UNTERSUCHUNGEN ZUR POPULATIONSDYNAMIK DER FICHTENGESPINSTBLATTWESPE *CEPHALCIA ABIETIS* IN EINEM AKTUELLEN BEFALLSGEBIET IM WALDVIERTEL

Edna Gober, BSc

Masterarbeit zur Erlangung des wissenschaftlichen Grades
Diplomingenieurin der Universität für Bodenkultur Wien
Studienrichtung Phytomedizin

Betreuerin: PD Dr. C. Schafellner
Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz
Department für Wald- und Bodenforschung

Wien, 2017

Abstract

Larvae of the spruce web-spinning sawfly *Cephalcia abietis* feed on needles of older spruce trees. Mature larvae fall to the ground and dig into the mineral soil up to 25 cm where they overwinter as nymphs (resting larvae). Adult wasps emerge after 1-4 years and deposit eggs in the spruce crowns. Excessive larval feeding can weaken the host trees, making them more susceptible to bark beetle infestation. In this work the population dynamics of *Cephalcia abietis* was investigated two years after a mass outbreak (2013) in the Waldviertel/Lower Austria. In addition, physiological parameters of the resting nymphs in the soil were determined. Between 2014 and 2015 nymph density declined by more than half. While in April 2014 all sawfly individuals were in the eonymphal (early) stage, almost 90% had reached the pronymphal (late) stage by November 2015. The majority of the nymphs had a bright green body colour, a small percentage (4-5%) was yellow. In eonymphs, sex ratio was slightly in favour of males, in pronymphs it was balanced. In June 2016 only 37 male and 37 female wasps were caught with ground-photoeclectors from the infestation site, in summer a single larva dropped from the crowns was found in the funnel traps. The physiological studies showed that nymphs are freeze intolerant, but they show deep supercooling points (-17°C), which were even more pronounced in pronymphs than in eonymphs. The respiratory activity of the nymphs increased with increasing temperature, no significant differences occurred between males and females. Similarly, the fat reserves in males and females were equally high, males had a higher body water content than females. Based on the present results adult wasp emergence of the majority of the population was predicted for 2016. Accordingly, the sawfly population in the Waldviertel has a 3-year generation cycle. Due to the long development of the nymphs in the soil (3 winter periods), the population suffered high mortality losses.

Danksagung

Hiermit möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich bei der Fertigstellung dieser Masterarbeit so zahlreich unterstützt haben:

An erster Stelle möchte ich mich bei Frau Dr. Christa Schafellner bedanken. Vielen Dank für die erstklassige Betreuung während der Erstellung dieser Arbeit. Mein Dank gilt auch der tatkräftigen Unterstützung während den Außenaufnahmen, sowie der prompten Hilfe bei jeglichen Problemen während der Tätigkeiten am Institut.

Des Weiteren möchte ich mich herzlichst bei Herrn Dr. Altenhofer für seine tatkräftige Unterstützung während der Außenaufnahmen danken. Vielen Dank für das entgegenkommende Interesse und dem wöchentlichen und wochenlangen Entleeren der Konservierungsflüssigkeiten der Eklektoren.

Herrn Ing. Duhan möchte ich herzlichst für das Interesse an den Untersuchungen und dem großzügigen Bereitstellen der befallenen Waldfläche danken.

Mein Dank gilt auch allen Mitarbeitern des IFFF der BOKU Wien, die mir sowohl bei den Außenaufnahmen tatkräftig halfen, als auch bei den unterschiedlichsten Tätigkeiten am Institut. Vielen Dank für die familiäre Atmosphäre, dadurch fiel mir das Arbeiten um einiges leichter.

Vielen Dank auch an meinen Freund Michael sowie an Lukas, Patrick und Philipp sowie an alle Studienkollegen, die mich zu den Außenaufnahmen begleiteten und großartig unterstützten, sie waren mir eine große Hilfe.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, dass sie mir dieses Studium überhaupt ermöglichten und für ihre immerwährende Geduld.

Inhaltsangabe

1. Einleitung 1

2. Die Gemeine Fichtengespinstblattwespe *Cephalcia abietis* 3

2.1 Biologie und Morphologie 3

2.2 Populationsdynamik 8

2.3 Überwinterung 9

2.4 Gegenspieler 11

3. Material und Methoden 14

3.1 Versuchsfläche 14

3.2 Zeitlicher Ablauf der Freilandaufnahmen 18

3.3 Freilanduntersuchungen 20

3.3.1 Luft- und Bodentemperatur 20

3.3.2. Nymphen im Boden 21

3.3.3 Wespenschlupf 23

3.3.4 Abbaumende Larven 25

3.4 Physiologische Untersuchungen 26

3.4.1 Geschlechtsbestimmung 26

3.4.2 Entwicklungsversuch 27

3.4.3 Unterkühlungspunkt 28

3.4.4 Respiration 29

3.4.5 Fettmessung 33

3.5 Statistische Auswertungen 37

4. Ergebnisse 38

4.1 Standortparameter 38

4.2 Nymphenentwicklung im Boden 42

4.3 Schlupfdynamik der Wespen 53

4.4 Physiologische Untersuchungen an Nymphen 56

4.4.1 Frosthärte 56

4.4.2 Atmungsaktivität 57

4.4.3 Energiehaushalt 60

5. Diskussion 63

6. Zusammenfassung 74

7. Literaturverzeichnis 77

8. Verzeichnis 81

8.1 Tabellen 81

8.2 Abbildungen 83

1. Einleitung

Die Gemeine oder Große Fichtengespinstblattwespe, *Cephalcia abietis* (Hymenoptera, Pamphiliidae), zählt mit ihren unregelmäßig auftretenden Massenvermehrungen zu einem schwer prognostizierbaren Forstschädling. Die Larven fressen in selbst angelegten Gespinsten (Name!) an älteren Nadeljahrgängen der Gemeinen Fichte, *Picea abies* (Coniferales, Pinaceae), die diesjährigen Nadeln bleiben verschont. Dadurch kommt es zwar zu keinem Absterben des Wirtsbaumes, aber der Fraßschaden vermindert die Vitalität des Baumes und macht ihn attraktiv für Sekundärschädlinge, wie z.B. Borkenkäfern. Durch den fortschreitenden Klimawandel wird es immer wichtiger die Populationsdynamik der Fichtengespinstblattwespe genauer zu verstehen und prognostizieren zu können, um den „Klimawandelgewinner Borkenkäfer“ besser zu kontrollieren (Petercord 2009).

Immer wieder kam es im 19. und 20. Jahrhundert in den Fichtenwäldern Europas zu unregelmäßigen Gradationen der Fichtengespinstblattwespe. Diese Massenvermehrungen dauerten oft ein bis zwei Jahrzehnte. So berichtet die forstliche Literatur über ein Massenauftreten der Fichtengespinstblattwespe von 1880-1886 in Schlesien. In Österreich wurde vor allem nach dem 2. Weltkrieg von Gradationen berichtet, unter anderem in Tirol (Wipp- und Stubaital), in der Oststeiermark, im Südburgenland, in Oberösterreich (Mondsee) und im Wiener Becken. Bis 1960 beschränkte sich das Vorkommen der Gespinstblattwespe im Waldviertel südlich der Donau (Ybbs), ab 1966 wurde erstmals ein Massenauftreten nördlich der Donau (Sieghartsberg, Wieninger-, Karlsteinerberg, Weinsbergwald, Ostrong) dokumentiert (Jahn 1976, beschrieben in Eichhorn et al. 1982).

Die letzte Gradation der Fichtengespinstblattwespe im Waldviertel trat 1966 auf rund 10 ha im Revierteil Miniwald des Reviers Heubach (Eigentümer: Stift Zwettl) auf. Ab den 1970er Jahren wurde kein Befall mehr im Forstbetrieb Stift Zwettl bzw. der Bezirksforstinspektion Zwettl dokumentiert (Steyrer 2014). Im Herbst 2013 wurden im sog. Miniwald wieder Fraßschäden der Fichtengespinstblattwespe festgestellt. Im Jänner 2014 wurde diese Fläche vom Institut für Waldschutz des Bundesforschungszentrums für Wald (BFW) begutachtet. Anhand von Probegrabungen wurde eine extrem hohe Belagsdichte an Nymphen im Boden festgestellt. Die vorliegende Arbeit hatte das Ziel die Populationsdynamik im Jahresverlauf 2015 im Befallsgebiet darzustellen. Dazu wurden die Populationsdichte und der Entwicklungszustand (Eonymphe – Pronymphe) der Tiere im Boden erhoben, die Schlüpfaktivität der adulten Wespen während der Schwärmphase im Frühjahr

überwacht und die Dichte der abbaumenden Larven im Spätsommer bestimmt. Ergänzend wurde untersucht wie groß der Anteil der Überlieger im Herbst 2015 war und wie sich der physiologische Zustand der überliegenden Tiere von Jänner bis Juli hinsichtlich Frosthärte, Energiehaushalt und Atmungsaktivität darstellte. Außerdem wurde die Mortalität der überliegenden Individuen im Untersuchungszeitraum Jänner bis November 2015 dokumentiert.

