

3.1.1 Wirkung von Flüssigharz auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 19

3.1.2 Wirkung von Scharrharz auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 23

3.1.3 Wirkung von Kolophonium auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 27

3.1.4 Wirkungsvergleich der natürlichen Substanzen (Flüssigharz, Scharrharz, Kolophonium) auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 31

3.1.5 Wirkung von (-)-α-Pinen auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 34

3.1.6 Wirkung von (-)-β-Pinen auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 39

3.1.7 Wirkung von Myrcen auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 44

3.1.8 Wirkung von R-Limonen auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 49

3.1.9 Wirkungsvergleich der Terpen-Reinsubstanzen auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 54

3.2 Wachstumsuntersuchungen 60

3.2.1 Wirkung von Flüssigharz auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 60

3.2.2 Wirkung von Scharrharz auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 63

3.2.3 Wirkung von Kolophonium auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 64

3.2.4 Wirkung von (-)-α-Pinen auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 65

3.2.5 Wirkung von (-)-β-Pinen auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 65

3.2.6 Wirkung von Myrcen auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 65

3.2.7 Wirkung von R-Limonen auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* 67

4 Diskussion 68

5 Literaturverzeichnis 87

Tabellenverzeichnis 95

Abbildungsverzeichnis 96

Anhangsverzeichnis 98

Anhang 103

Zusammenfassung

Die drei entomopathogenen Pilzarten *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* sind wichtige Antagonisten von Insekten, da sie - im Gegensatz zu Bakterien oder Viren - über die Haut in den Körper ihres Wirtes eindringen. Um die Möglichkeit für den Einsatz in der biologischen Bekämpfung von verschiedenen land- und forstwirtschaftlichen Schadinsekten abzuklären, ist das Wissen über Einflussfaktoren auf das Wachstum essentiell.
Im Zuge dieser Arbeit wurde die Wirkung von *Pinus nigra*-Flüssigharz, -Scharrharz und -Kolophonium sowie von den Terpen-Reinsubstanzen (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen und R-Limonen auf die Keimfähigkeit und das Wachstum der drei Pilzarten untersucht. Es zeigte sich, dass Scharrharz und Kolophonium sowie alle getesteten Terpene eine zumindest signifikante Keimfähigkeitsverminderung verursachen, die abhängig von der Entfernung zur Auftragungsstelle und der vergangenen Zeitspanne zum Auftragungszeitpunkt verschieden hoch war. Flüssigharz führte zu unterschiedlichen Reaktionen und wurde mit zwei Applikationsmethoden aufgebracht, da das direkte Aufbringen zum Verrinnen der Substanz führte und in der Folge die Keimfähigkeitsbestimmung erheblich erschwerte. Die Verwendung eines Filterpapierplättchen reduzierte dieses Problem zwar, führte jedoch - vermutlich aufgrund der verschieden schnell abgegebenen Harz-Stoffkomponenten - auch zu Unterschieden im Keimungsverhalten. Dabei zeigte *B. bassiana* eine generell erhöhte Sensitivität gegenüber Flüssigharz, da beide Applikationsvarianten höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) und signifikante ($p \leq 0{,}05$) Keimhemmungen im Vergleich zur Kontrollgruppe bewirkten. Bei *M. anisopliae* führte nur die Applikationsmethode mittels Filterpapierplättchen zur hoch signifikanten ($p \leq 0{,}01$) Keimfähigkeitsreduktion im Vergleich zur Kontrolle. Im Gegensatz dazu reagierte *I. fumosorosea* auf beide Flüssigharz-Applikationsmethoden mit Keimungsraten, die erstaunlicherweise die Kontrollgruppe teilweise knapp übertrafen.
Bei den Wachstumsuntersuchungen bildeten *B. bassiana* sowie *M. anisopliae* ausschließlich bei der Flüssigharz-Applikationsvariante mittels Filterpapierblättchen Hemmhöfe aus. Des Weiteren konnten messbare Wachstumsbeeinflussungen bei *B. bassiana* durch Scharrharz und Kolophonium festgestellt werden. *I. fumosorosea* zeigte hingegen bei keiner der verwendeten natürlichen Stoffen eine erkennbare Einschränkung des Wachstumsverhaltens.
Von allen getesteten Terpen-Reinsubstanzen reduzierten (-)-β-Pinen und R-Limonen die Keimfähigkeit der drei Pilzarten am stärksten. Beeinflussungen des Wachstums konnten ausschließlich und stets im geringen Maße bei R-Limonen und Myrcen beobachtet werden. Während *B. bassiana* Hemmhöfe bei beiden genannten Substanzen ausbildete, reagierte *M.*

anisopliae nur auf Myrcen mit messbarer Wachstumsbeeinflussung. *I. fumosorosea* wurde durch keine Terpen-Reinsubstanz erkennbar im Wachstum eingeschränkt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, dass die natürlichen Stoffe von *Pinus nigra* eine geringere Wirkung auf die Keimfähigkeiten der getesteten Pilzarten haben als die Gruppe der Terpen-Reinsubstanzen, die anfangs oft zu stärkeren Keimhemmungen geführt haben. Auf der anderen Seite beeinflussen die natürlichen Stoffe das Pilzwachstum häufiger und länger als die Terpen-Reinsubstanzen. *I. fumosorosea* stellte sich als relativ unempfindlichste der getesteten Arten heraus und wäre demnach für einen Einsatz im Forst zu präferieren. *B. bassiana* und *M. anisopliae* reagierten zwar generell etwas sensitiver, jedoch war auch hier die hemmende Wirkung der getesteten Substanzen reversibel, was eine Anwendung im Wald nicht gänzlich ausschließen lässt. Um die Effizienz einer biologischen Bekämpfung zu erhöhen, sollten weitere Wechselwirkungen aber noch geklärt werden.

Abstract

The three entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* are important natural enemies of insects. In contrast to bacterial and viral pathogens, they are able to attack their hosts' through the cuticula. For using these microorganisms as agents for biological control of agriculture and forest pest insects, it is important to know which factors influence the growth of the entomopathogenic fungi.

The present study evaluates the effects of liquid resin, solid resin and colophony of *Pinus nigra* and also the terpenes (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen and R-Limonen on the germination and growth of the three fungi.

Solid resin, colophony and all selected terpenes significantly decreased the germination of the fungi at least. The inhibiting influence of the used substances varied depending on the distance to the position of the substance and the period of time to the application. Liquid resin led to different reactions. Two different application methods were used because it was difficult to fix the liquid resin on the right position and consequently to determine the germination rate. A piece of filter paper helped to solve the problem. But it also led to varying germination rates probably due to volatile compounds of resin.

B. bassiana showed a high sensitivity to liquid resin. Conidial germination was highest significantly ($p \leq 0{,}001$) and significantly ($p \leq 0{,}05$) decreased by both application methods. *M. anisopliae* was only high significantly ($p \leq 0{,}01$) inhibited by liquid resin applied on filter paper. In contrast *I. fumosorosea* reacted with partial little higher germination rates than the control group by both application methods of liquid resin.

In the growth assays, liquid resin added on filter paper decreased the growth of both *B. bassiana* and *M. anisopliae*. Furthermore *B. bassiana* was influenced in growth by solid resin and colophony. However all natural substances tested in this experiment had no measurable impact on the growth of *I. fumosorosea*.

Among all terpenes tested, (-)-β-Pinen and R-Limonen showed the strongest inhibiting effect on the germination of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Isaria fumosorosea*. In the growth assays, growth was only reduced by R-Limonen und Myrcen. Whereas both terpenes decreased the growth of *B. bassiana*, *M. anisopliae*'s growth was just influenced by Myrcen. All terpenes tested in this experiment, had no measurable impact on the growth of *I. fumosorosea.*

The results of the present study show that the natural substances from *Pinus nigra* have less impact on the germination of the three fungi than the tested terpenes, which often indicate

stronger inhibiting effects at the beginning. On the other hand the natural substances influence the growth rate more often and timely longer than the terpenes. Because *I. fumosorosea* was less sensitive, it would be the best choice in forest pest management. Even though *B. bassiana* and *M. anisopliae* were more sensitive, they could be used as biological control agents in forests too due to their reversible inhibiting reactions. Nevertheless other possible factors, which may influence germination and growth of entomopathogenic fungi, should be tested to increase the successful use of these pathogens in forest pest control.

1 Einleitung

1.1 Entomopathogene Pilze

Entomopathogene Pilze sind häufig auftretende Krankheitserreger von Insekten und spielen so eine bedeutende Rolle in Ökosystemen (Roy et al. 2010). Bis jetzt wurden einige hundert Pilzarten gefunden, die Arthropoden infizieren können. Sie gehören zu den wichtigen Gegenspielern von im Wasser und auf dem Land lebenden Insekten und kommen weltweit vor (Schmutterer & Huber 2005).

Insektenpathogene Pilze sind in der Lage ihre Wirte über die Haut zu besiedeln. Dieser percutane Infektionsweg unterscheidet sie von anderen Krankheitserregern wie Bakterien, Viren und Protozoen, die alle aktiv vom Wirt aufgenommen werden müssen (Cory & Ericsson 2010). Manche Pilzarten können zusätzlich das Verhalten ihres Wirtes so beeinflussen, dass die Ausbreitung des Pathogen begünstigt wird (Piepenbring 2012). Eine erfolgreiche Infektion hängt primär von der Fähigkeit der Pilzsporen zur Anhaftung und Durchdringung der Insektenkutikula ab (Shahid et al. 2012). Die Pathogenese kann nach Schmutterer & Huber (2005) in folgende vier Schritte unterteilt werden:

1) Sporenanhaftung und -keimung: Die Adhäsion von Sporen auf der Kutikula potentieller Wirte ist Voraussetzung einer Infektion. Sie geschieht in der Regel mit Konidien, welche wegen ihrer hydrophoben Oberfläche leicht an der Kutikula haften bleiben. Anschließend kommt es zur Keimung der selbigen mittels Keimhyphen sowie zur Ausbildung von Appressorien.
2) Penetration: In Folge geschieht die mechanische und enzymatische Penetration durch die Enzyme Protease, Chitinase und Lipase der einzelnen Insektenkutikulaschichten. Die Pilze präferieren in der Regel dünnere, nicht sklerotisierte Zonen auf der Kutikula wie beispielsweise zwischen den Segmenten oder nahe der Mundpartie.
3) Immunsystemüberwindung/ Besiedelung: Der Wirt reagiert mit Abwehrreaktionen, die oft äußerlich sichtbar werden. Bei der sogenannten Melanisierung entstehen dunkle, schwarzbraun gefärbte Flecken im Bereich der Penetrationshyphen auf der Kutikula. Des Weiteren erfolgen molekulare Wechselwirkungen zwischen Pilz und Immunsystem. Hierbei bildet der Pilz exogene Proteasen und Toxine aus auf die das Insekt mit zellulären und humoralen Reaktionen antwortet. Konnte das Immunsystem

überwunden werden, durchwachsen Hyphen die Leibeshöhle und Organe. Blastosporen werden gebildet und das gesamte Wirtsgewebe besiedelt.

4) Saprophytische Phase: Der Tod des Wirtes tritt meistens ein bis zwei Wochen nach der Infektion ein und wird einerseits durch den mechanischen Druck des Mycelwachstums auf den Insektenkörper, andererseits durch die Ausbildung von toxischen Metaboliten sowie den Sauerstoff- und Energieverbrauch des Pilzes, verursacht.

Bei passenden Umweltbedingungen wachsen Pilzhyphen wieder durch die Epidermis und die Kutikula an die Körperoberfläche (Abb. 1) und bilden dort Konidiosporen aus, womit wieder neue Wirte besiedelt werden können und der Infektionszyklus von neuem beginnt (Abb. 2).

Abb. 1: Infizierte Larve (Butt et al. 2001)

Abb. 2: Konidosporenhof (Butt et al. 2001)

Der Infektionserfolg sowie die Entwicklungsgeschwindigkeit von entomopathogenen Pilzen hängen von einer Vielzahl an Faktoren ab. Das Wachstum wird sowohl durch abiotische als auch biotische Parameter beeinflusst (Schmutterer & Huber 2005, Jaronski 2010).

So können UV- A (330- 400 nm) und UV- B (290- 330nm) Strahlen insektenpathogenen Pilze stark schädigen (Jaronski 2010), weshalb der Zusatz von UV- Schutzformulierungen in der biologischen Bekämpfung erprobt wird (Schmutterer & Huber 2005). Für die Keimung ist eine hohe relative Luftfeuchte bzw. Bodenfeuchte essentiell, da die Pilze vor allem im Boden vorkommen (Abb. 3). Nach Schmutterer & Huber (2005) werden Ölzusätze bei Applikationen mitverarbeitet, die gleichzeitig die Persistenz der Pilzsporen bei Regenfällen erhöhen sollen (Jaronski 2010). Der Faktor Temperatur spielt laut Zimmermann (2007a) ebenfalls eine wichtige Rolle, da zu niedrige als auch zu hohe Temperaturen die Keimung und das Wachstum negativ beeinflussen. Die gleichzeitige Anwesenheit von anderen Pathogenen haben unterschiedliche Auswirkungen auf das Wachstum von entomopathogenen Pilzen. Auf der einen Seite können sie die Anfälligkeit von Insekten für eine Infektion mit

insektenpathogenen Pilzen erhöhen, auf der anderen Seite aber auch als Konkurrenzfaktor wirken (Jaronski 2010).

Das Wissen und die Berücksichtigung von abiotischen und biotischen Einflussfaktoren ist der Schlüssel für die erfolgreiche Anwendung von insektenpathogenen Pilzen. Demnach sind Sporenformulierung, Applikationstechnik und Ausbringungszeit wichtige Parameter für die Sporenpersistenz und somit wesentlicher Bestandteil für den angestrebten Anwendungserfolg (Pilz et al. 2011).

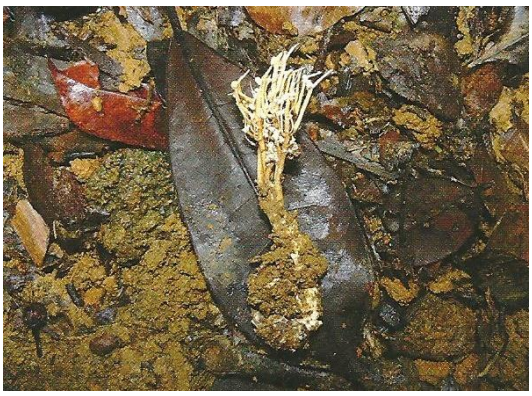


Abb. 3: Aus einer im Boden vergrabenen Larve herauswachsender Fruchtkörper von *Cordyceps* sp. (Piepenbring 2012).

Beauveria bassiana

B. bassiana ist einer der bekanntesten entomopathogenen Pilze, da diese Art weltweit verbreitet ist und bereits von einigen hundert Insektenarten isoliert werden konnte (Schmutterer & Huber 2005). Charakteristisch für die einzelnen Isolate ist ein relativ enger Wirtskreis. *B. bassiana* wurde zum ersten Mal von Agostino Bassi di Lodi 1853 in Italien beschrieben, der als erster entdeckte, dass ein Pilz Krankheiten bei Insekten hervorrufen kann (Zimmermann 2007b). Nach Humber (2013) gehört die Art zu den Ascomycota (Schlauchpilze), in die Ordnung der Hypocrales, zur Klasse der Sordariomycetes (Unterklasse Hypocreomycetidae), in die Familie Cordycipitacaea, in die Gattung Cordiceps (Abb. 4).

B. bassiana bildet ein charakteristisch weißes Mycel aus (Abb. 5a/b). Die Konidien sind kugelförmig und besitzen eine typisch pulvrige Konsistenz, welche die Ausbreitung erleichtert (Zimmermann 2007b).

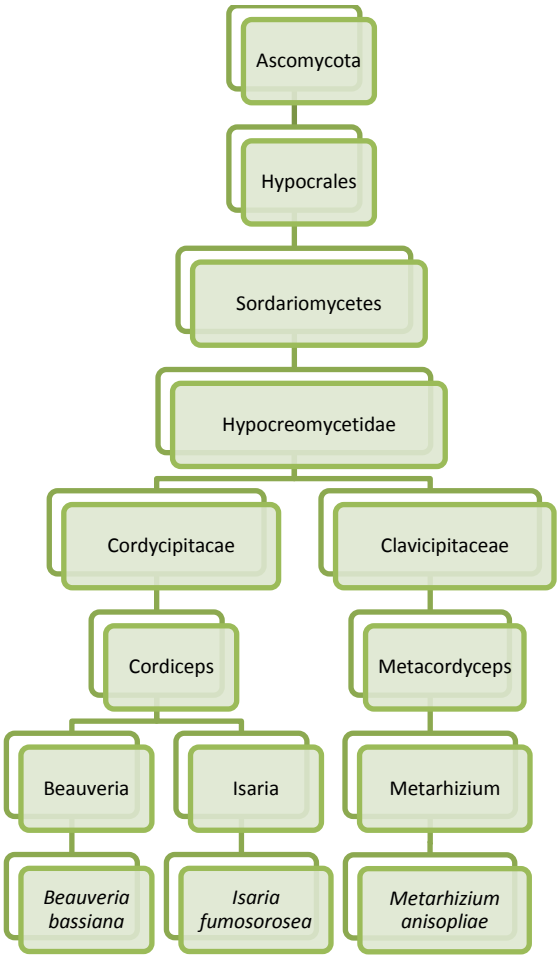


Abb. 4: Ausschnitt der Taxonomie der entomopathogenen Pilze (nach Humber 2013).

a

b

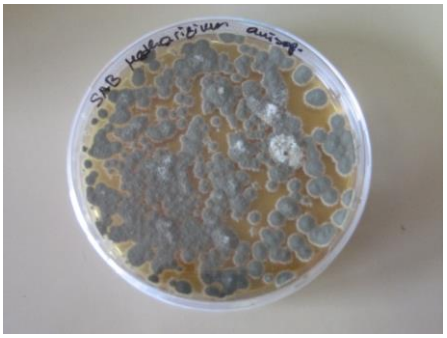
Abb. 5a/b: *Beauveria bassiana* in vitro.

Metarhizium anisopliae

Metarhizium anisopliae ist ebenfalls eine weit verbreitete insektenpathogene Pilzart, die häufig in der biologischen Schädlingsbekämpfung eingesetzt wird und früher unter dem Namen „Grüne Muscardine“ bekannt gewesen ist (Schmutterer & Huber 2005). Es existieren zahlreiche, an die jeweiligen Habitate angepasste Genotypen mit unterschiedlicher Wirtspräferenz (Zimmermann 2007a). Bisher konnte der Pilz von mehreren hundert Insektenarten aus unterschiedlichen Ordnungen isoliert werden. Er kommt überwiegend an Coloepteren vor und ist Bestandteil vieler Boden-Mikrofloren. Obwohl auch *M. anisopliae* ein durchaus weites Wirtsspektrum besitzt, ist jenes doch etwas spezifischer als von *B. bassiana* und hängt wiederum von den gewählten Isolaten ab (Zimmermann 2007a).

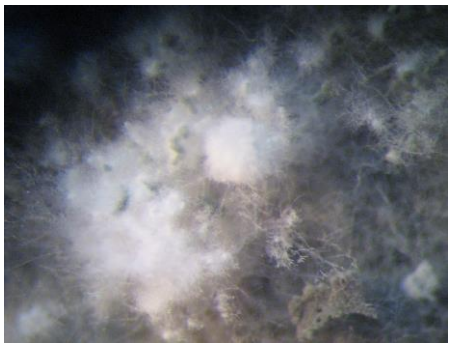
Die Art gehört zu den Ascomycota (Schlauchpilze), in die Ordnung der Hypocrales, zur Klasse der Sordariomycetes (Unterklasse Hypocreomycetidae), in die Familie Clavicipitacaea, in die Gattung Metacordyceps (Abb. 4).

M. anisopliae besitzt länglich, zylindrisch geformte Konidien, die oft gehäuft säulenförmig in Paketen vorkommen. Weiteres Merkmal ist nach Zimmermann (2007a) die typisch grün bis graue Färbung des Pilzes (Abb. 6a/b/c).



a

b



c

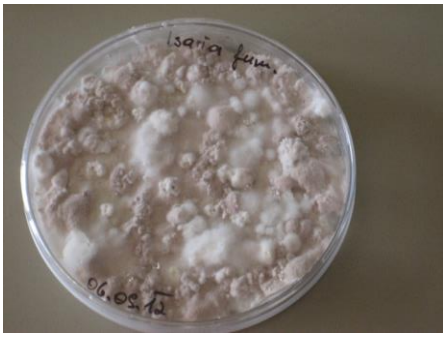
Abb. 6a/b/c: *Metarhizium anisopliae* in vitro.

Isaria fumosorosea

Isaria fumosorosea war früher unter dem Namen *Paecilomyces fumosoroseus* bekannt. Aufgrund der hohen genetischen Diversität und der Ausbildungen von morphologischen Untergruppen sowie zahlreicher Isolaten, spricht man vom *I. fumosorosea* – Komplex (Zimmermann 2008). Der Pilz besitzt ein relativ weites Wirtsspektrum, befällt jedoch oft Lepitoptera (Zimmermann 2008). *I. fumosorosea* kommt in den verschiedensten Ökosystemen vor, präferiert aber Waldböden bestockt mit beispielsweise Kiefer oder Eiche (Zimmermann 2008).

Die Art gehört zu den Ascomycota (Schlauchpilze), in die Ordnung der Hypocrales, zur Klasse der Sordariomycetes (Unterklasse Hypocreomycetidae), in die Familie Cordycipitacaea, in die Gattung Cordiceps (Abb. 4).

I. fumosorosea wächst schnell und bildet ein sogenanntes Luftmycel aus (Abb. 7a/b/c). Die anfangs weiß, später rosa gefärbten Konidien werden in langen Ketten an flaschenförmigen Phialiden ausgebildet und sind oval geformt (Zimmermann 2008).



a

b

c

Abb. 7a/b/c: *Isaria fumosorosea* in vitro.

1.2 Baumbürtige Substanzen

Baumbürtige Substanzen zählen zu den sekundären Pflanzeninhaltsstoffen, deren chemischer Aufbau für bestimmte Pflanzengruppen charakteristisch ist (Altenkirch et al. 2002).
Harze sind wichtige baumbürtige Substanzen, da sie die Funktion der Abwehr übernehmen. Nach Altenkirch et al. (2002) verfolgen Bäume und krautige Pflanzen unterschiedliche Verteidigungsstrategien, die sich in der qualitativen und quantitativen Resistenz widerspiegeln. Weil krautige Pflanzen durch schnelle Generationsfolgen gekennzeichnet sind, entwickelten sie hochtoxische Abwehrstoffe, die bereits in niedrigen Dosen wirken, um sich gegen Phytophage zu schützen (qualitative Resistenz). Da diese Stoffe chemisch sehr reaktiv sind, können sie enzymatisch auch relativ leicht abgebaut werden, was zur Bildung von resistenten Biotypen von Pflanzenfressern führt. Diese wechselseitige Anpassung ist eine Antriebsfeder für die Koevolution und Koexistenz von Phytophagen und krautigen Pflanzen (Altenkirch et al. 2002). Bäume setzen hingegen bei ihrem Einsatz von Abwehrstoffen gegen Pflanzenfresser auf eine grundsätzlich andere Strategie als ihre krautigen Verwandten. Da sie über einen langen Zeitraum in einem Ökosystem bleiben können, bauen sie vor allem auf die Bildung von Abwehrstoffen mit relativ geringer Toxizität, die jedoch in großen Mengen eingesetzt werden können (quantitative Resistenz) (Altenkirch et al. 2002). Diese Stoffe wirken oft unspezifisch gegen verschiedenste Pflanzenfresser und sind außerdem für die Pflanze relativ einfach zu synthetisieren. Für Phytophage ist die Entgiftung von großen Mengen an Abwehrstoffen schwierig und führt vor allem bei Insekten im Larvenstadium zur Mortalität (Altenkirch et al. 2002).
Eine weitere noch wenig untersuchte Abwehrstrategie ist die Produktion von Phenolkomponenten, die in speziellen Zellen in der Rinde von Bäumen vorhanden sind (Hammerbacher et al. 2013). Des Weiteren werden phenolische Inhaltsstoffe mit biozider Wirkung häufig auch im Kernholz abgelagert (Wagenführ & Scholz 2008).

Harze

Eine der Hauptverteidigungsstrategien der Koniferen gegenüber Herbivoren besteht in der Produktion von Harzen (Eller et al. 2013).
Harze sind organische Gemische ohne einheitlichen Aufbau. Sie bestehen aus Terpenen und Esterharzen, sind wasserunlöslich und besitzen keinen festen Schmelzpunkt (Stingelwagner et al. 2005). Während Terpene stets reine Kohlenwasserstoffe sind, weisen Terpenoide sauerstofftragende funktionelle Gruppen auf (Wagenführ & Scholz 2008). Vor allem

Nadelbäume wie Fichte, Tanne, Kiefer und Lärche scheiden Harze über interzelluläre Harzkanäle (Abb. 8) aus (Stingelwagner et al. 2005). Bei Luftkontakt kommt es zur Verfestigung des Harzes und folglich zur Wundschließung (Rodd & Stackhouse 2008).

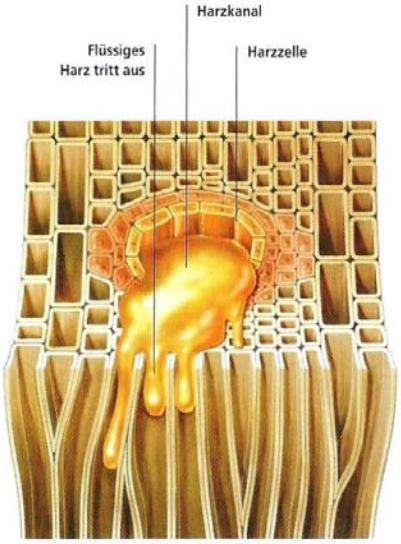


Abb. 8: Interzellularer Harzkanal (Rodd & Stackhouse 2008)

Koniferenharz (Oleoserin) besteht aus einer Mischung von leichtflüchtigen Monoterpenen und nichtflüchtigen diterpenen Harzsäuren (Wagenführ & Scholz 2008). Die Abwehr erfolgt physikalische durch die klebrige Konsistenz („Ausharzen“) sowie chemisch durch repellente und toxische Stoffe (Altenkirch et al. 2002). Die Schutzwirkung tritt vor allem nach Holz- und Rindenverletzungen ein und betrifft Insekten ebenso wie pathogene Pilze und Bakterien (Stinglwagner et al. 2005). Harzmenge und Harzdruck variieren mit der Vitalität des Baumes aber auch mit der Tageszeit. Änderungen in der Zusammensetzung von Harz werden sowohl durch genetische Merkmale als auch durch Standortfaktoren wie Bodenbeschaffenheit und Klimaverhältnisse beeinflusst (Greiner 1988).

Auf nährstoffreichen und gut wasserversorgten Standorten sind die gebildete Harzmengen und der Harzdruck besonders hoch. Bei Wassermangel und anderen Stressfaktoren sinkt die Harzmenge und als Folge die Abwehrfähigkeit des Baumes (Altenkirch et al. 2002).

Des Weiteren kann man zwischen Primärharz und Sekundärharz unterscheiden. Während ersteres in Harzgängen oder Harzzellen gespeichert wird, entsteht letzteres als gezielte Antwort auf einen Angriff wie z.B. durch Insektenfraß und enthält eine andere Zusammensetzung an Monoterpenen (Altenkirch et al. 2002). Diese kurzfristige Reaktion dient einem gezielten Aktivieren von Abwehrmaßnahmen, die für die Pflanze in jedem Falle

Energie kostet und einen nicht unerheblichen Stoffwechselaufwand bedeutet (Altenkirch et al. 2002). Beispielsweise sterben beim Eindringen von Borkenkäfern Zellen ab und Läsionen werden mit Harz gefüllt um den Käfer einzuschließen. In Folge kommt es zur Bildung von Wund-Periderm. Über kurze Zeit kann auch ein Anstieg von speziellen toxischen Monoterpenen beobachtet werden (Altenkirch et al. 2002). Vor allem Bäume, die statt Harzkanäle Harztaschen besitzen, sind auf die induzierte Harzbildung angewiesen, da einbohrende Käfer diese leichter vermeiden können. Sekundärharz spielt zum Beispiel bei Tannen, die Harztaschen haben, eine bedeutendere Rolle in der Abwehrstrategie als bei Kiefern, die Harzkanäle besitzen (Altenkirch et al. 2002).

Harze waren in der Vergangenheit und sind auch heute noch wichtige Rohstoffe für weitere Erzeugnisse und Produkte (Stinglwagner et al. 2005). So tragen zum Beispiel verschiedene Arzneimittel Harzbestandteile in sich (Greiner 1988). Vor allem die antiseptische und antibakterielle Wirkung von Harz besitzt ein hohes Potential für die Entwicklung neuer Medikamenten in der Medizin und Pharmazie (Rodd & Stackhouse 2008). Durch Anbohren des Schwarzkieferstammes wird Terpentinöl gewonnen (Aichele und Schwegler 2000).

Die Harzgewinnung gehörte bis Ende des 18. Jahrhundert neben Jagd, Waldweide und Mast zur Hauptnutzungsform des Waldes (Stinglwagner et al. 2005). Je nach angewendeter Gewinnungsart und durchgeführtem Bearbeitungsverfahren wird zwischen verschiedenen Harzarten beziehungsweise Harzprodukten unterschieden (Abb. 9). So versteht man beispielsweise unter Winter- oder Scharrharz (Abb. 10a/b) bereits erhärtetes Kiefernharz, das im Herbst vom Baum abgescharrt wird (Stinglwagner et al. 2005).

Kolophonium (Abb. 11) ist bereits durch mehrere Bearbeitungsschritte behandeltes Harz und besteht als Hauptbestandteil aus Harzsäuren mit Abientsäure (Stinglwagner et al. 2005). Bei der Herstellung wird Harz durch Schmelzen gereinigt, indem der oben schwimmende Schaum bei ständigem Rühren abgeschöpft wird und das absinkende, klare Harz in Gefäße eingegossen wird. Das klare Harz wird dann nochmals geschmolzen, Wasser beigemengt und Essig dazugegeben um Kolophonium zu erhalten (Stinglwagner et al. 2005).

Abb. 9: Gewinnung von Kiefernharz (Wegensteiner)

a

b

Abb. 10a/b: An Kiefer erhärtetes Scharrharz (Wegensteiner)

Abb. 11: Kolophonium

Terpene

Terpene (Abb. 12) sind Bestandteil der ätherischen Öle von Nadelbäumen und dienen einerseits als Abwehrmechanismus andererseits aber auch zur Wachstumsregulierung in der Pflanze (Altenkirch et al. 2002). Terpene gehören in die Gruppe der Kohlenwasserstoffe und könne chemisch auf das Isopren $C_5 H_8$ zurückgeführt werden (Kull 2000). Aufgrund von Reaktionen der C_5-Einheiten entstehen unterschiedlichen Terpenoide, welches ein Vielfaches der Kohlenstoffzahl C_5 besitzt (Kull 2000). Bei vielen Arten entsteht aus einer C_5-Einheit ein freies, aus der Pflanze entweichendes Isopren, welches den Großteil der natürlichen, flüchtigen, organischen Verbindungen in der Atmosphäre darstellt (Kull 2000).

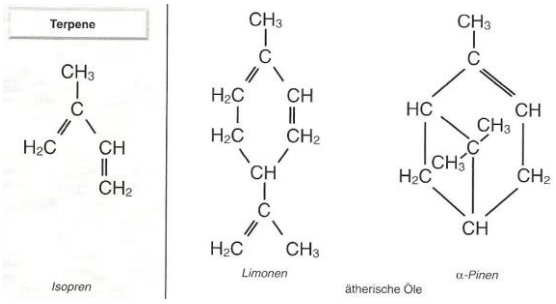


Abb. 12: Chemischer Aufbau der Terpene (Altenkirch et al. 2002)

Für spezialisierte Pflanzenfresser spielen Terpene eine wichtige Rolle in der Wirtsbaumfindung. Borkenkäfer sind außerdem in der Lage diese in käfereigene Lockstoffe umzuwandeln. Terpene werden zu den Kairomonen gezählt, das heißt sie fungieren als baumbürtige Lockstoffe für potentielle phytophage Insekten. Das Mengenverhältnis der verschiedenen Komponenten ist entscheidend für die Erkennung des Botenstoffes (Altenkirch et al. 2002). Die Umwandlung von Terpenen in käferbürtige Aggregationspheromone, kann bei vielen Borkenkäferarten festgestellt werden. Bereits beim Kontakt mit Harzdämpfen kommt es zu Oxidationsprozessen. Diese können als ursprüngliche Entgiftungsreaktion angesehen werden. Die Lockwirkung eines Baumes sinkt deutlich, wenn Terpene als Primärlockstoffe oder als Grundstoff für die Pheromonproduktion nicht mehr ausreichend vorhanden sind, wie beispielsweise bei Fichten, deren Harzfluss nach einer Massenbesiedlung reduziert ist (Altenkirch et al. 2002).Die Mixtur von mehreren freigesetzten Monoterpenen ist für die Anlockung attraktiver als einzelne Monoterpenstoffe (Cano-Ramirez et al. 2012). Monoterpene bestehen immer aus zwei Kohlenwasserstoffeinheiten (Kull 2000).

Die im jahreszeitlichen Verlauf durch natürliche Vorgänge (Nadelwachstum, Pollenentwicklung) freigesetzten Monoterpene beeinflussen die regionale Dynamik der

atmosphärischen Chemie und finden in Klimaerwärmungsmodellen immer mehr Berücksichtigung (Eller et al. 2013).
Terpene sind Bestandteil von Arzneimitteln, werden als Riechstoff eingesetzt oder als Rohstoff für die Industrie verwendet (Stinglwagner et al. 2005).

Die Ziele dieser Arbeit waren die Überprüfung der Wirkungsweise von Kiefern-Baumharz auf die Keimfähigkeit und das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*. Dazu wurden die drei Harzarten Flüssigharz, Scharrharz und Kolophonium als Testsubstanzen ausgewählt.
Des Weiteren sollte die Wirkung von Terpen-Reinsubstanzen auf die Keimfähigkeit und das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* näher untersucht werden. Demzufolge wurden die Terpene (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen und R-Limonen als Testsubstanz ausgewählt.

2 Material und Methoden

2.1 Keimungstest

Die drei Pilzarten *Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea,* welche in den Untersuchungen verwendet worden sind, entstammen einer Bodenprobe aus dem niederösterreichischen Hohenlehen (mündl. Mitteilung Wegensteiner).

Die getesteten natürlichen Substanzen stellte der Pecherhof Hernstein (Herr R. Schereieck) in Niederösterreich zur Verfügung. Hierfür wurden zwei Eprouvetten frisches Herbstharz von *Pinus nigra* in flüssigem Zustand mit einer Einwegspritze direkt von einem Baum bei bedecktem Himmel abgezapft um das Verdampfen flüchtiger Stoffe möglichst zu vermeiden.
Die Substanz Scharrharz wurde abgescharrt. Kolophonium wurde den notwendigen Bearbeitungsschritten unterzogen.
Alle natürlichen Substanzen wurden des Weiteren bei 15° Celsius in einem Kühlbrutschrank gelagert.

Mithilfe eines Keimungstest kann das Ausmaß der Sporenkeimung der verwendetet Pilze bestimmt werden. Dazu wurde ein Objektträger in einer Petrischale mit Sabourauddextrose Agar (Oxoid, CM0041) gleichmäßig dünn übergegossen. Um ein mögliches Bakterienwachstum zu verhindern, wurde dem Nährmedium das Antibiotikum Streptomycin Sulfat (Sigma, S-6501, EEC No. 223-286-0) in der Menge von 0,1g pro 1 Liter Wasser durch einen Membranfilter aus Cellulose (Porenweite 0,2µm) beigemengt. Nach Trocknung der Sabourauddextroseschicht wurde die Sporensuspension der jeweiligen Pilzart mit einem Glasspatel ausgestrichen. Die Herstellung der Sporensuspension erfolgte durch Abwaschung des sporolierenden Mycels bewachsener Petrischalen mit sterilem Wasser. Eine Bürker-Türk-Blutkörperchen- Zählkammer diente zum Auszählen der in der Suspension vorhandenen Sporen. Die Konzentration der Sporen betrug bei allen drei Pilzarten zwischen $1{,}02 \times 10^7$ Sporen/ml und $3{,}70 \times 10^7$ Sporen/ml.
In die Mitte der Objektträger wurden die jeweiligen Testsubstanzen aufgetragen.
Da bei Flüssigharz aufgrund der Konsistenz das Problem des „Verrinnens“ auftrat, fanden zwei Applikationsmethoden Anwendung: Bei der einen wurde das Flüssigharz direkt auf den mit Nährboden und Sporensuspension beschichteten Objektträger aufgebracht, während bei

der anderen Applikationsmethoden die Substanz auf ein trockensterilisiertes Filterpapierplättchen, das in die Mitte des Objektträgers positioniert worden war, aufgetragen wurde.

Scharrharz und Kolophonium wurden unter zu Hilfenahme von Skalpell und Pinzette zerteilt und als annähernd gleich große Stücke auf den Objektträger gegeben.

Die getesteten Terpen-Reinsubstanzen (1S)-(-)-α-Pinen (Merck-Schuchardt, EG-Nr./EC-No.: 232-077-3), (1S)-(-)-β-Pinen 99% (Aldrich-Chemie, Cat.No.:11.208-9), Myrcen techn. (Aldrich-Chemie, Kat.Nr.: M10000-5) und (R)-(+)-Limonen 97% (Aldrich-Chemie, Kat.Nr.: 18.316-4) wurden mittels einer Pipette in der Dosis von jeweils 20µl auf ein trockensterilisiertes Filterpapierplättchen aufgeträufelt, das wiederum in der Mitte des Objektträgers aufgelegt wurde.

Die Auswertung der Keimfähigkeiten erfolgte nach 24, 48 und 72 Stunden nach dem Ansetzungszeitpunkt unter einem Durchlichtmikroskop (Reichert Polyvar) bei vierzigfacher Vergrößerung (Abb. 13). Hierbei wurde Baumwollblau als Färbemittel verwendet um ein besseres Auszählen der Sporen zu ermöglichen.

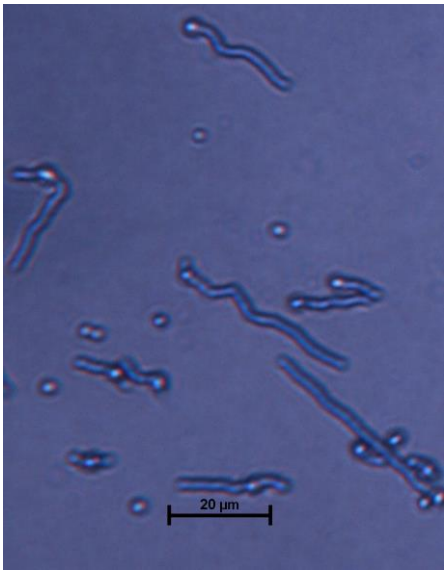


Abb. 13: Gekeimte und nicht gekeimte Sporen von *Beauveria bassiana* unter dem Durchlichtmikroskop bei der Bestimmung der Keimfähigkeit.

Vorversuche hatten einen Trend zur reversiblen Wirkung der Testsubstanzen über die Zeit gezeigt, weshalb die Auswertung der Keimfähigkeit schließlich nach 24, 48 und 72 Stunden erfolgte. Dabei wurden am Objektträger an acht festgelegten Punkten jeweils 100 Pilzsporen ausgezählt und die Anzahl der gekeimten sowie der ungekeimten Sporen bestimmt. Von den acht Messstellen lagen zwei in 5mm, zwei in 10mm, zwei in 15mm und zwei in 20mm

Entfernung zur aufgetragenen Testsubstanz. Damit konnte untersucht werden, ob mit dem Parameter Entfernung Unterschiede in der Wirkung existieren. Die auszuzählenden Stellen wurden vermessen und auf den Objektträgern mit einem Stift markiert. Die Aufbewahrung der Keimtests bis zur Auszählung erfolgte in einem Klimaschrank bei 21°C (±1°C) und Dunkelheit. Es wurden jeweils zwei Objektträger pro Variante (Testsubstanz und Auszählungszeit) und jeweils vier Objektträger als Kontrollgruppe ohne Testsubstanz durchgeführt.

Bei der statistischen Auswertung wurden die Zählergebnisse auf den Punkten 4 und 5, 3 und 6, 2 und 7 sowie 1 und 8 zusammengezogen, sodass Aussagen über die Wirkung der Substanz in 5mm, 10mm, 15mm und 20mm getätigt werden konnten (Abb. 14).