2. Die Gemeine Fichtengespinstblattwespe, *Cephalcia abietis*

2.1 Biologie und Morphologie

Die Gemeine oder Große Fichtengespinstblattwespe, *Cephalcia abietis,* ist eine Pflanzenwespe aus der Familie der Gespinstblattwespen (Pamphiliide) innerhalb der Ordnung der Hautflügler (Hymenoptera). Morphologisch lassen sich die adulten Wepsen an einem auffallend großem Kopf erkennen, der vorwiegend schwarz mit rötlichen Flecken im Antennen- und Wangenbereich ist. Der Thorax ist überwiegend schwarz, das Scutellum gelb. Das Abdomen ist dorsal rötlichbraun. Flügelgeäder und Stigma variieren von braun bis dunkelbraun. Die Körpergröße der Wespen reicht von ca. 11-14 mm (Eichhorn et al. 1982) (Abb.1).

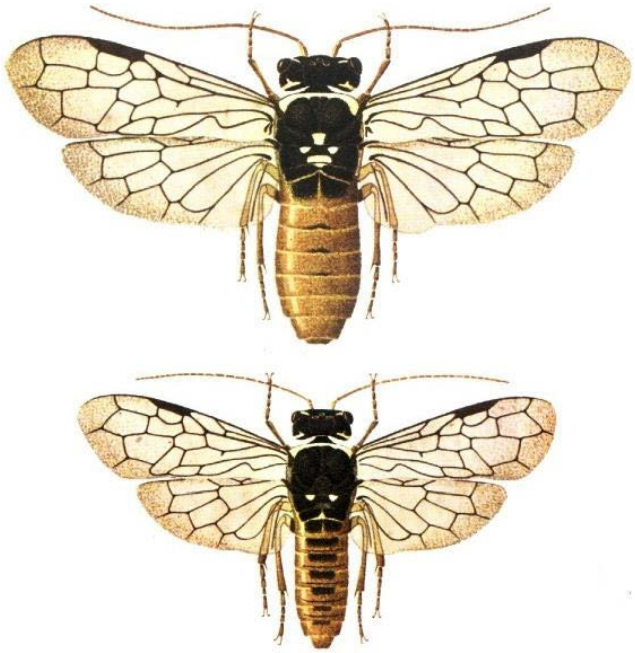


Abb.1: Adulte weibliche (oben) und männliche (unten) *C. abietis* Wespe (Quelle: pohoda.joste.cz).

C. abietis zeichnet sich durch eine ausgeprägte Protandrie aus, d.h. die adulten Männchen schlüpfen im Frühjahr bis zu 2 Wochen vor den Weibchen aus dem Boden. Die Männchen fliegen bedeutend besser als die Weibchen, die sich mit ihrem mit Eiern prall gefüllten Hinterleib vorwiegend krabbelnd fortbewegen (Eichhorn et al. 1982). Beobachtet wurde, dass sich Weibchen an einem Hang entlang von Krone zu Krone von der Luftströmung tragen lassen (Andrea Battisti, Universität Padua, pers. Mitteilung).

Die Paarung erfolgt unmittelbar nach dem Schlupf in Bodennähe, dabei kann ein Weibchen von mehreren Männchen begattet werden. Der Schwärmflug ist an keinen Tagesrhythmus gebunden, doch warme Temperaturen und Sonneneinstrahlung fördern dessen Intensität. Bei kühlem, nassen Wetter verkriechen sich die geschlechtsreifen Tiere im Unterwuchs. Insgesamt dauert der Schwärmflug 2-4 Wochen, je nach Witterung manchmal auch länger. Die Lebensdauer der adulten Wespen beträgt bei den Männchen 10-15 Tage, bei den Weibchen 3-4 Wochen (Eichhorn et al. 1982).

Als Wirtsbaum dient ausschließlich die Gemeine Fichte, *Picea abies,* bevorzugt im Alter zwischen 60-120 Jahren. Die Eiablage erfolgt überwiegend im sonnenexponierten Kronenbereich, 1-2 m unter der Kronenspitze, sowohl an älteren als auch diesjährigen Nadeln. Je Nadel werden 1-12 Eier an allen 4 Nadelflächen abgelegt, vor allem an der oberen Hälfte der Nadel. Dabei sägt das Weibchen Schlitze in die Nadel und klemmt die Eier ein. Die Eier selbst sind walzenförmig mit gerundeten Enden, grün bis graugrün und ca. 2,3x1,1 mm groß (Eichhorn et al. 1982). Der Eivorrat der Weibchen wird mit 100-120 Eiern angegeben. Nach 2-4 Wochen schlüpfen die Larven (Afterraupen) (Petercord 2009).

Abb.2: Gespinst mit Wohnröhren und Kotresten der Larven und abgestorbenen, verbräunten Futternadeln (Quelle: Duhan)

Die Larven kriechen in die nächste Zweiggabel, wo sie Wohnröhren anlegen und sich von dort aus auf gesponnenen Fäden laufend fortbewegen. Bei hoher Dichte leben die Tiere gesellig und legen an der Zweigunterseite ein Gespinst an, das mit graugrünen bis braunen Kotpartikeln befüllt wird (Abb.2). Die Larven unternehmen keine großen Wanderungen, sondern ziehen sich die Nadeln in das Gespinst. Bevorzugt werden ältere Nadeln, aber bei Nahrungsmangel werden auch diesjährige Nadeln und Knospen gefressen. Eine Larve verzehrt bis zu 8 Nadeln, davon vergilbt ein Teil, wird nicht mehr gefressen und verbleibt im Gespinst, wo die Nadeln verbräunen. Man rechnet mit einem Anteil von 20 % vergeudeter Nadeln. Die Larven fressen etwa 6-8 Wochen, in dieser Zeit häuten sie sich mehrfach. Männchen durchlaufen 4, Weibchen 5 Stadien. Nach der letzten Häutung verlieren die Larven ihre unscheinbare Farbe und verfärben sich grün bzw. goldgelb (Eichhorn et al. 1982). Die Gelbfärbung tritt bei unter 10 % der Individuen einer Population auf und wird rezessiv vererbt (Gruppe 1995) (Abb.3).

Abb.3: Polychromismus von *C. abietis* Nymphen (Quelle: E. Altenhofer)

Die Larven verlieren nach ihrer letzten Häutung das Spinnvermögen und lassen sich zu Boden fallen, indem sie sich aus dem Gespinst hinaus katapultieren. Die nun als Nymphen bezeichneten Tiere graben sich 5-20 cm tief in den Boden ein und fertigen dort eine kleine Erdhöhle an, in der sie in hakenförmig gekrümmter Stellung ruhen (Abb.4) (Eichhorn et al. 1982).

Abb.4: Nymphe in hakenförmiger Stellung in Erdhöhle

Anhand der Entwicklung des Adultauges, das durch die Kopfkapsel der Nymphe durchschimmert, kann man den Entwicklungsfortschritt der Nymphe ablesen. Dabei wird zwischen Eonymphen (kein Adultauge sichtbar) und Pronymphen (Adultauge sichtbar) unterschieden. Das Adultauge wird in der Literatur als „Puppenauge“ bezeichnet (Baier 1990). Baier (1989) unterscheidet bei der Pronymphe 4 Stadien mit fortscheitender Sichtbarkeit des Auges (P1-P4) (Abb.5).