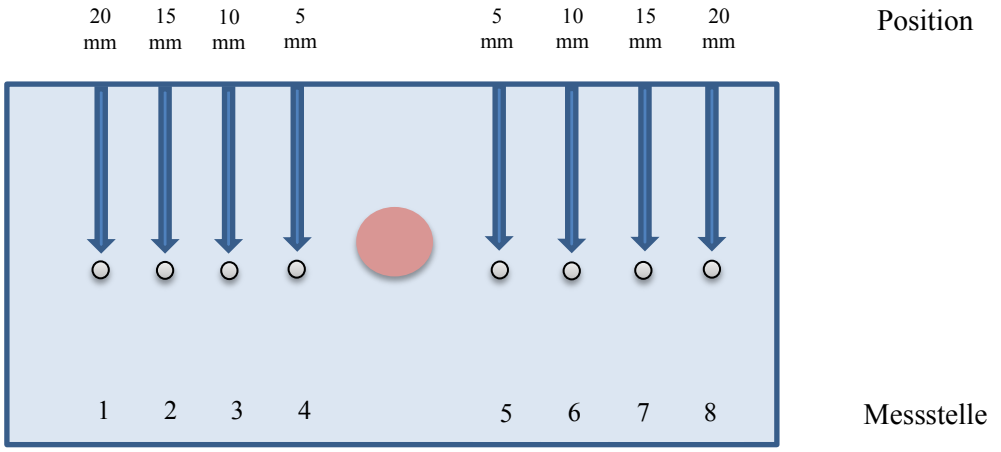


Abb. 14: Schematische Darstellung der Messstellen beim Keimfähigkeitstest.

2.2 Hemmhoftest

Die Durchführung von Hemmhofversuchen ermöglicht einerseits das Erkennen von frühen Unterschieden im Mycelwachstum der drei Pilze *Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* sowie andererseits auch diese über einen längeren Zeitraum untersuchen zu können. Dazu fanden mit Sabourauddextrose Agar ausgegossenen Petrischalen Verwendung. Dem Nährmedium wurde auch hier das Antibiotikum Streptomycin Sulfat in der Menge von 0,1g pro 1 Liter Wasser durch einen Membranfilter aus Cellulose (Porenweite 0,2µm) beigemengt. Des Weiteren wurden die jeweiligen

Sporensuspensionen mit einer Sporenkonzentration von 1,02x10⁷ Sporen/ml bis 3,70x10⁷ Sporen/ml wie in der Versuchsdurchführung der Keimtests hergestellt und auf die Sabourauddextroseschicht mit einem Glasspatel ausgestrichen (2.1).
In der Mitte der Petrischalen wurden wiederum die jeweiligen Testsubstanzen aufgetragen. Die Menge und die Applikationsmethoden waren ident mit jenen der Keimungstests (2.1). Nach Fertigstellung der Versuchsansätze der Hemmhof- und Keimungstests, wurden die Schalen mittels Parafilm luftdicht verschlossen. Die Aufbewahrung der Schalen erfolgte wieder bei 21°C im Klimaschrank (±1°C) und bei Dunkelheit (Abb. 15). 10 Petrischalen wurden pro Variante der Hemmhoftests angefertigt und abhängig vom jeweiligen Zeitraum der Hemmhofbildung von 14 bis 40 Tagen beobachtet. Dabei wurden zweimal pro Woche die Anzahl der Schalen, die einen Hemmhof aufgewiesen haben, notiert sowie der minimale und maximale Hemmhofdurchmesser vermessen. Des Weiteren wurden Fotos zur besseren Dokumentation und Verdeutlichung der Ergebnisse aufgenommen.

Abb. 15: Aufbewahrung der Keimungstests im Klimaschrank bei 21°C (±1°C).

2.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 20. Es wurde mit der einfaktoriellen ANOVA geprüft, ob signifikante Unterschiede in den Keimfähigkeiten bestanden.
Konkret wurde die einfaktorielle ANOVA durchgeführt zum:

- Vergleich der durchschnittlichen Keimfähigkeiten zur jeweiligen Kontrollgruppe

- Wirkungsvergleich der getesteten Substanzen auf die durchschnittlichen Keimfähigkeit innerhalb einer Pilzart (Substanzenranking)
- Wirkungsvergleich der getesteten Substanzen auf die durchschnittlichen Keimfähigkeit zwischen den Pilzarten

Dabei wurden die durchschnittlichen Keimfähigkeiten der Messstellen bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm verwendet und allfällige Mittelwertsunterschiede mit dem Scheffétest als Post Hoc Test näher untersucht.
Des Weitern fand auch der Parameter Zeit in der Auswertung Berücksichtigung, in dem die durchschnittlichen Keimfähigkeiten für die jeweilige Entfernung zur Auftragungsstelle nach 24, 48 und 72 Stunden verglichen wurden.

3 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Substanzwirkungen auf die Keimfähigkeit der drei Pilzarten *Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* werden im folgenden Teil genauer vorgestellt.
Die Gliederung der Keimfähigkeits- und Wachstumsuntersuchungsergebnisse erfolgte nach der Einteilung der getesteten Wirkstoffe in die Gruppe der natürlichen Stoffe sowie in die Terpen- Reinsubstanzen.

3.1 Keimfähigkeitsuntersuchungen

Die errechnete p-Werte werden im Text mit p< oder p> angegeben. Höchste Auffälligkeiten sind in den Tabellen farblich markiert dargestellt.

Natürliche Stoffe

Bei den natürlichen Stoffen wurde die Wirkung von Flüssigharz, Scharrharz und Kolophonium auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana* (*B.b.*), *Metarhizium anisopliae* (*M.a.*) *und Isaria fumosorosea* (*I.f.*) untersucht.

3.1.1 Wirkung von Flüssigharz auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

B. bassiana reagierte auf Flüssigharz, das direkt auf den mit Nährboden-beschichteten-Objektträger aufgetragen worden war, mit einer deutlichen Keimhemmung nach 24 Stunden (Abb. 16).

Die Keimung der Konidien war bei 5mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) und bei 10mm Abstand signifikant ($p \leq 0{,}05$) vermindert im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die hemmende Wirkung nahm mit zunehmender Entfernung zur Auftragungsstelle ab, was sich durch den signifikanten Keimfähigkeitsunterschied ($p \leq 0{,}05$) zwischen 5mm und 10mm ausdrückte (Anhang 1A).

Bei einer anderen Applikationsmethode wurde Flüssigharz auf ein Filterpapierplättchen aufgetragen um das unkontrollierte „Verinnen“ zu minimieren. Dies führte ebenfalls zu einer positionsabhängigen Keimhemmung von *B. bassiana* (Abb. 16), die jedoch nur bei 5mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) im Vergleich zur Kontrolle war. Zwischen 5mm und 10mm bestand ein hoch signifikanter ($p \leq 0{,}01$) Unterschied in der Keimfähigkeit, was wiederum die Reversibilität der Keimhemmung widerspiegeln könnte (Anhang 1B).

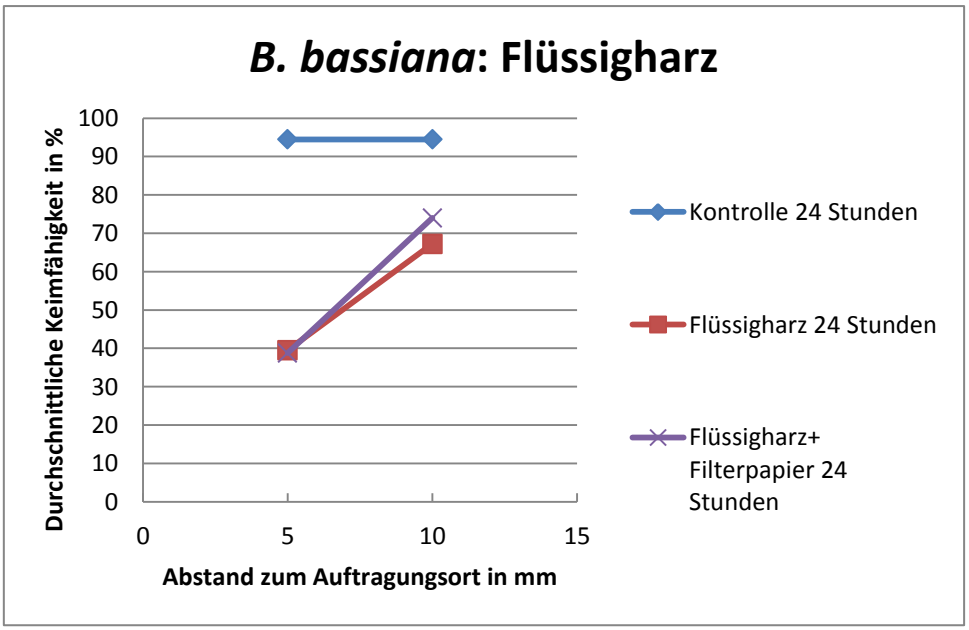


Abb. 16: Wirkung von Flüssigharz auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24 Stunden.

M. anisopliae

Flüssigharz, das direkt auf den Nährboden aufgetragen wurde, führte bei *M. anisopliae* zu keiner signifikanten ($p>0,05$) Keimfähigkeitsverminderung gegenüber der Kontrolle nach 24 Stunden (Anhang 2A).

Bei der anderen Applikationsmethode bewirkte das auf ein Filterpapierplättchen aufgetragene Flüssigharz bei 5mm Entfernung eine hoch signifikante ($p\leq0,01$) Keimhemmung im Vergleich zur Kontrollgruppe (Anhang 2B). Die Keimfähigkeit nahm mit dem Abstand zur Auftragungsstelle signifikant ($p\leq0,05$) zwischen 5mm und 10mm zu (Abb. 17, Anhang 2B).

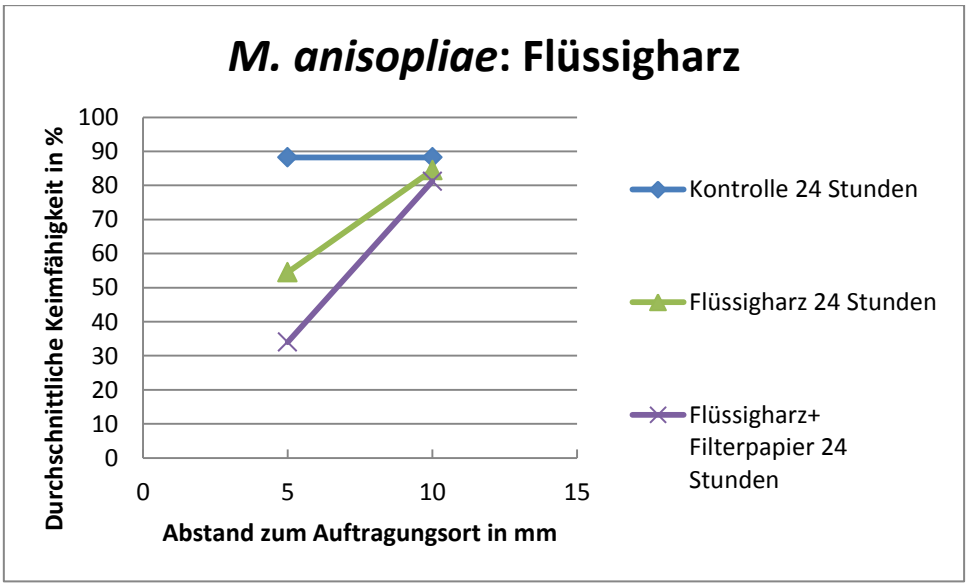


Abb. 17: Wirkung von Flüssigharz auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24 Stunden.

I. fumosorosea

Beide Applikationsmethoden von Flüssigharz führten bei *I. fumosorosea* zu keiner signifikanten (p>0,05) Beeinflussung der Keimfähigkeit im Vergleich zur Kontrolle nach 24 Stunden (Anhang 3A- 3B).

Die Keimfähigkeit betrug zwischen 97,5 % und 100% bei 5mm und 10mm in den Flüssigharzvarianten und übertraf damit erstaunlicherweise zum Teil sogar knapp die Keimfähigkeit der Kontrollgruppe (Abb. 18).

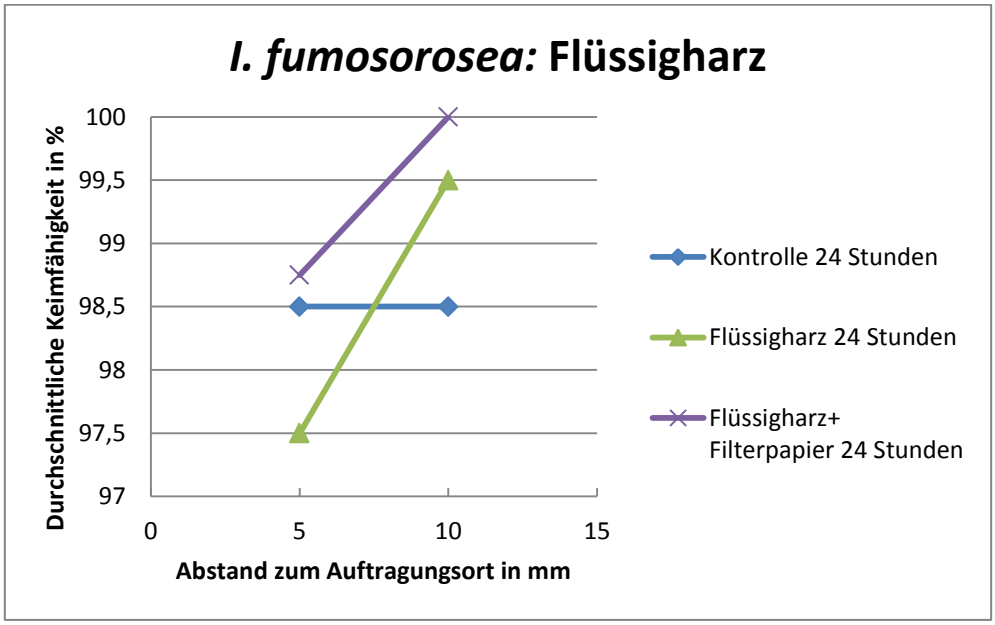


Abb. 18: Wirkung von Flüssigharz auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24 Stunden.

Wirkungsvergleich zwischen den Pilzarten

Im Vergleich zwischen den Pilzarten wirkten beide Applikationsmethoden mit Flüssigharz auf *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) weder bei 5mm noch bei 10mm Abstand zum Auftragungsort signifikant ($p>0,05$) unterschiedlich (Anhang 10A- 10B)**.** Die durchschnittlichen Keimfähigkeiten der drei Pilzarten nahmen bei beiden Applikationsvarianten mit der Entfernung zur Auftragungsstelle deutlich zu (Tab. 1, Tab. 2).

Tab. 1: Wirkung von Flüssigharz auf die durchschnittliche Keimfähigkeit der drei Pilzarten in % nach 24 Stunden

	B.b.	***M.a.***	***I.f.***
5mm	39,50	54,50	97,50
10mm	67,25	84,50	99,50

Tab. 2: Wirkung von Flüssigharz auf Filterpapier auf die durchschnittliche Keimfähigkeit der drei Pilzarten in % nach 24 Stunden

	B.b.	***M.a.***	***I.f.***
5mm	38,75	34,00	98,75
10mm	74,00	81,25	100

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei *B. bassiana* zahlenmäßig - mit einer Ausnahme - die stärkste Hemmung auftrat.

3.1.2 Wirkung von Scharrharz auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

Scharrharz verursachte bei *B. bassiana* vor allem nach 24 Stunden eine deutliche Keimhemmung, die jedoch mit zunehmender Entfernung zur Auftragungsstelle geringer wurde. Bei 5mm betrug die durchschnittliche Keimfähigkeit nach 24 Stunden 36,75% und stieg bei 10mm bereits auf 87,25% an (Abb. 19). Diese Zunahme war auch statistisch höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) und unterstreicht die Bedeutung der Entfernung zur Substanz bei 24 Stunden deutlich (Anhang 1C).

Es ergaben sich höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) Keimfähigkeitsverminderungen zur Kontrollgruppe bei 5mm und 10mm nach 24 Stunden sowie eine höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) Keimfähigkeitsverminderung zur Kontrollgruppe bei 5mm nach 48 Stunden. Nach 72 Stunden gab es keinen signifikanten ($p > 0{,}05$) Unterschied zwischen behandelten und unbehandelten Objektträgern (Anhang 1C).

Die Wichtigkeit des Faktors Zeit spiegelte sich in der Beobachtung des 5mm Punktes im zeitlichen Verlauf, der sich höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) zwischen 24, 48 und 72 Stunden unterschied (Anhang 1C).

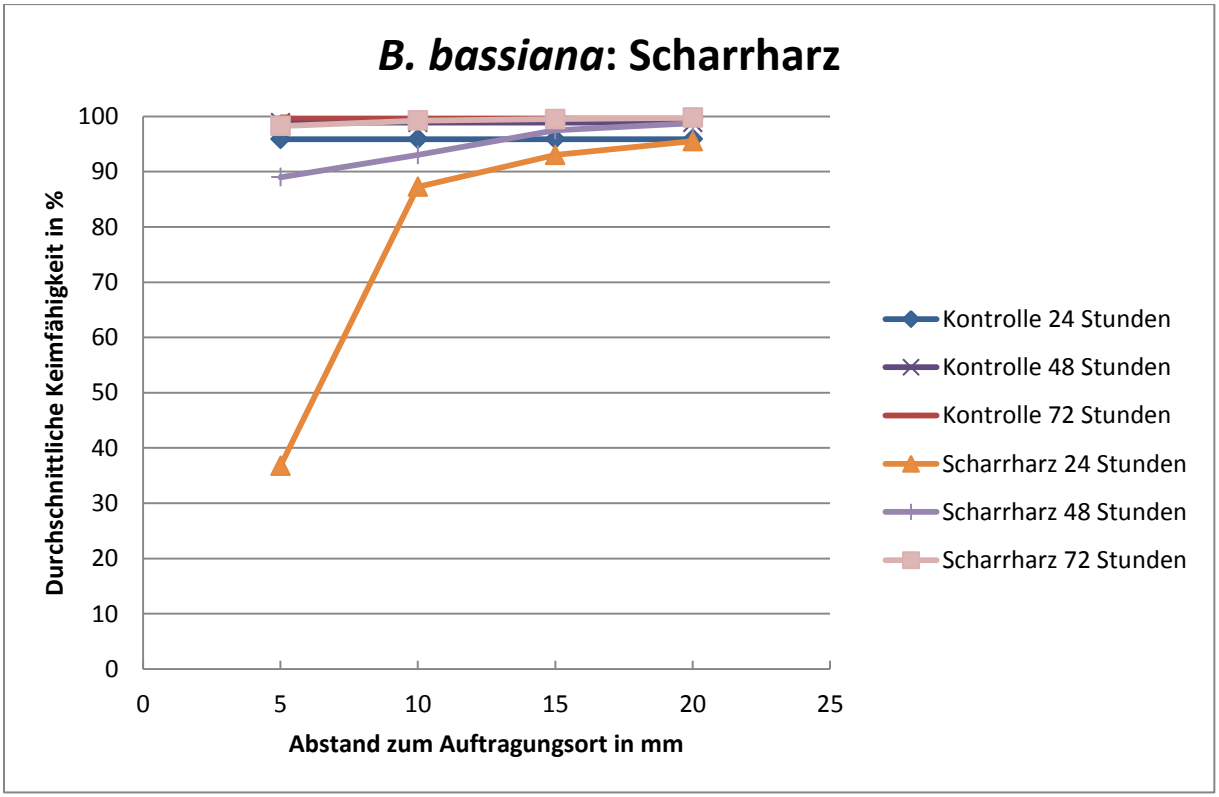


Abb. 19: Wirkung von Scharrharz auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

M. anisopliae

M. anisopliae reagierte auf Scharrharz in Abhängigkeit von der Entfernung zur Auftragungsstelle und der vergangenen Zeitspanne mit einer deutlichen Keimfähigkeitsverminderung (Abb. 20), die bis 10mm Abstand auch nach 72 Stunden hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$) ersichtlich war (Anhang 2C).

Nach 24 und 48 Stunden führte Scharrharz zu einer höchst signifikanten ($p \leq 0{,}001$) Keimhemmung bei 5mm und 10mm im Vergleich zur jeweiligen Kontrollgruppe. Nach 72 Stunden wirkte Scharrharz bei 5mm höchst ($p \leq 0{,}001$) und bei 10mm hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$) keimhemmend (Anhang 2C).

Die Abnahme der Keimfähigkeitsverminderung war zwischen 5mm und 10mm nach 24 und 48 Stunden höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) (Anhang 2C).

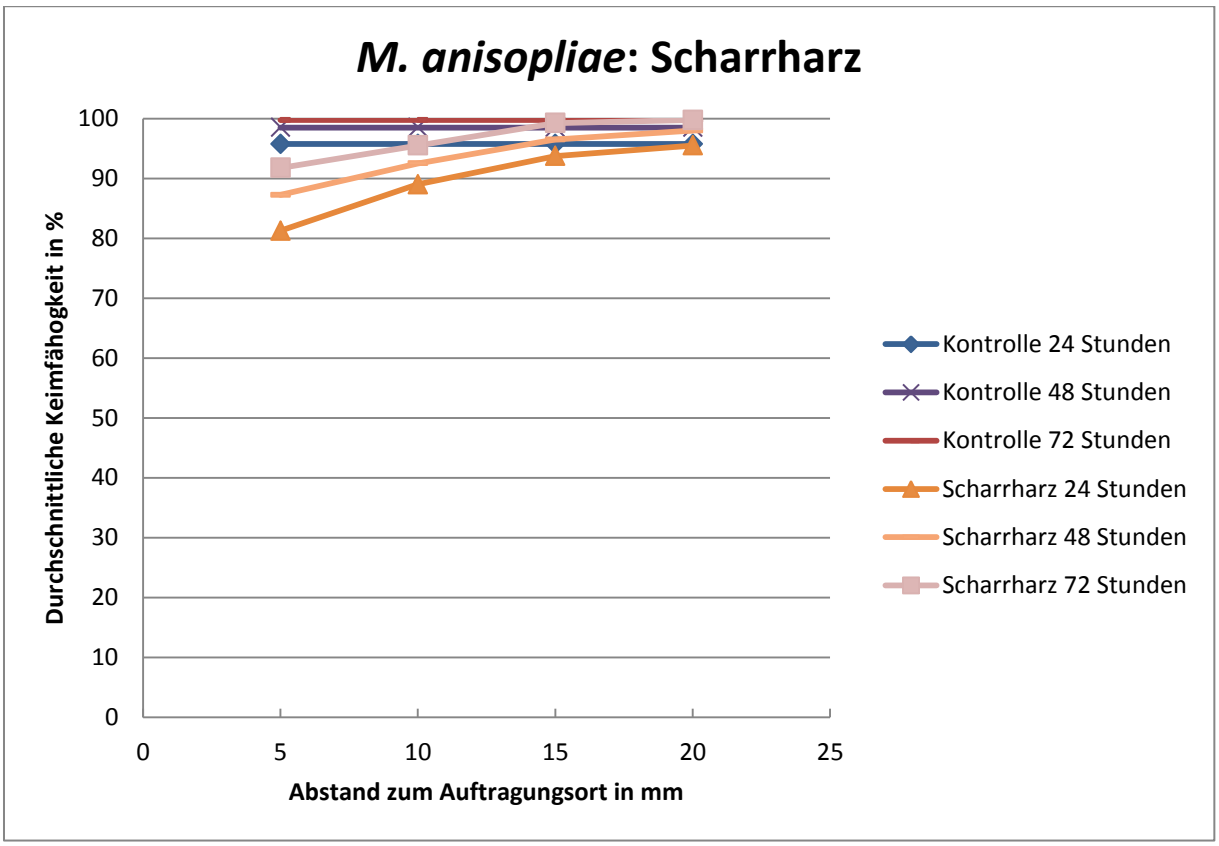


Abb. 20: Wirkung von Scharrharz auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

I. fumosorosea

Scharrharz wirkte auf *I. fumosorosea* nur bei 5mm Entfernung von der Auftragungsstelle nach 24 und nach 48 Stunden signifikant ($p \leq 0{,}05$) keimfähigkeitsvermindernd zur jeweiligen Kontrollgruppe (Anhang 3C).

Die Keimfähigkeit stieg mit der Entfernung zur Auftragungsstelle sowie der vergangenen Zeit wieder an. Die Tatsache, dass die Bandbreite der durchschnittlichen Keimfähigkeit durchaus eng war (94% - 100% Keimfähigkeit), spiegelte den vergleichsweise geringeren Einfluss von Scharrharz auf *I. fumosorosea* wider (Abb. 21).

Die Zunahme der Keimfähigkeit mit der Entfernung war weder bei 24 noch bei 48 und 72 Stunden signifikant ($p > 0{,}05$) (Anhang 3C).

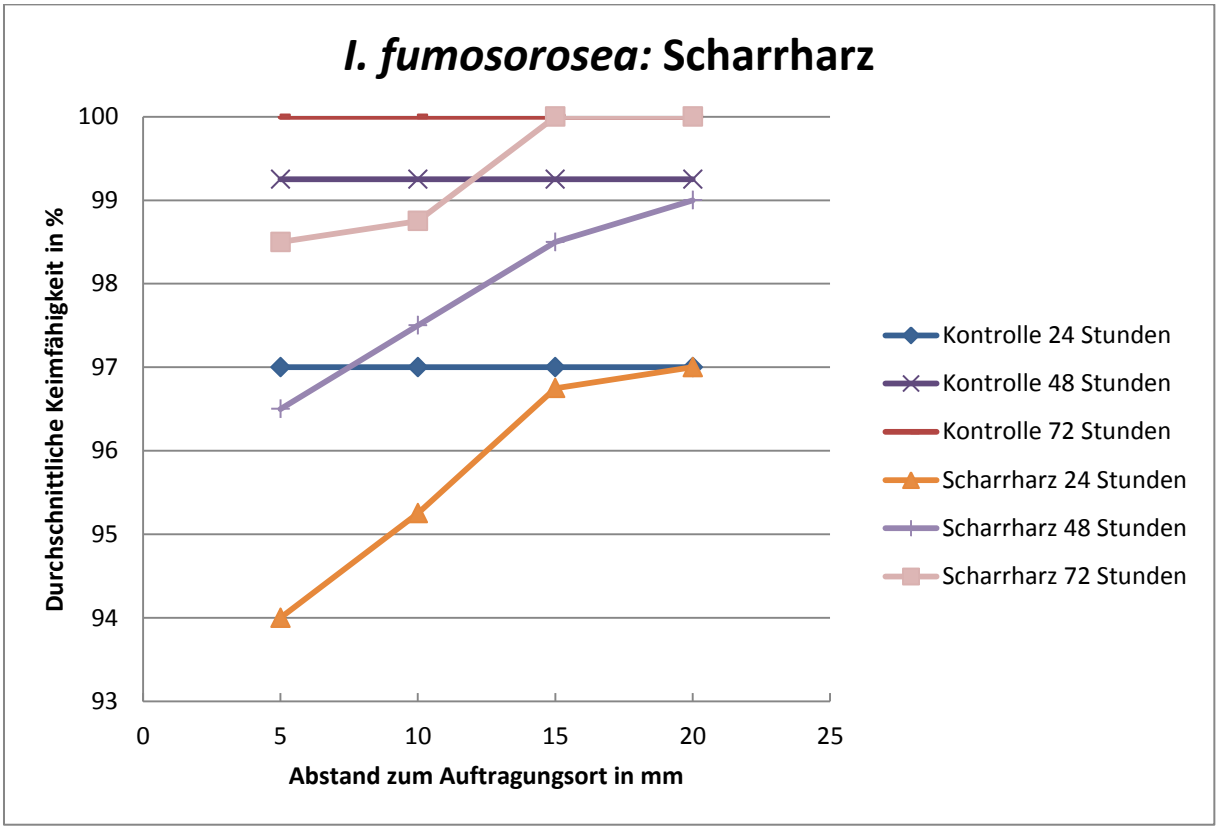


Abb. 21: Wirkung von Scharrharz auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

Wirkungsvergleich zwischen den Pilzarten

Der Vergleich zwischen den Pilzarten zeigte, dass Scharrharz eine differenzierte Wirkung auf *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* hatte. Die Unterschiede der Keimfähigkeit wurden beeinflusst von den Parametern vergangene Zeit und der Entfernung zur Auftragungsstelle, wobei anfangs *B. bassiana* zwar stärker, dafür aber *M. anisopliae* länger in der Keimfähigkeit reduziert wurden (Tab. 3).

Nach 24 Stunden reagierten bei 5mm alle Pilzarten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) unterschiedlich auf Scharrharz, *B. bassiana* wurde hier am stärksten gehemmt (Anhang 10C). *I. fumosorosea* unterschied sich von den beiden anderen Arten bei 10mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) und bei 15mm hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$) (*B. bassiana*) bzw. signifikant ($p \leq 0{,}05$) (*M. anisopliae*) (Anhang 10D- 10E).

Nach 48 Stunden war die Keimfähigkeit bei *B. bassiana* und *M. anisopliae* bei 5mm und 10mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) geringer als bei *I. fumosorosea* (Anhang 10G- 10H).

Nach 72 Stunden bestand bei *M. anisopliae* bis 10mm noch immer eine höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) (Anhang 10K- 10L) Keimfähigkeitsverminderung im Vergleich zu den beiden anderen Pilzarten (Tab. 3).

Tab. 3: Wirkung von Scharrharz auf die durchschnittliche Keimfähigkeit von *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) in % bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm nach 24, 48 und 72 Stunden (Extremwerte farblich markiert).

	B.b.			***M.a.***			***I.f.***		
	24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
5mm	36,75	89,00	98,25	81,25	87,25	91,75	94,00	96,50	98,50
10mm	87,25	93,00	99,25	89,00	92,50	95,50	95,25	97,50	98,75
15mm	93,00	97,50	99,50	93,75	96,50	99,25	96,75	98,50	100
20mm	95,5	98,75	99,75	95,50	98,00	99,75	97,00	99,00	100

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Scharrharz auf *B. bassiana* nach 24 Stunden die stärkste Wirkung hatte. *M. anisopliae* zeigte eine vergleichsweise geringere Keimhemmung, die jedoch auch noch nach 72 Stunden ersichtlich war. *I. fumosorosea* reagierte mit der geringste Keimfähigkeitsverminderung.

3.1.3 Wirkung von Kolophonium auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

Kolophonium wirkte nach 24 Stunden bis zur Entfernung von 10mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) keimhemmend im Vergleich zur Kontrolle. Nach 48 Stunden war nur mehr bei 5mm eine höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) Keimhemmung der Substanz im Vergleich zur Kontrollgruppe wirksam. Nach 72 Stunden gab es keinen signifikanten ($p > 0{,}05$) Unterschied mehr zwischen den mit Kolophonium versetzten und den ohne Wirkstoff behandelten Objektträgern (Anhang 1D).

Die Reversibilität der Keimhemmung wurde beeinflusst von der vergangenen Zeitspanne und der Entfernung zur Auftragungsstelle, wobei letztere vor allem bei 24 und 48 Stunden eine wichtige Rolle spielte (Abb. 22).

Die Keimfähigkeitszunahme war nach 24 Stunden zwischen 5mm und 15mm signifikant ($p \leq 0{,}05$). Nach 48 Stunden zeigte sich bereits zwischen 5mm und 10mm eine signifikante ($p \leq 0{,}05$) Erhöhung der Keimfähigkeit (Anhang 1D).

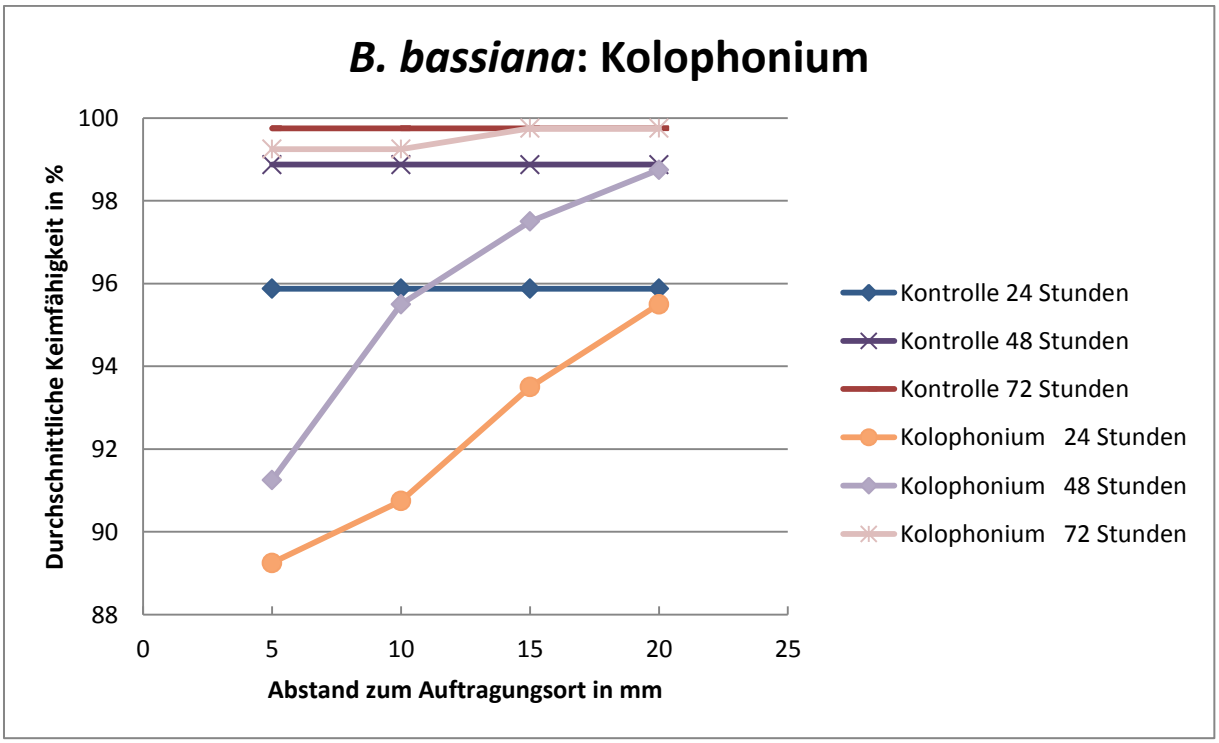


Abb. 22: Wirkung von Kolophonium auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

M. anisopliae

Kolophonium führte bei *M. anisopliae* zu einer Keimfähigkeitsverminderung, deren Wirkung mit der vergangenen Zeitspanne abnahm. Die Entfernung zur Auftragungsstelle spielte bei allen drei Zeiten eine wichtige Rolle. Auffallend war, dass bei 20mm Abstand bei allen drei Zeiten die jeweilige Keimfähigkeit der Kontrollgruppe wieder in etwa erreicht wurde. Das bedeutet, dass bei 20mm Abstand zur Auftragungsstelle die Keimfähigkeit - unabhängig von der vergangenen Zeit - nicht mehr beeinträchtigt wurde (Abb. 23).

Bei 5mm bewirkte Kolophonium eine höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) Keimfähigkeits-verminderung bei 24 und 48 Stunden. Nach 72 Stunden zeigte sich kein Unterschied zur Kontrollgruppe mehr (Anhang 2D).

Die Keimfähigkeitszunahme war nach 24 Stunden bereits zwischen 5mm und 10mm, nach 48 Stunden hingegen erst zwischen 5mm und 15mm signifikant ($p \leq 0{,}05$). Nach 72 Stunden konnte keine signifikante ($p > 0{,}05$) Zunahme der Keimfähigkeit zwischen den Auszählungspunkten mehr festgestellt werden (Anhang 2D).

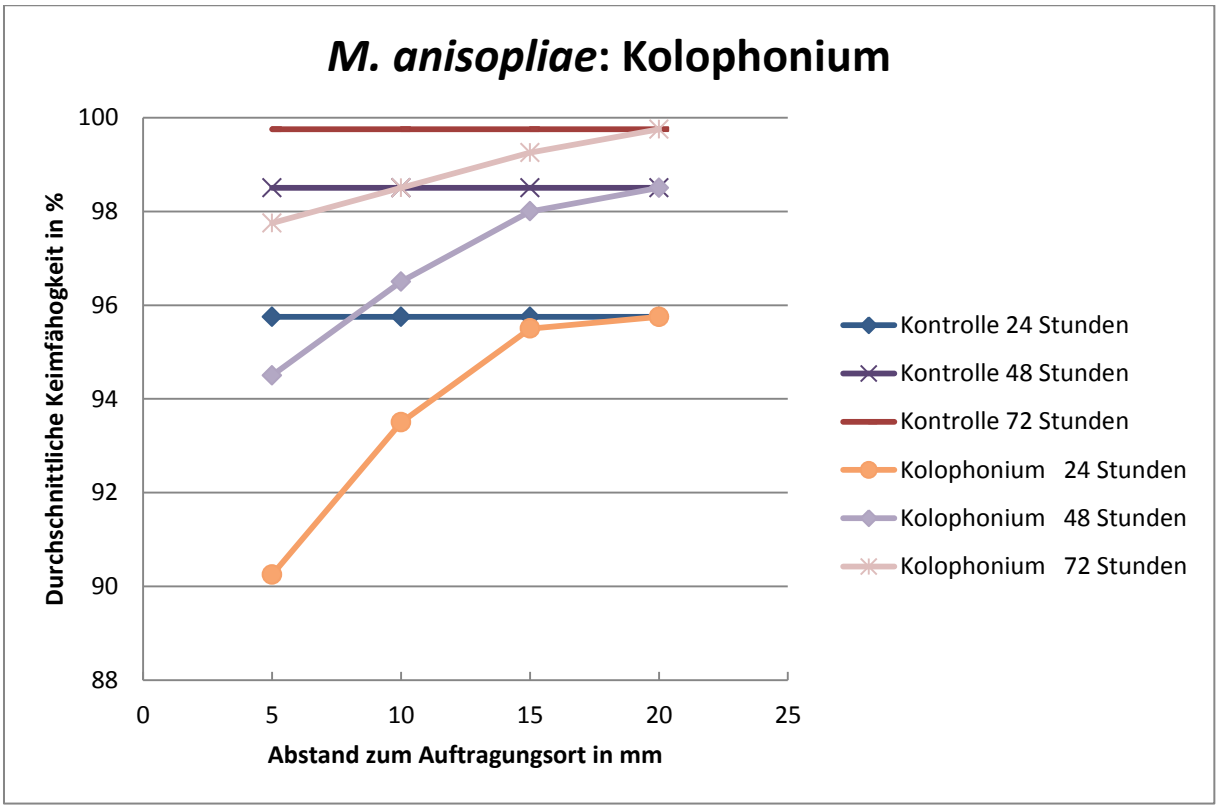


Abb. 23: Wirkung von Kolophonium auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden

I. fumosorosea

Kolophonium führte bei *I. fumosorosea* nur bei 5mm Entfernung von der Auftragungsstelle nach 24 und nach 48 Stunden zu einer signifikanten ($p \leq 0{,}05$) Keimfähigkeitsverminderung im Vergleich zur jeweiligen Kontrollgruppe (Anhang 3D).

Die Intensität der Hemmung reduzierte sich mit der zunehmenden Entfernung zur Auftragungsstelle sowie mit der vergangenen Zeitspanne. Nach 24 Stunden wurde der Keimfähigkeitswert der Kontrollgruppe bei 20mm Abstand erreicht. Nach 72 Stunden betrug die Keimfähigkeit ab 15mmm Entfernung bereits 100% (Abb. 24).

Die Zunahme der Keimfähigkeit mit der Entfernung war weder bei 24 noch bei 48 und 72 Stunden signifikant ($p > 0{,}05$) (Anhang 3D).

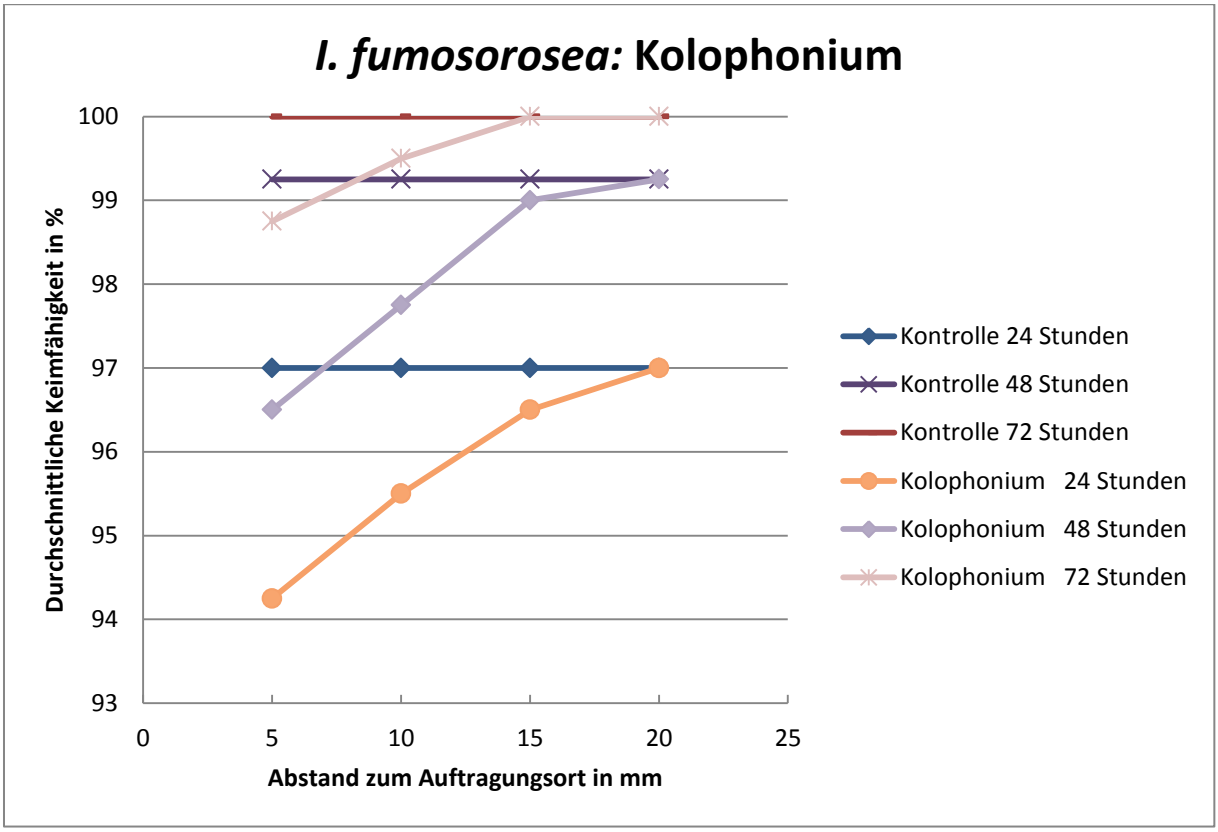


Abb. 24: Wirkung von Kolophonium auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

Wirkungsvergleich zwischen den Pilzarten

Der Vergleich zwischen den Pilzarten zeigte die differenzierte Wirkung von Kolophonium auf *B. bassiana* und *I. fumosorosea* (Tab. 4).