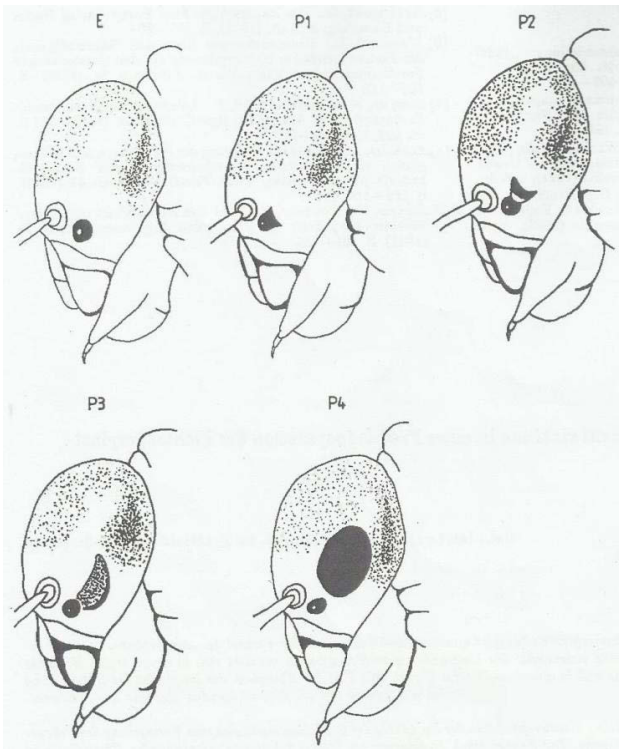


Abb.5: Entwicklungsstadien anhand der Augenentwicklung:
E = Eonymphe, P1-P4 = fortschreitende Entwicklung der Pronymphe
(Quelle: Baier 1990)

Die Dauer der Entwicklung der Nymphe im Boden ist unter anderem temperaturabhängig. So muss die Temperatur mehr als 13°C im Boden betragen, damit sich die Eonymphe weiter zur Pronymphe entwickeln kann. Liegt die Temperatur unter diesem Entwicklungsnullpunkt, verfallen die Eonymphen in eine sog. „Eonymphendiapause“, bis die Temperatur wieder steigt. Somit kommen Populationen an überliegenden Eonymphen zustande, die ein bis drei Jahre zur Weiterentwicklung zu Pronymphen benötigen (Baier 1994). Im Herbst jenes Jahres, in dem die Tiere die Pronymphenentwicklung abschließen, gehen die Tiere in einen obligat genetisch fixierten Ruhezustand (Diapause) über. Der Stoffwechsel der Nymphen ist in dieser Phase stark reduziert. Für die gesamte Entwicklung von der Eonymphe über Pronymphe zur Puppe und für die Metamorphose zur adulten Wespe sind die Tiere auf gespeicherte Reserven angewiesen, da sie keine Nahrung zu sich nehmen (Baier 1995). Pronymphen verpuppen sich im Frühjahr, das Puppenstadium dauert etwa 10-18 Tage (Eichhorn et al. 1982).

2.2 Populationsdynamik

Die variable Entwicklungsdauer der Fichtengespinstblattwespe in Mitteleuropa von 2-3 Jahren wurde schon Ende des 19. Jahrhunderts von Altum (1882) beschrieben, die in folgenden Studien vielfach bestätigt wurde. Gleichzeitig gab es europaweit aber auch Beobachtungen von einjährigen bzw. vierjährigen Generationen (Eichhorn 1990). Im Waldviertel südlich der Donau fand von 1953-1960 eine Massenvermehrung statt. Die Hauptflugjahre wiesen auf einen 3-4jährigen Zyklus hin. In Nordböhmen (vorwiegend Erzgebirge) wurde von 1950-1960 dagegen eine vorwiegend 2-jährige Entwicklung beobachtet. 1966 trat die Fichtengespinstblattwespe erstmals massenhaft nördlich der Donau auf, damals wurden 1-4jährige Generationen festgestellt (Eichhorn et al. 1982). In Schweden scheint ein 3-4jähriger Zyklus vorzuherrschen (Hequist 1956, beschrieben in Eichhorn 1990).

Von welchen Faktoren die Länge der Generationsentwicklung abhängt, konnte noch nicht vollständig geklärt werden. So wurden einjährige Generationen vorwiegend bei trockenem und warmen Wetter während der Fraßaktivität der Larven beobachtet. Auch ist in Höhenlagen unter 700 m ein einjähriger Zyklus häufiger vorzufinden (Eichhorn et al. 1982). Im Freistaat Thüringen (Deutschland) wurde von 1981-1997 das Auftreten der Fichtengespinstblattwespe in einer Höhenlage unter 700 m in Fichtenreinbeständen untersucht. Trotz der geringen Höhenlage kam es 1997 erst nach 3-jährigem Überliegen zum Hauptflugjahr. Es wurde darüber hinaus beobachtet, dass sich der Befallsherd Richtung Osten verschob (Baier et al. 2000). Ebenso wurde in einem 80-jährigen Fichtenreinbestand unter 600 m in Oberschwaben (Deutschland) eine 3-jährige Entwicklung dokumentiert (Eichhorn et al. 2000).

Der Zeitpunkt des Abbaumens nach dem Nadelfraß spielt offenbar eine wichtige Rolle in der Dauer der Diapause. So erfahren früh abbaumende Larven (Ende Juli – Anfang August) im Boden die benötigten Temperatursummen, um sich bis in den Herbst desselben Jahres noch bis zum Pronymphenstadium P4 weiterzuentwickeln. Später abbaumende Larven (Ende August – September) erreichen diese Temperatursummen nicht mehr, sie entwickeln sich nicht bis zum Stadium P4 und überliegen (Baier 1995).

Die Diapause der *C.abietis*-Nymphen lässt sich somit in drei Phasen einteilen: Die erste Phase ist temperaturabhängig und endet mit dem Erreichen der benötigten Temperatursumme. Dabei durchläuft die Eonymphe alle Nymphenstadien bis zur Entwicklung des Komplexauges (Pronymphe P4), dies kann mehrere Jahre dauern. Die zweite Phase beendet die Diapause-Entwicklung der Pronymphen. Dazu sind ein Kältereiz und eine ausreichende Kälteexposition nötig (Winter). In der dritten Phase

(Nachdiapause) wird im Frühjahr die Verpuppung eingeleitet. Als exogene Faktoren für die variable Dauer der Diapause werden unter anderem Standortseigenschaften genannt, wie z.B. Witterungsfaktoren, Bodeneigenschaften, Vegetation, aber auch die Einbohrtiefe der Larven in den Boden. So wird beispielsweise die Bodentemperatur durch Inklination und Sonneneinstrahlung und der Mächtigkeit der Schneedecke im Winter beeinflusst. Wassergestättigte Böden erwärmen sich langsamer als Böden mit höherem Skelettanteil. Geschlossene Kronendecken schirmen die Einstrahlung ab, ebenso wie eine hohe organische Auflage. Je tiefer eine Larve sich in den Boden einbohrt, umso eher wird der Entwicklungsnullpunkt erreicht (Gruppe 1995).

2.3 Überwinterung

Die Frage einer erfolgreichen Überwinterung ist bei *C. abietis* wichtig, da viele Populationen einen mehrjährigen Entwicklungszyklus haben und somit die Tiere nicht nur einen, sondern zwei oder drei Winterperioden im Boden überleben müssen, bis sie sich fertig entwickeln. Darüber hinaus fressen die Tiere in dieser langen Zeit nicht und sind daher auf ihre Energiereserven angewiesen.

Insekten haben verschiedene Strategien entwickelt, um die jährliche Kälteperiode zu überstehen. Dabei wird, abhängig vom Eintreten des Gefriertodes, zwischen opportunistischen, frostempfindlichen und frosttoleranten Insekten unterschieden. Opportunistische Arten sterben ohne vorheriger Drosselung des Stoffwechsels beim Eintreten von Temperaturen, an denen der Metabolismus nicht mehr aufrecht gehalten werden kann. Frostempfindliche Insekten sterben, wenn ihr Körperwasser friert, das kann bei mehr oder weniger tiefen Minusgraden der Fall sein. Frosttolerante Tiere verhindern das Frieren des Körperwassers in ihren Zellen, überleben jedoch das Frieren des extrazellulären Wassers unbeschadet (Sinclair 1999). Diese Insektenarten sind vorwiegend in Gebieten zu finden, in denen keine kalte Jahreszeit gibt. In Mitteleuropa findet man sowohl frostempfindliche als auch frosttolerante Arten. Frostempfindliche Arten überleben lange Perioden im unterkühlten Stadium, aber sterben bei Erreichen des sogenannten Unterkühlungspunktes (Supercooling point SCP). Die Temperatur des SCP ist spezifisch für jede Insektenart und beschreibt jene Temperatur, bei der der wässrige Anteil des Körperinhalts gefriert.

Das Überleben der Tiere bei tiefen Temperaturen wird ermöglicht durch z.B. Synthese bestimmter Proteine, Akkumulation von polyolen Kohlenhydraten (häufig Glykol) oder partielle Dehydrierung von Körperkompartimenten (Storey et al. 2012). Ebenso müssen Insekten auf ihren Stoffwechsel achten, da Nahrung oder Bakterien im Verdauungstrakt als Eisnukleatoren fungieren können (Wharton 2012). Abhängig von

der Insektenart werden ca. 65 % der Körperflüssigkeit kristalliert. Die Eisbildung wird durch spezifische Kristallisierungssubstanzen ausgelöst. Kryoprotektane halten die flüssige Phase im Intrazellulärraum aufrecht und schützen die Membranstruktur in schrumpfenden Zellen. Eine Dehydrierung findet nur bei einem hohen Gehalt an Kryoprotektanen statt, die für die Stabilisierung der Makromoleküle im Insektenkörper sorgen. Verbleibende Körperflüssigkeit wird zum selben Dampfdruck-Gleichgewicht wie Eis gebracht. Sowohl frostempfindliche als auch frosttolerante Insekten akkumulieren diese polyolen Kryoprotektane. In frostempfindlichen Arten erlauben Polyole die Herabsetzung des Unterkühlungspunktes, um die Kristallisation zu vermeiden. In frosttoleranten Arten bieten Polyole Schutz vor intrazellulärem Gefrieren, wenn extrazellulär die Kristallisation einsetzt. Bei kryoprotektiver Dehydration nimmt das Disaccharid Trehalose die Hauptfunktion zum Schutz der Makromoleküle ein (Storey et al. 2012). Der Zucker wird vor allem von bodenbewohnenden Tieren benutzt. Dabei bleibt die Körperflüssigkeit im flüssigen Zustand, durch den niedrigeren Dampfdruck des Eises im umgebenden Boden gibt das Tier Wasser ab, verringert dadurch den Schmelzpunkt im Körper und verhindert so die Kristallisation (Wharton 2012).