Nach 24 Stunden war bei 10mm eine höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) und bei 15mm eine signifikant ($p \leq 0{,}05$) stärkere Keimhemmung von *B. bassiana* als von *I. fumosorosea* ersichtlich (Anhang 10D- 10E), wohingegen bei 5mm nach 24 Stunden die Keimfähigkeit bei allen drei Arten keine statistisch signifikanten ($p > 0{,}05$) Unterschiede ergaben (Anhang 10C.). Nach 48 Stunden zeigte sich, dass *B. bassiana* mit einer durchschnittlichen Keimfähigkeit von 91,25% bei 5mm (Tab. 4) noch immer signifikant ($p \leq 0{,}05$) mehr gehemmt wurde als *I. fumosorosea* (Anhang 10G.).

Tab. 4: Wirkung von Kolophonium auf die durchschnittliche Keimfähigkeit von *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) in % bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm nach 24, 48 und 72 Stunden (Extremwerte farblich markiert).

	B.b.			***M.a.***			***I.f.***		
	24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
5mm	89,25	91,25	99,25	90,25	94,50	97,75	94,25	96,50	98,75
10mm	90,75	95,50	99,25	93,50	96,50	98,50	95,50	97,75	99,50
15mm	93,50	97,50	99,75	95,50	98,00	99,25	96,50	99,00	100
20mm	95,50	98,75	99,75	95,75	98,50	99,75	97,00	99,25	100

Zusammenfassen kann gesagt werden, dass *B. bassiana* am sensitivsten auf Kolophonium reagierte während *I. fumosorosea* am wenigsten von den drei Pilzarten in der Keimfähigkeit beeinflusst wurde. Bei *M. anisopliae* konnten im Vergleich zu den beiden anderen Pilzarten keine signifikanten ($p > 0{,}05$) Unterschiede in der Keimhemmung festgestellt werden (Anhang 10C- 10N).

3.1.4 Wirkungsvergleich der natürlichen Substanzen (Flüssigharz, Scharrharz, Kolophonium) auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

Im direkten Vergleich der getesteten natürlichen Substanzen zeigte sich, dass beide Flüssigharz-Applikationsmethoden sowie Scharrharz die Keimfähigkeit von *B. bassiana* höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) stärker hemmten als Kolophonium bei 5mm Entfernung nach 24 Stunden (Anhang 4A). Bei 10mm wirkte nur mehr das direkt auf den Nährboden aufgetragene Flüssigharz signifikant ($p \leq 0{,}05$) keimfähigkeitsvermindernd im Vergleich zu den anderen getesteten natürlichen Substanzen (Anhang 4B). Nach 48 und 72 Stunden war kein signifikanter ($p > 0{,}05$) Unterschied in der Wirkung der natürlichen Substanzen mehr ersichtlich (Anhang 4C- 4L).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass direkt auf den mit Nährboden-beschichteten-Objektträger aufgetragenes Flüssigharz die Keimfähigkeit von *B. bassiana* am intensivsten beeinflusst hat (Abb. 25).

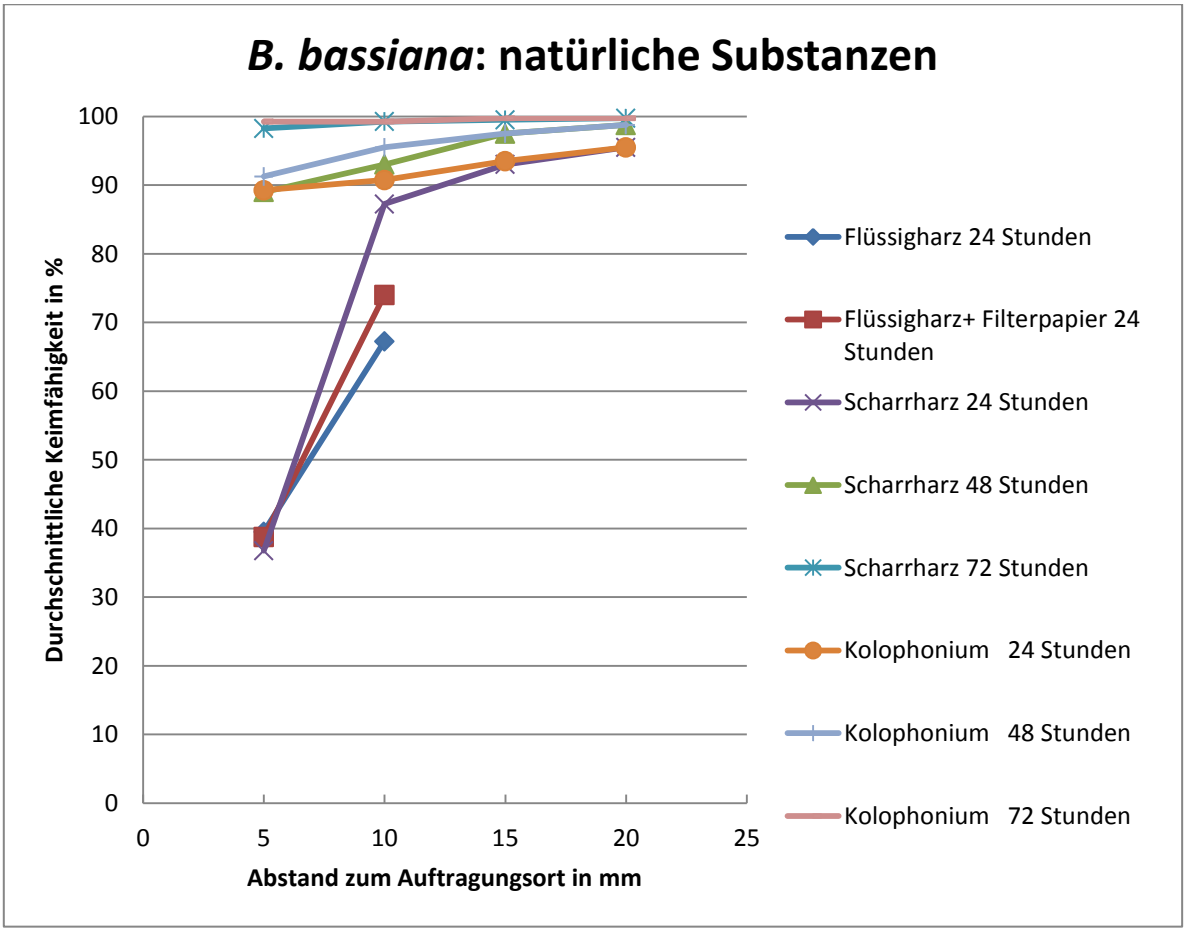


Abb. 25: Wirkung der natürlichen Substanzen auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana*.

M. anisopliae

Mit Filterpapier aufgebrachtes Flüssigharz bewirkte bei *M. anisopliae* eine signifikant ($p \leq 0{,}05$) höhere Keimhemmung als Kolophonium und Scharrharz bei 5mm nach 24 Stunden. Der signifikante ($p \leq 0{,}05$) Unterschied bestand bei Kolophonium auch noch bei 10mm (Anhang 6A- 6B).

Es zeigte sich, dass Scharrharz nach 48 Stunden bei 5mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) und bei 10mm hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$) stärker keimfähigkeitsvermindernd war als Kolophonium (Anhang 6E). Nach 72 Stunden konnte wieder ein höchst signifikanter Unterschied ($p \leq 0{,}001$) in der Wirkung von Scharrharz und Kolophonium bei 5mm und 10mm festgestellt werden (Anhang 6I- 6J).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass *M. anisopliae* auf das mit Filterpapier aufgetragene Flüssigharz am sensitivsten reagiert hat (Abb. 26).

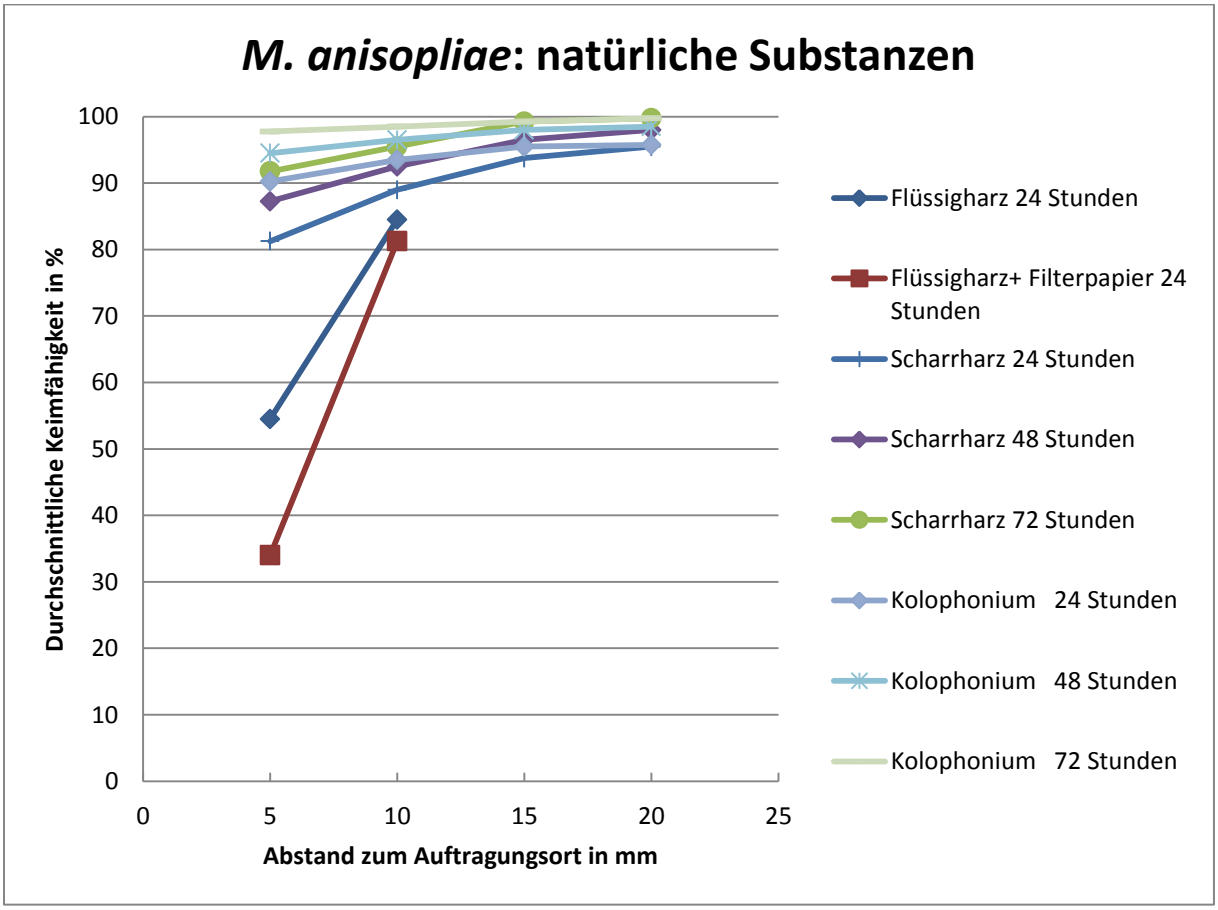


Abb. 26: Wirkung der natürlichen Substanzen auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae*.

I. fumosorosea

I. fumosorosea reagierte innerhalb der natürlichen Substanzen auf Scharrharz und Kolophonium am sensitivsten (Abb. 27).

Mit Filterpapier aufgetragenes Flüssigharz hatte einen höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) geringeren Einfluss auf die Keimfähigkeit als Kolophonium und Scharrharz bei 5mm nach 24 Stunden. Direkt auf den Nährboden aufgetragenes Flüssigharz unterschied sich hier zu Kolophonium signifikant ($p \leq 0{,}05$) und zu Scharrharz hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$) (Anhang 8A). Bei 10mm konnte eine höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) stärkere Keimhemmung von Scharrharz und Kolophonium auf *I. fumosorosea* festgestellt werden (Anhang 8B).

Nach 48 und 72 Stunden war kein signifikanter ($p > 0{,}05$) Unterschied in der Wirkung mehr ersichtlich (Anhang 8E- 8L).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass, obwohl *I. fumosorosea* relativ unempfindlich auf die getesteten natürlichen Substanzen reagiert hat, Scharrharz und Kolophonium die Keimfähigkeit bis 10mm nach 24 Stunden deutlich beeinflusst haben (Abb. 27).

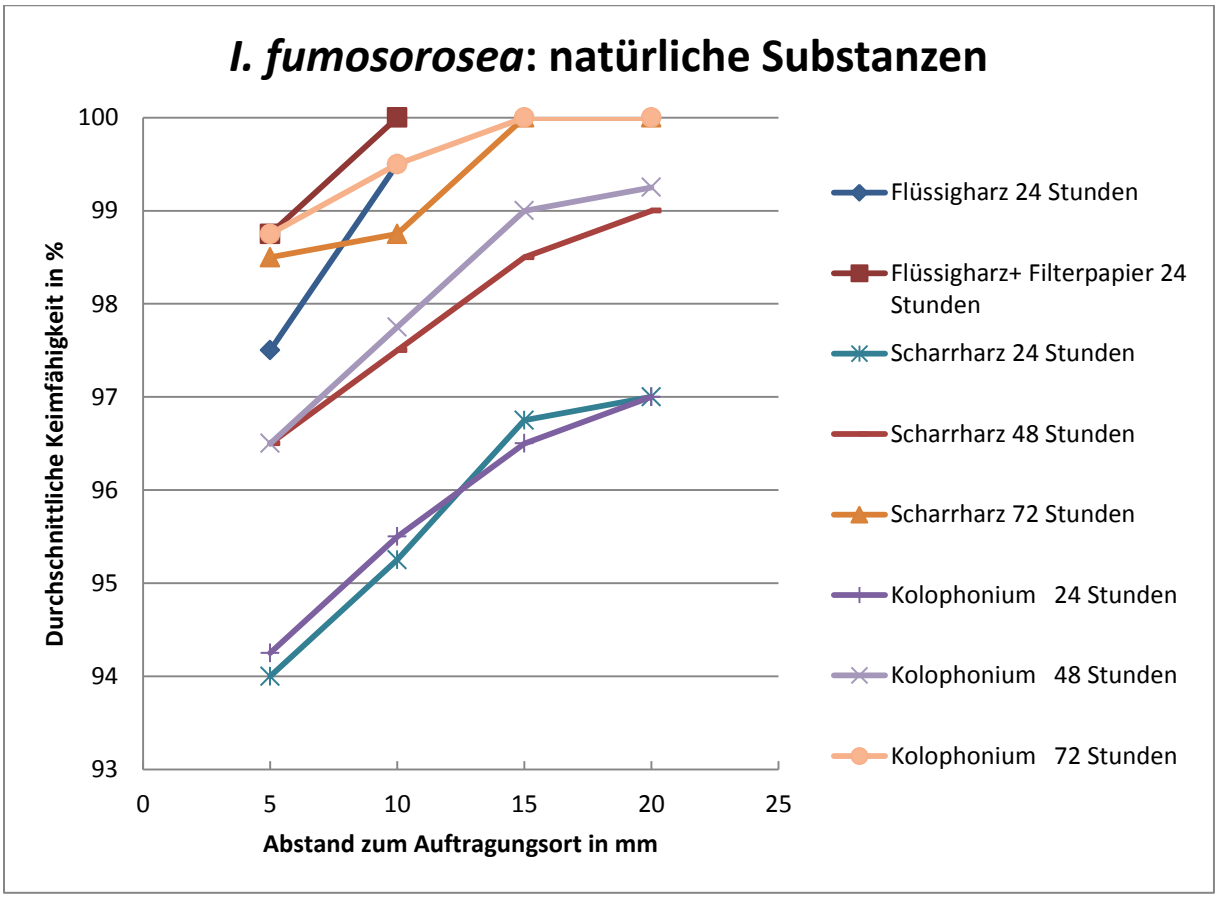


Abb. 27: Wirkung der natürlichen Substanzen auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea*.

Vergleicht man die Wirkung der getesteten natürlichen Substanzen, dann kann festgehalten werden, dass Flüssigharz *B. bassiana* und *M. anisopliae* am stärksten in ihrer Keimung reduziert haben.
I. fumosorosea zeigte sich relativ unempfindlich gegenüber allen getesteten natürlichen Substanzen. Die Pilzart reagierte auf Scharrharz und Kolophonium mit einer leichten Abnahme der Keimung, während Flüssigharz sogar zu einer geringen Erhöhung der Keimfähigkeit führte.

Terpen-Reinsubstanzen

Bei der Gruppe der Terpen-Reinsubstanzen wurde die Wirkungsweisen von (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen und R-Limonen auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* untersucht.

3.1.5 Wirkung von (-)-α-Pinen auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

Die Terpen-Reinsubstanz (-)-α-Pinen wirkte bei *B. bassiana* bis zu 48 Stunden deutlich keimhemmend, wobei hier die Entfernung zur Auftragungsstelle eine wichtige Rolle spielte.
Nach 24 Stunden betrug die durchschnittliche Keimfähigkeit bei 5mm Abstand 9,75%. Sie stieg mit zunehmender Entfernung an und erreichte bei 20mm 87,25% (Abb. 28, Abb. 29).
Alle Auszählungspunkte nach 24 Stunden unterschieden sich höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) zur Kontrollgruppe. Nach 48 Stunden wirkte bis zu 15mm Entfernung vom Auftragungspunkt (-)-α-Pinen höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) keimhemmend. Nach 72 Stunden konnte kein signifikanter ($p > 0{,}05$) Unterschied mehr zwischen den mit (-)-α-Pinen versetzten und ohne Wirkstoff behandelten Objektträgern festgestellt werden (Anhang 1E).
Die Zunahme der Keimfähigkeit war nach 24 und nach 48 Stunden zwischen allen Positionspunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) (Anhang 1E).

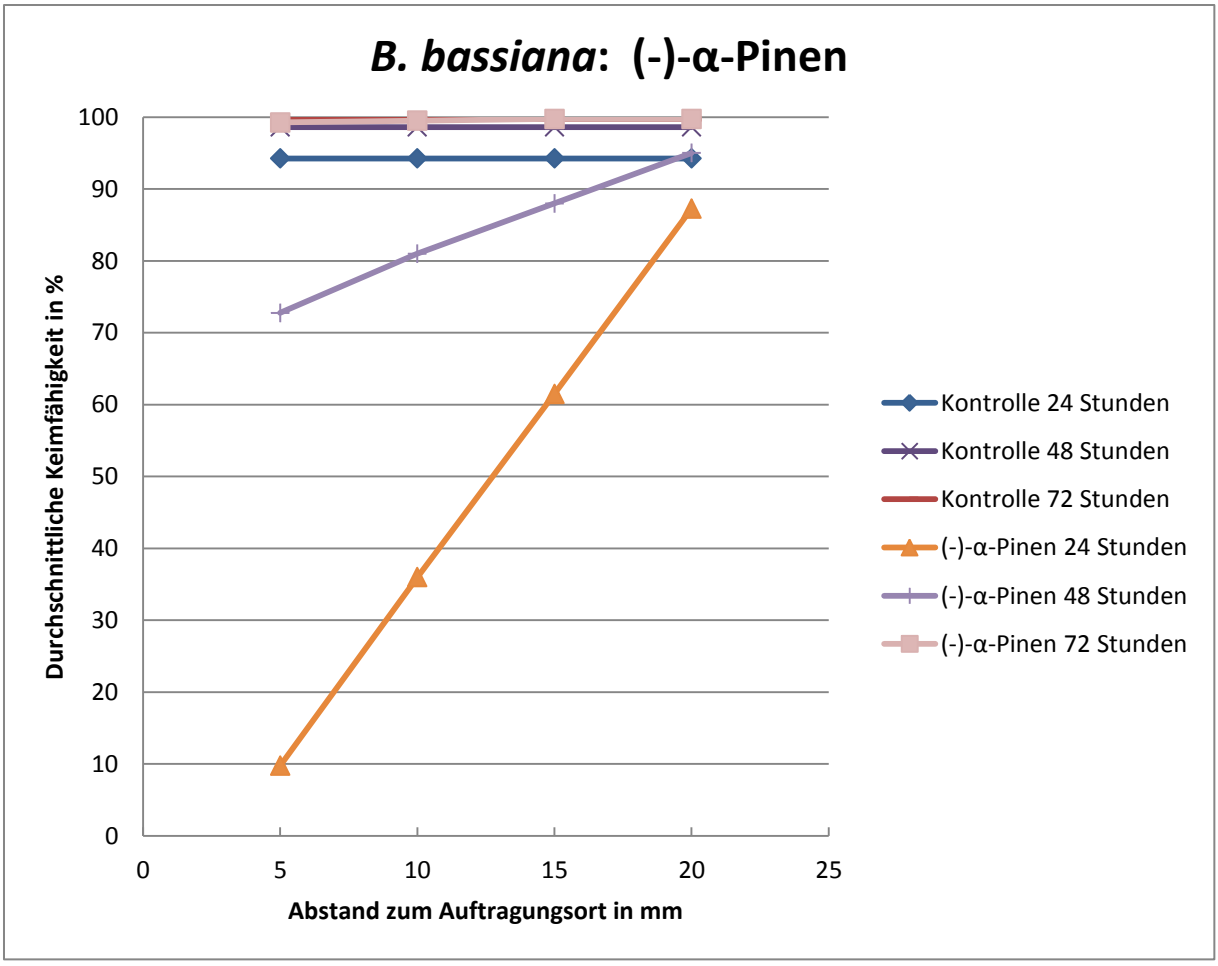


Abb. 28: Wirkung von (-)-α-Pinen auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

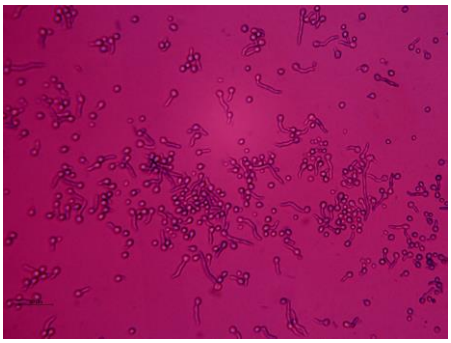


Abb. 29: *B. bassiana* versetzt mit (-)-α-Pinen bei 10mm nach 24 Stunden.

M. anisopliae

M. anisopliae reagierte auf (-)-α-Pinen mit einer deutlichen Reduktion der Keimfähigkeit, die mit der vergangenen Zeit und der Entfernung zur Auftragungsstelle unterschiedlich hoch war. Nach 24 Stunden betrug die durchschnittliche Keimfähigkeit nur 1% bei 5mm, wohingegen sie bei 20mm bereits 43,75% erreichte (Abb. 30).

Alle Auszählungspunkte (5mm, 10mm, 15mm, 20mm) zeigten nach 24 Stunden eine höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) geringere Keimung im Vergleich zur Kontrollgruppe. Nach 48 Stunden war die keimhemmende Wirkung bis 10mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) und bei 15mm signifikant ($p \leq 0{,}05$). Nach 72 Stunden bestand kein signifikanter ($p > 0{,}05$) Unterschied mehr zwischen den mit (-)-α-Pinen versetzten und ohne Wirkstoff behandelten Objektträgern (Anhang 2E).

Die Keimfähigkeitszunahme war nach 24 Stunden zwischen allen Positionspunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$). Nach 48 Stunden unterschied sich die Keimfähigkeit zwischen 5mm und 15mm, 5mm und 20mm sowie zwischen 10mm und 20mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) (Anhang 2E).

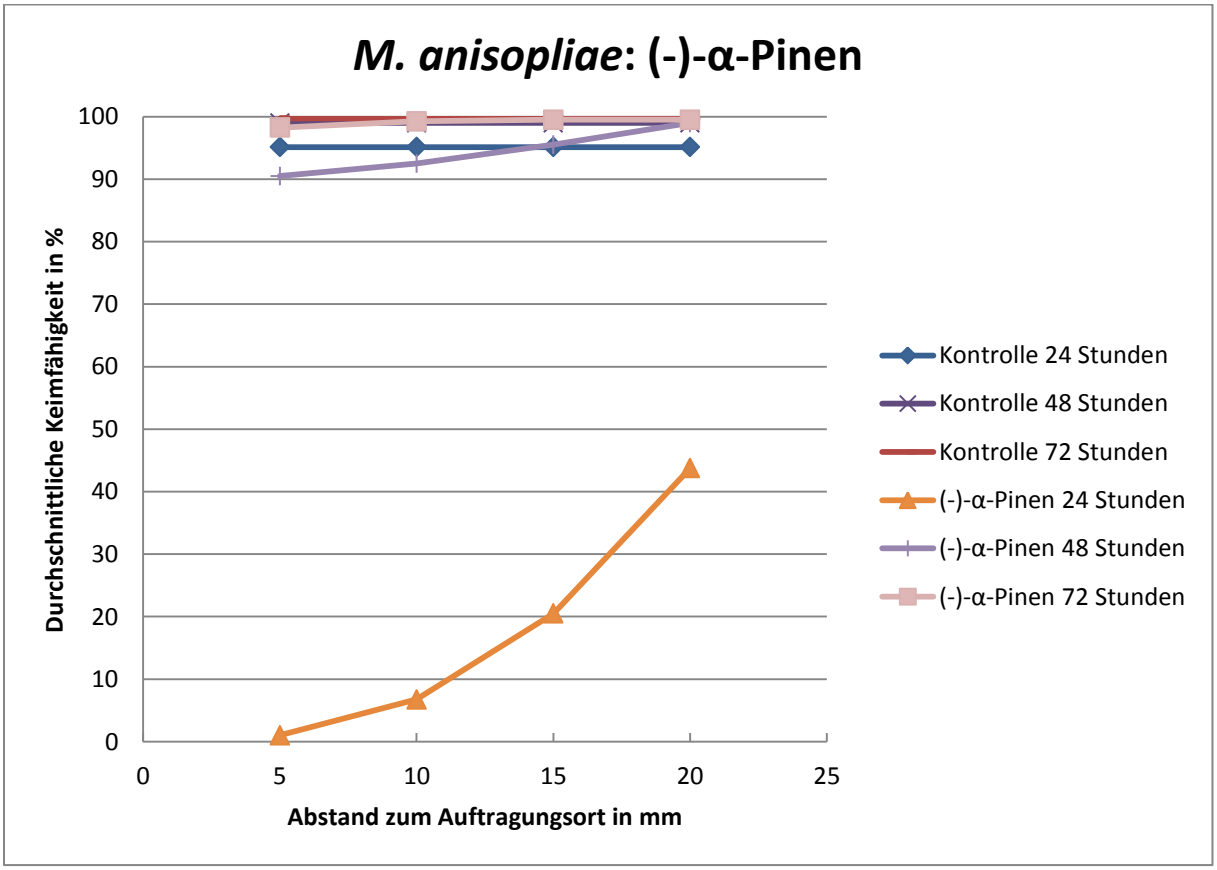


Abb. 30: Wirkung von (-)-α-Pinen auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

I. fumosorosea

(-)-α-Pinen wirkte bei *I. fumosorosea* nach 24 Stunden bis 15mm Entfernung höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) und bei 20mm signifikant ($p \leq 0{,}05$) keimfähigkeitsvermindernd (Anhang 3E). Die Keimfähigkeit betrug 75% bei 5mm und stieg bei 20mm mit zunehmendem Abstand auf 93% an (Abb. 31).

Nach 48 Stunden war der Einfluss der Substanz bei 5mm noch höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) und bei 10mm hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$) im Vergleich zur Kontrollgruppe. Danach konnte kein signifikanter ($p > 0{,}05$) Unterschied zwischen den mit Wirkstoff behandelten Objektträgern und der jeweiligen Kontrolle festgestellt werden (Anhang 3E).

Die Zunahme der Keimfähigkeit war nach 24 Stunden zwischen allen Auszählungspunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$). Nach 48 Stunden unterschied sich die Keimfähigkeit zwischen 5mm und 15mm beziehungsweise 20mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) sowie zwischen 10mm und 20mm signifikant ($p \leq 0{,}05$) (Anhang 3E).

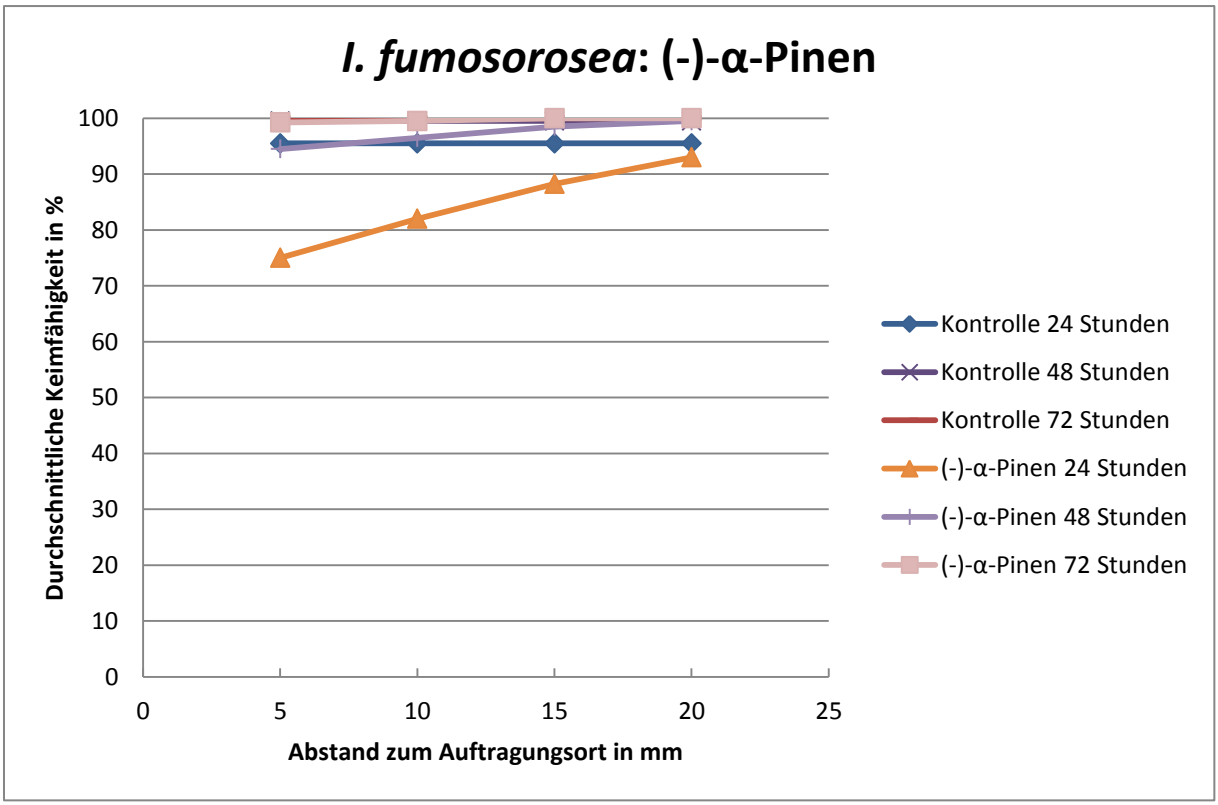


Abb. 31: Wirkung von (-)-α-Pinen auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

Wirkungsvergleich zwischen den Pilzarten

Im Vergleich zeigte sich, dass (-)-α-Pinen bei allen Messpunkten nach 24 Stunden eine höchst signifikant (p≤0,001) differenzierten Einfluss auf die Keimfähigkeit der drei Pilzarten hatte (Anhang 11A- 11D), dabei war *M. anisopliae* am sensitivsten (Abb. 32) und *I. fumosorosea* am unempfindlichsten (Tab. 5).

Nach 48 Stunden „überholte“ *M. anisopliae* *B. bassiana* in der durchschnittlichen Keimfähigkeit (Tab. 5). *B. bassiana* wurde bei allen Auszählungspunkten zu dieser Zeit höchst signifikant (p≤0,001) stärker gehemmt als die beiden anderen Pilzarten, wohingegen *M. anisopliae* sich nur bis 15mm höchst signifikant (p≤0,001) von *I. fumosorosea* unterschied (Anhang 11E- 11H).

Nach 72 Stunden gab es keine sinifikant (p>0,05) differenzierte Wirkung zwischen den Pilzarten zu beobachten (Anhang 11I- 11L).

Tab. 5: Wirkung von (-)-α-Pinen auf die durchschnittliche Keimfähigkeit von *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) in % bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm nach 24, 48 und 72 Stunden (Extremwerte farblich markiert).

	B.b.			***M.a.***			***I.f.***		
	24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
5mm	9,75	72,75	99,25	1,00	90,50	98,25	75,00	94,50	99,25
10mm	36,00	81,00	99,50	6,75	92,50	99,25	82,00	96,50	99,50
15mm	61,50	88,00	99,75	20,50	95,50	99,50	88,25	98,50	100
20mm	87,25	95,00	99,75	43,75	99,00	99,50	93,00	99,50	100

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass nach 24 Stunden *M. anisopliae* am sensitivsten auf (-)-α-Pinen reagiert hat, während nach 48 Stunden bei *B. bassiana* die stärkste Keimhemmung zu beobachten gewesen ist.

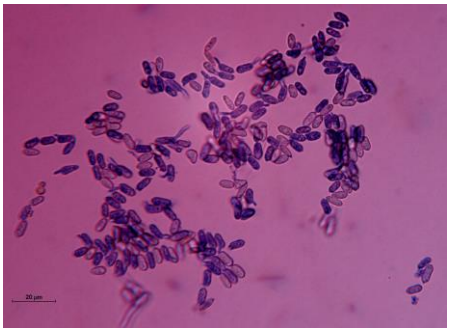


Abb. 32: *M. anisopliae* versetzt mit (-)-α-Pinen bei 15mm nach 24 Stunden.

3.1.6 Wirkung von (-)-β-Pinen auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

(-)-β-Pinen führte zu einer deutlichen Reduktion der Keimfähigkeit, die mit der vergangenen Zeit und der Entfernung zur Auftragungsstelle unterschiedlich hoch war. Nach 24 Stunden betrug die durchschnittliche Keimfähigkeit nur zwischen 0% (5mm) und 6,5% (20mm) (Abb. 33).

Bis zu 48 Stunden war die Keimhemmung höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) bei allen Positionspunkten im Vergleich zur jeweiligen Kontrollgruppe. Nach 72 Stunden wirkte die Substanz bis 10mm Abstand zum Auftragungspunkt noch immer höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) keimfähigkeitsvermindernd, wohingegen ab 15mm kein signifikanter ($p > 0{,}05$) Unterschied zur Kontrollgruppe mehr bestand (Anhang 1F).

Die Keimhemmung unterschied sich bis 15mm nach 24 Stunden nicht signifikant ($p > 0{,}05$), wohingegen bei alle restlichen Auszählungspunkten eine höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) Zunahme der Keimfähigkeit festzustellen war. Nach 48 Stunden nahm die Keimungsrate höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) zwischen allen Positionspunkten zu. Nach 72 Stunden unterschieden sich die beiden Auszählungspunkte 5mm und 10mm von 15mm und 20mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) (Anhang 1F).

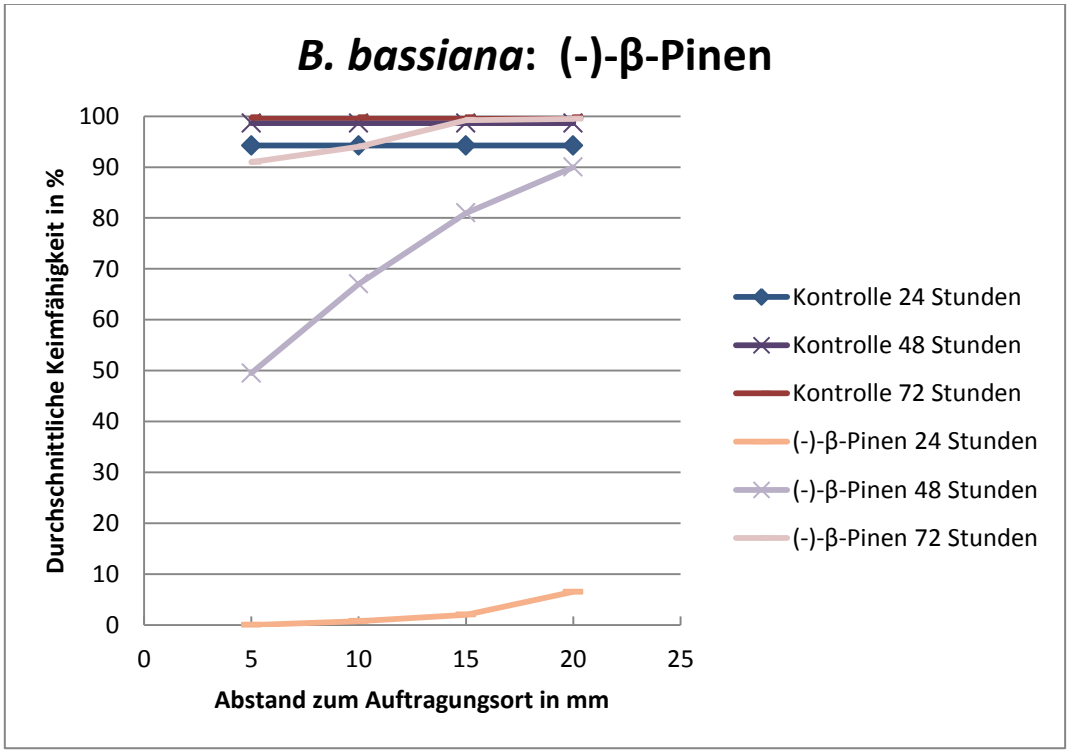


Abb. 33: Wirkung von (-)-β-Pinen auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

M. anisopliae

M. anisopliae reagierte auf (-)-β-Pinen mit einer deutlichen Keimfähigkeitsverminderung, deren Intensität mit der vergangenen Zeit und der Entfernung zur Auftragungsstelle abnahm (Abb. 34).

Nach 24 Stunden zeigte sich die hemmende Wirkung bei allen Messpunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) (Anhang 2F). Die durchschnittliche Keimfähigkeit betrug nur zwischen 0,25% (5mm) und 4,5% (20mm) (Abb. 34).

Nach 48 Stunden war der Unterschied bis 15mm Abstand höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) zur Kontrollgruppe. Nach 72 Stunden konnte noch immer eine signifikante ($p \leq 0{,}05$) Wirkung der Substanz bis 5mm beobachtet werden, wohingegen ab 10mm kein signifikanter ($p > 0{,}05$) Unterschied zur Kontrolle mehr bestand (Anhang 2F).

Der Rückgang der Keimhemmung war zwischen 5mm und 20mm nach 24 Stunde hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$). Nach 48 Stunden unterschied sich die Keimfähigkeit zwischen 5mm und 10mm hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$) und zwischen allen anderen Positionspunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$).