In frostempfindlichen Arten sind Antikristallisationsproteine ausschlaggebend bei der Unterdrückung des SCPs, sie können aber auch in frosttoleranten Arten vorkommen, wo sie die Kristallumwandlung hemmen. Xylomannan-Glycolipide scheinen ebenfalls eine Rolle bei der Widerstandsfähigkeit von Kälte zu spielen. In frosttoleranten Arten findet man zusätzlich Lipoproteine, die die Eisnukleation in extrazellulären Kompartimenten bei hohen Minusgraden erleichtern (Storey et al. 2012). Beobachtungen über ein Überleben von intrazellulärer Eisbildung bei Tieren lassen darauf schließen, dass es noch wesentliche Lücken im Wissen über die Widerstandsfähigkeit von Insekten vor dem Erfrieren gibt (Wharton 2012).

Die Nymphen von *C. abietis* überwintern als Eonymphen oder Pronymphen. Der Entwicklungsfortschritt der Nymphen im Herbst entscheidet darüber, ob sich die Tiere im folgenden Frühjahr zu Adulttieren weiterentwickeln oder ob sie ein weiteres Jahr im Boden bleiben. Haben sich die Tiere im Herbst zur Pronymphe entwickelt, verpuppen sie sich im Frühjahr und schlüpfen als adulte Wespen. Liegen die Tiere im Herbst als Eonymphen vor, dann schlüpfen im Frühjahr keine Wespen. Bezüglich ihrer Frostresistenz gibt es keine Daten zu *C. abietis*, daher wurden in dieser Arbeit Untersuchungen zum SCP von Eo- und Pronymphen durchgeführt.

2.4 Gegenspieler

Neben Parasitoiden und Prädatoren sind Krankheitserreger wichtige natürliche Gegenspieler der Fichtengespinstblattwespe. Bei Parasitoiden unterscheidet man zwischen Ei-, Larven- und Nymphenparasiten, je nachdem, in welchem Stadium sich das Wirtstier bei der Parasitierung und der Entwicklung der Parasiten befindet. Als Eiparasiten sind drei Arten erwähnenswert:

- *Trichogramma cephalciae* (Hymenoptera, Trichogrammatidae): Diese oligophage Erzwespenart ist der wichtigste Eiparasit der Fichtengespinstblattwespe. In einem *C. abietis*-Ei entwickeln sich 9-10 Parasiten. Je nach Witterung kann sich während der Embryonalentwicklung des Wirtes auch eine zweite Trichogramma-Generation entwickeln. Ein Teil der Parasitenlarven durchlaufen eine durch Temperatur gelenkte Diapause und schlüpfen im Folgejahr aus dem Wirtsei. Durch diese partielle Diapause ist *T. cephalciae* gut an den Entwicklungszyklus der Fichtengespinstblattwespe angepasst.

  Diese Art ist vor allem auf Seehöhen über 800 m effektiv, in Tieflagen durchlaufen weniger Individuen eine Diapause, weshalb im Folgejahr eine verminderte Parasitenpopulation vorliegt.
- *Trichogramma zeirapherae* (Hymenoptera, Trichogrammatidae): Auch bei dieser Art parasitieren 9-10 Larven ein einzelnes Wirtsei. Im Gegensatz zu *T. cephalciae* findet in *C. abietis*-Eiern keine partielle Diapause statt, stattdessen werden zwei vollständige Generationen entwickelt. Durch diese schnelle Generationenfolge ist *T. zeirapherae* auf einen Wirtswechsel angewiesen, auf Eier des Grauen Lärchenwicklers, *Zeiraphera griseana* (Lepidoptera, Tortricidae).

  Die Effektivität des Eiparasiten hängt unter anderem von einem gleichzeitig stattfindenden Massenauftreten der Fichtengespinstblattwespe und des Grauen Lärchenwicklers ab.
- *Trichogramma embryophagum* (Hymenoptera, Trichogrammatidae)

Eiparasiten scheinen umgekehrt-dichteabhängig zu sein, d.h. bei hoher Eidichte von *C. abietis* sinkt deren Parasitierungsgrad. Dadurch sind Eiparasiten nicht in der Lage ein Massenauftreten der Fichtengespinstblattwespe zu verhindern, doch mindern sie Fraßschäden von *C. abietis* (Eichhorn 1990).

Alle bisher gefundenen Larven- und Nymphenparasiten an *C. abietis* sind Endoparasiten. Meist werden jüngere Afterraupen parasitiert, die Larvenentwicklung

der Parasiten endet, wenn sich der Wirt im Eo- oder Pronymphenstadium befindet. Es sind einige Vertreter aus der Familie der Schlupfwespen (Ichneumonidae) und aus der Familie der Raupenfliegen (Tachinidae) in der Literatur angeführt (Eichhorn 1990). Folgende Arten sind erwähnenswert:

- *Homaspis rufinus* (Hymenoptera, Ichneumonidae): Die Schlupfwespe legt ihre Eier in Spinndrüsen junger Larven. Die Generationsentwicklung dauert 2-3 Jahre, wobei sich die Parasiten lange in Diapause befinden. Die Schlupfwespe wirkt besonders effektiv in tieferen Lagen und ist ein häufig vorkommender Regulator von *C. abietis*.
- *Homaspis narrator* (Hymenoptera, Ichneumonidae): Die Larven dieser Schlupfwespe zeichnen sich durch charakteristische Mandibeln aus. Die Entwicklung läuft ähnlich wie bei *H. rufinus* ab, während der Diapause befindet sich die Larve in einem Trophamnion (Eihülle). *H. narrator* ist der häufigste, konstanteste und effektivste Parasit und kommt in allen Höhenlagen vor.
- *Sinophorus crassifemur* (Hymenoptera, Ichneumonidae): Diese Art hat meist eine 1-2jährige Generationsdauer. Sie ist subdominant in allen Höhenlagen anzutreffen, mit lokal hohen Parasitierungsraten.
- *Olesicampe monticola* (Hymenoptera, Ichneumonidae): Die Entwicklungsdauer ist gleich wie bei *S. crassifemur*. Die Eier werden in junge Nymphen abgelegt, danach erfolgt eine Diapause, bis die Larven im Pronymphenstadium des Wirtes überwintern und im Frühjahr die Metamorphose vollendet wird. An dieser Art wurden vergleichsweise die geringsten Raten an Superparasitierung nachgewiesen.
- *Xenoschesis fulvipes* (Hymenoptera, Ichneumonidae): Diese spätfliegende Art parasitiert *C. abietis*-Larven im L2- und L3-Stadium. Die Generationsdauer beträgt mindestens zwei Jahre, weshalb die Schlupfwespenlarven einem erhöhten Risiko an Superparasitierung oder Abkapselung durch die Immunreaktion des Wirtes ausgesetzt ist. Sie ist ein dominanter Parasit, welcher in allen Höhenlagen ein konstantes Vorkommen aufweist.
- *Myxexoristops abietis* (Diptera, Tachinidae): Diese Tachinenart legt mikrotype Eier, d.h. die Eier werden mit der Nahrung von den *C. abietis*-Larven aufgenommen. Die Generationsdauer beträgt durchschnittlich ein Jahr. Man findet die Tachine in allen Höhenlagen, sie ist aber nur lokal effektiv.

Zu den Parasiten zählt man auch Nematoden. Bisher wurden zwei Arten bei Gespinstblattwespen beschrieben: *Neoplectana janickii* (Nematoda, Steinernematidae) und *Steinernema kraussei* (Nematoda, Steinernematidae). An *C. abietis* ließ sich

bisher die zweitere Art häufiger beobachten, genaueren Untersuchungen zufolge handelt es sich um *Steinernema bibionis* (Nematoda, Steinernematidae) (Ehlers, briefl. Mitt., beschrieben in Eichhorn 1990). Durch Nematoden werden befallene Nymphen rasch aufgelöst (Eichhorn 1990), so dass in der vorliegenden Arbeit lediglich sich gerade ausbohrende Nematoden dokumentiert werden konnten.
Die Effektivität der Nematoden ist unter anderem von der Bodenversauerung abhängig. Nematoden benutzen chemische Stimuli, um ihre Wirte im Boden zu finden. Liegt der pH-Wert des Waldbodens unter 4,0, verringert sich die Fähigkeit der Nematoden den Wirt zu finden, die Mortalität der Nymphen verursacht durch Nematoden sinkt (Fischer et al. 1989).

Als Räuber an Imagines, vor allem der trägen Weibchen, fungieren Waldameisen und Weberknechte. *Cephalcia*-Eier werden von Kamelhalsfliegenlarven und nadelholzbewohnenden Marienkäferarten gefressen.
Den Larven in den Gespinströhren stellen Vögel verschiedener Arten nach; so wurden z.B. Stare- und Krähenschwärme in Befallsgebieten beobachtet. Kuckuck und Buchfink zählen ebenso zu den Vogelräubern. Räuberische Insektenlarven, wie z.B. Schwebfliegen, fressen *C. abietis*-Larven, die Nymphen im Boden werden von Schnellkäferlarven (Coleoptera) verzehrt.
Auch Schwarzwild gräbt nach den Bodennymphen; durch das Umwühlen des Bodens gelangen viele Nymphen an die Oberfläche und vertrocknen (Eichhorn 1990). Die Effektivität des Schwarzwildes richtet sich nach der Belagsdichte an Nymphen im Boden. Je höher die Belagsdichte, umso attraktiver wird das Nahrungsangebot für Wildschweine (Führer et al. 2001).

Als Krankheitserreger fungieren Viren, Pilze und Bakterien. Ein Pathogen, das latent in Nymphen vorkommt und erst unter Stressbedingungen ausbricht, ist die sog. Polyederkrankheit, die durch Viren verursacht wird. Lokal kann diese Virose effektiv in die Nymphenpopulation eingreifen.
Beauveria bassiana (Hypocreales, Clavicipitaceae) ist eine häufige Mykose, die unter anderem *C. abietis*-Nymphen befällt. Als weitere Pilzkrankheiten an Nymphen treten *Aspergillus flavus* (Eurotiales, Trichocomaceae) und *Metarrhizium anisopliae* (Hypocreales, Clavicipitaceae) in Erscheinung. Die Bodenart hat einen großen Einfluß auf die Effektivität der Mykosen, so sind in feuchtehaltenden Böden Pilzkrankheiten effektiver als in trockeneren. Im Gegensatz dazu wirken Virosen und Bakteriosen bei trockeneren Verhältnissen besser (Eichhorn 1990).

3. Material und Methoden

3.1 Versuchsfläche

Im Herbst 2013 wurden Fraßschäden durch *C. abietis*-Larven auf rund 10 ha reinem Fichtenwald im sog. Miniwald des Reviers Heubach festgestellt (Abb.6, Längengrad 48,47914 und Breitengrad 15,19323). Das Gebiet gehört zur Ortschaft Grafenschlag und liegt rund 15 km südlich von Zwettl, es befindet sich im Besitz des Stiftes Zwettl.

Die befallene Fläche befindet sich auf knapp 800 m Seehöhe, der durchschnittliche Jahresniederschlag beträgt 700 mm, die durchschnittliche Jahrestemperatur 8,4°C (ZAMG). Das forstliche Wuchsgebiet ist 9.2 Waldviertel, der Standortstyp ist der Oxalis-Typ, mit einem Boden pH-Wert von 3,9 (mündliche Mitteilung, Motlik). Das Bestandesalter der Fichten liegt bei rund 85 Jahren (Bestandesaufnahme von 1980), der durchschnittliche Brusthöhendurchmesser der 22 ausgewählten Probebäume beträgt 41±1 cm.
Auf der Befallsfläche wurde 2014 ein Transekt mit 21 Probebäumen in N-S und W-O Richtung durch das Befallszentrum angelegt, welcher 2015 mit einem zusätzlichen Probebaum erweitert wurde. (Abb.7). Die Entfernung zwischen den ausgewählten Bäumen beträgt im Schnitt 32 m.

Da der Bestand extrem hoch bestockt war, wurde im September 2014 ein Lichtungshieb durchgeführt (Abb.8). Auch Käferbäume auf der Probefläche wurden entfernt, ein Probebaum (Nr. 4) wurde im November 2015 gefällt und durch einen daneben stehenden Baum ersetzt.

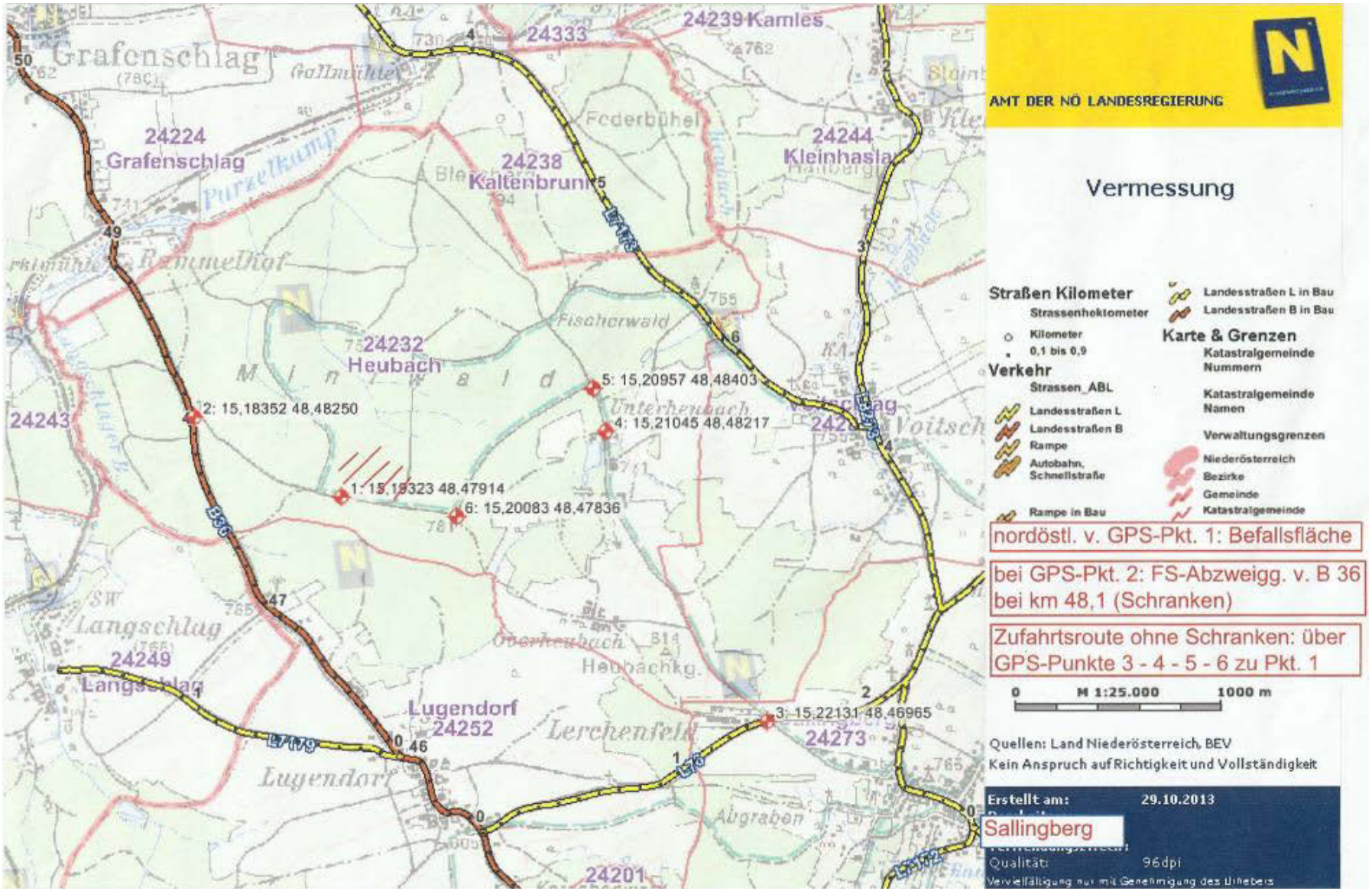


Abb.6: Kartenausschnitt von Grafenschlag und umliegenden Gemeinden; rot schraffierte Fläche: Befallsgebiet; Maßstab: 1:25000 (Quelle: http://atlas.noe.gv.at/)