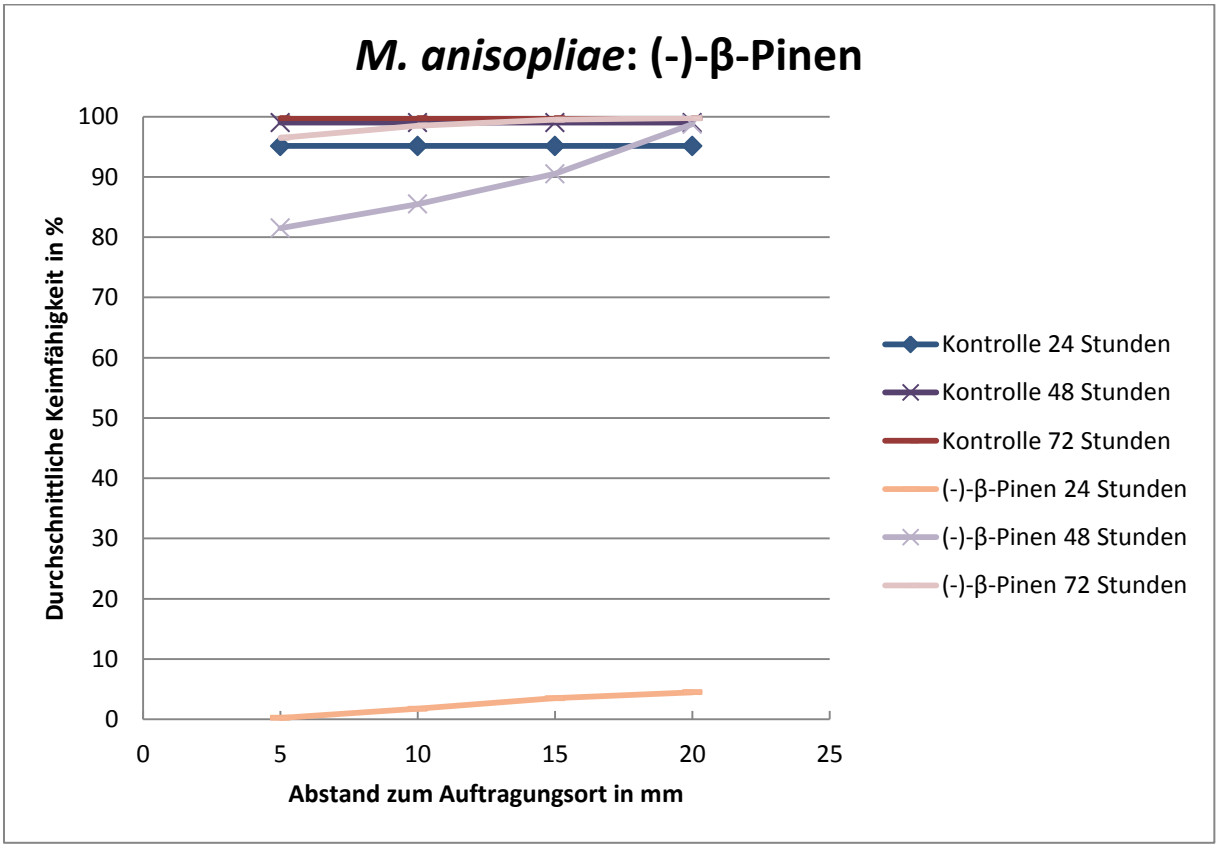


Abb. 34:Wirkung von (-)-β-Pinen auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

I. fumosorosea

Die Terpen-Reinsubstanz (-)-β-Pinen führte bei *I. fumosorosea* nach 24 Stunden zu einer höchst signifikanten (p≤0,001) Herabsetzung der Keimfähigkeit (Anhang 3F) im Bereich von 0% (5mm) und 7% (20mm) (Abb. 35, Abb. 36a). Obwohl nach 48 Stunden die durchschnittliche Keimfähigkeit bereits auf mindestens 90,5% (5mm) anstieg (Abb. 35, Abb. 36b), war eine höchst signifikante (p≤0,001) Hemmung bis 15mm Abstand zu Auftragungsstelle im Vergleich zur Kontrollgruppe zu beobachten (Anhang 3F). Nach 72 Stunden erreichte die Keimfähigkeit mit 99,5% die Höhe der Kontrolle (p>0,05) (Abb. 35, Abb. 36c).

Die Zunahme der Keimfähigkeit war nach 24 Stunden zwischen 5mm und 15mm beziehungsweise 20mm sowie zwischen 10mm und 20mm höchst signifikant (p≤0,001), zwischen 10mm und 15mm hoch signifikant (p≤0,01) und zwischen 15mm und 20mm signifikant (p≤0,05). Nach 48 Stunden unterschied sich die Keimungsrate zwischen 5mm und 15mm beziehungsweise 20mm sowie zwischen 10mm und 20mm höchst signifikant (p≤0,001), zwischen 5mm und 10mm sowie zwischen 15mm und 20mm signifikant (p≤0,05) und zwischen 10mm und 15mm hoch signifikant (p≤0,01) (Anhang 3F).

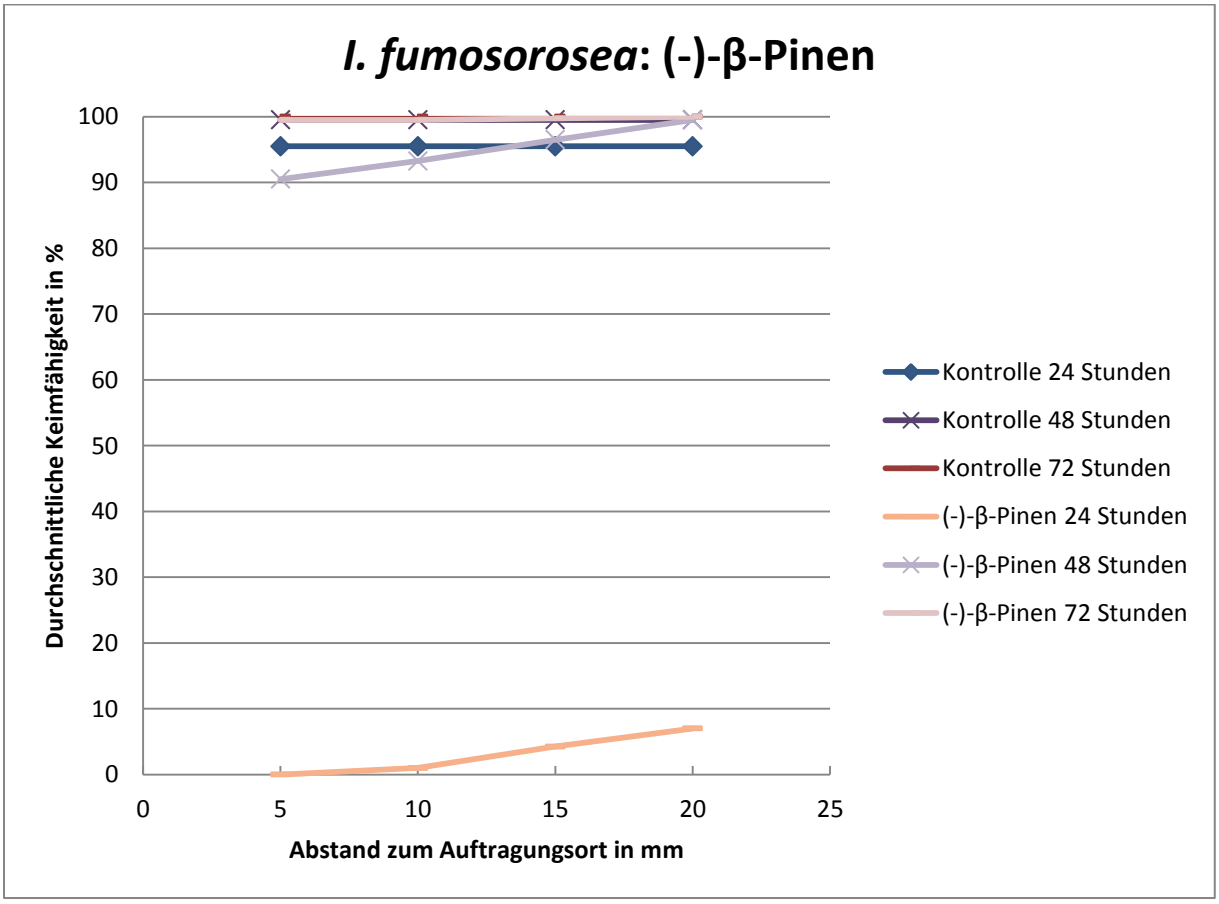
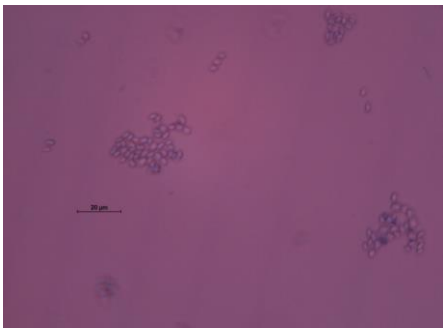
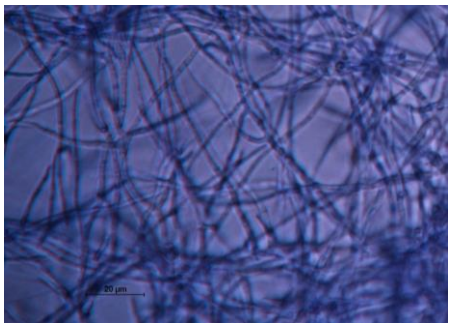


Abb. 35: Wirkung von (-)-β-Pinen auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.



a

b



c

Abb. 36: *I. fumosorosea* versetzt mit (-)-β-Pinen bei 5mm nach (a) 24 Stunden, (b) 48 Stunden und (c) 72 Stunden.

Wirkungsvergleich zwischen den Pilzarten

Im Vergleich führte (-)-β-Pinen zu einer starken Keimhemmung (0 bis 7%) (Tab. 6) ohne signifikanten ($p>0,05$) Unterschied zwischen allen drei Pilzarten nach 24 Stunden (Anhang 11A- 11D).

Nach 48 Stunden zeigte sich, dass *B. bassiana* bei allen Positionspunkten höchst signifikant ($p\leq0,001$) sensitiver reagierte als die beiden anderen Pilzarten, gefolgt von *M. anisopliae*, wo sich auch höchst signifikante ($p\leq0,001$) Unterschiede zwischen den Pilzen bis 15mm Entfernung ergaben (Anhang 11E- 11H).

Nach 72 Stunden wurde *B. bassiana* bis 10mm noch immer höchst signifikant ($p\leq0,001$) stärker gehemmt als die beiden anderen Arten. *M. anisopliae* unterschied sich zu dieser Zeit ausschließlich bei 5mm höchst signifikant ($p\leq0,001$) von *I. fumosorosea* (Anhang 11I- 11L).

Tab. 6: Wirkung von (-)-β-Pinen auf die durchschnittliche Keimfähigkeit von *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) in % bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm nach 24, 48 und 72 Stunden (Extremwerte farblich markiert).

	B.b.			***M.a.***			***I.f.***		
	24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
5mm	0,00	49,50	91,00	0,25	81,50	96,50	0,00	90,50	99,50
10mm	0,75	67,00	94,00	1,75	85,50	98,50	1,00	93,25	99,50
15mm	2,00	81,00	99,25	3,50	90,50	99,50	4,25	96,50	99,75
20mm	6,50	90,00	99,50	4,50	98,75	99,75	7,00	99,50	100

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass (-)-β-Pinen nach 24 Stunden bei allen drei Pilzarten eine starke Keimfähigkeitsverminderung verursacht hat. Nach 48 und 72 Stunden war bei *B. bassiana* die stärkste Keimhemmung zu beobachten.

3.1.7 Wirkung von Myrcen auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

Die Terpen-Reinsubstanz Myrcen führte bei *B. bassiana* zu einer Keimhemmung, deren Intensität vor allem nach 24 und 48 Stunden deutlich mit der Entfernung zur Auftragungsstelle abnahm. Nach 24 Stunden betrug die durchschnittliche Keimfähigkeit bei 5mm Abstand 5,3% und stieg bei 20mm bereits auf 20,26% an (Abb. 37). Nach 48 Stunden konnte ebenfalls ein Anstieg der Keimfähigkeit beobachtet werden, der jedoch zwischen 15mm und 20mm deutlich geringer war (Abb. 38).

Myrcen wirkte bei allen Auszählungspunkten bis zu 48 Stunden höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) keimhemmend im Vergleich zur jeweiligen Kontrollgruppe. Nach 72 Stunden konnte kein signifikanter ($p > 0{,}05$) Unterschied mehr zwischen den mit Myrcen behandelten und ohne Wirkstoff versetzten Objektträgern festgestellt werden (Anhang 1G).

Die Zunahme der Keimfähigkeit war - mit einer Ausnahme zwischen 5mm und 10mm - nach 24 Stunden zwischen allen anderen Positionspunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$). Nach 48 Stunden unterschieden sich alle Positionspunkte höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) in ihrer Keimungsrate (Anhang 1G).

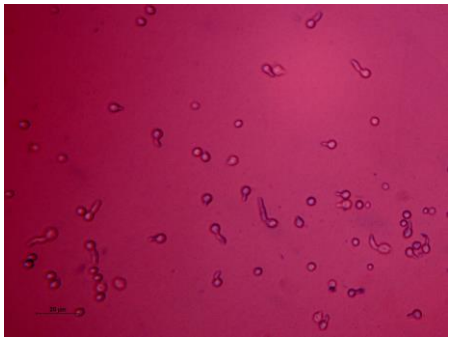


Abb. 37: *B. bassiana* versetzt mit Myrcen bei 20mm nach 24 Stunden.

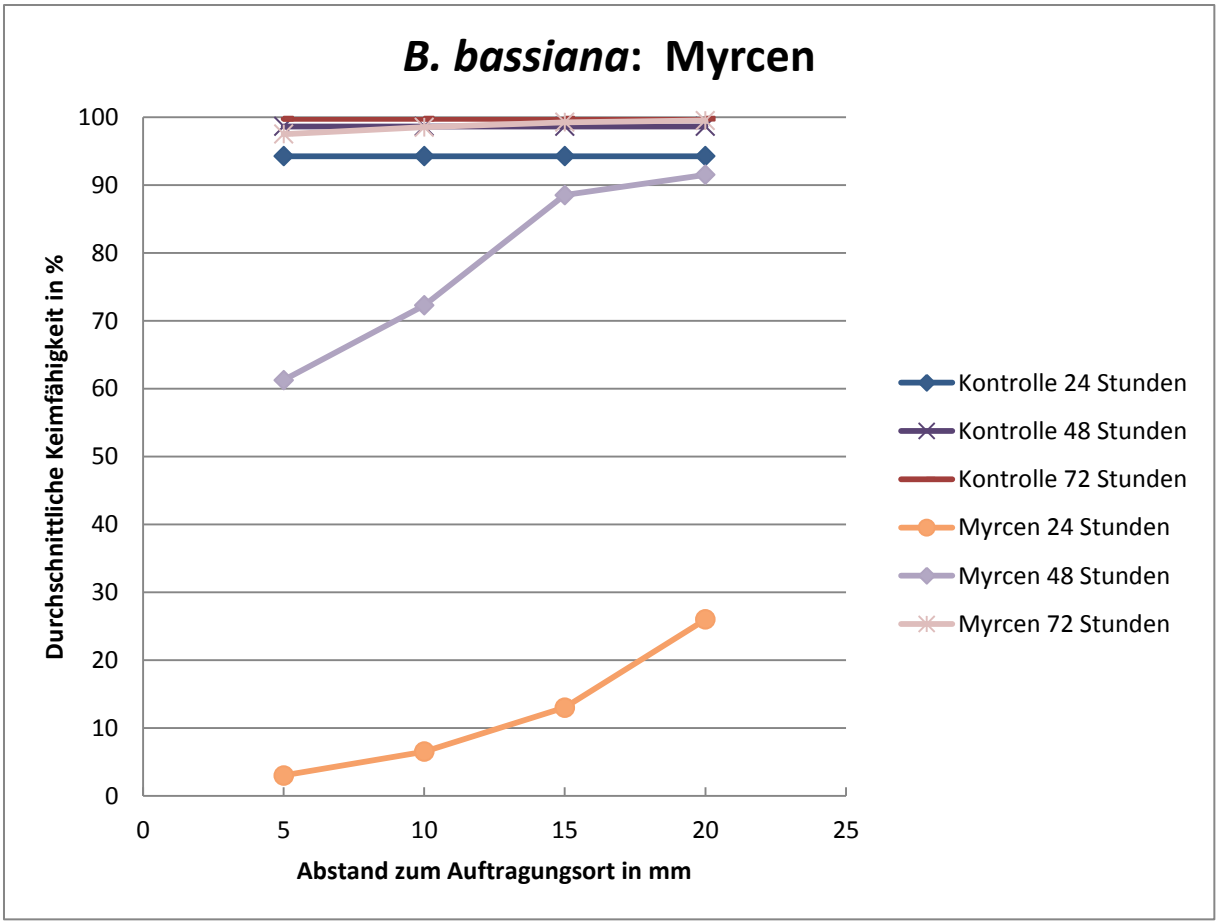


Abb. 38: Wirkung von Myrcen auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

M. anisopliae

Die Terpen-Reinsubstanz Myrcen wirkte auf *M. anisopliae* keimhemmend, wobei hier die Entfernung zur Auftragungsstelle eine essentielle Rolle spielte. Nach 24 Stunden betrug die durchschnittliche Keimfähigkeit bei 5mm Abstand 4,5%. Sie stieg jedoch mit zunehmender Entfernung „sprunghaft“ an und erreichte so bei 20mm bereits 86,5% (Abb. 39, Abb. 40). Alle Messpunkte unterschieden sich zu dieser Zeit höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) von der Kontrollgruppe (Anhang 2G). Nach 48 Stunden wirkte bis 10mm Entfernung Myrcen höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) keimhemmend, wohingegen nach 72 Stunden kein signifikanter ($p > 0{,}05$) Unterschied mehr zwischen den mit Wirkstoff versetzten und ohne Substanz behandelten Objektträgern ausgemacht werden konnte (Anhang 2G).

Die Zunahme der Keimfähigkeit war nach 24 Stunden zwischen allen Auszählungspunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$). Nach 48 Stunden gab es höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) Unterschiede in der Keimungsrate zwischen 5mm und 15mm beziehungsweise 20mm sowie zwischen 10mm und 20mm (Anhang 2G).

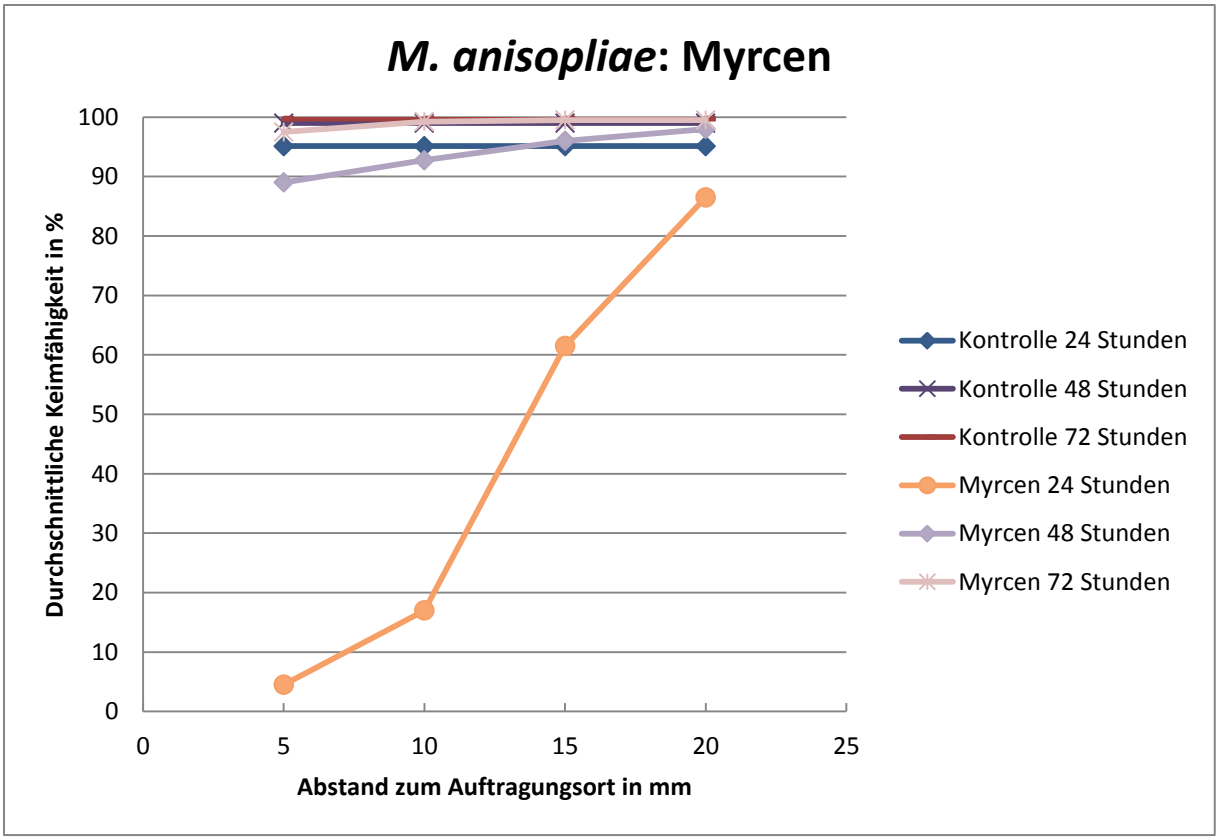


Abb. 39: Wirkung von Myrcen auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

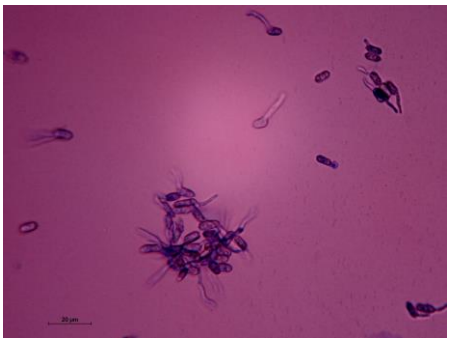


Abb. 40: *M. anisopliae* versetzt mit Myrcen bei 10mm nach 24 Stunden.

I. fumosorosea

Die Keimung von *I. fumosorosea* durch Myrcen war bis zu 48 Stunden deutlich gehemmt, wobei hier die Entfernung zur Auftragungsstelle eine wichtige Rolle spielte. Nach 24 Stunden betrug die durchschnittliche Keimfähigkeit bei 5mm Abstand 83,5%. Sie stieg mit zunehmender Entfernung an und erlangte bei 20mm eine Höhe von bereits 95% (Abb. 41). Bis 15mm war der Einfluss der Substanz als höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) zu bewerten (Anhang 3G).

Nach 48 Stunden wirkte Myrcen bei 5mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) sowie bei 10mm signifikant ($p \leq 0{,}05$) keimfähigkeitsvermindernd. Nach 72 Stunden konnte hingegen kein signifikanter ($p > 0{,}05$) Unterschied zur Kontrolle mehr nachgewiesen werden (Anhang 3G).

Die Zunahme der Keimfähigkeit war – mit einer Ausnahme zwischen 10mm und 15mm - nach 24 Stunden zwischen allen weiteren Auszählungspunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$). Nach 48 Stunden war eine höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) stärkere Keimhemmung bei 5mm als bei 15mm und 20mm festzustellen (Anhang 3G).

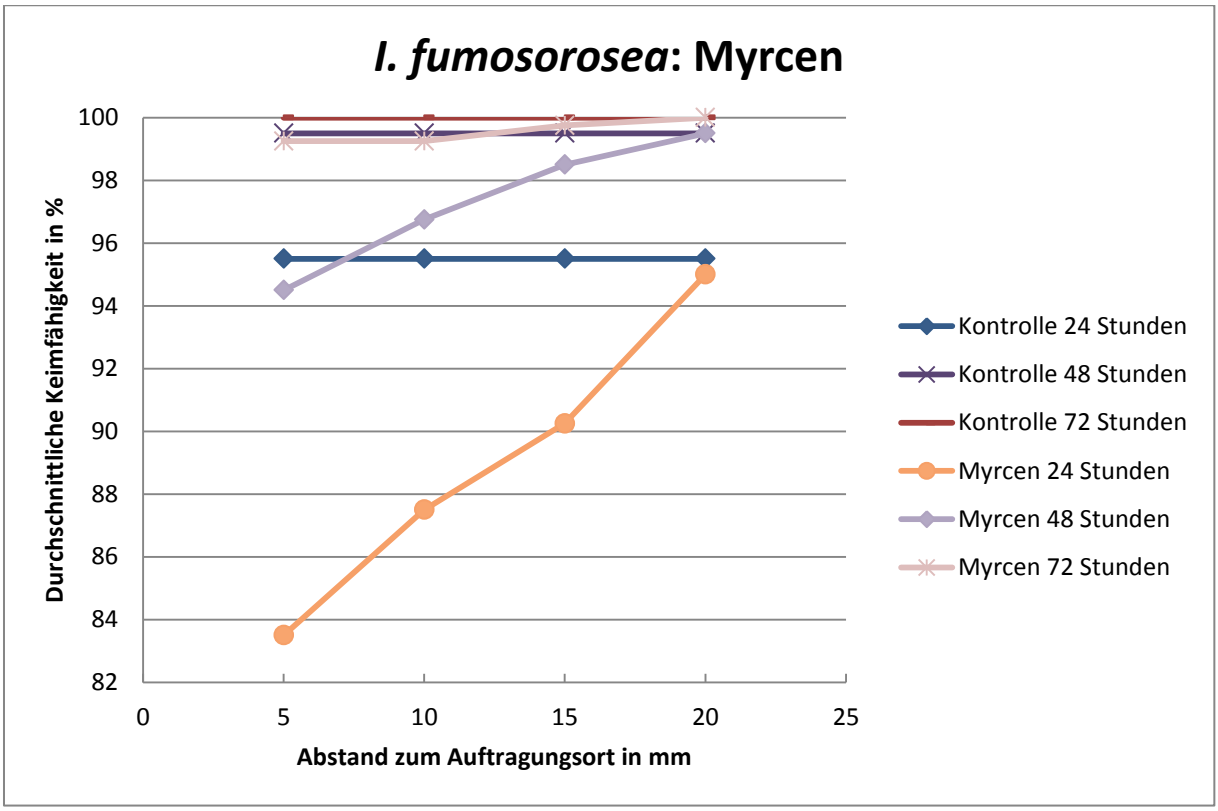


Abb. 41: Wirkung von Myrcen auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

Wirkungsvergleich zwischen den Pilzarten

Im Vergleich führte Myrcen zu einer von Zeit und Entfernung zur Auftragungsstelle beeinflussten, unterschiedlich hohen Keimfähigkeit bei den drei Pilzarten (Tab. 7).

Es zeigte sich, dass bei 5mm nach 24 Stunden *B. bassiana* mit 3% und *M. anisopliae* mit 4,5% durchschnittlicher Keimfähigkeit ähnlich reagierten (Tab. 7) und sich so von *I. fumosorosea* höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) unterschieden (Anhang 11A). Ab 10mm war *B. bassiana* statistisch höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) am sensitivsten, „gefolgt" von *M. anisopliae* und *I. fumosorosea* (Anhang 11B- 11D). Bei 10mm, 15mm und 20mm unterschieden sich die Keimfähigkeiten alle drei Pilzarten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$).

Nach 48 Stunden hemmte Myrcen *B. bassiana* bei allen Auszählungsspunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) am stärksten. Die Keimfähigkeitsverminderung von *M. anisopliae* konnte bis 10mm als höchst ($p \leq 0{,}001$) bzw. bei 15mm als hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$) höher als bei *I. fumosorosea* ausgewertet werden (Anhang 11E- 11H).

Nach 72 Stunde gab es keinen signifikanten ($p > 0{,}05$) Unterschiede zwischen den Pilzarten mehr zu verzeichnen (Anhang 11I- 11L).

Tab. 7: Wirkung von Myrcen auf die durchschnittliche Keimfähigkeit von *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) in % bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm nach 24, 48 und 72 Stunden (Extremwerte farblich markiert).

	B.b.			***M.a.***			***I.f.***		
	24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
5mm	3,00	61,25	97,50	4,50	89,00	97,50	83,50	94,50	99,25
10mm	6,50	72,25	98,50	17,00	92,75	99,25	87,50	96,75	99,25
15mm	13,00	88,50	99,25	61,50	96,00	99,50	90,25	98,50	99,75
20mm	26,00	91,50	99,50	86,50	98,00	99,50	95,00	99,50	100

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass *B. bassiana* auf Myrcen am sensitivsten reagiert hat, während *I. fumosorosea* vergleichsweise geringe Keimhemmungen gezeigt hat.

3.1.8 Wirkung von R-Limonen auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

R-Limonen führte zu einer deutlichen Reduktion der Keimfähigkeit, die mit der vergangenen Zeitspanne sowie von der Entfernung zur Auftragungsstelle unterschiedlich hoch war (Abb. 42, Abb. 43).

Nach 24 Stunden wurde *B. bassiana* bei allen Messpunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) gehemmt, was sich in der durchschnittlichen Keimfähigkeit von 0% (5mm) bis 5% (20mm) widerspiegelte. Nach 48 Stunden war eine höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) Keimfähigkeits-verminderung bis 15mm Entfernung zur Auftragungsstelle im Vergleich zur Kontrollgruppe zu beobachten. Nach 72 Stunden zeigte sich hingegen kein signifikanter ($p > 0{,}05$) Unterschied mehr zwischen den mit R-Limonen versetzten und ohne Wirkstoff behandelten Objektträgern (Anhang 1H).

Die Zunahme der Keimfähigkeit war nach 24 Stunden zwischen 5mm und 20mm signifikant ($p \leq 0{,}05$). Nach 48 Stunden konnten höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) Unterschiede in der Keimungsrate zwischen 5mm und 15mm beziehungsweise 20mm, zwischen 10mm und 15mm beziehungsweise 20mm sowie eine signifikante ($p \leq 0{,}05$) Zunahme von 15mm auf 20mm festgestellt werden (Anhang 1H).

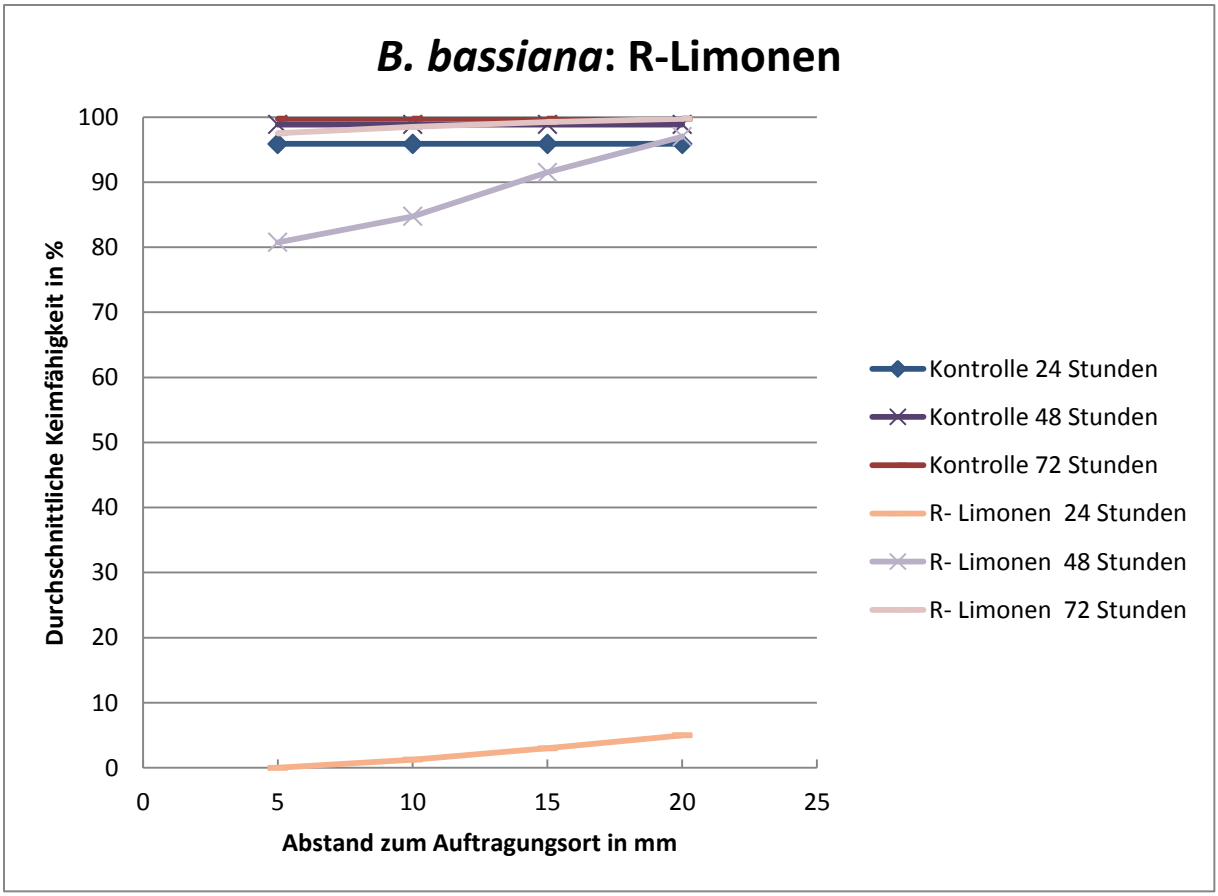


Abb. 42: Wirkung von R-Limonen auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

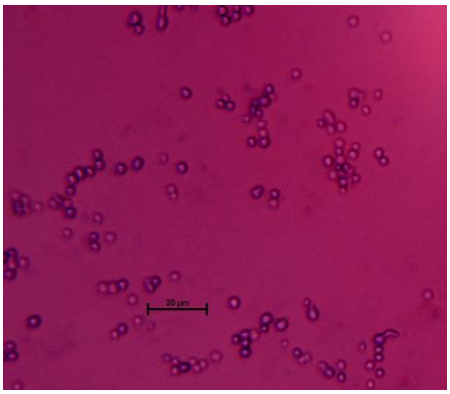


Abb. 43: *B. bassiana* versetzt mit R-Limonen bei 15mm nach 24 Stunden.

M. anisopliae

M. anisopliae reagierte auf R-Limonen mit einer starken Keimfähigkeitsverminderung, dessen Intensität mit den Parametern Entfernung und Zeit variierte (Abb. 44).

Die Substanz setzte die durchschnittliche Keimfähigkeit nach 24 Stunden höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) auf 0% (5mm) bis 2,25% (20mm) herab (Anhang 2H). Nach 48 Stunden zeigte sich, dass die Entfernung einen wesentlichen Einfluss auf die reversible Wirkung nahm. Die durchschnittliche Keimfähigkeit stieg von 45,75% bei 5mm auf 88% bei 20mm an (Abb. 44). Alle Auszählungspunkte waren zu dieser Zeit höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) gehemmt zur Kontrollgruppe. Nach 72 Stunden konnte hingegen kein signifikanter ($p > 0{,}05$) Unterschied mehr zwischen den mit Wirkstoff versetzten und ohne Substanz behandelten Objektträgern festgestellt werden (Anhang 2H).

Die Zunahme der Keimfähigkeit war nach 48 Stunden zwischen allen Auszählungspunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) (Anhang 2H).

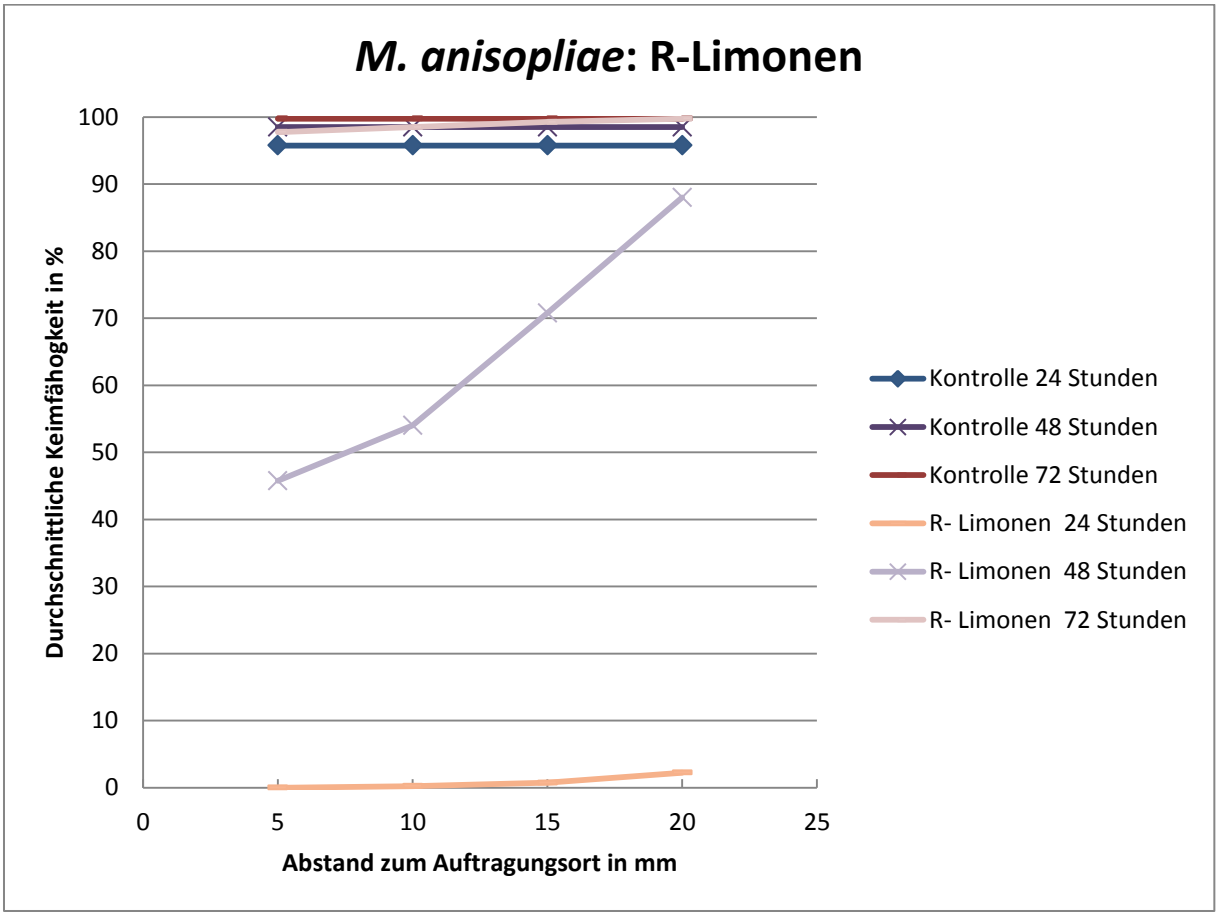


Abb. 44: Wirkung von R-Limonen auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

I. fumosorosea

R-Limonen führte bei *I. fumosorosea* zu einer deutlichen Keimfähigkeitsreduktion, die mit der vergangenen Zeit und der Entfernung zur Auftragungsstelle unterschiedlich hoch war (Abb. 45).

Nach 24 Stunden wurde *I. fumosorosea* bei allen Messpunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) gehemmt (Anhang 3H), was sich in der durchschnittlichen Keimfähigkeit von 2,5% (5mm) bis 15,5% (20mm) widerspiegelte (Abb. 45). Nach 48 Stunden war eine höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) Keimfähigkeitsverminderung bis 15mm Entfernung im Vergleich zur Kontrolle zu beobachten (Anhang 3H). Nach 72 Stunden hatten die mit Wirkstoff versetzten Objektträger die Keimfähigkeitshöhe der Kontrollgruppe erreicht ($p > 0{,}05$) (Abb. 45).

Die Zunahme der Keimfähigkeit war nach 24 Stunden zwischen 5mm und allen anderen Auszählungspunkten höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$). Von 10mm auf 20mm erhöhte sich die Keimungsrate zu dieser Zeit hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$). Nach 48 Stunden konnten höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) Unterschiede zwischen 20mm und allen weiteren Auszählungsstellen sowie zwischen 5mm und 15mm festgestellt werden (Anhang 3H).

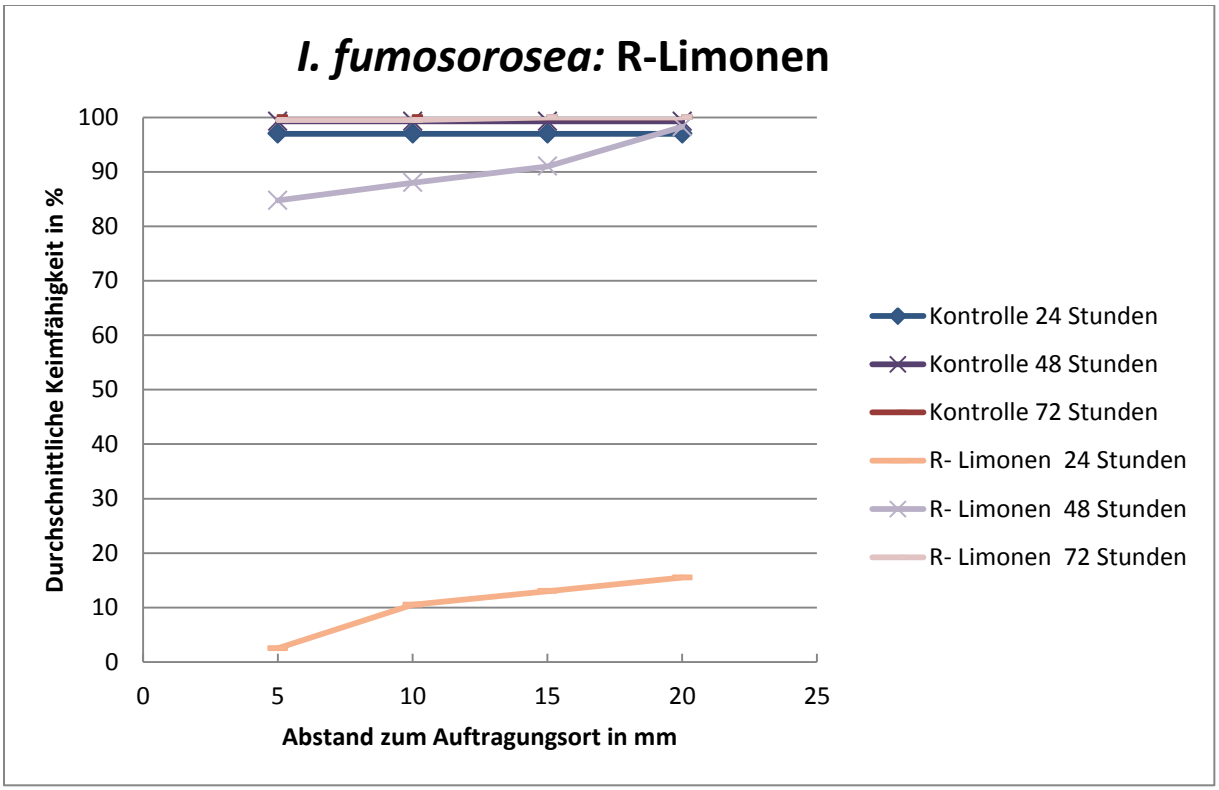


Abb. 45: Wirkung von R-Limonen auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden.