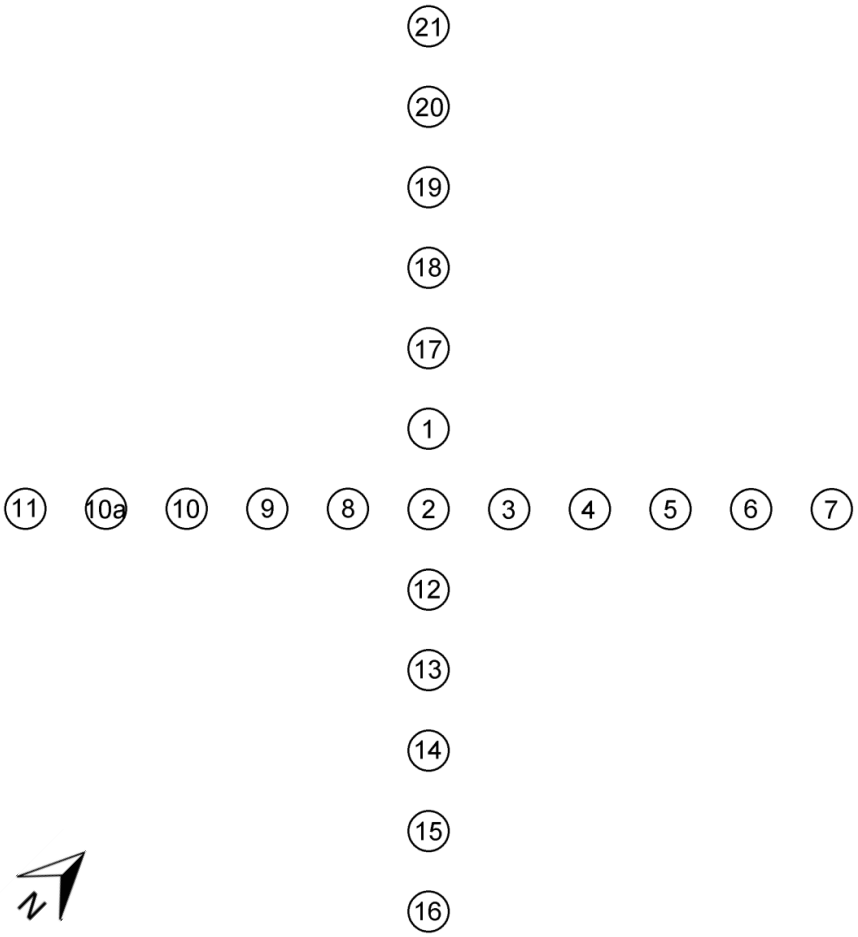


Abb.7: Schematische Darstellung des Probebaumtransekts;
Zahlen in den Kreisen zeigen die Baumnummer.

Anfang Dezember 2014 kam es in Ostösterreich zu schweren Eisbruchschäden, unter anderem in Oberösterreich (Hausruck- und Mühlviertel), im Burgenland (Rosalia, teilweise Leithagebirge) und der Steiermark (Wechselgebiet, Südoststeiermark, Südweststeiermark) (Steyrer et al. 2014). Das Ausmaß der Schäden war jedoch in Niederösterreich am größten, vor allem im Waldviertel in Höhenlagen von 500 bis 1200 m. Die geschwächten Bestände waren in der Folge von Sekundärschädlingsbefall (Pilze, Borkenkäfer) betroffen.

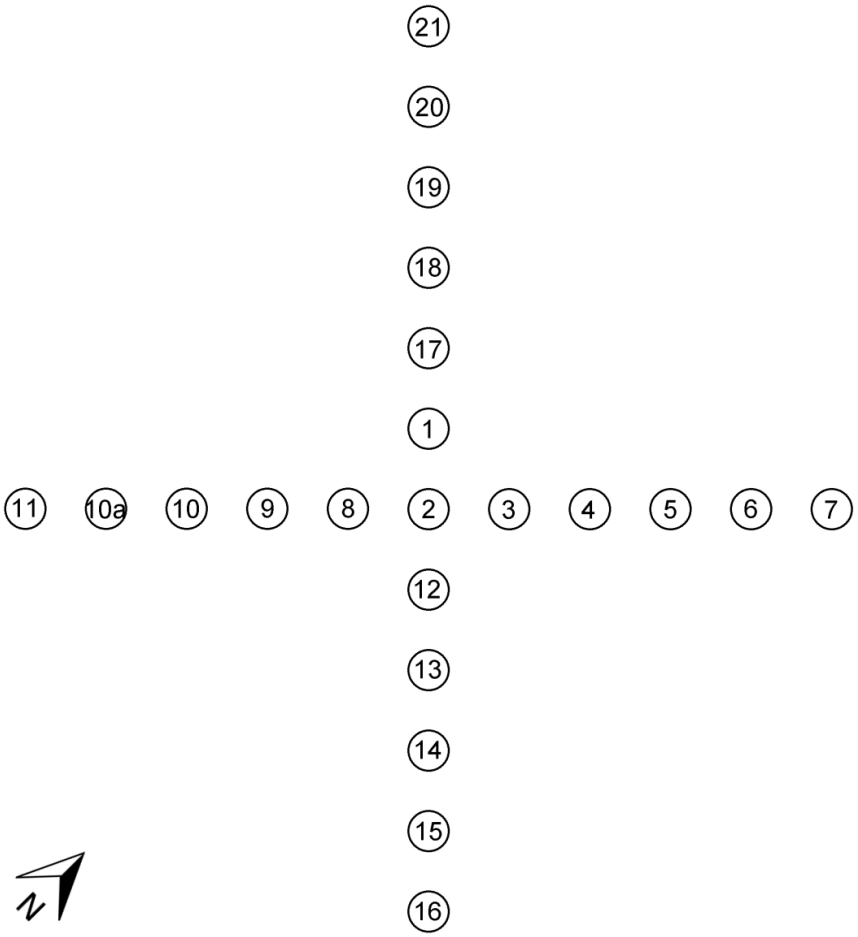


Abb.7: Schematische Darstellung des Probebaumtransekts;
Zahlen in den Kreisen zeigen die Baumnummer.

Anfang Dezember 2014 kam es in Ostösterreich zu schweren Eisbruchschäden, unter anderem in Oberösterreich (Hausruck- und Mühlviertel), im Burgenland (Rosalia, teilweise Leithagebirge) und der Steiermark (Wechselgebiet, Südoststeiermark, Südweststeiermark) (Steyrer et al. 2014). Das Ausmaß der Schäden war jedoch in Niederösterreich am größten, vor allem im Waldviertel in Höhenlagen von 500 bis 1200 m. Die geschwächten Bestände waren in der Folge von Sekundärschädlingsbefall (Pilze, Borkenkäfer) betroffen.

Abb.8: Das Befallszentrum mit Baum Nr. 2 im November 2016 (Quelle: Zelinka, IFFF)

3.2 Zeitlicher Ablauf der Freilandaufnahmen 2015

Der zeitliche Ablauf der Freilandaufnahmen ist in Abb. 9 schematisch dargestellt.

Jänner

Nachdem ein Probebaumtransekt in das Untersuchungsgebiet gelegt worden war, wurden am 20.01. bei allen Probebäumen flächenbezogene Bodenproben entnommen, um die Dichte und den Entwicklungszustand der Nymphen im Boden zu bestimmen. Zwei Datalogger wurden aktiviert, um Luft- bzw. Bodentemperatur während der Aufnahmeperiode aufzuzeichnen. Ein Teil der gesammelten Nymphen wurde für physiologische Untersuchungen (Unterkühlungspunkt, Respiration) verwendet.

März

Am 18.03. wurden Bodenproben an beliebig gewählten Probebäumen entnommen, um mit den vorhandenen Nymphen physiologische Untersuchungen (Unterkühlungspunkt, Respiration und Lipidgehalt) durchzuführen.

April

Am 28.04. wurden 35 Boden-Photoeklektoren rund um die Probebäume mit den höchsten Nymphendichten im Boden aufgestellt und bei allen Probebäumen flächenbezogene Bodenproben entnommen, um die Nymphendichte und den Entwicklungszustand der Tiere zu bestimmen. An einem Teil der Nymphen wurden physiologische Untersuchungen (Unterkühlungspunkt- und Lipidmessungen) durchgeführt.

Juli

Am 16.07. wurden die Boden-Photoeklektoren abgebaut und Trichterfallen aufgestellt, um die abbaumenden Larven der diesjährigen Generation aus der Krone abzufangen. Hierzu wurden dieselben Standorte wie für die Eklektoren gewählt. Nicht geschlüpfte Nymphen im Boden wurden an beliebig gewählten Probebäumen für physiologische Untersuchungen (Unterkühlungspunkt) aus Bodenproben geworben. Die Datalogger wurden abmontiert bzw. ausgegraben und für die Datenauslese an das IFFF gebracht.

August

Am 27.08. wurden die Trichterfallen abgebaut.

November

Am 04.11. wurden bei allen Probebäumen Bodenproben entnommen, um die Nymphendichte im Boden und das Entwicklungsstadium der Nymphen (Eonymphe, Pronymphe) vor der Überwinterung zu bestimmen.

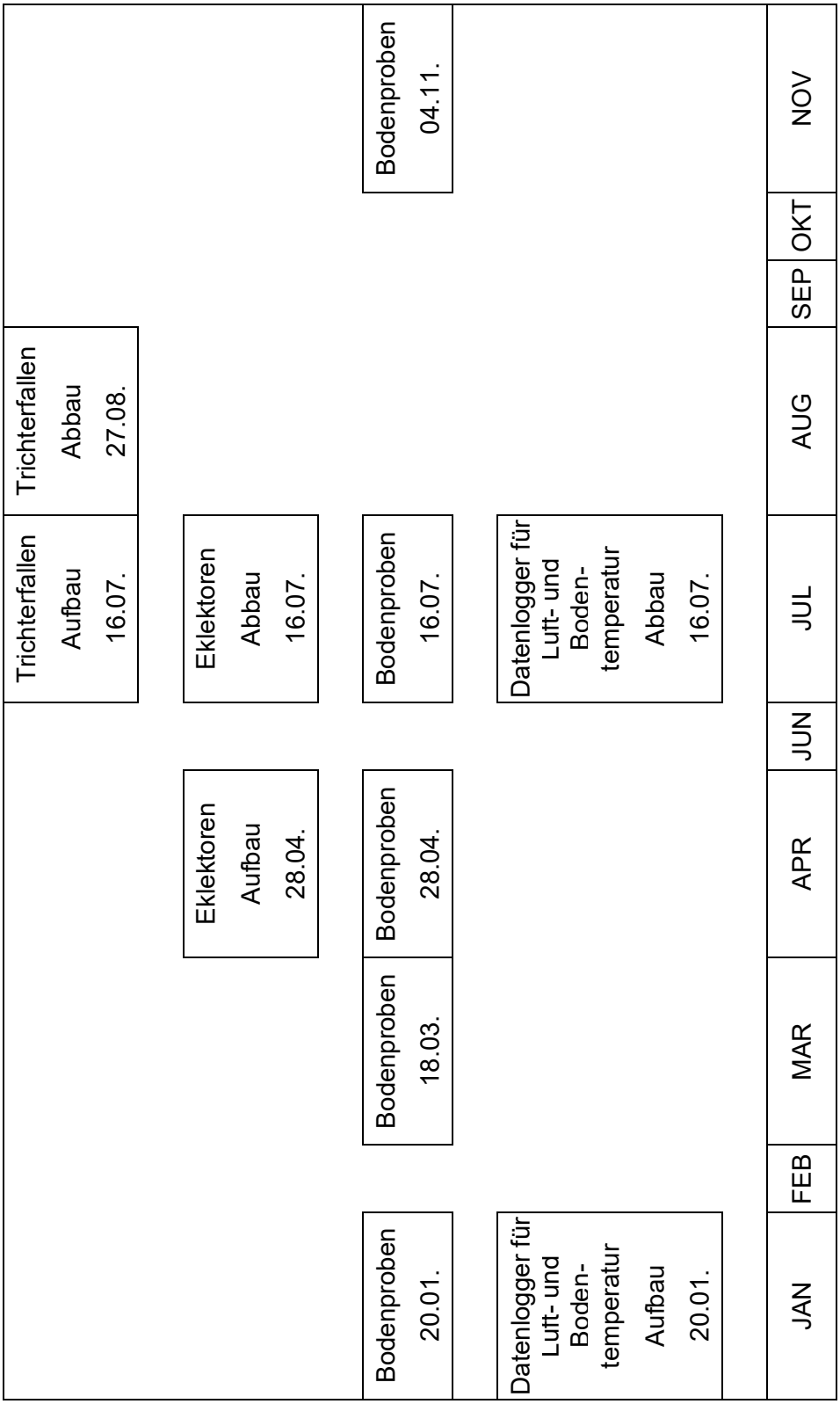


Abb.9: Zeitlicher Ablauf der Freilandaufnahmen; die Abkürzungen an der Basis stehen für die Monate im Untersuchungsjahr 2015; Kästchen über den Monaten stellen die Arbeiten im jeweiligen Zeitraum dar.

3.3 Freilanduntersuchungen

3.3.1 Luft- und Bodentemperatur

Zwei Datenlogger der Marke Tinytag wurden für den Zeitraum von Ende Jänner bis Mitte Juli 2015 in der Transektmitte bei Baum Nr. 2 installiert. Einer davon wurde spatentief (~20 cm) im Boden vergraben, der andere wurde in einem Strahlungsschutzgehäuse in 100 cm Abstand zum Boden auf einer Stange montiert (Abb.10). Die Temperaturwerte wurden 4x pro Stunde gemessen und der Mittelwert gespeichert. Das Auslesen der aufgezeichneten Temperaturdaten erfolgte mit der Auslesesoftware des Herstellers am Computer. Es wurden die Tages- und Monatsmittelwerte plus Minima und Maxima berechnet. Dadurch ließen sich die Temperaturen mit der Populationsentwicklung der Fichtengespinstblattwespe im Jahresverlauf in Zusammenhang bringen. Ebenso wurden mithilfe der Homepage der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (www.zamg.ac.at, ZAMG) in Wien die Monatsmittelwerte (inkl. Minima und Maxima) der Lufttemperaturen der Jahre 2012-2015 der dem Versuchsstandort nahegelegenen Wetterstation Stift Zwettl herangezogen, um eventuell Rückschlüsse auf die Entstehung des Massenauftretens von *C. abieits* ziehen zu können.

Abb.10: Datenlogger für Boden- (gelb) und Lufttemperaturaufnahme (unter dem weißen Strahlungsschutzgehäuse)

3.3.2 Nymphen im Boden

Die Bodenentnahme erfolgte nach Angaben der Bayrischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Lemme et al., 2010). Dazu wurde innerhalb des Kronenradius jedes Probebaumes, aber mindestens 1 m vom Stamm entfernt, eine Fläche von 30x33 cm (0,1 m²) abgesteckt und mit einem Spaten die Erde bis in eine Tiefe von 25 cm entnommen (Abb.11a). Das Material wurde in 3 Liter fassende, luftdurchlässige Jutesäcke geschüttet und in mäusedichten Käfigen im Versuchsgarten des IFFF unter Freilandbedingungen gelagert (Abb.11b). Die flächenbezogene Bodenprobenentnahme erfolgte dreimal innerhalb des Untersuchungszeitraumes (Jänner, April, November). Eine Bodenentnahme ohne Flächenbezug zur Gewinnung von Nymphen für physiologische Untersuchungen fand zweimal statt (März, Juli).

Abb.11: a) Abstecken der Fläche für eine Bodenprobenentnahme; b) Lagerung der Bodenproben in Jutesäcken unter Freilandbedingungen im Institutsgarten des IFFF (Wien).

Zur Bestimmung der Nymphendichte wurde das Bodenmaterial zunächst ausgesiebt; dazu wurden Siebe mit einer Maschenweite von 5 bzw. 3 mm verwendet (Abb.12a). Die aufgefundenen Nymphen wurden gezählt und ihre Farbe (grün/gelb) dokumentiert. Die Entwicklungsstadien den Nymphen (Eo-, Pronymphe) wurden anhand des sog. „Puppenauges“ unter dem Binokular (Heerbrugg Wild M3) bei 40-facher Vergrößerung bestimmt. Tote Individuen wurden aussortiert und auf mögliche Todesursachen hin untersucht. Die Einteilung der Todesursachen erfolgte in mechanische Verletzungen (durch Transport, Aussieben), Pilzbefall und Nematodenbefall. Die Nymphen wurden

für weitere physiologische Untersuchungen in nicht verschlossenen, mit gesiebter Erde befüllten Plastiksäckchen unter Freilandbedingungen im Institutsgarten des IFFF gelagert (Abb.12b).

Abb.12: a) Bodenmaterial im Sieb zum Aussieben der Nymphen,
b) Aufbewahren der Nymphen in offenen Plastiksäcken mit Erde unter Freilandbedingungen

Die Dichte der Eo- und Pronymphen pro Probebaum wurde wie folgt berechnet:

$$n_{(Nymphen\ pro\ Bodenprobe)} * 10 = \frac{n}{m^2}\,(Nymphen\ pro\ m^2 beim\ Probebaum)$$

Der Mittelwert an Nymphen im Boden auf der Befallsfläche wurde mithilfe der folgenden Formel berechnet:

$$\frac{\sum_{n(Probenbaum)}}{22} = \frac{n}{m^2}\ (Nymphen\ pro\ m^2 Befallsfläche)$$

An Nymphen, die für physiologische Untersuchungen verwendet wurden, wurde das Gewicht mithilfe einer Mikrowaage (Mettler-Toledo MT5) auf 0,01 mg Genauigkeit bestimmt.