Wirkungsvergleich zwischen den Pilzarten

R-Limonen verursachte bei allen drei Pilzarten eine ähnlich starke Keimhemmung (0% bis 2,5%) bei 5mm nach 24 Stunden ($p>0,05$) (Tab. 8). Ab 10mm zeigte sich, dass *B. bassiana* und *M. anisopliae* höchst signifikant ($p\leq0,001$) stärker gehemmt wurden als *I. fumosorosea* (Anhang 11M- 11P).

Nach 48 Stunden war die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* höchst signifikant ($p\leq0,001$) niedriger als von den beiden anderen Arten (Anhang 11Q- 11T).

Nach 72 Stunden gab es keinen signifikanten ($p>0,05$) Unterschied zwischen den Pilzarten mehr zu verzeichnen (Anhang 11U- 11X).

Tab. 8: Wirkung von R-Limonen auf die durchschnittliche Keimfähigkeit von *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) in % bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm nach 24, 48 und 72 Stunden (Extremwerte farblich markiert).

	B.b.			***M.a.***			***I.f.***		
	24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
5mm	0,00	80,75	97,50	0,00	45,75	97,75	2,50	84,75	99,50
10mm	1,25	84,75	98,50	0,25	54,00	98,50	10,50	88,00	99,50
15mm	3,00	91,50	99,25	0,75	70,75	99,25	13,00	91,00	100
20mm	5,00	97,00	99,75	2,25	88,00	99,75	15,50	98,25	100

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass *M. anisopliae* am sensitivsten auf R-Limonen reagiert hat.

3.1.9 Wirkungsvergleich der Terpen-Reinsubstanzen auf die Keimfähigkeit von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

Im direkten Vergleich der getesteten Terpen-Reinsubstanzen reagierte *B. bassiana* vor allem auf (-)-β-Pinen und R-Limonen besonders sensitiv nach 24 Stunden, was sich in einer höchst signifikanten ($p \leq 0{,}001$) stärkeren Keimhemmung der beiden Terpen-Reinsubstanzen im Vergleich zu (-)-α-Pinen widerspiegelte (Anhang 5A- 5D). Myrcen unterschied sich zu (-)-β-Pinen bis 10mm hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$) (Anhang 5A- 5B) und ab 15mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) (Anhang 5C- 5D), während zwischen Myrcen und R-Limonen bei 5mm hoch signifikante ($p \leq 0{,}01$) (Anhang 5A) und bei 10mm signifikante ($p \leq 0{,}05$) (Anhang 5B) Beeinflussungsunterschiede festgestellt werden konnten, die ab 15mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) waren (Anhang 5C- 5D) (Abb. 46) .

Nach 48 Stunden zeigte sich, dass die Reversibilität der Keimfähigkeitsverminderung bei den Terpen-Reinsubstanzen unterschiedlich schnell von statten ging (Abb. 46). (-)-β-Pinen hemmte *B. bassiana* zu dieser Zeit am stärksten, gefolgt von Myrcen, (-)-α-Pinen und R-Limonen, das nach 24 Stunden deutlich die Keimfähigkeit von *B. bassiana* reduziert hatte. R-Limonen hemmte also *B. bassiana* anfangs zwar stark, jedoch ließ die Wirkung nach 48 Stunden bereits deutlich nach (Abb. 46). Bis 10mm Entfernung war die Wirkung der getesteten Terpene höchst ($p \leq 0{,}001$) bzw. hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$) [(-)-α-Pinen und R-Limonen bei 10mm)] verschieden (Anhang 5E- 5F), bei 15mm gab es höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) Unterschiede zwischen allen Terpenen ausgenommen Myrcen sowie R-Limonen (Anhang 5G) und bei 20mm konnten höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) Unterschiede zwischen allen Substanzen mit Ausnahme von (-)-α-Pinen und R-Limonen festgestellt werden (Anhang 5H) (Abb. 46).

Nach 72 Stunden verminderte (-)-β-Pinen bis 10mm höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) (Anhang 5I-5J) am intensivsten die Keimfähigkeit von *B. bassiana* (Abb. 46).

Es kann somit zusammenfassend festgehalten werden, dass *B. bassiana* nach 24, 48 und 72 Stunden am sensitivsten auf die Terpen-Reinsubstanz (-)-β-Pinen reagiert hat. R-Limonen führte zwar nach 24 Stunden bei *B. bassiana* zu einer starken Keimfähigkeitsverminderung, deren Reversibilität war aber bereits nach 48 Stunden deutlich zu erkennen (Abb. 46).

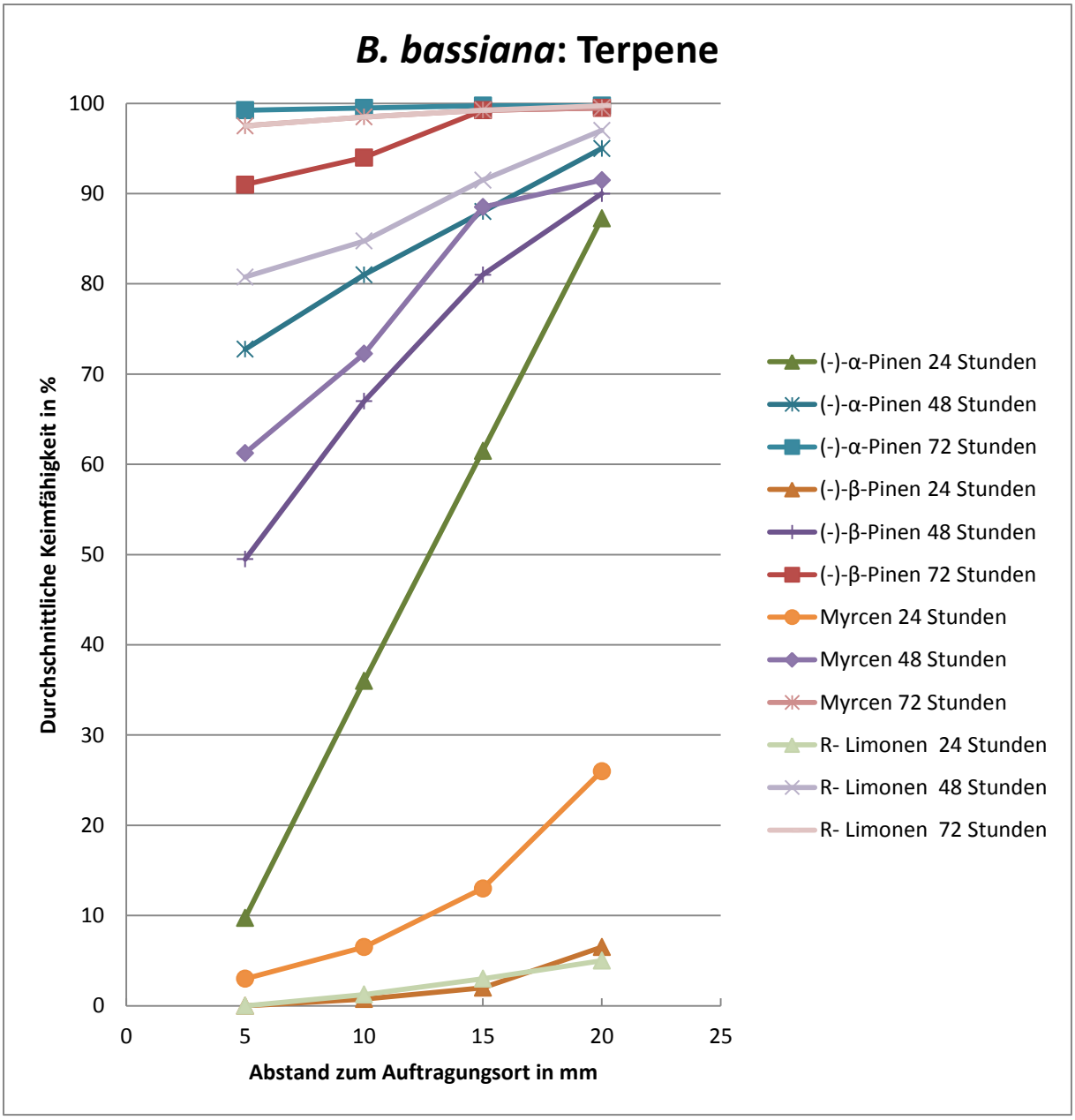


Abb. 46: Wirkung der Terpen-Reinsubstanzen auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana*.

M. ansiopliae

Im direkten Vergleich der getesteten Terpen-Reinsubstanzen reagierte *M. ansiopliae* nach 24 Stunden am sensitivsten auf R-Limonen, gefolgt von (-)-β-Pinen, (-)-α-Pinen und Myrcen (Abb. 47). Bei 5mm wirkte Myrcen höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) geringer keimfähigkeitsvermindernd als die anderen Terpene (Anhang 7A), ab 10mm unterschieden sich alle Substanzen höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) (Anhang 7B- 7D) außer R-Limonen sowie (-)-β-Pinen, die bei 10mm und 20mm *M. anisopliae* ähnlich stark ($p > 0{,}05$) hemmten und sich bei 15mm signifikant ($p \leq 0{,}05$) (Anhang 7C) voneinander unterschieden (Abb. 47).

Nach 48 Stunden zeigte sich, dass R-Limonen gefolgt von (-)-β-Pinen ihre starke Wirkungsweise auf *M. anisopliae* beibehalten hatten (Abb. 47). Bis 15mm waren die Unterschiede der Substanzen - ausgenommen (-)-α-Pinen und Myrcen, deren Keimfähigkeitsraten ähnlich ($p > 0{,}05$) hoch waren - als höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) einzustufen (Anhang 7E- 7G). Bei 20mm hemmte nur mehr R-Limonen *M. anisopliae* höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) stärker als die anderen Terpen-Reinsubstanzen (Anhang 7H) (Abb. 47).

Nach 72 Stunden konnte ausschließlich bei 5mm Entfernung zwischen (-)-α-Pinen und (-)-β-Pinen hoch signifikante ($p \leq 0{,}01$) sowie zwischen R-Limonen und (-)-β-Pinen signifikante ($p \leq 0{,}05$) Unterschiede in der Beeinflussung festgestellt werden (Anhang 7I- 7L) (Abb. 47).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass von allen getesteten Terpen-Reinsubstanzen R-Limonen und (-)-β-Pinen nach 24 und nach 48 Stunden die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* am stärksten reduziert haben, wohingegen nach 72 Stunden keine signifikante Hemmung mehr zu beobachten gewesen ist (Abb. 47).

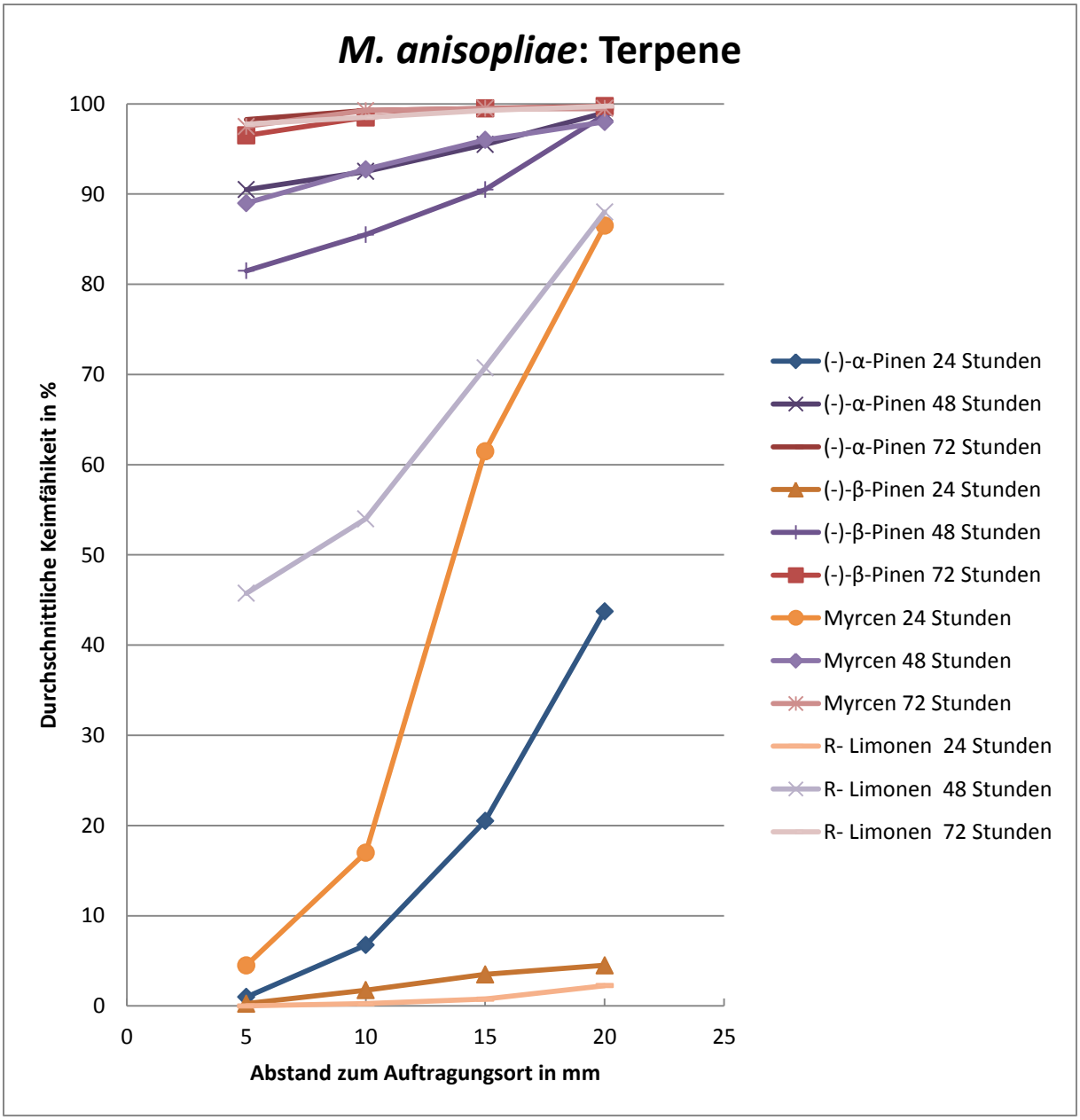


Abb. 47: Wirkung der Terpen-Reinsubstanzen auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* nach 24, 48 und 72 Stunden.

I. fumosorosea

Im direkten Vergleich der getesteten Terpen- Reinsubstanzen reagierte *I. fumosorosea* nach 24 Stunden auf (-)-β-Pinen und R-Limonen besonders sensitiv (Abb. 48), was durch höchst signifikante ($p \leq 0{,}001$) bzw. signifikante ($p \leq 0{,}05$) Unterschiede der Terpene [zwischen (-)-β-Pinen und Myrcen bei 15 und 20mm] in der Keimfähigkeitsbeeinflussung unterstrichen wurde (Anhang 9A- 9D). (-)-β-Pinen und R-Limonen hemmten bei 5mm durchaus ähnlich ($p > 0{,}05$) intensiv (Anhang 9A) (Abb. 48).

Nach 48 Stunden zeigte sich, dass R-Limonen gefolgt von (-)-β-Pinen ihre stärkere Keimhemmungswirkung beibehalten hatten (Abb. 48). Bis 15mm verringerte R-Limonen höchst signifikant ($p \leq 0{,}001$) stärker die Keimfähigkeit als die anderen getesteten Terpene.

(-)-β-Pinen wirkte bis 10mm höchst ($p \leq 0{,}001$) und bei 15mm hoch signifikant ($p \leq 0{,}01$) keimhemmender (Anhang 9E- 9H).

Nach 72 Stunden konnten hingegen keine Unterschiede ($p > 0{,}05$) in der Wirkungen mehr ausgemacht werden (Anhang 9I- 9L).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass *I. fumosorosea* besonders sensitiv auf (-)-β-Pinen und R-Limonen reagiert hat, wobei ersteres nach 24 Stunden und letzteres nach 48 Stunden die jeweils vergleichsweise stärkste Keimhemmung der getesteten Terpene verursacht hatte (Abb. 48).

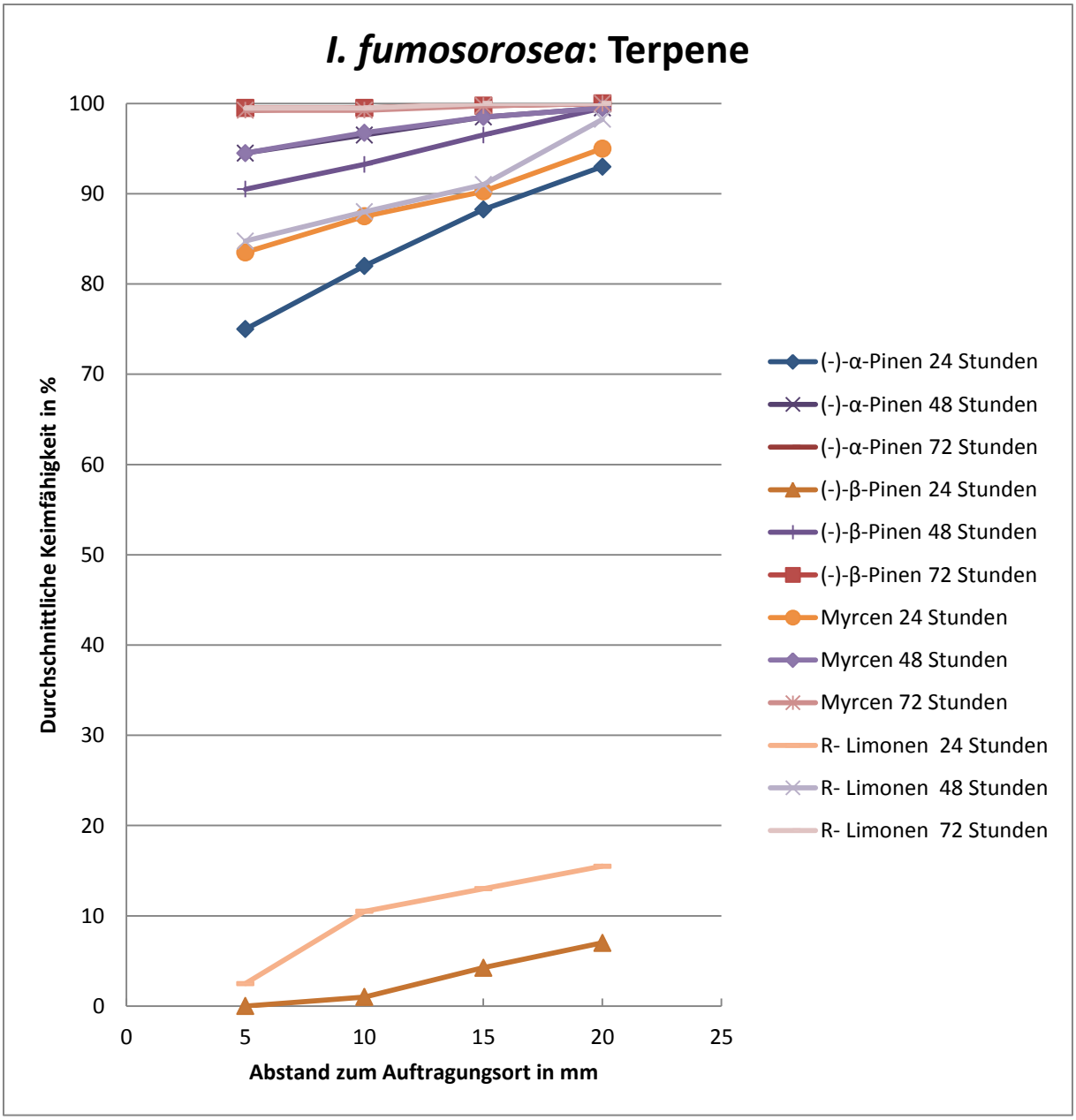


Abb. 48: Wirkung der Terpen-Reinsubstanzen auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* nach 24, 48 und 72 Stunden.

Vergleicht man die Wirkung der getesteten Terpen-Reinsubstanzen, dann kann festgehalten werden, dass vor allem (-)-β-Pinen und R-Limonen die Keimfähigkeit der drei Pilzarten am stärksten reduziert haben. *B. bassiana* reagierte nach 24, 48 und 72 Stunden am sensitivsten auf (-)-β-Pinen. R-Limonen führte zu einer starken Verminderung der Keimfähigkeit nach 24 Stunden, jedoch zeigte sich diese bereits nach 48 Stunden deutlich reversibel. *M. anisopliae* wurde in ihrer Keimfähigkeit nach 24 und nach 48 Stunden am stärksten von R-Limonen und (-)-β-Pinen reduziert, wohingegen nach 72 Stunden keine Hemmung mehr zu beobachten war. *I. fumosorosea* reagierte auf (-)-β-Pinen und R-Limonen besonders sensitiv. Ersters verursachte nach 24 Stunden, letzeres nach 48 Stunden die jeweils stärkste Keimhemmung.

3.2 Wachstumsuntersuchungen

Die Ergebnisse der Wachstumsuntersuchungen, die durch die Aufzeichnung von Hemmhofbildungen der drei Pilzarten *Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* erfolgte, werden im folgenden Teil genauer besprochen.
Die Gliederung der Wachstumsergebnisse orientierte sich wieder nach der Einteilung der getesteten Wirkstoffe in die Gruppe der natürlichen Stoffe sowie in die Terpen-Reinsubstanzen.

Natürliche Stoffe

Bei den natürlichen Stoffen wurde die Wirkungsweisen von Flüssigharz, Scharrharz und Kolophonium auf das Wachstum von *Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* untersucht.

3.2.1 Wirkung von Flüssigharz auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

B. bassiana reagierte auf Flüssigharz, das direkt auf den Nährboden aufgetragen wurde, mit keiner erkennbaren Wachstumsbeeinflussung.

Bei der Applikationsmethode, wo Flüssigharz auf ein Filterpapierplättchen aufgetragen wurde, kam es zur Bildung von Hemmhöfen über einen Zeitraum von 35 Tagen nach dem Versuchsansatz. Nach 5 Tagen zeigte sich in 70% der Schalen (n=10) eine Hemmhofbildung, wobei der maximale Durchmesser bei 6mm und der minimale Durchmesser bei 1mm lag. Letzterer behielt diesen Wert bis 35 Tage nach dem Ansetzen der Substanz bei. Nach 7 Tagen hatten nur mehr 60% der Schalen einen Hemmhof, der maximale Durchmesser reduzierte sich auf 3mm. Mit zunehmender Zeit sank die Anzahl der Hemmhöfe weiter, was die reversible Wirkung der Substanz widerspiegelte. Nach 40 Tagen konnten keine erkennbaren Wachstumsunterschiede mehr festgestellt werden (Tab. 9).

Tab. 9: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 5 bis 40 Tagen von *B. bassiana* versetzt mit Filterpapier aufgetragenem Flüssigharz.

Beobachtungszeitraum	**Schalenanzahl mit Hemmhofbildung**	**Minimaler Hemmhofdurchmesser**	**Maximaler Hemmhofdurchmesser**
5 Tage	70	1	6
7 Tage	60	1	3
12 Tage	30	1	1
14 Tage	20	1	1
19 Tage	20	1	1
21 Tage	10	1	1
26 Tage	10	1	1
28 Tage	10	1	1
33 Tage	10	1	1
35 Tage	10	1	1
40 Tage	0	0	0

M. anisopliae

Flüssigharz, das direkt auf den Nährboden aufgetragen wurde, führte bei *M. anisopliae* zu keiner erkennbaren Beeinflussung des Wachstums.

Bei der Applikationsmethode von auf ein Filterpapierblättchen aufgetragenem Flüssigharz, zeigte *M. anisopliae* Hemmhofbildungen über einen Zeitraum von 28 Tagen nach dem Versuchsansatz. 80% der Schalen bildeten Hemmhöfe bis 14 Tage nach dem Auftragen der Substanzen aus, wobei der maximale Hemmhofdurchmesser relativ gering blieb. Nach 5 Tagen gab es mit 3mm den größten Hemmhofdurchmesser zu vermessen, der dann mit der Zeit abnahm und ab dem 14 Tag nur mehr 1mm betrug. Der minimale Durchmesser betrug nach 5 Tagen 1mm. Dieser Wert war bis 28 Tage nach dem Ansetzen der Substanz vorzufinden. Nach 33 Tagen konnten keine erkennbaren Wachstumsunterschiede mehr festgestellt werden (Tab. 10) (Abb. 49).

Tab. 10: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 5 bis 40 Tagen von *M. anisopliae* versetzt mit Filterpapier aufgetragenem Flüssigharz.

Beobachtungszeitraum	**Schalenanzahl mit Hemmhofbildung**	**Minimaler Hemmhofdurchmesser**	**Maximaler Hemmhofdurchmesser**
5 Tage	80	1	3
7 Tage	80	1	2
12 Tage	80	1	2
14 Tage	80	1	1
19 Tage	70	1	1
21 Tage	60	1	1
26 Tage	50	1	1
28 Tage	50	1	1
33 Tage	0	0	0

a

b

Abb. 49: *M. anisopliae* mit Hemmhofbildung (a) 7 Tage und (b) 14 Tage nach Aufbringen von Flüssigharz auf Filterpapier.

I. fumosorosea

Beide Applikationsmethoden von Flüssigharz führten bei *I. fumosorosea* zu keiner erkennbaren Beeinflussung des Wachstums.

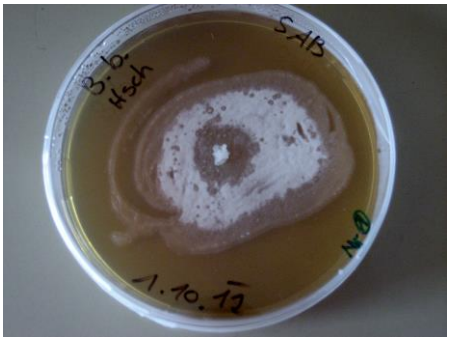
3.2.2 Wirkung von Scharrharz auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

B. bassiana reagierte auf Scharrharz mit einer Hemmhofbildung bei 40% der Petrischalen bis 7 Tage nach dem Auftragen der Substanz. Der maximale Hemmhofdurchmesser war mit 16mm relativ groß und bereits nach 3 sowie nach 5 Tagen zu beobachten. Im Gegensatz dazu zeichnete sich eine Abnahme beim minimalen Durchmesser von 7 mm nach 3 Tagen auf 1mm nach 7 Tagen ab. Scharrharz wirkte somit anfänglich bei fast der Hälfte der Schalen wachstumshemmend, jedoch war die Wirkung bereits nach 7 Tagen als vollständig reversibel zu beobachten. Nach 10 Tagen konnten keine erkennbaren Wachstumsunterschiede mehr festgestellt werden (Tab. 11) (Abb. 50).

Tab. 11: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 3 bis 14 Tagen von *B. bassiana* versetzt mit Scharrharz.

Beobachtungszeitraum	Schalenanzahl mit Hemmhofbildung	Minimaler Hemmhofdurchmesser	Maximaler Hemmhofdurchmesser
3 Tage	40	7	16
7 Tage	40	1	16
10 Tage	0	0	0
14 Tage	0	0	0



a

b

Abb. 50: Wachstumsreaktion von *B. bassiana* mit Scharrzharz: (a) Hemmhofbildung 3 Tage nach Aufbringen der Substanz und (b) keiner Wachstumsbeeinflussung 10 Tagen nach Aufbringen der Substanz.

M. anisopliae

Scharrharz führte bei *M. anisopliae* zu keiner messbaren Beeinflussung des Wachstums.

I. fumosorosea

I. fumosorosea reagierte auf Scharrharz mit keiner messbaren Beeinflussung des Wachstums.

3.2.3 Wirkung von Kolophonium auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

B. bassiana reagierte auf Kolophonium als einzige der drei Pilzarten mit Hemmhofbildungen, die sich bei 30% der Schalen 3 Tagen nach dem Auftragen der Substanz zeigten. Der maximale Hemmhofdurchmesser betrug hier 11mm, der minimale Durchmesser 6mm. Kolophonium hatte somit einen eher geringen und kurzen Einfluss auf das Wachstum von *B. bassiana*, dessen Reversibilität sich schnell zeigte. Nach 7 Tagen konnten keine erkennbaren Wachstumsunterschiede mehr festgestellt werden (Tab. 12).

Tab. 12: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 3 bis 14 Tagen von *B. bassiana* versetzt mit Kolophonium.

Beobachtungszeitraum	Schalenanzahl der Hemmhofbildung	Minimaler Hemmhofdurchmesser	Maximaler Hemmhofdurchmesser
3 Tage	30	6	11
7 Tage	0	0	0
10 Tage	0	0	0
14 Tage	0	0	0

M. anisopliae

Kolophonium führte bei *M. anisopliae* zu keiner messbaren Beeinflussung des Wachstums.

I. fumosorosea

I. fumosorosea reagierte auf Kolophonium mit keiner deutlichen Einschränkung des Wachstums.

Terpen-Reinsubstanzen

Bei der Gruppe der Terpen-Reinsubstanzen wurde die Wirkungsweisen von (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen und R-Limonen auf das Wachstum von *Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea* untersucht.

3.2.4 Wirkung von (-)-α-Pinen auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

Die Terpen-Reinsubstanz (-)-α-Pinen führte bei keiner der drei Pilzarten zur Ausbildung eines Hemmhofes.

3.2.5 Wirkung von (-)-β-Pinen auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

Die Terpen-Reinsubstanz (-)-β-Pinen führte bei keiner der drei Pilzarten zur Ausbildung eines Hemmhofes.

3.2.6 Wirkung von Myrcen auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

Myrcen führte bei *B. bassiana* zur Ausbildung von Hemmhöfen, die bei 10% der Petrischalen erst am 7. Tage nach dem Auftragen der Substanz ersichtlich waren, da nach 2 Tagen das Wachstum des Pilzes noch nicht genug weit fortgeschritten war. Der Hemmhofdurchmesser war gering und betrug zwischen 1mm (Durchmesserminimum) und 2mm (Durchmessermaximum) (Tab. 13).

Es kann somit festgehalten werden, dass die Terpen-Reinsubstanz Myrcen nur eine geringe und schnell reversible Wirkung auf das Wachstum von *B. bassiana* hatte. Nach 9 Tagen konnten keine erkennbaren Wachstumsunterschiede mehr festgestellt werden (Tab. 13).

Tab. 13: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 2 bis 14 Tagen von *B. bassiana* versetzt mit Myrcen.

Beobachtungszeitraum	Schalenanzahl der Hemmhofbildung	Minimaler Hemmhofdurchmesser	Maximaler Hemmhofdurchmesser
2 Tage	-	-	-
7 Tage	10	1	2
9 Tage	0	0	0
14 Tage	0	0	0

M. anisopliae

M. anisopliae reagierte auf Myrcen mit Bildung von Hemmhöfen, welche bei 10% der Petrischalen erst am 7. Tag nach dem Auftragen der Substanz ersichtlich waren, weil das Wachstum des Pilzes nach 2 Tagen noch nicht genug weit fortgeschritten war. Der maximale sowie minimale Hemmhofdurchmesser betrug 2mm (Tab. 14).

Myrcen hatte somit eine geringe und schnell reversible Wirkung auf das Wachstum von *M. anisopliae*. Nach 9 Tagen konnten keine erkennbaren Wachstumsunterschiede mehr festgestellt werden (Tab. 14) (Abb. 51).

Tab. 14: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 2 bis 14 Tagen von *M. anisopliae* versetzt mit Mycen.

Beobachtungszeitraum	Schalenanzahl der Hemmhofbildung	Minimaler Hemmhofdurchmesser	Maximaler Hemmhofdurchmesser
2 Tage	-	-	-
7 Tage	10	2	2
9 Tage	0	0	0
14 Tage	0	0	0

a

b

Abb. 51: *M. anisopliae* mit (a) Hemmhofbildung und (b) keiner Wachstumsbeeinflussung 7 Tage nach Aufbringen von Myrcen.

I. fumosorosea

Myrcen führte bei *I. fumosorosea* zu keiner messbaren Beeinflussung des Wachstums.

3.2.7 Wirkung von R-Limonen auf das Wachstum von *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* und *Isaria fumosorosea*

B. bassiana

B. bassiana reagierte auf die Terpen-Reinsubstanz R-Limonen als einzige der drei Pilzarten mit Hemmhofbildungen. Diese zeigten sich bei 10% der Schalen erst 7 Tage nach dem Auftragen der Substanz, da nach 2 Tagen das Wachstum des Pilzes noch zu wenig weit fortgeschritten war. Der maximale Hemmhofdurchmesse betrug hier 2mm, der minimale Durchmesser 1mm (Tab. 15).

R-Limonen hatte somit einen eher geringen und kurzen Einfluss auf das Wachstum von *B. bassiana*, dessen Reversibilität sich schnell zeigte.

Tab. 15: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 2 bis 14 Tagen von *B. bassiana* versetzt mit R-Limonen.

Beobachtungszeitraum	Schalenanzahl der Hemmhofbildung	Minimaler Hemmhofdurchmesser	Maximaler Hemmhofdurchmesser
2 Tage	-	-	-
7 Tage	10	1	2
9 Tage	0	0	0
14 Tage	0	0	0

M. anisopliae

M. anisopliae reagierte auf R-Limonen mit keiner messbaren Beeinflussung des Wachstums.

I. fumosorosea

R-Limonen führte bei *I. fumosorosea* zu keiner deutlichen Einschränkung des Wachstums.

4 Diskussion

Die Ergebnisse der Keimfähigkeits- und Wachstumsuntersuchungen lassen die Vermutung zu, dass die Gruppe der natürlichen Stoffe von *Pinus nigra* eine geringere Wirkung auf die Keimfähigkeiten der getesteten Pilzarten haben als die Gruppe der Terpen- Reinsubstanzen, die anfangs oft zu stärkeren Keimhemmungen geführt haben. Auf der anderen Seite scheinen die natürlichen Stoffe das Pilzwachstum häufiger und länger zu beeinflussen als die Terpen-Reinsubstanzen.

Die Substanz Flüssigharz führte bei den getesteten Pilzarten zu unterschiedlichen Reaktionen. Im Wirkungsvergleich der natürlichen Substanzen zeigte sich, dass direkt auf den mit Nährboden-beschichteten Objektträger aufgetragenes Flüssigharz die Keimfähigkeit von *B. bassiana* am stärksten beeinflusste, während *M. anisopliae* auf das mit Filterpapier aufgetragene Flüssigharz am sensitivsten reagierte. Auf der anderen Seite bewirkten beide Applikationsmethoden von Flüssigharz eine leichte Keimfähigkeitserhöhung von *I. fumosorosea*. Des Weiteren wurde deutlich, dass *B. bassiana* anscheinend generell eine erhöhte Sensitivität gegenüber Flüssigharz besitzt, da hier beide Applikationsmethoden Keimhemmungen bewirkten.
Bei den Wachstumsuntersuchungen reagierte keiner der drei Pilzarten mit einer erkennbaren Wachstumsbeeinflussung auf Flüssigharz, das direkt auf den Nährboden aufgetragene wurde. Im Gegensatz dazu kam es bei der Applikationsmethode mittels Filterpapierblättchen sowohl bei *B. bassiana* als auch bei *M. anisopliae* zur Bildung von Hemmhöfen. Wahrscheinlich bindet das Filterpapier Substanzen, die ohne Filterpapier zum schnelleren Verflüchtigen neigen. Dies könnte vermutlich auch die Erklärung für die Wachstumsreduktion sein.
Im Prinzip ergänzen und unterstützen die Ergebnisse der Wachstumsuntersuchungen jene der Keimfähigkeitsuntersuchungen. Im Vergleich zu den anderen Pilzarten hemmte Flüssigharz die Keimungsrate von *B. bassiana* am stärksten, gefolgt von *M. anisopliae*. Auch die Wachstumsuntersuchungen bestätigen die Sensitivität von *B. bassiana* gegenüber Flüssigharz, was sich einerseits in der langen Zeitspanne der Reaktion als auch im Maximaldurchmesser der Hemmhöfe widerspiegelt. Im Vergleich dazu gab es bei *M. anisopliae* über einen kürzeren Zeitraum Hemmhöfe zu beobachten.
Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass beide Arten- B. *bassiana* und *M. anisopliae* – durch Flüssigharz in Keimung und Wachstum vorübergehend gehemmt werden. Die

Beeinflussung scheint mit vergangener Zeit und zunehmendem Abstand allerdings abzunehmen, was eine fungistatische Wirkung von Flüssigharz vermuten lässt. Die Wirkungsweise von Flüssigharz spiegelt sich in der Intensität der Keimhemmungen sowie die Dauer, Anzahl und Größe der Hemmhofbildungen von *B. bassiana* und *M. anisopliae* wider. Im Gegensatz dazu reagierte *I. fumosorosea* auf beide Applikationsmethoden von Flüssigharz mit Keimfähigkeiten, die erstaunlicherweise die Kontrollgruppe teilweise knapp übertrafen. Es stellt sich somit die Frage, ob Flüssigharz eine positive Wirkung auf die Keimung von *I. fumosorosea* hat. Allerdings kann diese Mutmaßung in ihrer Aussagekraft reduziert werden, da die Keimfähigkeitswerte in der Kontrolle und in den Flüssigharzvarianten sehr eng beieinander gelegen sind und sich außerdem nicht signifikant unterschieden haben. Die Ergebnisse der Wachstumsuntersuchungen unterstreichen die Ergebnisse der Keimungstests, da Flüssigharz zu keiner erkennbaren Beeinflussung des Wachstumsverhaltens von *I. fumosorosea* geführt hat.

Flüssigharz wurde mit zwei Applikationsmethoden aufgebracht, da das direkte Aufbringen der Substanz zum Verrinnen der selbigen führte und in Folge das Auszählen der Sporen bei der Bestimmung der Keimfähigkeit erheblich erschwerte beziehungsweise behinderte. Das Aufbringen auf ein Filterpapierplättchen reduzierte das Problem des Verrinnens deutlich. Des Weiteren lässt es auch Erklärungen für Unterschiede im Keimungsverhalten der Pilze zu, da Filterpapier einzelne Harz- Stoffkomponenten vielleicht langsamer abgibt und jene so länger wirksam bleiben. Dies würde auch die unterschiedlichen Ergebnisse der beiden Applikationsmethoden bei *M. anisopliae* erklären, wo nur die Filterpapiervariante zu einer starken Hemmung geführt hat.

Scharrharz bewirkte im Vergleich zwischen den Pilzarten bei *B. bassiana* nach 24 Stunden die stärkste Keimhemmung, die allerdings vor allem in unmittelbarer Nähe zur Auftragungsstelle zu beobachten war. Im Vergleich dazu zeigte sich, dass *M. anisopliae* zwar geringer dafür aber zeitlich länger in der Keimfähigkeit beeinflusst wurde. Bei den Wachstumsuntersuchungen verursachte Scharrharz ausschließlich bei *B. bassiana* Hemmhofbildungen. Diese waren nur über einen vergleichsweisen kurzen Zeitraum nach dem Versuchsansatz erkennbar, wobei jedoch die Größe des maximalen und minimalen Hemmhofdurchmessers als relativ auffallend einzustufen war. Ein möglicher Erklärungsgrund für dieses Verhalten könnte in dem schweren Fixieren des Scharrharzes auf dem Nährboden liegen. Anders als Flüssigharz neigte Scharrharz, trotz Fixierungsversuche, zum Verrutschen

in der Petrischale - vor allem in Transportsituationen. Obwohl bei den betroffenen Schalen kein Verrutschen des Scharrharzes dokumentiert wurde, könnte ein „unbemerktes“, kurzes Verrutschen die Substanzwirkung des Scharrharzes somit erweitert haben. Auf der anderen Seite reagierten *M. anisopliae* und *I. fumosorosea* auf die Substanz mit keiner messbaren Beeinflussung ihres Wachstumsverhaltens. So gesehen scheint *I. fumosorosea* in ihrer Keimfähigkeit gering und im Wachstum gar nicht durch Scharrharz beeinflusst zu werden. Obwohl Scharrharz die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* reduzierte, scheint es hingegen das Wachstum des Pilzes nicht zu beeinflussen. Ein möglicher Erklärungsgrund könnte in der reversiblen Wirkung von Scharrharz gesehen werden. Wie die Keimfähigkeitstests zeigten, reduzierte sich die Hemmung mit vergangener Zeit und zunehmender Entfernung zur Auftragungsstelle. Anscheinend konnte die hemmende Wirkung bei den Wachstumsuntersuchungen nicht mehr wahrgenommen werden, da sie drei Tagen nach dem Ansetzungszeitpunkt bereits stark reduziert war.

Im Vergleich zu den anderen natürlichen Substanzen Flüssigharz und Scharrharz, beeinflusste Kolophonium die Keimfähigkeit von *B. bassiana* und *M. anisopliae* am geringsten. Dennoch reagierte *B. bassiana* auf Kolophonium am sensitivsten im Vergleich zu den anderen Pilzarten. Im Gegensatz dazu wurde *I. fumosorosea* von Kolophonium am geringsten von den drei Pilzarten in der Keimung beeinflusst.

Die Ergebnisse aus den Wachstumsuntersuchungen unterstreichen den Trend der Keimfähigkeitstests, da *B. bassiana* als einzige der drei Pilzarten mit Hemmhofbildungen reagierte. Obwohl der maximale und minimale Hemmhofdurchmesser als relativ groß bewertet werden muss, ist der Zeitraum der Wachstumsbeeinflussung eher als gering einzustufen. Ein Erklärungsansatz dafür könnte auch hier im leichten Verrutschen des Kolophoniums auf dem Nährboden sein. Allerdings konnte auch hier kein Verrutschen dokumentiert werden.

Somit zeigte sich, dass Kolophonium *B. bassiana* in der Keimfähigkeit reduziert und einen kurzen und geringen Einfluss auf dessen Wachstum nimmt. Bei *M. anisopliae* und *I. fumosorosea* führte Kolophonium hingegen zu keiner messbaren Veränderung des Wachstumsverhalten. So gesehen scheint *I. fumosorosea* in ihrer Keimfähigkeit gering und im Wachstum gar nicht durch Kolophonium beeinflusst zu werden. Zwar führte Kolophonium bei *M. anisopliae* zur Keimhemmung in unmittelbarer Nähe zur Auftragungsstelle bis 48 Stunden, jedoch scheint die Substanz das Wachstum von *M. anisopliae* nicht zu beeinflussen. Grund hierfür könnte wieder die reversible Wirkung von Kolophonium sein, da die Hemmung

mit vergangener Zeit und zunehmender Entfernung zur Auftragungsstelle abnimmt. Die hemmende Wirkung konnte demnach bei den Wachstumsversuchen nicht mehr festgestellt werden.

Obwohl *I. fumosorosea* relativ unempfindlich auf alle getesteten natürlichen Substanzen reagierte, haben Scharrharz und Kolophonium eine stärkere Verminderung der Keimfähigkeit in unmittelbarer zeitlicher und räumlicher Nähe (bis 10mm nach 24 Stunden) verursacht. Im Gegensatz dazu wirkte Flüssigharz teilweise sogar keimfähigkeitsfördernd. Ein möglicher Erklärungsgrund könnte in der unterschiedlichen, chemischen Zusammensatzung der natürlichen Substanzen liegen. *I. fumosorosea* scheint verstärkt durch stoffliche Komponenten gehemmt zu werden, die nicht flüchtig sind und in Scharrharz sowie Kolophonium enthalten sind. Die Konzentration der nichtflüchtigen Stoffe scheint in beiden Substanzen vermutlich höher zu sein als in Flüssigharz. Umgekehrt reagieren *M. anisopliae* und *B. bassiana* besonders sensitiv auf Flüssigharz. Auch Solheim (1991) beschreibt in seiner Arbeit Unterschiede in der hemmenden Wirkung von Wund- und Primärharz, die sich ja in der chemischen Zusammensetzung unterscheiden. Die nicht flüchtigen Komponenten von bei Verletzung gebildetem Wundharz hemmen - im Gegensatz zu Primärharz - das Wachstum der mit *Ips typographus* assoziierten Bläuepilze (*Ophistoma* spp.) (Solheim 1991). Dass Harzsubstanzen hemmend auf das Wachstum von Bakterien und Pilze wirken und diese Eigenschaften auch von Tieren aktiv genützt wird, erörtert die Arbeit von Castella et al. (2008). Hier beschreiben die Autoren, wie Waldameisen (*Formica paralugubris*) Koniferenharz bewusst sammeln und in ihr Nest einbauen um sich gezielt vor pathogenen Mikroorganismen zu schützen. Laut Castella et al. (2008) wird Harz von den Ameisen mehr prophylaktisch und weniger therapeutisch verwendet. Das Einbauen von Harz in Ameisennester schütz sowohl Adulte als auch Larven vor *M. anisopliae*-Infektionen (Chapuisat et al. 2007). Diese Untersuchungen unterstützen die Ergebnisse der daliegenden Arbeit, da Harz *M. anisopliae* deutlich in Keimung und Wachstum beeinflusst hat. Die vorwiegend prophylaktische und weniger therapeutische Verwendung von Harz bei Ameisen unterstreicht die Annahme der fungistatischen Wirkung von Harz, die mit der vergangenen Zeit abnimmt.

In einer anderen Arbeit weisen Lenoir et al. (1999) hingegen auf die wasserabweisende und zementartige Eigenschaft von Harz hin, welches im Nest eingebaut, viele Vorteile für die Ameisen bringt. Die Hypothese, dass *Formica rufa* Harz in ihr Nest einbauen, um die Zersetzung des selbigen durch Mikroorganismen zu verhindern, können die Autoren mit ihren

Ergebnissen allerdings nicht unterstützen (Lenoir et al. 1999). Reber und Chapuisat (2012) untersuchten das Auftreten von entomopathogenen Pilzen bei Ameisen (*Formica selysi*) und fanden *Paecilomyces lilacinus* und *Beauveria bassiana* häufig, wohingegen *M. anisopliae* nicht vertreten war. Außerdem zeigte die eher generalistische Art *B. bassiana* eine hohe genetische Diversität, dessen Isolate sich auch signifikant in ihrer Virulenz unterschieden (Reber & Chapuisat 2012). In den durchgeführten Versuchen reagierte *B. bassiana* jedoch überaus sensitiv gegenüber Harz. Die Ursache hierfür könnte in der angesprochenen hohen genetischen Diversität und den vielen Isolaten liegen, die vielleicht auch unterschiedliche Empfindlichkeiten gegenüber Harz besitzen.
In weiterer Folge könnte eine genaue chemische Aufschlüsselung der natürlichen Stoffe eventuell mögliche Hintergründe und Ursachen für das Keimungs- und Wachstumsverhalten der getesteten entomopathogenen Pilze erklären helfen.

Pflanzen produzieren eine Vielzahl an flüchtigen, organischen Verbindungen (Holopainen 2011). Aufgrund ihrer Größe und ihrer Langlebigkeit können Bäume eine viel größere Menge dieser Stoffe produzieren als andere Pflanzen (Holopainen 2011). Dies hat unter anderem Auswirkungen auf die Chemie der unteren Troposphäre (Aktinson & Arey 2003). Der Ausstoß von flüchtigen, organischen Verbindungen bedeutet auch einen Verlust an photosynthetisch gebundenem Kohlenstoff, wobei die Emissionsmenge baumartenabhängig unterschiedlich sein kann (Guo et al. 2013). So geben in subtropischen Gebieten zum Beispiel Bambusarten eine große Menge an flüchtigen, organischen Verbindungen ab, während *G. biloba* relativ wenig emittiert (Guo et al. 2013). Räisänen et al. (2009) nennt als weiteren Einflussfaktor die Jahreszeit mit der Monoterpenemissionen variieren.
Flüchtige, organische Verbindungen spielen außerdem im Abwehrsystem von Bäumen eine wichtige Rolle, da sie einerseits auf Pilzpathogene und Insektenangriffe wesentlich wirken und andererseits auch in Abhängigkeit von veränderten Stresseinflüssen reagieren (Holopainen 2011). Nach Geron et al. (2000) sind α- Pinen, β- Pinen und Myrcen häufig vorkommende Monoterpene von Bäumen, wobei die Menge der selbigen regionalabhängig ist. Auch Böge et al. (2013) unterstreicht die Dominanz und Bedeutung von Myrcen bei Koniferen.
Obwohl die Wirkung von Terpenen noch nicht vollständig geklärt ist, werden mögliche Membranunterbrechungen aufgrund ihrer lipophilen Zusammensetzung vermutet (Cowan 1999). Nach Cowan (1999) bietet das Forschungsfeld der antimikrobiellen Eigenschaft von Pflanzeninhaltsstoffen neue Innovationen und Impulse für die Humanmedizin, da viele der

Stoffe auf die Aktivität von Bakterien, Pilzen und Viren wirken. Raffa et al. (2013) berichtet außerdem, dass Limonen unter den Terpenen die stärkste negative Wirkung auf Borkenkäfer und ihre symbiontischen Bläuepilze hat. So scheint es auch nicht weiter verwunderlich, dass die getesteten Terpen-Reinsubstanzen auch die Keimung und das Wachstum von entomopathogenen Pilzen zum Teil verändert haben. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass von allen getesteten Terpen-Reinsubstanzen (-)-β-Pinen und R-Limonen die Keimfähigkeit der drei Pilzarten am stärksten reduziert haben. Dies wird im Wirkungsvergleich der Terpen-Reinsubstanzen deutlich, wo *B. bassiana* mit ihrer Keimfähigkeit bei allen drei Zeiten am sensitivsten auf die Terpen-Reinsubstanz (-)-β-Pinen reagiert hat. Zwar bewirkte auch R-Limonen bei derselben Pilzart nach 24 Stunden eine starke Keimhemmung, jene nahm aber bereits nach 48 Stunden wieder ab. Bei *M. anisopliae* reduzierten ebenfalls R-Limonen und (-)-β-Pinen die Keimfähigkeit von allen Terpen-Reinsubstanzen nach 24 und 48 Stunden am stärksten, wohingegen nach 72 Stunden keine Hemmung mehr zu beobachten war. Auch *I. fumosorosea* reagierte auf (-)-β-Pinen und R-Limonen besonders sensitiv im Wirkungsvergleich der Terpene, wobei (-)-β-Pinen nach 24 Stunden und R-Limonen nach 48 Stunden die stärkste Keimhemmung der getesteten Reinsubstanzen verursachte. Interessant ist, dass Beeinflussungen des Wachstums ausschließlich und stets im geringen Maße bei R-Limonen und Myrcen beobachtet werden konnten. *B. bassiana* bildete Hemmhöfe bei beiden genannten Substanzen aus, während *M. anisopliae* nur auf Myrcen mit einer Wachstumsbeeinflussung reagierte.

Obwohl (-)-α-Pinen bei allen drei Pilzarten zumindest nach 24 Stunden deutlich keimfähigkeitsvermindernd wirkte, reagierte keine Pilzart mit der Ausbildung von Hemmhöfen. Interessant ist, dass nach 24 Stunden (-)-α-Pinen bei *M. anisopliae* die intensivste Keimhemmung verursachte, während nach 48 Stunden *B. bassiana* deutlich stärker als die beiden anderen Pilzarten in der Keimfähigkeit reduziert wurde. Die Keimungstests zeigten, dass die hemmende Wirkung mit vergangener Zeit und zunehmender Entfernung zur Auftragungsstelle abnahm. Nach 72 Stunden waren die Keimungsraten bei allen drei Pilzarten von der Substanz unbeeinflusst. Demzufolge wurde auch das Wachstum der Pilze nicht reduziert.

(-)-β-Pinen versursachte bei allen drei Pilzarten eine ähnlich rapide Keimfähigkeitsverminderung nach 24 Stunden. Nach 48 und 72 Stunden zeigte sich, dass *B. bassiana* stärker gehemmter reagierte als die beiden anderen Pilzarten und *M. anisopliae* sensitiver war als *I. fumosorosea*. Nichts desto trotz führte (-)-β-Pinen bei keiner der

getesteten Pilzart zur Ausbildung von Hemmöfen. Dies lässt sich wieder durch die mit vergangener Zeit und zunehmender Entfernung abnehmende Keimhemmung erklären, welche auf das Pilzwachstum keinen messbaren Einfluss nehmen.

Im Vergleich zwischen den Pilzarten reagierte *B. bassiana* auf Myrcen am sensitivsten, was sich in deutlich höheren Keimfähigkeitsverminderungen nach 24 und nach 48 Stunden widerspiegelte. Am zweit stärksten hemmte Myrcen die Keimungsrate von *M. anisopliae* vor allem in unmittelbarer Nähe deutlich. Bei den Wachstumsuntersuchungen führte Myrcen bei *B. bassiana* und *M. anisopliae* zur Ausbildung von Hemmhöfen, wobei der maximale Hemmhofdurchmesser bei beiden als gering bewertet werden muss. *I. fumosorosea* wurde von den drei Pilzarten am geringsten von Myrcen in der Keimung beeinflusst, was auch die Ergebnisse der Wachstumsuntersuchungen unterstreichen. *I. fumosorosea* bildete demnach als einzige Pilzart keine Hemmhöfe aus. Wie die Keimfähigkeitstests zeigten, verursachte Myrcen eine Keimhemmung, die sich mit vergangener Zeit und zunehmender Entfernung zur Auftragungsstelle reduzierte. Die hemmende Wirkung war auch bei den Wachstumsuntersuchungen ersichtlich.

Die Keimfähigkeitsauswertungen zeigten, dass R-Limonen bei allen drei Pilzarten eine starke Keimfähigkeitsverminderung nach 24 Stunden bewirkte. Nach 48 Stunden stellte sich eine höhere Sensitivität von *M. anisopliae* heraus, die nach 72 Stunden nicht mehr bestand. *M. anisopliae* reagierte allerdings mit keiner messbaren Beeinflussung des Wachstums,
Bei den Wachstumsuntersuchungen führte R-Limonen ausschließlich bei *B. bassiana* zur Bildung von Hemmhöfen, wobei der maximale Hemmhofdurchmesser als gering bewertet werden muss. Dies lässt sich wieder durch die mit vergangener Zeit und zunehmender Entfernung abnehmende Keimhemmung erklären, welche auf das Pilzwachstum einen geringeren Einfluss nimmt.

Die allgemeine Grundstruktur der Terpene lautet C_{10} H_{16}. Terpenoide enthalten zusätzlich auch noch andere Komponenten wie beispielsweise Sauerstoff (Cowan 1999). Monoterpene haben außerdem eine kurze Verweildauer in der Atmosphäre, da sie mit Hydroxylradikalen (OH) meistens bei Tag, Nitratradikalen (NO3) meistens in der Nacht und Ozon (O3) reagieren und so eine wichtige Rolle in der Chemie der unteren Troposphäre spielen (Atkinson & Arey 2003). Die chemische Reaktionsfreude vieler Terpene würde erklären, weshalb die Terpen-Reinsubstanzen auf der einen Seite anfangs zu starken Keimhemmungen geführt haben, auf

der anderen Seite aber nur gering das Wachstum der getesteten entomopathogenen Pilze beeinflusst haben. Nach Atkinson & Arey (2003) verweilen α- Pinen bis 4,6 Stunden, β-Pinen bis 1,1 Tage, Myrcen bis 50 Minuten und Limonen bis 2 Stunden in der Atmosphäre bis sie reagieren. Der Ablauf möglicher chemischer Reaktionen der getesteten Substanzen fand in dieser Arbeit keine Berücksichtigung, könnte jedoch eventuell das von statten gegangene Keimungs- und Wachstumsverhalten der Pilze näher erklären.

Entomopathogene Pilze können gegen diverse Schadinsekten eingesetzt werden, bei denen die Pilze pathogen wirken. Da sie weltweit bedeutende Antagonisten von Insekten sind, übernehmen sie die wichtige Funktionen als Gegenspieler in verschiedenen Ökosystemen (Roy et al. 2010). Insektenpathogene Pilze existieren auch auf bewirtschafteten Flächen. So wurden beispielsweise *M. anisopliae* und *Beauveria* spp. in Böden von Maisfeldern gefunden (Pilz et al. 2008). In der biologischen Bekämpfung sind häufig der Einsatz gegen Engerlinge, Scarabaeiden, Thripse, Weiße Fliege, Dickmaulrüssler, Blattläuse sowie Kartoffelkäfer in der Landwirtschaft zu verzeichnen (Schmutterer & Huber 2005). *Beauveria bassiana* und *Metarhizium anisopliae* können auch gegen Baumwollschädlinge eingesetzt werden, wobei Freilandversuche gezeigt haben, dass *Beauveria bassiana* höhere Durchseuchungsraten verursacht als *Metarhizium anisopliae* (Sahab & Sabbour 2011). Aber auch gegen Heuschrecken, Kaffeekirschenkäfer, Termiten und Forstschädlinge finden die Pilze vor allem außerhalb Europas Verwendung (Schmutterer & Huber 2005). Ein weiteres Einsatzspektrum ist die Bekämpfung von Hygiene- und Vorratsschädlingen wie Stechmücken, Zecken und Schaben (Schmutterer & Huber 2005).
Wichtig ist anzumerken, dass die Empfindlichkeit von Insekten gegenüber entomopathogenen Pilzen mit dem Entwicklungsstadium variieren kann, weshalb ein vorheriges Abtesten der Wirksamkeit notwendig ist (Schmutterer & Huber 2005). Unter anderem müssen bestimmte abiotische Voraussetzungen sowie die Anwesenheit eines passenden Wirtes, der permanent vorhanden sein muss, falls das Pathogen im System gehalten werden soll, gesichert sein (Pell et al. 2010).
Die Entwicklung von hochwirksamen Präparaten mit dazu passenden Applikationstechniken ist für einen erfolgreichen Einsatz essentiell (Schmutterer & Huber 2005). Ebenso wichtig sind das Wissen über die Schadinsektenbiologie sowie die Kenntnis über mögliche umweltbedingte Einflussfaktoren, da sie die Basis für die Anwendung von entomopathogenen Pilzen in der biologischen Schädlingsbekämpfung bilden (Schmutterer & Huber 2005).

Laut Schmutterer & Huber (2005) kann die biologische Schädlingsbekämpfung mit insektenpathogenen Pilzen nach ihren Anwendungsstrategien wie folgt gegliedert werden:

- In der klassisch biologischen Bekämpfung wird ein insektenpathogener Pilz in ein neues Gebiet gezielt zur Bekämpfung eines Schädlings eingeführt.
- Bei der Verwendung als Mykoinsektizid werden entomopathogene Pilze beispielsweise gegen Maikäfer, Heuschrecken oder Gewächshausschädlinge eingesetzt. Die Anwendungsstrategie ist der von chemischen Pflanzenschutzmitteln ähnlich. 2006 waren mehr als 100 solcher Produkte erhältlich (Jaronski 2010). Bei der Anwendung sollte nach Jaronski (2010) stets Bedacht genommen werden, dass der beste Einsatz von Mycoinsektiziden präventiv erfolgt.
- Die Autodisseminationsmethode beinhaltet das gezielte Anlocken von Schädlingen mit speziellen Fallen um eine Kontamination mit entomopathogenen Pilzen zu bewirken. Da die infizierten Insekten wieder frei kommen, erfolgt eine Selbstausbreitung der Pathogene in der Population.
- Entomopathogene Pilze können des Weiteren in Kombination mit anderen biologischen oder chemischen Pflanzenschutzmitteln eingesetzt werden.

Der Einsatz von entomopathogenen Pilzen mit chemischen Pflanzenschutzmitteln wirft die Frage der Kompatibilität der Substanzen auf. Insektizide, Herbizide und Fungizide haben zwar das Potential die Keimung und das Wachstum von insektenpathogenen Pilzen zu beeinflussen, die tatsächliche Wirkung auf den Pilz variiert jedoch zwischen den Isolaten beträchtlich (Butt et al. 2001). Es gibt zu dieser Thematik einige *in vitro* Versuche, jedoch wenige *in vivo*. So fand Rashid et al. (2010) heraus, dass die drei Insektizide Fipronil, Pyriproxyfen und Hexaflumuron drastische Keimhemmungen bei *Metarhizium anisopliae* verursachen weswegen eine gleichzeitige Anwendung von Insektiziden und entomopathogenen Pilzen vermieden werden sollte. Thymol, Pyrethrum und Cylone wirken negativ auf das Wachstum von *B. bassiana* (Sahab & Sabbour 2011). Sun et al. (2011a) beschreiben in ihrer Arbeit hingegen das hohe Potential der Kombination von *B. basssina* mit Deltamethrin in der Bekämpfung der Zecke *Hyalomma anatolicum anatolicum*. Auch fanden Hernandez et al. (2012) synergistische Effekte von *B. bassiana* mit Flufenoxuron und additive Effekte von *B. bassiana* mit Azadirachtin in der Milbenbekämpfung. Solche Kombinationsprodukte könnten entstandene Resistenzproblematiken reduzieren helfen (Hernandez et al. 2012). Die Kompatibilität von Neemöl (Azadirachtin) mit *B. bassiana* für die biologische Bekämpfung ist vom Isolat abhängig (Mohan et al. 2007). Nach Mohan et al.

(2007) gibt es antagonistische Effekte bei Neem sensitiven Isolaten, die sich in einem verzögerten Wachstum widerspiegeln, während synergistische Effekte bei der Insektenmortalität von kompatiblen Isolaten entstehen, die auch auf die ölige Struktur von Neem zurückzuführen ist, welche unter anderem die Konidienkeimung begünstigt. Azadirachtin wirkt auf *Paecilomyces fumosoroseus* moderat keim- und wachstumshemmend (James 2003). Die Kombination von Neem mit *Paecilomyces fumosoroseus* führte zwar zu einer höheren Insektenmortalität als bei der separaten Anwendung der Substanzen, bewirkte aber keinen additiven Effekte (James 2003). Nach Araujo et al. (2009) können Neem Konzentrationen über 0,25% die Lebensfähigkeit von Sporen und das Wachstum von *B. bassiana* und *M. anisopliae* negativ beeinflussen.

Kombinationen von weiteren Pflanzenstoffen mit entomopathogenen Pilzen standen ebenfalls im Mittelpunkt von Untersuchungen. So zeigten Freilandversuche, dass Kombinationsapplikationen von Eucalyptusextrakt mit *I. fumosorosea* synergetische Effekte in der Insektenmortalität bewirken (Shapiro-Ilan et al. 2013).

Fungizide und Pestizide scheinen zum Teil stark hemmende Effekte auf entomopathogene Pilze zu haben, wobei es auch hier Isolat spezifische Unterschiede gibt (Tkaczuk & Mietkiewski 2005). Kouassi et al. (2003) testeten zum Beispiel den Einfluss der zeitlichen Ablauf in der Applikation von Fungiziden und *Beauveria bassiana*. Die Autoren beschreiben dabei synergistische Effekte bei Verwendung des Pilzes 2 bis 4 Tage vor einer Fungizidausbringung und andererseits antagonistische Effekte bei Applikation des Fungizides 2 bis 4 Tage vor dem Pilzpräparat. Das gleichzeitige Ausbringen von Fungiziden und *Beauveria bassiana* führte zu niedrigeren Insektenmortalitätsraten. Kouassi et al. (2003) unterstreichen mit ihrer Studie die Relevanz der Berücksichtigung von Ausbringungsreihenfolgen und die Nutzung von synergistischen Effekten von Fungiziden und insektenpathogenen Pilzen. Bei *B. bassiana* wirkt vor allem Euparen (Dichlofluanid) hemmend (Führer 1980). Nach Sahab & Sabbour (2011) ist Benlate auch in geringen Konzentrationen hoch toxisch für *B. bassiana*, was sich in totalen Wachstumshemmungen widerspiegelt. Eine große Anzahl von Fungiziden hemmte in Laborversuchen auch das Wachstum von *Metarhizium anisopliae* (Bruck 2009).

Es existieren ferner zahlreiche Umweltparameter, die auf die Keimung und das Wachstum von entomopathogenen Pilzen wirken können. So ist die pH- Toleranz vieler insektenpathogener Pilze vom Phenotyp abhängig und beeinflusst dadurch auch das Infektionspotential der Pilze (Padmavathi et al. 2003*).* Beispielsweise keimten zwar *B.*

bassiana Isolate bei einem pH- Wert von 3, ihr Wachstum hingegen war total gehemmt (Padmavathi et al. 2003).
Auch UV- A und UV-B Strahlen führen häufig zu negativen Effekten. Hedimbi et al. (2008) beobachtete, dass Olivenöl und zwei getestete Sonnenschutzmittel die Konidien von *Metarhizium anisopliae* vor UV-Strahlungsschäden schützen. Sonnenschutz sollte deshalb stets Bestandteil von Formulierungen sein um die Überlebensrate der Konidien im Freiland zu gewährleisten ohne dabei die Virulenz der Pilze zu beeinflussen (Hedimbi et al. 2008).
Das Wissen und die Kenntnisse über mögliche Wechselwirkungen bilden somit eine essentielle Basis für mögliche Einsatzgebiete in der biologischen Schädlingsbekämpfung. Nach Jackson et al. (2010) ist das Verstehen der biotischen und abiotischen Einflussfaktoren von jeder Insekten – Umwelt - Beziehung sowie das Formulieren umweltstabiler Produkte die Grundvoraussetzung für ökonomisch und ökologisch erfolgreiche Anwendungen von entomopathogenen Pilzen.

Ein weiteres Einsatzspektrum für entomopathogene Pilze ist die biologische Bekämpfung von Zecken, die eine ernste Gefährdung für Menschen, Haus- und Wildtiere darstellt. Dabei wird meistens auf die Verwendung als Mykopestizid zurückgegriffen. Die derzeitig übliche Kontrolle durch chemische Produkte besitzt Nachteile wie die Toxizität für Tiere, Umweltkontamination sowie die Verursachung von chemischen Resistenzen in manchen Zeckenpopulationen. Entscheidend für einen erfolgreichen Einsatz von insektenpathogenen Pilzen ist das Isolieren von hoch virulenten Stämmen mit großen Toleranzen gegenüber hohen Temperaturen und UV-Strahlungseinflüssen (Fernandes et al. 2012). Vor allem Stämme von *B. bassiana* und *M. anisopliae* scheinen hohe Virulenz gegenüber einer Zeckenart (*Hyalomma anatolicum anatolicum*) in China zu besitzen (Sun et al. 2011b). Auch Kaaya & Hassan (2000) glauben an das Potential von *B. bassiana* und *M. anisopliae* als gegen Zecken ausgebrachtes Biopestizid. In Wasser gelöste Formulierungen von *B. bassiana* unterdrückten 80% der Zeckenpopulation von *R. appendiculatus*, in Wasser gelöste Formulierungen von *M. anisopliae* 92% bei Ausbringung auf von Zecken befallenem Gras (Kaaya & Hassan 2000). Die Applikation erfolgte dabei einmal im Monat über 6 Monate hinweg (Kaaya & Hassan 2000). Fernandes et al. (2011) weist ebenfalls auf das hohe Potential einzelner Isolate von *Beauveria* spp. zur Zeckenkontrolle von *Rhipicephalus microplus* im Freiland hin. Nach Hedimbi & Kaaya (2011) zeigt *M. anisolpliae* die höchste Virulenz gegenüber verschiedenen Zeckenarten in den unterschiedlichen Stadien, wobei die in Öl gelöste Formulierung höhere Mortalitäten verursachte als die in Wasser gelösten Konidien. Demzufolge beisitzt *M.*

anisopliae ein hohes Potential als Mykopestizid in der Zeckenbekämpfung eingesetzt zu werden (Fernandes et al. 2012, Hedimbi & Kaaya 2011). Die Arbeit von Stafford & Allan (2010) untermauert ebenso diese Ansicht. Nach der Ausbringung von *M. anisopliae* als Biopestizid berichten sie von bis zu 84,6% signifikant weniger Zecken (*Ixodes scapularis*) im Freilandversuch.

Obwohl viele Bioherbizidprodukte für die Agrarwirtschaft konzipiert wurden, ist die Verwendung auch in anderen Einsatzgebieten, wo synergetische Herbizide nicht eingesetzt werden können - wie beispielsweise auf Erholungsflächen, in Gärten oder im Wald - möglich Butt et al. 2001). Warum sind nun aber insektenpathogene Pilze für die Forstwirtschaft konkret von Interesse? Weil die Verwendung entomopathogener Mikroorganismen als attraktive Option in der biologischen Borkenkäferbekämpfung gesehen werden kann. Die Effektivität der Maßnahmen hängt dabei stark von Umweltfaktoren und der Anfälligkeit des Wirtes ab (Popa et al. 2012). Die Applikation von Insektiziden gegen Borkenkäfer braucht ein genaues Zeitmanagement und kann in vielen Fällen, wie beispielsweis in Grundwasserschutzgebieten, nicht eingesetzt werden (Wegensteiner et al. 2010). Es existieren bereits einige Beispiele wo entomopathogene Pilze im Forst eingesetzt wurden. In den späten 1980er Jahren wurden Konidien von *B. bassiana* gegen *Dendrolimus* spp. in Chinas Wäldern erfolgreich verwendet. Die Formulierung erfolgte als Öl-Emulsion und wurde per Flugzeug über einen Zeitraum von fünf Jahren auf einer Fläche von 300.000 ha Wald ausgebracht. Der Einsatz des entomopathogenen Pilzes erwies sich als effektive und preisgünstige Managementmethode (Butt et al. 2001). Zhang et al. (2011) testeten in China zwölf verschiedene Isolate von *Beauveria bassiana* für den Einsatz gegen *Dendroctonus valens*, der in den chinesischen Wäldern hohen wirtschaftlichen Schaden verursacht. Es zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den getesteten Isolaten bezüglich Keimung, Wachstum, produzierte Konidienmenge und UV-Licht Empfindlichkeit (Zhang et al. 2011).

Borkenkäferkalamitäten und damit verbundene Holzverluste sind ein großes Problem in Nadelholzbeständen, welches im Zuge des globalen Klimawandels wahrscheinlich noch weiter an Gewicht gewinnen wird. Für Wermelinger (2004) stellen Exposition und Alter sowie Nährstoff- und Wasserversorgung des Baumes wichtige Risikofaktoren für einen Befall mit *Ips typographus* dar. Die Käferdichte, die Abwehrfähigkeit des potentiellen Wirtbaumes und Wetterereignisse gehören zu den wichtigen Einflussparametern für einen Befall (Wermelinger 2004). Krams et al. (2012) erörtert in seiner Arbeit den Einfluss von

zunehmenden Trockenheitsereignissen bei Borkenkäferkalamitäten, die die Invasion von *Pinus sylvestris* begünstigt. Auf physiologisch geschwächten Bäumen können Käfer mehr Energie in den Aufbau ihres Immunsystems investieren als Individuen auf weniger geschwächten Bäumen. Die Studie zeigt auch, dass die *Tomicus piniperda* - Population in der Nähe eines Sees anfälliger für *Beauveria bassiana* - Infektionen gewesen ist als die Käferpopulation, die sich fernab des Gewässers entwickelte. Krams et al. (2012) begründet das mit den besseren Umweltbedingungen (Mikroklima) für die Bäume (niedrigere Temperaturen, weniger Wasserstress), die dadurch physiologisch in einem besseren Zustand waren als die Kiefern fernab des Sees, welche sich anfälliger zeigten. Allerdings wird von Krams et al. (2012) auf die Möglichkeit, dass auch der Pilz vom kühleren und feuchteren Mikroklima profitiert haben könnte, nicht näher eingegangen. Auf der anderen Seite profitieren manche Gebiete auch durch die globale Erwärmung. So muss mit zunehmender Trockenheit durch globale Klimaänderungen mit einer Abnahme von Durchmesserzuwächsen bei *Pinus sylvestris* und *Pinus nigra* in niedrigen Seehöhen gerechnet werden, während Bäume in höheren Lagen mit einem Ansteigen der Durchmesserzuwächse reagieren können (Herrero et al. 2013). Es sei hier nur am Rande erwähnt, dass *Pinus sylvestris* beziehungsweise *Pinus nigra* bekannt für ihre Trockenheitstoleranz sind und im Osten und Süden Mitteleuropas die natürliche Trockenheitsgrenze des Waldes bilden (Ellenberg & Leuschner 2010).

Koniferen haben mit der Ausbildung von Harz ein erfolgreiches Verteidigungssystem etablieren können. Viel Harzfluss kann das Voranschreiten der Borkenkäfer verzögern, während die induzierte Abwehr aktiviert wird und die Wahrscheinlichkeit, dass Käfer Aggregationspheromone bilden und eine Massenbesiedelung von statten geht, sinkt (Raffa et al. 2013). Manche Abwehrstrategien sind jedoch artspezifisch und unterscheiden sich im Detail. So sind *Pinus*-Arten bekannt dafür, dass sie viel Primärharz produzieren während *Abies*-Arten vor allem Sekundärharz ausbilden (Phillips & Croteau 1999). Auch die Seehöhe beeinflusst die Abwehrstrategie innerhalb einer Art. An große Seehöhe angepasste *Pinus*-Arten investierten nach Raffa et al. (2013) weniger Energie in ihr Verteidigungssystem gegen Borkenkäfer weil sie evolutionär mehr auf physiologische Optimierungsprozesse wie Kältetoleranzen selektioniert worden sind. Diese Theorie wird durch eine langsamere Bildung von Abwehrkomponenten sowie eine geringere Gesamtmenge von induzierten Monoterpenen bei in kalten Habitaten lebenden Pinus-Arten nach simulierten Attacken unterstrichen (Raffa et al. 2013). Mit steigenden Temperaturen können Borkenkäfer auch neue Habitate erschließen, die zum Teil nicht auf Borkenkäferattacken „eingestellt“ sind und auch weniger

Monoterpene produzieren. Beispielsweise hat Limonen unter den Terpenen die stärkste negative Wirkung auf Borkenkäfer und ihre symbiontischen Bläuepilze (Raffa et al. 2013). Diese hemmende Funktion würde nun in höher gelegenen Gebieten geringer sein. Auf der anderen Seite stimulieren hohe Konzentrationen von (-)-α-Pinen und Myrcen die Produktion von *trans*-verbenol beziehungsweise *exo*-breviocomin, die Pionierkäfer anlocken (Raffa et al. 2013). Nach Phillips & Croteau (1999) existieren zahlreiche Optionen das auf Harz basierende Verteidigungssystem der Koniferen mit Hilfe der Biotechnologie an zukünftige Herausforderungen anzupassen. Die Autoren meinen damit das Erhöhen von bestimmten toxischer Komponenten gegenüber Herbivoren, das Erhöhen von Attraktionsstoffen für Prädatoren oder das Züchten von gegen Borkenkäfer resistenten Baumbiotypen (Phillips & Croteau 1999).

Ein weiterer wichtiger Punkt im Borkenkäfermanagement ist die Berücksichtigung der Vernetzung zu symbiontischen Partnern. Viele Borkenkäfer leben in äußerst komplexer symbiotischer Beziehung mit Pilzen und Bakterien, welche vermutlich auch die Abwehrmechanismen der Insekten gegenüber Krankheiten beeinflussen (Popa et al. 2012). So weisen Davis et al. (2011) auf Interaktionen zwischen von Borkenkäfern transportierten Hefestrukturen und anderen Mikroorganismen hin. Die Hefe *Ogataea pini* wurde von den Mycetangien von *Dendroctonus* isoliert und zeigte, dass sie das Wachstum von *B. bassiana* hemmte (Davis et al. 2011). Die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Faktoren scheinen zahlreich und komplex zu sein.
Da manches Pflanzengewebe wenige Nährstoffe besitzt und vor allem der Stickstoff- und Phosphorgehalt niedrig ist, benötigen Borkenkäfer symbiontische Partner zur Deckung ihres Energiegehalts aufgrund ihrer limitierten Stoffwechselmöglichkeiten (Ayres et al. 2000, Gibson & Hunter 2010). Die Chemie des Baumes beeinflusst die symbiontischen Pilze der Borkenkäfer (Popa et al. 2012). So kann das Pilzwachstum zum Beispiel durch Terpene gehemmt werden (Kopper et al. 2005). Auch Hofstetter & Davis (2012) zeigten, dass das Wachstum von *Dendroctonus* symbiontischen Pilzen direkt von der Pflanzenchemie des Wirtes abhängt. Die Autoren bestätigen die Hypothese, dass Variationen in der Zusammensetzung von Monoterpenen das Wachstum von symbiontischen Pilzen und damit die Nährstoffversorgung der Borkenkäfer beeinflussen. Dabei scheinen Monoterpene eine stärkere direkte Wirkung gegen die Käfer zu besitzen, während Diterpene vor allem auf den smybiontischen Pilz *Ophistoma ips* bei Wachstum und Keimung hemmend wirken (Kopper et al. 2005). Die Ergebnisse von Kopper et al. (2005) untermauern die Ansicht, dass das

Verteidigungssystem der Bäume gegen die Borkenkäfer-Pilz-Partnerschaft äußerst komplex und vielschichtig ist und von der biochemischen Zusammensetzung des Harzes entscheidend beeinflusst wird.

So hängt zum Beispiel die Virulenz des mit *Ips typographus* assoziierten Bläuepilzes *Ceratocystis polonica* stark von dessen Fähigkeit ab antifungielle Phenolkomponenten, die im Harz zur Verteidigung gebildet werden, umzuwandeln und als Kohlenstoffquelle zu nützen (Hammerbacher et al. 2013). Laut Popa et al. (2012) könnte über die genetische Manipulation der symbiontischen Borkenkäfer-Pilze eine potentielle Unterbrechung der Nährstoffversorgung und so der Insektenentwicklung erfolgen. Die Veränderung des symbiotischen Komplexes Pilz, Bakterien und Wirtinsekt sowie die genetische Manipulation von Borkenkäfersymbionten, welche die Nährstoffversorgung sowie das Verteidigungssystem der Borkenkäfer entscheidend beeinflussen, sind nach Popa et al. (2012) zwei Schlüsselkriterien in der Borkenkäferbekämpfung. Biotechnologische Möglichkeiten der genetischen Manipulation von Insekten finden in der Bekämpfung von Krankheitsvektoren für den Menschen zum Teil bereits Anwendung und könnten ebenfalls für den Forstbereich angedacht werden, wobei aber auch die ethische Frage der genetischen Manipulation eines symbiontischen Insekt-Pilz-Komplexes bedacht werden muss (Popa et al. 2012).

Man kann zusammenfassen, dass im Freiland zahlreiche biotische und abiotische Faktoren existieren, die sowohl die Keimung als auch das Wachstum entomopathogener Pilze beeinflussen können, wobei auch stets tritrophische Interaktionen von Pathogen, Insekt und Wirtspflanze Berücksichtigung finden sollten (Cory & Ericsson 2010).

Obwohl Laborversuche mit entomopathogenen Pilzen oft eine hohe Mortalität der verschiedenen Borkenkäferarten zur Folge haben, werden solche Ergebnisse im Freiland seltener erzielt (Popa et al. 2012). So zeigt Kreutz et al. (2004) die hohe Effektivität von *Beauveria bassiana* gegen *Ips typographus* im Laborversuch, wo Mortalitätsraten von bis zu 100% erreicht wurden. Aufgrund ihrer versteckten Lebensweise unter der Rinde ist die Bekämpfung von Borkenkäfer im Freiland schwierig, da das Zeitfenster für eine Ausbringung von entomopathogenen Pilzen kurz ist (Popa et al. 2012). Die Käfer sind nur während der Flugzeit beziehungsweise bei Überwinterung im Boden für eine wirkungsvolle Anwendung verfügbar, weil sie sonst in ihren Brutsystemen kaum erreichbar sind (Popa et al. 2012). Die Anwendung der Autodisseminationsmethode ist für den Forst besonders interessant. Dabei sollte auf die Ausbreitung durch Vektoren Bedacht genommen werden. So verschleppen vermutlich Prädatoren und Parasitoide Konidien weiter (Vega & Blackwell 2005). Auch

Springschwänze und Milben kommen als Vektoren von entomopathogenen Pilze in Frage und können so der Grund sein, weshalb Pilzsporen vom Waldboden in die Brutsysteme der Borkenkäfer gelangen (Samsinakova & Samsinak 1970, Dromph 2003). Nach Dromph (2003) bestimmt die Körpergröße und nicht physiologische noch morphologische Unterschiede der verschiedenen Springschwanzarten die transportierte Sporenmenge von beispielsweise *Beauveria bassiana* und *Metarhizium anisopliae*. Des Weiteren sind auch Pflanzenläuse und dessen Räuber an der Verbreitung der entomopathogenen Pilzen vom Boden auf Blättern beteiligt (Meyling et al. 2006).

Generell kann die horizontale Übertragung (Autodissemination) zwischen Individuen derselben Art durch direkten Kontakt von infizierten und nicht infizierten Individuen oder indirekt über Kondienaufnahme durch ein Substrat erfolgen (Baverstock et al. 2012). Dabei ist allerdings die direkte Kontamination laut Baverstock et al. (2012) effizienter als die indirekte Übertragung. Es wurden schon einige solche Selbstausbreitungsversuche erprobt. So entwickelte zum Beispiele Lyons et al. (2012) ein Autodisseminations- Fallen- System mit *B. bassiana* gegen smaragdgrünen Eschenbohrer (*Agrilus planipennis*). Eine aktiv wachsende und Konidien bildende Pilzkultur erlaubte dabei eine lange Überlebensfähigkeit des Pilzes im System, wobei auf UV- und Regenschutz der Konidien besonders geachtet wurde. Die Autoren weisen auf eine einmalige Ausbringung der mit Konidien gefüllten Beutel hin, da die Pilzkolonien weiter wachsen und kontinuierlich Konidien bilden. Lyons et al. (2012) zeigte, dass ein Erwerben der Pathogene durch Fallen möglich ist und weiterverbreitet werden kann. 6,5 % der widergefangenen Käfer waren mit *B. bassina* bewachsen. Die niedrige Anzahl der kontaminierten Käfer begründen die Autoren mit der niedrigen Konidienproduktionsmenge des verwendeten Isolats (Lyons et al. 2012).

Die Methode der Autodissemination wird unter anderem auch bei der Bekämpfung von Malaria diskutiert. Dabei stellte sich heraus, dass ein horizontaler Übertragung von *Metarhizium anisopliae* während der Paarungszeit der Mosquitos möglich ist. Aufgrund der niedrigen Infektionsraten in der Studie, glauben die Autoren, dass eine erfolgreiche Anwendung überwiegend durch direkte Kontamination der Mosquitos von mit Konidien versetzten Flächen wie Wände und Decken stattfinden müsste (Scholte et al. 2004). Nach den Laborversuchen müssen nun Freilandversuche als nächster Schritt für eine mögliche Anwendung durchgeführt werden (Scholte et al. 2004).

Um dem Ziel der Autodissemination von insektenpathogenen Pilzen im Freiland näher zu kommen, ist es wichtig hoch virulente Pilzstämme zu isolieren und ihre Wirkung im Labor unter verschiedenen Bedingungen zu testen (Kreutz et al. 2004). Weitere Studien sollten sich

der Verbesserung der Autodisseminationsmethode sowie verbesserter Formulierungsmethoden widmen, um den Einsatz und die Effektivität von entomopathogenen Pilzen voranzutreiben. Laut Popa et al. (2012) ist das Ziel bei der Verwendung von entomopathogenen Pilzen nicht die gesamte Ausrottung einer Schädlingspopulation sondern die Reduzierung auf eine ökonomisch akzeptierbare Dichte.

Bei jedem Einsatz ist dabei stets zu bedenken, dass die ökologische Beziehung zwischen Koniferen, Borkenkäfer und Borkenkäferantagonisten äußerst komplex und vielschichtig ist (Phillips & Croteau 1999). Pathogene sind auch in der Lage, unterschiedliches Verhalten bei Borkenkäferpopulationen zu verursachen. Wegensteiner et al. (2010) beschreiben in ihrer Arbeit, dass *G. typographi* infizierte Käfer häufiger in Pheromonfallen aufzufinden waren als *C. typographi* infizierte Individuen, die Pheromonfallen gemieden haben. Dies begründen Wegensteiner et al. (2010) einerseits mit der Auswirkung der Pathogenen auf das Flugvermögen und andererseits mit dem veränderten Verhalten gegenüber Aggregationspheromonen. Auch solche Aspekte müssen bei Anwendungen Berücksichtigung finden. Der Versuch von Vaupel & Zimmermann (1996) zeigte, dass die Kombination von Pheromonfallen mit *B. bassiana* die Anzahl der einbohrenden *Ips typographus* Individuen um 15% beziehungsweise um 60% bei der F1- Generation reduzierte.

Trotz der hohen Komplexität der Materie und den verschiedensten Wechselwirkungen untereinander, bieten entomopathogene Pilze, welche ein enges Wirtsspektrum besitzen und dabei hoch virulent gegen die gewünschten Zielorganismen sind, interessante Möglichkeiten in der Schädlingsbekämpfung (Popa et al. 2012). Biologische Bekämpfungsmethoden haben den Vorteil, dass sie im Gegensatz zu chemischen Insektiziden ein engeres Wirkungsspektrum haben und so umweltfreundlicher sind. Gleichzeitig ist die Wirkungsstärke zumindest teilweise vergleichbar mit der von synthetischen Produkten. So berichten Jakus & Blazenec (2011) von ähnlichen *Ips typographus* - Mortalitätsraten bei einem getesteten Insektizid (Pyretroid Fury 10 EW) und *B. bassiana*. Auf der anderen Seite zeigten Steinwender et al. (2010) in einem Experiment, dass ein von *Ips typographus* isolierter *B. bassiana* Stamm, zu keiner nennenswerten Mortalität beim wichtigen Borkenkäferprädator *Thanasimus formicarius* führte. Dies unterstreicht wiederum die bessere Umweltverträglichkeit.

Da manche entomopathogene Pilze zum Teil auch als Endophyten in Pflanzen auftreten, erlauben jene gänzlich neue Einsätze für Bekämpfungsstrategien. So hat Brownbridge et al. (2012) die Persistenz von *B. bassiana* als Endophyt in *Pinus radiata* im Einsatz gegen den Borkenkäfer *Hylaster ater*, dem in *Pinus radiata* Plantagen eine hohe ökonomische

Bedeutung beikommt, untersucht. Dabei wurden Samen beziehungsweise die Sämlingswurzeln mit dem Pilz behandelt. Es zeigte sich eine abnehmende Persistenz von *B. bassiana* über neun Monate hinweg (Brownbridge et al. 2012). Das bewusste „Einschleusen" von entomopathogenen Pilzen als Endophyten bieten den Vorteil, dass sie erst bei tatsächlichen Insektenangriffen ihre Wirkung entfalten. Auf der anderen Seite sind viele Wechselwirkungen in diesem Gebiet noch zu wenig erforscht. Beispielsweise produzieren insektenpathogene Pilze sekundäre Metabolite, die zum Teil antibiotische Eigenschaften besitzen und auch die Pathogenität beeinflussen können (Strasser et al. 2000). Ob diese Metabolite Auswirkungen auf Pflanzen haben, ist noch nicht genau geklärt. Strasser et al. (2000) untersuchte das Metabolit Oosporein, welches keine toxische Wirkung auf Pflanzen zu besitzen scheint beziehungsweise von Pflanzen schnell entgiftet werden kann. Außerdem sei eine Reduktion von Oosporein in der Produktion von insektenpathogenen Pilzen ebenfalls denkbar (Strasser et al. 2000).

Neben dem Aufzählen der unterschiedlichen Einsatzoptionen, sollen aber auch etwaige Risiken von entomopathogenen Pilze angesprochen werden.
Nach Dubovskiy et al. (2013b) besteht die Gefahr von Resistenzentwicklung bei Insekten gegenüber entomopathogenen Pilzen. *Galleria mellonella* reagierte in der 25. Generation mit leicht veränderten Abwehrmechanismen gegenüber *B. bassiana*; es zeigten sich dabei aber keine Kreuzresistenzen zu *M. anisopliae* (Dubovskiy et al. 2013b). Außerdem weisen manche Arten beziehungsweise Unterarten eine geringere Anfälligkeit gegenüber den Pathogenen auf. So besitzen etwa dunkel gefärbte Individuen von *Galleria mellonella*, die einer geografischen Rasse entsprechen, eine erhöhte Resistenz gegenüber *B. bassiana* durch Ausbildung unterschiedlicher, physiologsicher Merkmale wie beispielsweise einer dickeren Kutikula, einer höheren Anzahl zirkulierender Hämozyten und eine erhöhte Fähigkeit zur Abkapselung von Pilzpartikeln (Dubovskiy et al. 2013a). Die Investition in erhöhte Abwehrleistung gegen Pilzinfektionen führt auf der anderen Seite jedoch zu niedrigeren Körpergewichten und –längen sowie zu einer reduzierten Fruchtbarkeit im Vergleich zu nicht dunkel gefärbten Individuen (Dubovskiy et al. 2013a).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass entomopathogene Pilze viele Optionen für unterschiedliche Managementmaßnahmen bereitstellen. Um die Möglichkeit für den Einsatz in der biologischen Bekämpfung von verschiedenen land- und forstwirtschaftlichen

Schadinsekten abzuklären, ist in jedem Falle das Wissen über wirkende Keimungs- und Wachstumsfaktoren essentiell.

Im Zuge dieser Arbeit zeigte sich, dass viele baumbürtige Substanzen eine vorübergehende Beeinflussung des Keimungs- und Wachstumsverhalten von *B. bassiana*, *M. anisopliae* und *I. fumosorosea* verursachen. Dabei stellte sich *I. fumosorosea* als relativ unempfindlichste der getesteten Arten heraus und wäre demnach für einen Einsatz im Forst zu präferieren. *B. bassiana* und *M. anisopliae* reagierten zwar generell etwas sensitiver, jedoch war auch hier die hemmende Wirkung der getesteten Substanzen reversibel, was eine Anwendung im Wald nicht gänzlich ausschließen lässt. Bei Einhaltung von entsprechenden räumlichen und/oder zeitlichen Abständen von Harz beziehungsweise Terpene und entomopathogenen Pilzen,
muss mit keiner verminderten Wirkung der Pilze gerechnet werden. Um die Effizienz einer solchen Anwendung zu erhöhen, sollten weitere Wechselwirkungen aber dennoch geklärt werden.

Der Einsatz von entomopathogenen Pilzen sollte stets im Kontext zu anderen integrativen Pflanzenschutzmaßnamen stehen, die gemeinsam eine definierte Gesamtstrategie verfolgen (Pell et al. 2010). Demnach kann die Anwendung von insektenpathogenen Pilzen auch bei der Borkenkäferbekämpfungsthematik nur eine von vielen Maßnahmen sein, die gesetzt werden können. Die Einhaltung einer „sauberen Waldwirtschaft“, welche auf dem Grundsatz des Habitatentzuges baut, ist in entsprechend gefährdeten Gebieten konsequent durchzuführen um Borkenkäferpopulationen nicht ansteigen zu lassen. Der Einsatz von entomopathogenen Pilzen mittels Autodissemination könnte eventuell helfen, gewünschte Borkenkäferdichten zu stabilisieren.

5 Literaturverzeichnis

Aichele D. & Schwegler H.W. 2000. Die Blütenpflanzen Mitteleuropas. Band 2. Franckh-Kosmos Verlag, 2. Aufl., Stuttgart, S. 52.

Altenkirch W., Majunke C. & Ohnesorge B. 2002. Waldschutz auf ökologischer Grundlage. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, S. 42- 83.

Araujo Jr. J. M., Marques E. J. & Oliveira J. V. 2009. Potential of *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* isolates and neem oil to control the aphid *Lipaphis erysimi* (Kalt.) (Hemiptera: Aphididae). Neotropical Entomology 38: 520- 525.

Atkinson R. & Arey J. 2003. Gas-phase tropospheric chemistry of biogenic volatile organic compounds: a review. Atmospheric Environment 2: 197- 219.

Ayres M.P., Wilkens R.T., Ruel J.J., Lombardero M.J. & Vallery E. 2000. Nitrogen budgets of phloem-feeding bark beetles with and without symbiotic fungi. Ecology 81: 2198-2210.

Baverstock J., Roy H. E. & Pell J. K. 2012. Entomopathogenic fungi and insect behaviour: from unsuspecting hosts to targeted vectors. BioControl 55: 89- 102.

Böge O., Mutzel A., Linuma Y., Yli-Pirilä P., Kahnt A., Joutsensaari J. & Herrmann H. 2013. Gas-phase products and secondary organic aerosol formation from the ozonolysis and photooxidation of myrcene. Atmospheric Environment 79: 553- 560.

Brownbridge M., Reay S. D., Nelson T. L. & Glare T. R. 2012. Persistence of *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) as an endophyte following inoculation of radiate pine seed and seedlings. Biological Control 61: 194- 200.

Bruck D. J. 2009. Impact of fungicides on *Metarhizium anisopliae* in the rhizosphere, bulk soil and in vitro. BioControl 54: 597- 606.

Butt T.M., Jackson C.W. & Magan N. 2001. Fungi as biocontrol agents: progress, problems and potential. CAB International, Cambridge, S. 23-70.

Cano-Ramirez C., Armendariz-Toledano F., Macias-Samano J. E., Sullivan B. T. & Zuniga G. 2012. Electrophysiological and behavioral responses of the bark beetle *Dendroctonus rhizophagus* to volatiles from host pines and conspecifics. J. Chem. Ecol 38: 512- 524.

Castella G., Chapuisat M. & Christe P. 2008. Prophylaxis with resin in wood ants. Animal Behaviour 75: 1591- 1596.

Chapusiat M., Oppliger A, Magliano P. & Christe P. 2007. Wood ants use resin to protect themselves against pathogens. Proceedings of the Royal Society B. 274: 2013- 2017.

Cory J.S. & Ericsson J.D. 2010. Fungal entomopathogens in a tritrophic context. BioControl 55: 75-88.

Cowan M. M. 1999. Plant products as antimicrobial agents. Clinical Microbiology Reviews 12: 564- 582.

Davis T. S., Hofstetter R. W., Foster J. T., Foote N. E., Keim P. 2011. Interactions between the yeast *Ogataea pini* and filamentous fungi associated with the western pine beetle. Microb Ecol 61: 626- 634.

Dromph K. M. 2003. Collembolans as vectors of entomopathogenic fungi. Pedobiologia 47: 245- 256.

Dubovskiy I. M., Whitten M. M. A., Kryukov V. Y., Yaroslavtseva O. N., Grizanova E.V., Greig C., Mukherjee K., Vilcinskas A., Mitkovets P. V., Glupov V. V. & Butt T. M. 2013a. More than a colour change: insect melanism, disease resistance and fecundity. Proceedings of the Royal Society Biologocal Sciences 280: 20130584.

Dubovskiy I. M., Whitten M. M. A., Yaroslavtseva O. N., Greig C., Kryukov V. Y., Grizanova E. V., Mukherjee K., Vilcinskas A., Glupov V. V. & Butt T. M. 2013b. Can insects develop resistance to insect pathogenic fungi? PLOS ONE 8: e60248.

Ellenberg H. & Leuschner C. 2010. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Eugen Ulmer Verlag, 6. Aufl., Stuttgart, S. 87- 88.

Eller A. S. D., Harley P. & Monson R. K. 2013. Potential contribution of exposed resin to ecosystem emissions of monoterpenes. Atmospheric Environment 77: 440- 444.

Fernandes E. K. K., Angelo I. C., Rangel D. E. N., Bahiense T. C., Moraes A. M. L., Roberts D. W. & Bittencourt V. R. E. P. 2011. An intensive search for promising fungal biological control agents of ticks, particularly *Rhipicepahlus microplus*. Veterinary Parasitology 182: 307- 318.

Fernandes E. K. K., Bittencourt V. R. E. P. & Roberts D. W. 2012. Perspectives on the potential of entomopathogenic fungi in biological control of ticks. Experimental Parasitology 130: 300- 305.

Führer E. 1980. Zur Verwendbarkeit von Fungiziden als experimentaltechnische Hilfsmittel bei Untersuchungen an Borkenkäfern. Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 52: 36- 40.

Geron C., Rasmussen R., Arnts R. R. & Guenther A. 2000. A review and synthesis of monoterpene speciation from forests in the United States. Atmospheric Environment 34: 1761- 1781.

Gibson C.M. & Hunter M.S. 2010. Extraordinarily widespread and fantastically complex: comparative biology and endosymbiotic bacterial and fungal mutualists of insects. Ecol Lett 13: 223- 234.

Greiner E. 1988. Pecherei, Pech und Piesting. Eine lokalhistorische Dokumentation über die Schwarzföhre, das Pech, die Pecherei und das Harzwerk sowie über die Frühgeschichte von Markt Piesting und Umgebung. Raiffeisenbank Piesting und Gemeinde Markt Piesting, S. 23- 25.

Guo P., Guo K., Ren Y., Shi Y., Chang J., Tani A. & Ge Y. 2013. Biogenic volatile organic compound emissions in relation to plant carbon fixation in a subtropical urban-rural complex. Landscape and Urban Planning 119: 74- 84.

Hammerbacher A., Schmidt A., Wadke N., Wright L. P., Schneider B., Bohlmann J., Brand W. A., Fenning T. M., Gershenzon J. & Paetz C. 2013. A common fungal associate of the spruce bark beetle metabolizes the stilbene defenses of norway spruce. Plant Physiology 162: 1324- 1336.

Hedimbi M. & Kaaya G. 2011. Pathogenicity of entomopathogenic fungi to ticks. An analysis. Lambert Academic Publishing, S. 27- 58.

Hedimbi M., Kaaya G. P., Singh S., Chimwamurombe P.M., Gindin G., Glazer I. & Samish M. 2008. Protection of *Metarhizium anisopliae* conidia from ultra-violet radiation on their pathogenicity to *Rhipicephalus evertsi evertsi* ticks. Exp Appl Acarol 46: 149- 156.

Hernandez M. M., Martinez-Villar E., Peace C., Perez-Moreno I. & Marco V. 2012. Compatibility of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* with the flufenoxuron and azadirachtin against *Tetranychus urticae*. Exp Appl Acarol 58: 395- 405.

Herrero A., Rigling A. & Zamora R. 2013. Varying climate sensitivity at the dry distribution edge of *Pinus sylvestris* and *P. nigra*. Forest Ecology and Management 308: 50- 61.

Hofstetter R.W. & Davis T. S. 2012. Plant secondary chemistry mediates the performance of nutritional symbiont associated with a tree-killing herbivore. Ecology 93: 421- 429.

Holopainen J. K. 2011. Can forest trees compensate for stress-generated growth losses by induced production of volatile compounds? Tree Physiology 31: 1356- 1377.

Humber R.A. 2013. How changed nomenclatural rules affect fungal entomopathogens. Fungi Division Newsletter, Second Issue, Society for invertebrate pathology, S.5.

Jackson M. A., Dunlap C. A. & Jaronski S. T. 2010. Ecological considerations in producing and formulating fungal entomopathogens for use in insect biocontrol. BioControl 55: 129- 145.

Jakus R. & Blazenec M. 2011. Treatmen of bark beetle attacked trees with entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin. Folia Forestalia Polonica, Series A 53: 150- 155.

James R. R. 2003. Combining Azadirachtin and *Paecilomyces fumosoroseus* (Deuteromycotina: Hyphomycetes) to control *Bemisia argentifolii* (Homoptera: Aleyrodidae). Journal of Economic Entomology 96: 25- 30.

Jaronski S.T. 2010. Ecological factors in the inundative use of fungal entomopathogens. BioControl 55: 159- 185.

Kaaya G. & Hassan S. 2000. Entomogenous fungi as promising biopesticides for tick control. Experimental and Applied Acarology 24: 913- 926.

Kopper B.J., Illmann B.L., Kersten P. J., Klepzig K. D. & Raffa K.F. 2005. Effects of diterpene acids on components of conifer bark beetle-fungal interaction: tolerance by *Ips pini* and sensitivity by its associate *Ophistoma ips*. Environ Entomol 34: 486- 493.

Kouassi M., Coderre D. & Todorova S. I. 2003. Effects of the timing of applications on the incompatibility of three fungicides and one isolate of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin (Deuteromycotina). J. Appl. Ent. 127: 421- 426.

Krams I., Daukste J., Kivleniece I., Brumelis G., Cibulskis R., Abolins- Abols M., Rantala M. J., Mierauskas P., Krama T. 2012. Drought-induced positive feedback in xylophagous insects: Easier invasion of Scots pine leading to greater investment in immunity of emerging individuals. Forest Ecology and Management 270: 147- 152.

Kreutz J., Vaupel O. & Zimmermann G. 2004. Efficacy of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. against the spruce bark beetle, *Ips typographus* L., in the laboratory under various conditions. J Appl Entomol 128: 384- 389.

Kull U. 2000. Grundriss der allgmeinen Botanik. Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, S. 322- 324.

Lenoir L., Bengtsson J. & Persson T. 1999. Effects of coniferous resin on fungal biomass and mineralisation in wood ant nest materials. Bio Fertil Soils 30: 251- 257.

Lyons D. B., Lavallee R., Kyei-Poku G., Frankenhuyzen K., Johny S., Guertin C., Francese J. A., Jones G. C. & Blais M. 2012. Towards the development of an autocontamination trap system to manage populations of emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae) with the native entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. Journal of Economic Entomology 105: 1929- 1939.

Meyling N. V., Pell J. K. & Eilenberg J. 2006. Dispersal of *Beauveria bassiana* by the activity of nettle insects. Journal of Invertebrate Pathology 93: 121- 126.

Mohan M. C., Reddy N. P., Devi U. K., Kongara R. & Sharma H. C. 2007. Growth and insect assays of *Beauveria bassiana* with neem to test their compatibility and synergism. Biocontrol Science and Technology 17: 1059- 1069.

Padmavathi J., Devi K. U. & Rao C. U. M. 2003. The optimum and tolerance pH range is correlated to colonial morphology in isolates of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*- a potential biopesticide. World Journal of Microbiology & Biotechnology 19: 469- 477.

Pell J. K., Hannam J.J. & Steinkraus D. C. 2010. Conservation biological control using fungal entomopathogens. BioControl 55: 187- 198.

Phillips M. A. & Croteau R. B.1999. Resin-based defenses in conifers. Trends in plant science reviews 5: 1360- 1385.

Piepenbring M. 2012. Fadenwesen in vielfältigen Nischen: Tropische Pilze. Biologie in Unserer Zeit 5: 294- 301.

Pilz C., Enkerli J., Wegensteiner R. & Keller S. 2011. Establishment and persistence of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* in maiz fields. Journal of Applied Entomology 135: 393- 403.

Pilz C., Wegensteiner R. & Keller S. 2008. Natural occurence of insect pathogenic fungi and insect parasitic nematodes in *Diabrotica virgifera virgifera* populations. BioControl 53: 353- 359.

Popa V., Déziel E., Lavallée R., Bauce E. & Guertin C. 2012. The complex symbiotic relationship of bark beetles with microorganisms: a potential practical approach for biological control in forestry. Pest Manag Sci 68: 963- 975.

Raffa K. F., Powell E. N. & Townsend P. A. 2013. Temperature-driven range expansion of an irruptive insect heightened by weakly coevolved plant defenses. PNAS 110. 2193- 2198.

Räisänen T., Ryyppö A. & Kellomäki S. 2009. Monoterpene emission of a boreal scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest. Agricultural and Forest Meteorology 149: 808- 819.

Rashid M., Baghdadi A., Sheikhi A., Pourian H.-R. & Gazavi M. 2010. Compatibility of *Metharizium anisopliae* (Ascomycota: Hypocreales) with several insecticides. Journal of Plant Protection Research 50: 22- 27.

Reber A. & Chapuisat M. 2012. Diversity, prevalence and virulence of fungal entomopathogens in colonies of the ant *Formica selysi*. Insectes Sociaux 59: 231- 239.

Rodd T. & Stackhouse J. 2008. Wissen neu erleben: Bäume. BLV Verlag, München, S. 76-79, 248- 252.

Roy H. E., Brodie E. L., Chandler D., Goettel M. S., Pell J. K., Wajnberg E. & Vega F. E. 2010. Deep space and hidden depths: understanding the evolution and ecology of fungal entomopathogens. BioControl 55: 1-6.

Sahab A. F. & Sabbour M. M. 2011. Virulence of four entomopathogenic fungi on some cotton pests with special reference to impact of some pesticides, nutritional and environmental factors on fungal growth. Egyptian Journal of Biological Pest Control 21: 61- 67.

Samsinakova A. & Samsinak K. 1970. Mites as vector oft the fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. Zeitschrift für Parasitenkunde 34: 351- 355.

Schmutterer H. & Huber J. 2005. Natürliche Schädlingsbekämpfungsmittel. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, S. 87-107.

Scholte E. J., Knols B. J. & Takken W. 2004. Autodissemination of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisolpliae* amongst adults of the malaria vector *Anopheles gambiae* s.s. Malaria Journal 3: 45.

Shahid A. A., Rao A. Q., Bakhsh A. & Husnain T. 2012. Entomopathogenic fungi as biological controllers: new insights into their virulence and pathogenicity. Arch. Biol. Sci. 64: 21- 42.

Shapiro-Ilan D. I., Cottrell T. E., Jackson M. A. & Wood B. W. 2013. Control of key pecan insect pests using biorational pesticides. Journal of Economic Entomology 106: 257-266.

Solheim H. 1991. Oxygen deficiency and spruce resin inhibition of growth of blue stain fungi associated with *Ips typographus*. Mycol. Res. 95: 1387- 1392.

Stafford K. C. & Allan S. A. 2010. Field applications of entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* F52 (Hypocreales: Clavicipitaceae) for the control of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae). Journal of Medical Entomology 47: 1107- 1115.

Steinwender B.M., Krenn H. W. & Wegensteiner R. 2010. Different effects of the insectpathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Deuteromycota) on the bark *beetles Ips sexdendatus* (Coleoptera: Curculionidae) and on its predator *Thanasimus formicarius* (Coleoptera: Cleridae). Journal of Plant Diseases and Protection 117: 33- 38.

Stinglwagner G. K. F., Haseder I. E. & Erlbeck R. 2005. Das Kosmos Wald und Forstlexikon. 3.Aufl., Franckh- Kosmos Verlag, Stuttgart, S. 386-388, 493, 839, 893.

Strasser H., Abendstein D., Stuppner H. & Butt T. M. 2000. Monitoring the distribution of secondary metabolites produced by the entomogenous fungus *Beauveria brongniartii* with particulat reference to oosporein. Mycol. Res. 104: 1227- 1233.

Sun M., Ren Q., Liu Z., Guan G., Gou H., Ma M., Li Y., Liu A., Yang J., Yin H. & Luo J. 2011a. *Beauveria bassiana*: Synergistic effect with the acaricides against the tick *Hyalomma anatolicum anatolicum* (Acari: Ixodidae). Experimental Parasitology 128: 192- 195.

Sun M., Ren Q., Guan G., Liu Z., Ma M., Gou H., Chen Z., Li Y., Liu A., Niu Q., Yang J., Yin H. & Luo J. 2011b. Virulence of *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and *Paecilomyces lilacinus* to the engorged female *Hyalomma anatolicum anatolicum* tick (Acari: Ixodidae). Veterinary Parasitology 180: 389- 393.

Tkaczuk C. & Mietkiewski 2005. Effects of the selected pesticides on the growth of fungi from *Hirsutella* genus isolated from phytophagous mites. Journal of Plant Protection Research 45: 171- 179.

Vaupel O. & Zimmermann G. 1996. Preliminary trials on the combination of pheromone traps with the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. against the bark beetle species *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae). Anzeiger für Schädlingskunde 69: 175- 179.

Vega F. E. & Blackwell M. 2005. Insect-fungal associations. Ecology and evolution. Oxford University Press, S. 51- 74.

Wagenführ A. & Scholz F. 2008. Taschenbuch der Holztechnik. Carl Hanser Verlag, München, S. 69-71.

Wegensteiner R., Dedryver C.A. & Pierre J. S. 2010. The comperative prevalence and demographic impact of two pathogens in swarming *Ips typographus* adults: a quantitative analysis of long term trapping data. Agriculture and Forest Entomology 12: 49- 57.

Wermelinger B. 2004. Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*- a review of recent research. Forest ecology and management 202: 67- 82.

Zhang L., Liu Y., Yao J., Wang B., Huang B., Li Z., Fan M. & Sun J. 2011. Evaluation of *Beauveria bassiana* (Hyphomycetes) isolates as potential agents for control of *Dendroctonus valens*. Insect Science 18: 209- 216.

Zimmermann G., 2007a. Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. Biocontrol Science and Technology 17: 879- 920.

Zimmermann G., 2007b. Review on safety of the entomopathogenic fungi *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. Biocontrol Science and Technology 17: 553- 596.

Zimmermann G., 2008. The entomopathogenic fungi *Isaria farinosa* (formerly *Paecilomyces farinosus*) and the *Isaria fumosorosea* species complex (formerly *Paecilomyces fumosoroseus*): biology, ecology and use in biological control. Biocontrol Science and Technology 18: 865- 901.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Wirkung von Flüssigharz auf die durchschnittliche Keimfähigkeit der drei Pilzarten in % nach 24 Stunden 22
Tab. 2: Wirkung von Flüssigharz auf Filterpapier auf die durchschnittliche Keimfähigkeit der drei Pilzarten in % nach 24 Stunden 22
Tab. 3: Wirkung von Scharrharz auf die durchschnittliche Keimfähigkeit von *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) in % bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm nach 24, 48 und 72 Stunden (Extremwerte farblich markiert). 26
Tab. 4: Wirkung von Kolophonium auf die durchschnittliche Keimfähigkeit von *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) in % bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm nach 24, 48 und 72 Stunden (Extremwerte farblich markiert). 30
Tab. 5: Wirkung von (-)-α-Pinen auf die durchschnittliche Keimfähigkeit von *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) in % bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm nach 24, 48 und 72 Stunden (Extremwerte farblich markiert). 38
Tab. 6: Wirkung von (-)-β-Pinen auf die durchschnittliche Keimfähigkeit von *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) in % bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm nach 24, 48 und 72 Stunden (Extremwerte farblich markiert). 43
Tab. 7: Wirkung von Myrcen auf die durchschnittliche Keimfähigkeit von *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) in % bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm nach 24, 48 und 72 Stunden (Extremwerte farblich markiert). 48
Tab. 8: Wirkung von R-Limonen auf die durchschnittliche Keimfähigkeit von *B. bassiana* (*B.b.*), *M. anisopliae* (*M.a.*) und *I. fumosorosea* (*I.f.*) in % bei 5mm, 10mm, 15mm und 20mm nach 24, 48 und 72 Stunden (Extremwerte farblich markiert). 53
Tab. 9: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 5 bis 40 Tagen von *B. bassiana* versetzt mit Filterpapier aufgetragenem Flüssigharz. 61
Tab. 10: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 5 bis 40 Tagen von *M. anisopliae* versetzt mit Filterpapier aufgetragenem Flüssigharz. 62
Tab. 11: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 3 bis 14 Tagen von *B. bassiana* versetzt mit Scharrharz. 63
Tab. 12: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 3 bis 14 Tagen von *B. bassiana* versetzt mit Kolophonium. 64
Tab. 13: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 2 bis 14 Tagen von *B. bassiana* versetzt mit Myrcen. 66
Tab. 14: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 2 bis 14 Tagen von *M. anisopliae* versetzt mit Mycen. 66
Tab. 15: Anzahl der Schalen mit Hemmhöfen (in %) sowie minimaler und maximaler Hemmhofdurchmesser (in mm) nach 2 bis 14 Tagen von *B. bassiana* versetzt mit R-Limonen. 67

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Infizierte Larve (Butt et al. 2001) ... 2
Abb. 2: Konidosporenhof (Butt et al. 2001) ... 2
Abb. 3: Aus einer im Boden vergrabenen Larve herauswachsender Fruchtkörper von *Cordyceps* sp. (Piepenbring 2012). ... 3
Abb. 4: Ausschnitt der Taxonomie der entomopathogenen Pilze (nach Humber 2013). ... 4
Abb. 5a/b: *Beauveria bassiana* in vitro. ... 4
Abb. 6a/b/c: *Metarhizium anisopliae* in vitro. ... 5
Abb. 7a/b/c: *Isaria fumosorosea* in vitro. ... 6
Abb. 8: Interzellularer Harzkanal (Rodd & Stackhouse 2008) ... 8
Abb. 9: Gewinnung von Kiefernharz (Wegensteiner) ... 10
Abb. 10a/b: An Kiefer erhärtetes Scharrharz (Wegensteiner) ... 10
Abb. 11: Kolophonium ... 10
Abb. 12: Chemischer Aufbau der Terpene (Altenkirch et al. 2002) ... 11
Abb. 13: Gekeimte und nicht gekeimte Sporen von *Beauveria bassiana* unter dem Durchlichtmikroskop bei der Bestimmung der Keimfähigkeit. ... 14
Abb. 14: Schematische Darstellung der Messstellen beim Keimfähigkeitstest. ... 15
Abb. 15: Aufbewahrung der Keimungstests im Klimaschrank bei 21^{0}C (±1^{0}C). ... 16
Abb. 16: Wirkung von Flüssigharz auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24 Stunden. ... 19
Abb. 17: Wirkung von Flüssigharz auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24 Stunden. ... 20
Abb. 18: Wirkung von Flüssigharz auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24 Stunden. ... 21
Abb. 19: Wirkung von Scharrharz auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. ... 23
Abb. 20: Wirkung von Scharrharz auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. ... 24
Abb. 21: Wirkung von Scharrharz auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. ... 25
Abb. 22: Wirkung von Kolophonium auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. ... 27
Abb. 23: Wirkung von Kolophonium auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden ... 28
Abb. 24: Wirkung von Kolophonium auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. ... 29
Abb. 25: Wirkung der natürlichen Substanzen auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana*. ... 31
Abb. 26: Wirkung der natürlichen Substanzen auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae*. ... 32
Abb. 27: Wirkung der natürlichen Substanzen auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea*. ... 33
Abb. 28: Wirkung von (-)-α-Pinen auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. ... 35
Abb. 29: *B. bassiana* versetzt mit (-)-α-Pinen bei 10mm nach 24 Stunden. ... 35
Abb. 30: Wirkung von (-)-α-Pinen auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. ... 36
Abb. 31: Wirkung von (-)-α-Pinen auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. ... 37

Abb. 32: *M. anisopliae* versetzt mit (-)-α-Pinen bei 15mm nach 24 Stunden. 38
Abb. 33: Wirkung von (-)-β-Pinen auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. 39
Abb. 34:Wirkung von (-)-β-Pinen auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. 40
Abb. 35: Wirkung von (-)-β-Pinen auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. 41
Abb. 36: *I. fumosorosea* versetzt mit (-)-β-Pinen bei 5mm nach (a) 24 Stunden, (b) 48 Stunden und (c) 72 Stunden. 42
Abb. 37: *B. bassiana* versetzt mit Myrcen bei 20mm nach 24 Stunden. 44
Abb. 38: Wirkung von Myrcen auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. 45
Abb. 39: Wirkung von Myrcen auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. 46
Abb. 40: *M. anisopliae* versetzt mit Myrcen bei 10mm nach 24 Stunden. 46
Abb. 41: Wirkung von Myrcen auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. 47
Abb. 42: Wirkung von R-Limonen auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. 50
Abb. 43: *B. bassiana* versetzt mit R-Limonen bei 15mm nach 24 Stunden. 50
Abb. 44: Wirkung von R-Limonen auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. 51
Abb. 45: Wirkung von R-Limonen auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* im Vergleich zur Kontrolle nach 24, 48 und 72 Stunden. 52
Abb. 46: Wirkung der Terpen-Reinsubstanzen auf die Keimfähigkeit von *B. bassiana*..... 55
Abb. 47: Wirkung der Terpen-Reinsubstanzen auf die Keimfähigkeit von *M. anisopliae* nach 24, 48 und 72 Stunden. 57
Abb. 48: Wirkung der Terpen-Reinsubstanzen auf die Keimfähigkeit von *I. fumosorosea* nach 24, 48 und 72 Stunden. 59
Abb. 49: *M. anisopliae* mit Hemmhofbildung (a) 7 Tage und (b) 14 Tage nach Aufbringen von Flüssigharz auf Filterpapier. 62
Abb. 50: Wachstumsreaktion von *B. bassiana* mit Scharrzharz: (a) Hemmhofbildung 3 Tage nach Aufbringen der Substanz und (b) keiner Wachstumsbeeinflussung 10 Tagen nach Aufbringen der Substanz. 63
Abb. 51: *M. anisopliae* mit (a) Hemmhofbildung und (b) keiner Wachstumsbeeinflussung 7 Tage nach Aufbringen von Myrcen. 66

Anhangsverzeichnis

1-A: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei Flüssigharz nach 24 Stunden 103
1-B: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei Flüssigharz + Filterpapier nach 24 Stunden 103
1-C: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei Scharrharz 104
1-D: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei Kolophonium 105
1-E: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei (-)-α-Pinen 106
1-F: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei (-)-β-Pinen 107
1-G: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei Myrcen 108
1-H: *B. bassiana:* Errechnete Signifikanzwerte bei R-Limonen 109
2-A: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei Flüssigharz nach 24 Stunden 110
2-B: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei Flüssigharz + Filterpapier nach 24 Stunden 110
2-C: *M. anisopliae:* Errechnete Signifikanzwerte bei Scharrharz 111
2-D: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei Kolophonium 112
2-E: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei (-)-α-Pinen 113
2-F: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei (-)-β-Pinen 114
2-G: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei Myrcen 115
2-H: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei R-Limonen 116
3-A: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei Flüssigharz nach 24 Stunden 117
3-B: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei Flüssigharz + Filterpapier nach 24 Stunden 117
3-C: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei Scharrharz 118
3-D: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei Kolophonium 119
3-E: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei (-)-α-Pinen 120
3-F: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei (-)-β-Pinen 121
3-G: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei Myrcen 122
3-H: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei R-Limonen 123
4-A: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 24 Stunden 124
4-B: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 24 Stunden 124
4-C: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 24 Stunden 124
4-D*: B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 24 Stunden 124
4-E: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 48 Stunden 125
4-F: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 48 Stunden 125
4-G: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 48 Stunden 125
4-H: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 48 Stunden 125
4-I: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 72 Stunden 125
4-J: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 72 Stunden 125

4-K: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 72 Stunden 126
4-L: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 72 Stunden 126
5-A: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 24 Stunden 126
5-B: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 24 Stunden 126
5-C: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 24 Stunden 126
5-D: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 24 Stunden 127
5-E: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 48 Stunden 127
5-F: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 48 Stunden 127
5-G: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 48 Stunden 127
5-H: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 48 Stunden 127
5-I: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 72 Stunden 128
5-J: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 72 Stunden 128
5-K: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 72 Stunden 128
5-L: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 72 Stunden 128
6-A: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 24 Stunden 129
6-B: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 24 Stunden 129
6-C: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 24 Stunden 129
6-D: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 24 Stunden 129
6-E: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 48 Stunden 129
6-F: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 48 Stunden 130
6-G: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 48 Stunden 130
6-H: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 48 Stunden 130
6-I: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 72 Stunden 130
6-J: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 72 Stunden 130

6-K: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 72 Stunden 130
6-L: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 72 Stunden 131
7-A: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 24 Stunden 131
7-B: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 24 Stunden 131
7-C: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 24 Stunden 131
7-D: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 24 Stunden 131
7-E: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 48 Stunden 132
7-F: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 48 Stunden 132
7-G: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 48 Stunden 132
7-H: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 48 Stunden 132
7-I: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 72 Stunden 132
7-J: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 72 Stunden 133
7-K: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 72 Stunden 133
7-L: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 72 Stunden 133
8-A: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 24 Stunden 134
8-B: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 24 Stunden 134
8-C: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 24 Stunden 134
8-D: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 24 Stunden 134
8-E: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 48 Stunden 134
8-F: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 48 Stunden 135
8-G: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 48 Stunden 135
8-H: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 48 Stunden 135
8-I: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 72 Stunden 135
8-J: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 72 Stunden 135

8-K: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 72 Stunden 135
8-L: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 72 Stunden 136
9-A: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 24 Stunden 136
9-B: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 24 Stunden 136
9-C: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 24 Stunden 136
9-D: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 24 Stunden 136
9-E: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 48 Stunden 137
9-F: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 48 Stunden 137
9-G: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 48 Stunden 137
9-H: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 48 Stunden 137
9-I: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 72 Stunden 137
9-J: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 72 Stunden 138
9-K: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 72 Stunden 138
9-L: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 72 Stunden 138
10-A: Flüssigharz, Flüssigharz+ Filterpapier: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 24 Stunden 139
10-B: Flüssigharz, Flüssigharz+ Filterpapier: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 24 Stunden 139
10-C: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 24 Stunden 139
10-D: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 24 Stunden 140
10-E: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 24 Stunden..... 140
10-F: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 24 Stunden..... 140
10-G: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 48 Stunden 140
10-H: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 48 Stunden 141
10-I: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 48 Stunden..... 141
10-J: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 48 Stunden 141
10-K: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 72 Stunden 141
10-L: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 72 Stunden..... 142
10-M: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 72 Stunden..... 142
10-N: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 72 Stunden 142
11-A: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 24 Stunden..... 143
11-B: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 24 Stunden... 143
11-C: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 24 Stunden... 143
11-D: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 24 Stunden... 144

11-E: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 48 Stunden 144
11-F: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 48 Stunden ... 144
11-G: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 48 Stunden... 145
11-H: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 48 Stunden... 145
11-I: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 72 Stunden 145
11-J: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 72 Stunden 146
11-K: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 72 Stunden... 146
11-L: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 72 Stunden ... 146
11-M: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 24 Stunden..... 147
11-N: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 24 Stunden 147
11-O: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 24 Stunden 147
11-P: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 24 Stunden..... 147
11-Q: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 48 Stunden 147
11-R: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 48 Stunden 147
11-S: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 48 Stunden..... 148
11-T: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 48 Stunden..... 148
11-U: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 72 Stunden 148
11-V: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 72 Stunden 148
11-W: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 72 Stunden 148
11-X: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 72 Stunden 148

Anhang

Signifikanzwerte innerhalb der Pilzart im Vergleich zur Kontrolle

Werte mit signifikantem, hoch signifikantem und höchst signifikantem Unterschied sind farblich markiert.

1 Beauveria bassiana

1-A: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei Flüssigharz nach 24 Stunden

	5mm	**10mm**	**Kontrolle**
Kontrolle	0,000	0,012	x
10mm	0,011	x	
5mm	x		

1-B: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei Flüssigharz + Filterpapier nach 24 Stunden

	5mm	**10mm**	**Kontrolle**
Kontrolle	0,000	0,105	x
10mm	0,008	x	
5mm	x		

1-C: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei Scharrharz

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,020	1,000	0,020	0,997	1,000	0,599	1,000	1,000	0,369	1,000	x
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,093	1,000	0,093	1,000	1,000	0,895	1,000	1,000	0,814	x	
	24h	0,000	0,016	0,995	0,000	0,971	0,895	0,971	1,000	0,829	1,000	0,971	0,747	x		
20mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,097	1,000	0,097	0,999	1,000	0,812	1,000	x			
	48h	0,000	0,001	1,000	0,000	0,310	1,000	0,310	1,000	1,000	0,976	x				
	24h	0,000	0,134	0,995	0,009	0,998	0,921	0,998	1,000	0,874	x					
15mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,134	1,000	0,134	1,000	x						
	48h	0,000	0,006	1,000	0,000	0,739	1,000	0,739	x							
	24h	0,000	0,874	0,475	0,310	1,000	0,182	x								
10mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,182	x									
	48h	0,000	0,874	0,475	0,310	x										
	24h	0,000	1,000	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,001	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

1-D: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei Kolophonium

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,004	1,000	0,000	0,694	1,000	0,004	1,000	1,000	0,000	1,000	x
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,073	1,000	0,000	0,993	1,000	0,073	1,000	1,000	0,029	x	
	24h	0,000	0,001	0,073	0,000	1,000	0,073	0,604	0,968	0,014	1,000	0,261	0,014	x		
20mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,028	1,000	0,000	0,871	1,000	0,028	1,000	x			
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,296	1,000	0,001	0,999	1,000	0,296	x				
	24h	0,000	0,028	0,105	0,006	1,000	0,105	0,946	0,946	0,028	x					
15mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,028	1,000	0,000	0,871	x						
	48h	0,000	0,000	0,983	0,000	0,946	0,983	0,056	x							
	24h	0,028	0,871	0,000	0,600	0,946	0,000	x								
10mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,105	x									
	48h	0,000	0,028	0,105	0,006	x										
	24h	0,996	1,000	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,946	x													
	24h	x														

1-E: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei (-)-α-Pinen

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,015	1,000	0,000	0,999	x
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,220	1,000	0,002	x	
	24h	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	1,000	0,001	X		
20mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,079	x			
	48h	0,000	0,000	0,198	0,000	0,000	0,128	0,000	0,000	0,079	0,000	x				
	24h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	1,000	0,000	X					
15mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x						
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x							
	24h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	X								
10mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x									
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	x										
	24h	0,000	0,000	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

1-F: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei (-)-β-Pinen

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,969	x
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	x	
	24h	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x		
20mm	**72h**	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x			
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	x				
	24h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	x					
15mm	**72h**	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x						
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x							
	24h	0,825	0,000	0,000	0,997	0,000	0,000	x								
10mm	**72h**	0,000	0,000	0,171	0,000	0,000	x									
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	x										
	24h	1,000	0,000	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

1-G: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte bei Myrcen

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	0,534	0,000	0,000	0,994	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,983	x
	48h	0,000	0,000	0,998	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	x	
	24h	0,000	0,000	0,041	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,189	0,000	X		
20mm	**72h**	0,000	0,000	0,891	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x			
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,274	0,000	0,000	x				
	24h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x					
15mm	**72h**	0,000	0,000	0,961	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x						
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x							
	24h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	X								
10mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x									
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	x										
	24h	0,084	0,000	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

1-H: *B. bassiana:* Errechnete Signifikanzwerte bei R-Limonen

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	0,833	0,000	0,000	0,999	0,000	0,000	1,000	0,000	0,530	1,000	0,003	1,000	x
	48h	0,000	0,000	0,998	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,957	1,000	0,089	x	
	24h	0,000	0,000	0,988	0,000	0,000	0,614	0,000	0,012	0,181	0,000	1,000	0,052	x		
20mm	**72h**	0,000	0,000	0,941	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,765	x			
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,999	0,000	0,003	0,941	0,000	x				
	24h	0,013	0,000	0,000	0,236	0,000	0,000	0,978	0,000	0,000	x					
15mm	**72h**	0,000	0,000	0,994	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x						
	48h	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	x							
	24h	0,632	0,000	0,000	0,994	0,000	0,000	x								
10mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x									
	48h	0,000	0,148	0,000	0,000	x										
	24h	1,000	0,000	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

2 Metarhizium anisopliae

2-A: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei Flüssigharz nach 24 Stunden

	5mm	**10mm**	**Kontrolle**
Kontrolle	0,088	0,961	x
10mm	0,133	x	
5mm	x		

2-B: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei Flüssigharz + Filterpapier nach 24 Stunden

	5mm	**10mm**	**Kontrolle**
Kontrolle	0,002	0,804	x
10mm	0,005	x	
5mm	x		

2-C: *M. anisopliae:* Errechnete Signifikanzwerte bei Scharrharz

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,120	1,000	0,005	0,948	1,000	0,000	0,984	x
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,220	0,001	0,861	1,000	0,220	1,000	0,998	0,087	x	
	24h	0,000	0,000	0,012	0,000	0,120	1,000	0,861	1,000	0,059	1,000	0,718	0,012	x		
20mm	**72h**	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,034	0,000	0,322	1,000	0,034	0,985	x			
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,772	0,034	0,997	1,000	0,772	x				
	24h	0,000	0,000	0,120	0,000	0,469	1,000	0,985	1,000	0,120	x					
15mm	**72h**	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,120	0,001	0,627	x						
	48h	0,000	0,000	0,008	0,000	0,066	1,000	0,627	x							
	24h	0,000	0,000	0,953	0,008	1,000	0,985	x								
10mm	**72h**	0,000	0,000	0,120	0,000	0,469	x									
	48h	0,000	0,001	1,000	0,205	x										
	24h	0,000	0,985	0,627	x											
5mm	**72h**	0,000	0,017	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

2-D: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei Kolophonium

		5mm			**10mm**			**15mm**			**20mm**			**Kontrolle**		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	0,451	0,000	0,004	0,970	0,000	0,688	1,000	0,000	0,970	1,000	0,000	0,858	x
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,451	1,000	0,015	1,000	1,000	0,043	1,000	0,970	0,002	x	
	24h	0,000	0,970	0,451	0,245	1,000	0,043	1,000	0,245	0,001	1,000	0,043	0,000	x		
20mm	**72h**	0,000	0,000	0,704	0,000	0,033	0,992	0,000	0,867	1,000	0,001	0,992	x			
	48h	0,000	0,001	1,000	0,000	0,704	1,000	0,078	1,000	1,000	0,165	x				
	24h	0,000	0,992	0,704	0,500	1,000	0,165	1,000	0,500	0,013	x					
15mm	**72h**	0,000	0,000	0,959	0,000	0,165	1,000	0,004	0,992	x						
	48h	0,000	0,013	1,000	0,000	0,959	1,000	0,308	x							
	24h	0,000	0,999	0,500	0,704	0,999	0,078	x								
10mm	**72h**	0,000	0,001	1,000	0,000	0,704	x									
	48h	0,000	0,704	0,992	0,078	x										
	24h	0,033	0,999	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,033	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

2-E: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei (-)-α-Pinen

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	0,970	0,000	0,000	1,000	0,000	0,001	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000	1,000	x
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,021	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000	x	
	24h	0,000	0,000	0,075	0,000	0,288	0,002	0,000	1,000	0,001	0,000	0,005	0,001	X		
20mm	**72h**	0,000	0,000	0,999	0,000	0,000	1,000	0,000	0,024	1,000	0,000	1,000	x			
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,100	1,000	0,000	x				
	24h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	X					
15mm	**72h**	0,000	0,000	0,999	0,000	0,000	1,000	0,000	0,024	x						
	48h	0,000	0,001	0,463	0,000	0,305	0,051	0,000	x							
	24h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x								
10mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x									
	48h	0,000	0,905	0,000	0,000	x										
	24h	0,000	0,000	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

2-F: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei (-)-β-Pinen

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,987	0,000	0,000	1,000	0,000	0,999	1,000	0,000	1,000	x
	48h	0,000	0,000	0,224	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000	x	
	24h	0,000	0,000	0,969	0,000	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	x		
20mm	**72h**	0,000	0,000	0,087	0,000	0,000	0,997	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	x			
	48h	0,000	0,000	0,663	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	x				
	24h	0,003	0,000	0,000	0,302	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	X					
15mm	**72h**	0,000	0,000	0,171	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x						
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x							
	24h	0,087	0,000	0,000	0,932	0,000	0,000	X								
10mm	**72h**	0,000	0,000	0,825	0,000	0,000	x									
	48h	0,000	0,007	0,000	0,000	x										
	24h	0,982	0,000	0,000	X											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

2-G: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei Myrcen

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	0,655	0,000	0,000	1,000	0,000	0,016	1,000	0,000	0,929	1,000	0,000	1,000	x
	48h	0,000	0,000	0,981	0,000	0,000	1,000	0,000	0,165	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000	x	
	24h	0,000	0,000	0,561	0,000	0,561	0,004	0,000	1,000	0,001	0,000	0,224	0,001	x		
20mm	**72h**	0,000	0,000	0,935	0,000	0,000	1,000	0,000	0,153	1,000	0,000	0,995	x			
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,001	0,999	0,000	0,935	0,995	0,000	x				
	24h	0,000	0,716	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x					
15mm	**72h**	0,000	0,000	0,935	0,000	0,000	1,000	0,000	0,153	x						
	48h	0,000	0,000	0,995	0,000	0,256	0,256	0,000	x							
	24h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x								
10mm	**72h**	0,000	0,000	0,979	0,000	0,000	X									
	48h	0,000	0,084	0,004	0,000	x										
	24h	0,000	0,000	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

2-H: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte bei R-Limonen

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	0,984	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,028	0,999	x
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,487	x	
	24h	0,000	0,000	0,984	0,000	0,000	0,810	0,000	0,000	0,416	0,000	0,000	0,194	x		
20mm	**72h**	0,000	0,000	0,996	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x			
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x				
	24h	0,988	0,000	0,000	0,996	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x					
15mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x						
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x							
	24h	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x								
10mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x									
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	x										
	24h	1,000	0,000	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

3 I. fumosorosea

3-A: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei Flüssigharz nach 24 Stunden

	5mm	**10mm**	**Kontrolle**
Kontrolle	0,472	0,472	x
10mm	0,085	x	
5mm	x		

3-B: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei Flüssigharz + Filterpapier nach 24 Stunden

	5mm	**10mm**	**Kontrolle**
Kontrolle	0,944	0,181	x
10mm	0,286	x	
5mm	x		

3-C: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei Scharrharz

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,003	0,917	0,000	0,174	0,982	0,010	0,917	1,000	0,030	0,998	1,000	0,001	0,999	x
	48h	0,000	0,077	1,000	0,000	0,768	1,000	0,174	1,000	1,000	0,337	1,000	1,000	0,075	x	
	24h	0,030	1,000	0,917	0,768	1,000	0,768	1,000	0,917	0,030	1,000	0,554	0,030	x		
20mm	**72h**	0,000	0,026	0,974	0,000	0,407	0,996	0,061	0,974	1,000	0,128	1,000	x			
	48h	0,000	0,407	1,000	0,010	0,974	1,000	0,600	1,000	1,000	0,782	x				
	24h	0,128	1,000	0,974	0,910	1,000	0,910	1,000	0,974	0,128	x					
15mm	**72h**	0,000	0,026	0,974	0,000	0,407	0,996	0,061	0,974	x						
	48h	0,000	0,782	1,000	0,061	1,000	1,000	0,910	x							
	24h	0,242	1,000	0,910	0,974	1,000	0,782	x								
10mm	**72h**	0,000	0,600	1,000	0,026	0,996	x									
	48h	0,026	1,000	1,000	0,600	x										
	24h	0,996	0,996	0,061	x											
5mm	**72h**	0,000	0,782	x												
	48h	0,407	x													
	24h	x														

3-D: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei Kolophonium

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,001	0,963	0,000	0,205	1,000	0,001	0,995	1,000	0,010	1,000	1,000	0,000	0,998	x
	48h	0,000	0,031	1,000	0,000	0,851	1,000	0,031	1,000	1,000	0,205	1,000	1,000	0,031	x	
	24h	0,031	1,000	0,644	0,851	1,000	0,087	1,000	0,401	0,010	1,000	0,205	0,010	x		
20mm	**72h**	0,000	0,009	0,990	0,000	0,449	1,000	0,009	0,999	1,000	0,059	1,000	x			
	48h	0,000	0,133	1,000	0,003	0,948	1,000	0,133	1,000	1,000	0,449	x				
	24h	0,133	1,000	0,841	0,948	1,000	0,263	1,000	0,661	0,059	x					
15mm	**72h**	0,000	0,009	0,990	0,000	0,449	1,000	0,009	0,999	x						
	48h	0,000	0,263	1,000	0,009	0,990	1,000	0,263	x							
	24h	0,449	1,000	0,449	0,999	0,990	0,059	x								
10mm	**72h**	0,000	0,059	1,000	0,001	0,841	x									
	48h	0,009	0,990	0,999	0,449	x										
	24h	0,990	0,999	0,024	X											
5mm	**72h**	0,000	0,449	x												
	48h	0,449	x													
	24h	x														

3-E: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei (-)-α-Pinen

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,757	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000	1,000	x
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,003	1,000	0,000	0,990	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000	x	
	24h	0,000	0,990	0,000	0,000	0,990	0,000	0,000	0,003	0,000	0,038	0,000	0,000	X		
20mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,002	1,000	0,000	0,904	1,000	0,000	1,000	x			
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,024	1,000	0,000	0,998	1,000	0,000	x				
	24h	0,000	0,904	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	X					
15mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,002	1,000	0,000	0,904	x						
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,519	0,998	0,000	x							
	24h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x								
10mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,024	x									
	48h	0,000	0,519	0,064	0,000	x										
	24h	0,000	0,000	0,000	X											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

3-F: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei (-)-β-Pinen

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000	1,000	x
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,001	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000	x	
	24h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,069	0,000	0,000	0,984	0,000	0,000	0,000	0,000	X		
20mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,001	1,000	0,000	1,000	x			
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,012	1,000	0,000	x				
	24h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,037	0,000	0,000	x					
15mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,004	x						
	48h	0,000	0,000	0,012	0,000	0,004	0,012	0,000	x							
	24h	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	x								
10mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x									
	48h	0,000	0,037	0,000	0,000	x										
	24h	0,996	0,000	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

3-G: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei Myrcen

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,001	1,000	0,000	0,798	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000	1,000	x
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,017	1,000	0,000	0,993	1,000	0,000	1,000	1,000	0,000	x	
	24h	0,000	0,993	0,000	0,000	0,994	0,000	0,000	0,005	0,000	1,000	0,000	0,000	X		
20mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,012	1,000	0,000	0,924	1,000	0,000	1,000	x			
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,087	1,000	0,000	0,998	1,000	0,000	x				
	24h	0,000	1,000	0,000	0,000	0,785	0,000	0,000	0,004	0,000	X					
15mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,035	1,000	0,000	0,984	x						
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,785	1,000	0,000	x							
	24h	0,000	0,000	0,000	0,087	0,000	0,000	x								
10mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,191	x									
	48h	0,000	0,360	0,191	0,000	x										
	24h	0,000	0,000	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

3-H: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte bei R-Limonen

		5mm			10mm			15mm			20mm			Kontrolle		
		24h	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**	**24h**	**48h**	**72h**
Kontrolle	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,937	1,000	0,026	1,000	x
	48h	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	1,000	0,317	x	
	24h	0,000	0,000	0,495	0,000	0,000	0,495	0,000	0,000	0,185	0,000	0,997	0,185	X		
20mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,982	x			
	48h	0,000	0,000	0,999	0,000	0,000	0,999	0,000	0,000	0,982	0,000	x				
	24h	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,739	0,000	0,000	X					
15mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x						
	48h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,423	0,000	0,000	x							
	24h	0,000	0,000	0,000	0,739	0,000	0,000	x								
10mm	**72h**	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	x									
	48h	0,000	0,281	0,000	0,000	x										
	24h	0,000	0,000	0,000	x											
5mm	**72h**	0,000	0,000	x												
	48h	0,000	x													
	24h	x														

Signifikanzwerte innerhalb der Pilzarten - „Substanzenranking“

Beauveria bassiana

4 Natürliche Substanzen

4-A: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 24 Stunden

	Flüssigharz	**Flh. + Papier**	**Scharrharz**	**Kolophonium**
Kolophonium	0,000	0,000	0,000	x
Scharrharz	0,988	0,995	x	
Flh. + Papier	1,000	x		
Flüssigharz	x			

4-B: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 24 Stunden

	Flüssigharz	**Flh. + Papier**	**Scharrharz**	**Kolophonium**
Kolophonium	0,015	0,092	0,948	x
Scharrharz	0,038	0,222	x	
Flh. + Papier	0,729	x		
Flüssigharz	x			

4-C: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 24 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

4-D*: B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 24 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

4-E: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 48 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	0,825	x
Scharrharz	x	

4-F: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 48 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	0,156	x
Scharrharz	x	

4-G: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 48 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

4-H: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 48 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

4-I: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 72 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	0,919	x
Scharrharz	x	

4-J: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 72 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

4-K: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 72 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	0,999	x
Scharrharz	x	

4-L: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 72 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

5 Terpen-Reinsubstanzen

5-A: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 24 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,000	1,000	0,007	x
Myrcen	0,000	0,007	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

5-B: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 24 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,000	0,986	0,016	x
Myrcen	0,000	0,009	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

5-C: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 24 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,000	0,668	0,000	x
Myrcen	0,000	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

5-D: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 24 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,000	0,257	0,000	x
Myrcen	0,000	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

5-E: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 48 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,000	0,000	0,000	x
Myrcen	0,000	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

5-F: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 48 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,003	0,000	0,000	x
Myrcen	0,000	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

5-G: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 48 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,000	0,000	0,001	x
Myrcen	0,802	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

5-H: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 48 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,223	0,000	0,000	x
Myrcen	0,016	0,449	x	
(-)-β-Pinen	0,001	x		
(-)-α-Pinen	x			

5-I: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 72 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,016	0,000	1,000	x
Myrcen	0,016	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

5-J: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 72 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,241	0,000	1,000	x
Myrcen	0,241	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

5-K: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 72 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,588	1,000	1,000	x
Myrcen	0,588	1,000	x	
(-)-β-Pinen	0,588	x		
(-)-α-Pinen	x			

5-L: *B. bassiana*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 72 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	1,000	0,932	0,932	x
Myrcen	0,932	1,000	x	
(-)-β-Pinen	0,932	x		
(-)-α-Pinen	x			

6 Natürliche Substanzen

6-A: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 24 Stunden

	Flüssigharz	**Flh. + Papier**	**Scharrharz**	**Kolophonium**
Kolophonium	0,143	0,014	0,935	x
Scharrharz	0,345	0,040	x	
Flh. + Papier	0,561	x		
Flüssigharz	x			

6-B: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 24 Stunden

	Flüssigharz	**Flh. + Papier**	**Scharrharz**	**Kolophonium**
Kolophonium	0,169	0,043	0,690	x
Scharrharz	0,690	0,270	x	
Flh. + Papier	0,853	x		
Flüssigharz	x			

6-C: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 24 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	0,539	x
Scharrharz	x	

6-D: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 24 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

6-E: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 48 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	0,000	x
Scharrharz	x	

6-F: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 48 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	0,002	x
Scharrharz	x	

6-G: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 48 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	0,810	x
Scharrharz	x	

6-H: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 48 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

6-I: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 72 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	0,000	x
Scharrharz	x	

6-J: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 72 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	0,000	x
Scharrharz	x	

6-K: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 72 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

6-L: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 72 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

7 Terpen-Reinsubstanzen

7-A: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 24 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,413	0,978	0,000	x
Myrcen	0,001	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,639	x		
(-)-α-Pinen	x			

7-B: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 24 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,000	0,080	0,000	x
Myrcen	0,000	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

7-C: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 24 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,000	0,026	0,000	x
Myrcen	0,000	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

7-D: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 24 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,000	0,128	0,000	x
Myrcen	0,000	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

7-E: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 48 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,000	0,000	0,000	x
Myrcen	0,827	0,005	x	
(-)-β-Pinen	0,001	x		
(-)-α-Pinen	x			

7-F: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 48 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,000	0,000	0,000	x
Myrcen	0,994	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

7-G: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 48 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,000	0,000	0,000	x
Myrcen	0,965	0,001	x	
(-)-β-Pinen	0,002	x		
(-)-α-Pinen	x			

7-H: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 48 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,000	0,000	0,000	x
Myrcen	0,223	0,449	x	
(-)-β-Pinen	0,955	x		
(-)-α-Pinen	x			

7-I: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 72 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,644	0,047	0,932	x
Myrcen	0,324	0,131	x	
(-)-β-Pinen	0,006	x		
(-)-α-Pinen	x			

7-J: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 72 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,324	1,000	0,324	x
Myrcen	1,000	0,324	x	
(-)-β-Pinen	0,324	x		
(-)-α-Pinen	x			

7-K: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 72 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,938	0,938	0,938	x
Myrcen	1,000	1,000	X	
(-)-β-Pinen	1,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

7-L: *M. anisopliae*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 72 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,932	1,000	0,932	x
Myrcen	1,000	0,932	x	
(-)-β-Pinen	0,932	x		
(-)-α-Pinen	x			

8 Natürliche Substanzen

8-A: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 24 Stunden

	Flüssigharz	**Flh. + Papier**	**Scharrharz**	**Kolophonium**
Kolophonium	0,011	0,001	0,991	x
Scharrharz	0,006	0,001	x	
Flh. + Papier	0,487	x		
Flüssigharz	x			

8-B: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 24 Stunden

	Flüssigharz	**Flh. + Papier**	**Scharrharz**	**Kolophonium**
Kolophonium	0,000	0,000	0,973	x
Scharrharz	0,000	0,000	x	
Flh. + Papier	0,827	x		
Flüssigharz	x			

8-C: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 24 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

8-D: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 24 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

8-E: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 48 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

8-F: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 48 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

8-G: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 48 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

8-H: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 48 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

8-I: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 5mm nach 72 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

8-J: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 10mm nach 72 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	0,873	x
Scharrharz	x	

8-K: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 15mm nach 72 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

8-L: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der natürlichen Substanzen bei 20mm nach 72 Stunden

	Scharrharz	**Kolophonium**
Kolophonium	1,000	x
Scharrharz	x	

9 Terpen-Reinsubstanzen

9-A: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 24 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,000	0,156	0,000	x
Myrcen	0,000	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

9-B: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 24 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,000	0,000	0,000	x
Myrcen	0,000	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

9-C: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 24 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,000	0,000	0,000	x
Myrcen	0,038	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

9-D: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 24 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	0,000	0,000	0,000	x
Myrcen	0,023	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

9-E: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 48 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,000	0,000	0,000	x
Myrcen	1,000	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

9-F: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 48 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,000	0,000	0,000	x
Myrcen	0,952	0,000	x	
(-)-β-Pinen	0,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

9-G: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 48 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,000	0,000	0,000	x
Myrcen	1,000	0,008	X	
(-)-β-Pinen	0,008	x		
(-)-α-Pinen	x			

9-H: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 48 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,401	0,401	0,401	x
Myrcen	1,000	1,000	x	
(-)-β-Pinen	1,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

9-I: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 5mm nach 72 Stunden

	(-)-α-Pinen	(-)-β-Pinen	Myrcen	R-Limonen
R-Limonen	0,932	1,000	0,932	x
Myrcen	1,000	0,932	x	
(-)-β-Pinen	0,932	x		
(-)-α-Pinen	x			

9-J: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 10mm nach 72 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	1,000	1,000	0,938	x
Myrcen	0,938	0,938	x	
(-)-β-Pinen	1,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

9-K: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 15mm nach 72 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	1,000	0,802	0,802	x
Myrcen	0,802	1,000	x	
(-)-β-Pinen	0,802	x		
(-)-α-Pinen	x			

9-L: *I. fumosorosea*: Errechnete Signifikanzwerte für Vergleich der Terpen- Reinsubstanzen bei 20mm nach 72 Stunden

	(-)-α-Pinen	**(-)-β-Pinen**	**Myrcen**	**R-Limonen**
R-Limonen	1,000	1,000	1,000	x
Myrcen	1,000	1,000	x	
(-)-β-Pinen	1,000	x		
(-)-α-Pinen	x			

Signifikanzwerte zwischen den Pilzarten

10 Natürliche Substanzen

10-A: Flüssigharz, Flüssigharz+ Filterpapier: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 24 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Flh.	Flh.+Papier	Flh.	Flh.+Papier	Flh.	Flh.+Papier
I. fumosorosea	Flh.+Papier	0,118	0,109	0,450	0,063	1,000	x
	Flh.	0,134	0,124	0,489	0,073	x	
M. anisopliae	Flh.+Papier	1,000	1,000	0,985	x		
	Flh.	0,998	0,997	x			
B. bassiana	Flh.+Papier	1,000	x				
	Flh.	x					

10-B: Flüssigharz, Flüssigharz+ Filterpapier: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 24 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Flh.	Flh.+Papier	Flh.	Flh.+Papier	Flh.	Flh.+Papier
I. fumosorosea	Flh.+Papier	0,412	0,709	0,979	0,937	1,000	x
	Flh.	0,433	0,730	0,983	0,946	x	
M. anisopliae	Flh.+Papier	0,989	1,000	1,000	x		
	Flh.	0,961	0,998	x			
B. bassiana	Flh.+Papier	1,000	x				
	Flh.	x					

10-C: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 24 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.
I. fumosorosea	Koloph.	0,000	0,498	0,000	0,766	1,000	x
	Scharrh.	0,000	0,567	0,000	0,823	x	
M. anisopliae	Koloph.	0,000	1,000	0,014	x		
	Scharrh.	0,000	0,041	x			
B. bassiana	Koloph.	0,000	x				
	Scharrh.	x					

10-D: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 24 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.
I. fumosorosea	Koloph.	0,000	0,001	0,000	0,588	1,000	x
	Scharrh.	0,000	0,002	0,000	0,744	x	
M. anisopliae	Koloph.	0,000	0,184	0,002	x		
	Scharrh.	0,744	0,744	x			
B. bassiana	Koloph.	0,034	x				
	Scharrh.	x					

10-E: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 24 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.
I. fumosorosea	Koloph.	0,006	0,029	0,061	0,963	1,000	x
	Scharrh.	0,003	0,014	0,029	0,877	x	
M. anisopliae	Koloph.	0,118	0,357	0,539	x		
	Scharrh.	0,994	1,000	x			
B. bassiana	Koloph.	1,000	x				
	Scharrh.	x					

10-F: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 24 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.
I. fumosorosea	Koloph.	0,732	0,732	0,732	0,881	1,000	x
	Scharrh.	0,732	0,732	0,732	0,881	x	
M. anisopliae	Koloph.	1,000	1,000	1,000	x		
	Scharrh.	1,000	1,000	x			
B. bassiana	Koloph.	1,000	x				
	Scharrh.	x					

10-G: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 48 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.
I. fumosorosea	Koloph.	0,000	0,019	0,000	0,901	1,000	x
	Scharrh.	0,000	0,019	0,000	0,901	x	
M. anisopliae	Koloph.	0,012	0,393	0,000	x		
	Scharrh.	0,952	0,152	x			
B. bassiana	Koloph.	0,825	x				
	Scharrh.	x					

10-H: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 48 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.
I. fumosorosea	Koloph.	0,000	0,267	0,000	0,903	1,000	x
	Scharrh.	0,000	0,419	0,000	0,972	x	
M. anisopliae	Koloph.	0,010	0,972	0,002	x		
	Scharrh.	1,000	0,044	x			
B. bassiana	Koloph.	0,156	x				
	Scharrh.	x					

10-I: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 48 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.
I. fumosorosea	Koloph.	0,810	0,810	0,197	0,978	1,000	x
	Scharrh.	0,978	0,978	0,477	1,000	x	
M. anisopliae	Koloph.	1,000	1,000	0,810	x		
	Scharrh.	0,978	0,978	x			
B. bassiana	Koloph.	1,000	x				
	Scharrh.	x					

10-J: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 48 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.
I. fumosorosea	Koloph.	1,000	1,000	0,955	0,998	1,000	x
	Scharrh.	1,000	1,000	0,989	1,000	x	
M. anisopliae	Koloph.	1,000	1,000	1,000	x		
	Scharrh.	0,998	0,998	x			
B. bassiana	Koloph.	1,000	x				
	Scharrh.	x					

10-K: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 72 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.
I. fumosorosea	Koloph.	0,999	0,999	0,000	0,919	1,000	x
	Scharrh.	1,000	0,985	0,000	0,985	x	
M. anisopliae	Koloph.	0,999	0,555	0,000	x		
	Scharrh.	0,000	0,000	x			
B. bassiana	Koloph.	0,919	x				
	Scharrh.	x					

10-L: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 72 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.
I. fumosorosea	Koloph.	1,000	1,000	0,000	0,593	0,873	x
	Scharrh.	0,988	0,988	0,000	1,000	x	
M. anisopliae	Koloph.	0,873	0,873	0,000	x		
	Scharrh.	0,000	0,000	x			
B. bassiana	Koloph.	1,000	x				
	Scharrh.	x					

10-M: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 72 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.
I. fumosorosea	Koloph.	0,935	0,999	0,608	0,608	1,000	x
	Scharrh.	0,935	0,999	0,608	0,608	x	
M. anisopliae	Koloph.	0,999	0,935	1,000	x		
	Scharrh.	0,999	0,935	x			
B. bassiana	Koloph.	0,999	x				
	Scharrh.	x					

10-N: Scharrharz, Kolophonium: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 72 Stunden

		B. bassiana		***M. anisopliae***		***I. fumosorosea***	
		Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.	Scharrh.	Koloph.
I. fumosorosea	Koloph.	0,999	0,999	0,999	0,999	1,000	x
	Scharrh.	0,999	0,999	0,999	0,999	x	
M. anisopliae	Koloph.	1,000	1,000	1,000	x		
	Scharrh.	1,000	1,000	x			
B. bassiana	Koloph.	1,000	x				
	Scharrh.	x					

11 Terpen-Reinsubstanzen

11-A: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 24 Stunden

		B. bassiana			***M. anisopliae***			***I. fumosorosea***		
		(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen
I. fumosorosea	Myrcen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x
	(-)β-P.	0,000	1,000	0,044	0,972	1,000	0,000	0,000	x	
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x		
M. anisopliae	Myrcen	0,000	0,000	0,773	0,010	0,001	x			
	(-)β-P.	0,000	1,000	0,085	0,996	x				
	(-)α-P.	0,000	0,972	0,419	x					
B. bassiana	Myrcen	0,000	0,044	x						
	(-)β-P.	0,000	x							
	(-)α-P.	x								

11-B: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 24 Stunden

		B. bassiana			***M. anisopliae***			***I. fumosorosea***		
		(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen
I. fumosorosea	Myrcen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	X
	(-)β-P.	0,000	1,000	0,004	0,002	1,000	0,000	0,000	x	
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x		
M. anisopliae	Myrcen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x			
	(-)β-P.	0,000	0,997	0,018	0,010	x				
	(-)α-P.	0,000	0,001	1,000	x					
B. bassiana	Myrcen	0,000	0,002	x						
	(-)β-P.	0,000	x							
	(-)α-P.	x								

11-C: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 24 Stunden

		B. bassiana			***M. anisopliae***			***I. fumosorosea***		
		(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen
I. fumosorosea	Myrcen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,439	0,000	x
	(-)β-P.	0,000	0,284	0,000	0,000	0,996	0,000	0,000	x	
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x		
M. anisopliae	Myrcen	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x			
	(-)β-P.	0,000	0,786	0,000	0,000	x				
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	x					
B. bassiana	Myrcen	0,000	0,000	x						
	(-)β-P.	0,000	x							
	(-)α-P.	x								

11-D: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 24 Stunden

		B. bassiana			***M. anisopliae***			***I. fumosorosea***		
		(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen
I. fumosorosea	Myrcen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,496	0,000	x
	(-)β-P.	0,000	1,000	0,000	0,000	0,211	0,000	0,000	x	
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x		
M. anisopliae	Myrcen	0,997	0,000	0,000	0,000	0,000	x			
	(-)β-P.	0,000	0,496	0,000	0,000	x				
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	x					
B. bassiana	Myrcen	0,000	0,000	x						
	(-)β-P.	0,000	x							
	(-)α-P.	x								

11-E: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 48 Stunden

		B. bassiana			***M. anisopliae***			***I. fumosorosea***		
		(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen
I. fumosorosea	Myrcen	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	1,000	0,001	x
	(-)β-P.	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,732	0,001	x	
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	x		
M. anisopliae	Myrcen	0,000	0,000	0,000	0,732	0,000	x			
	(-)β-P.	0,000	0,000	0,000	0,000	x				
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	x					
B. bassiana	Myrcen	0,000	0,000	x						
	(-)β-P.	0,000	x							
	(-)α-P.	x								

11-F: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 48 Stunden

		B. bassiana			***M. anisopliae***			***I. fumosorosea***		
		(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen
I. fumosorosea	Myrcen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,001	x
	(-)β-P.	0,000	0,000	0,000	0,986	0,000	0,999	0,003	x	
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	x		
M. anisopliae	Myrcen	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	x			
	(-)β-P.	0,000	0,000	0,000	0,000	x				
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	x					
B. bassiana	Myrcen	0,000	0,000	x						
	(-)β-P.	0,000	x							
	(-)α-P.	x								

11-G: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 48 Stunden

		B. bassiana			***M. anisopliae***			***I. fumosorosea***		
		(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen
I. fumosorosea	Myrcen	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,007	1,000	0,055	x
	(-)β-P.	0,000	0,000	0,000	0,799	0,000	0,996	0,055	x	
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,007	x		
M. anisopliae	Myrcen	0,000	0,000	0,000	0,996	0,000	x			
	(-)β-P.	0,007	0,000	0,055	0,000	x				
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	x					
B. bassiana	Myrcen	0,996	0,000	x						
	(-)β-P.	0,000	x							
	(-)α-P.	x								

11-H: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 48 Stunden

		B. bassiana			***M. anisopliae***			***I. fumosorosea***		
		(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen
I. fumosorosea	Myrcen	0,000	0,000	0,000	0,995	0,936	0,236	1,000	1,000	x
	(-)β-P.	0,000	0,000	0,000	0,995	0,936	0,236	1,000	x	
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	0,995	0,936	0,236	x		
M. anisopliae	Myrcen	0,000	0,000	0,000	0,747	0,936	x			
	(-)β-P.	0,000	0,000	0,000	1,000	x				
	(-)α-P.	0,000	0,000	0,000	x					
B. bassiana	Myrcen	0,000	0,236	x						
	(-)β-P.	0,000	x							
	(-)α-P.	x								

11-I: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 72 Stunden

		B. bassiana			***M. anisopliae***			***I. fumosorosea***		
		(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen
I. fumosorosea	Myrcen	1,000	0,000	0,051	0,648	0,000	0,051	1,000	1,000	x
	(-)β-P.	1,000	0,000	0,015	0,351	0,000	0,015	1,000	x	
	(-)α-P.	1,000	0,000	0,051	0,648	0,000	0,051	x		
M. anisopliae	Myrcen	0,051	0,000	1,000	0,898	0,648	x			
	(-)β-P.	0,000	0,000	0,648	0,051	x				
	(-)α-P.	0,648	0,000	0,898	x					
B. bassiana	Myrcen	0,051	0,000	x						
	(-)β-P.	0,000	x							
	(-)α-P.	x								

11-J: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 72 Stunden

		B. bassiana			***M. anisopliae***			***I. fumosorosea***		
		(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen
I. fumosorosea	Myrcen	1,000	0,000	0,905	1,000	0,905	1,000	1,000	1,000	x
	(-)β-P.	1,000	0,000	0,664	1,000	0,664	1,000	1,000	x	
	(-)α-P.	1,000	0,000	0,664	1,000	0,664	1,000	x		
M. anisopliae	Myrcen	1,000	0,000	0,905	1,000	0,905	x			
	(-)β-P.	0,664	0,000	1,000	0,905	x				
	(-)α-P.	1,000	0,000	0,905	x					
B. bassiana	Myrcen	0,664	0,000	x						
	(-)β-P.	0,000	x							
	(-)α-P.	x								

11-K: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 72 Stunden

		B. bassiana			***M. anisopliae***			***I. fumosorosea***		
		(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen
I. fumosorosea	Myrcen	1,000	0,977	0,977	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	x
	(-)β-P.	1,000	0,977	0,977	1,000	1,000	1,000	1,000	x	
	(-)α-P.	1,000	0,799	0,799	0,977	0,977	0,977	x		
M. anisopliae	Myrcen	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	x			
	(-)β-P.	1,000	1,000	1,000	1,000	x				
	(-)α-P.	1,000	1,000	1,000	x					
B. bassiana	Myrcen	0,977	1,000	x						
	(-)β-P.	0,977	x							
	(-)α-P.	x								

11-L: (-)-α-Pinen, (-)-β-Pinen, Myrcen: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 72 Stunden

		B. bassiana			***M. anisopliae***			***I. fumosorosea***		
		(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen	(-)α-P.	(-)β-P.	Myrcen
I. fumosorosea	Myrcen	1,000	0,957	0,957	0,957	1,000	0,957	1,000	1,000	x
	(-)β-P.	1,000	0,957	0,957	0,957	1,000	0,957	1,000	x	
	(-)α-P.	1,000	0,957	0,957	0,957	1,000	0,957	x		
M. anisopliae	Myrcen	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	x			
	(-)β-P.	1,000	1,000	1,000	1,000	x				
	(-)α-P.	1,000	1,000	1,000	x					
B. bassiana	Myrcen	1,000	1,000	x						
	(-)β-P.	1,000	x							
	(-)α-P.	x								

11-M: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 24 Stunden

	B. bassiana	***M. anisopliae***	***I. fumosorosea***
I. fumosorosea	0,980	0,980	x
M. anisopliae	1,000	x	
B. bassiana	x		

11-N: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 24 Stunden

	B. bassiana	***M. anisopliae***	***I. fumosorosea***
I. fumosorosea	0,000	0,000	x
M. anisopliae	0,987	x	
B. bassiana	x		

11-O: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 24 Stunden

	B. bassiana	***M. anisopliae***	***I. fumosorosea***
I. fumosorosea	0,000	0,000	x
M. anisopliae	0,214	x	
B. bassiana	x		

11-P: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 24 Stunden

	B. bassiana	***M. anisopliae***	***I. fumosorosea***
I. fumosorosea	0,000	0,000	x
M. anisopliae	0,063	x	
B. bassiana	x		

11-Q: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 48 Stunden

	B. bassiana	***M. anisopliae***	***I. fumosorosea***
I. fumosorosea	0,152	0,000	x
M. anisopliae	0,000	x	
B. bassiana	x		

11-R: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 48 Stunden

	B. bassiana	***M. anisopliae***	***I. fumosorosea***
I. fumosorosea	0,022	0,000	x
M. anisopliae	0,000	x	
B. bassiana	x		

11-S: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 48 Stunden

	B. bassiana	***M. anisopliae***	***I. fumosorosea***
I. fumosorosea	1,000	0,000	x
M. anisopliae	0,000	x	
B. bassiana	x		

11-T: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 48 Stunden

	B. bassiana	***M. anisopliae***	***I. fumosorosea***
I. fumosorosea	0,955	0,000	x
M. anisopliae	0,000	x	
B. bassiana	x		

11-U: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 5mm nach 72 Stunden

	B. bassiana	***M. anisopliae***	***I. fumosorosea***
I. fumosorosea	0,189	0,346	x
M. anisopliae	1,000	x	
B. bassiana	x		

11-V: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 10mm nach 72 Stunden

	B. bassiana	***M. anisopliae***	***I. fumosorosea***
I. fumosorosea	0,593	0,593	x
M. anisopliae	1,000	x	
B. bassiana	x		

11-W: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 15mm nach 72 Stunden

	B. bassiana	***M. anisopliae***	***I. fumosorosea***
I. fumosorosea	0,608	0,608	x
M. anisopliae	1,000	x	
B. bassiana	x		

11-X: R-Limonen: Errechnete Signifikanzwerte für 20mm nach 72 Stunden

	B. bassiana	***M. anisopliae***	***I. fumosorosea***
I. fumosorosea	0,999	0,999	x
M. anisopliae	1,000	x	
B. bassiana	x		