3.3.3 Wespenschlupf

Zum Abfangen frisch geschlüpfter Wespen aus dem Boden wurden insgesamt 35 Eklektoren innerhalb der Kronenradien der Probebäume aufgestellt. Die Verteilung der Eklektoren erfolgte dabei nach der Dichte der Pronymphen bei den Probebäumen. Bei Bäumen, in deren Umfeld eine sehr hohe Nymphendichte auftrat, wurden 2 oder 3 Eklektoren aufgestellt, bei Bäumen mit geringer Nymphendichte (5, 6, 7, 11, 16, 19, 20, 21) wurden keine Eklektoren aufgestellt (Abb.13)

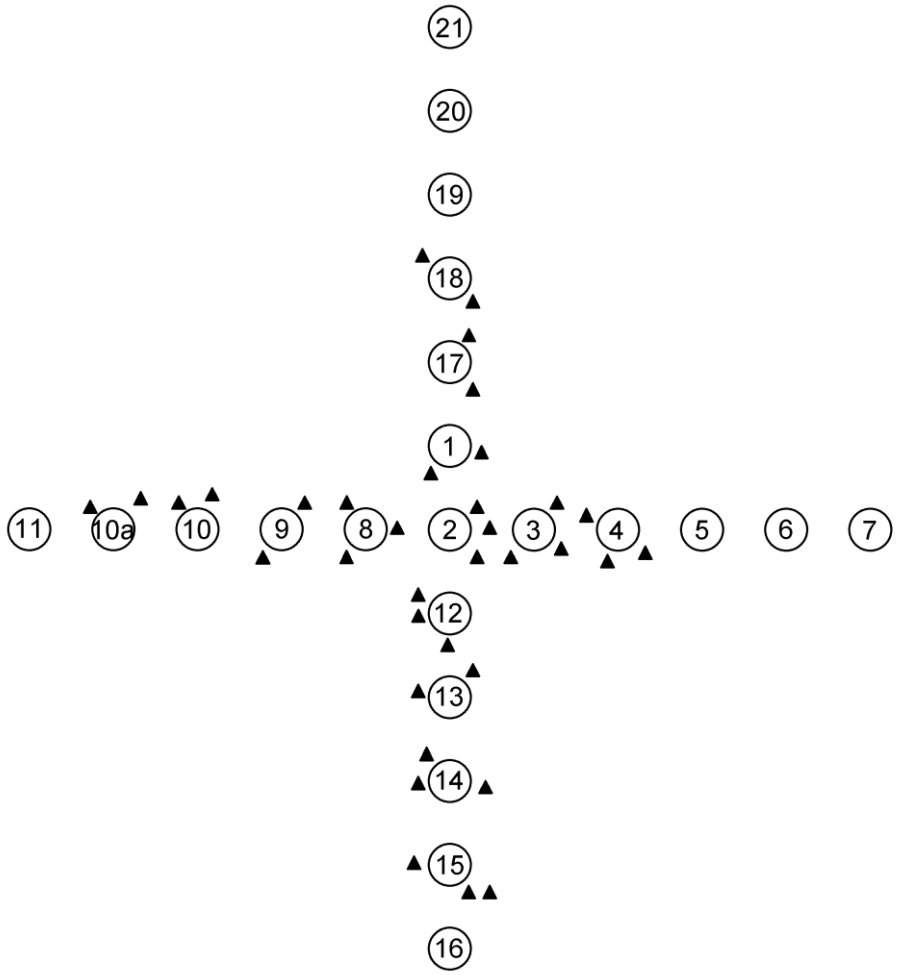


Abb.13: Aufstellungsorte der Eklektoren (Dreiecke) beim jeweiligen Probebaum

Die verwendeten Boden-Photoeklektoren (Abb.14) bestehen aus einem pyramidenförmigen Eisengestell mit der Grundfläche 70x70 cm. Darüber wurde ein schwarzer Stoff aus lichtundurchlässigem Material gestülpt. An der Pyramidenspitze befindet sich eine Öffnung, in die ein runder Acrylglasbehälter gesteckt wurde. Der Behälter enthält in Bodenmitte ein nach oben und unten offenes Rohr, durch das die

aus dem Boden schlüpfenden Insekten zum Licht klettern, und ist mit einem Acrylglasdeckel oben dicht verschlossen. Der Behälter wurde mit 0,5 % ROCIMA^{TM} GT (Dow-Chemicals) in Wasser zur Konservierung der Insekten 2 cm hoch gefüllt. Beim Schlupf von Insekten oder Spinnentieren aus dem Boden krabbeln diese instinktiv zum Licht, landen im Abfangbecher und fallen in die Konservierungsflüssigkeit.
Die Konservierungsflüssigkeit mit den darin gefangenen Insekten wurde wöchentlich von 28. April bis 16. Juli 2015 abgesammelt und durch frische ersetzt.

Abb.14: Boden-Photoeklektor mit Auffangbecher für die aus dem Boden schlüpfenden Wespen

Alle Insekten, die in der Konservierungsflüssigkeit landeten, wurden nach Ordnungen sortiert (Lepidoptera, Coleoptera, Diptera, Hymenoptera) und gezählt. Bei den Hautflüglern wurde vor allem auf die Familien Schlupfwespen (Ichneumonidae) und Brackwespen (Braconidae) eingegangen, da in diesen Familien Antagonisten von *C. abietis* vorkommen. Adulte *C. abietis*-Wespen wurden gezählt und ihr Geschlecht bestimmt (Abb.15). Aus der Anzahl der Fallen und ihrer Grundflächen konnte ein Flächenbezug zum Wespenschlupf berechnet werden. Aus dem Sammeldatum der Wespen wurde der Schlupfzeitraum definiert.

Abb.15: Adulte *C. abietis* Wespen, Weibchen (links) und Männchen (rechts)
(Quelle: C. Schafellner IFFF)

3.3.4 Abbaumende Larven

Um einen Überblick über die Dichte der abbaumenden *C. abietis*-Larven zu bekommen, wurden an denselben Stellen, auf denen die Eklektoren positioniert waren, Trichterfallen mit einer Auffangdose installiert (Abb.16).

Abb.16: Trichterfalle zum Abfangen der Larven aus der Baumkrone
(Quelle: C. Schafellner, IFFF)

Zum Aufstellen der Trichterfallen wurden die pyramindenförmigen Drahtgestelle der Boden-Photoeklektoren umgedreht und Trichter aus Plastikwellpappe mit einem Durchmesser von 70 cm in die Gestelle eingehängt. An den unteren Trichteröffnungen wurden mit Nadelstreu befüllte Blechdosen zum Auffangen der abbaumenden Larven befestigt. Die offenen Böden der Dosen wurden mit wasserdurchlässigen Netzen versehen, damit Regenwasser abfließen konnte und um Schimmelbildung möglichst zu verhindern (Abb.17). Die Trichterfallen blieben vom 16. Juli bis 27. August 2015 auf der Befallsfläche stehen.

Abb.17: Dosen gefüllt mit Nadelstreu aus dem Befallsgebiet zum Auffangen der abbaumenden Larven aus den Baumkronen.

3.4 Physiologische Untersuchungen

3.4.1 Geschlechtsbestimmung

Zur Geschlechtsbestimmung der Nymphen wurde das Gewicht der Tiere herangezogen. Alle in den Bodenproben gewonnenen Eo-/Pronymphen wurden nach dem Aussieben mit Pinseln von Erdpartikeln befreit. Es wurden nur jene Nymphen gewogen, die für weitere physiologische Untersuchungen verwendet wurden. Für alle weiteren Auswertungen wurden Tiere mit einem Gewicht unter 100 mg als Männchen und jene mit einem Gewicht über 100 mg als Weibchen deklariert.

3.4.2 Entwicklungsversuch

Unter der Annahme, dass „leichte“ (Gewicht <100 mg) Nymphen sich zu männlichen Wespen und „schwere“ (Gewicht >100 mg) sich zu weiblichen Wespen entwickeln, wurden von den Bodenproben im Jänner 50 Eonymphen unter 100 mg und 50 Eonymphen mit mehr als 100 mg Körpergewicht ausgewählt. Diese kamen in zwei Plastikbehälter, die mit gesiebter Erde befüllt waren (Abb.18). Die Behälter wurden mit einem feinmaschigen Netz abgedeckt. Um die Entwicklung der Nymphen bei erhöhten Temperaturen zu beobachten, wurden die Boxen in einem Klimaschrank (± 1 °C Genauigkeit, Profi Premiumline LC 5000) unter Landtagbedingungen (16 Stunden Licht, 8 Stunden Dunkelheit) gestellt. Die Temperatur wurde zu Versuchsbeginn am 25.02. bzw. 4.3. auf 15° C eingestellt, und nach zwei Tagen auf 25° C erhöht. Diese Einstellung wurde bis zum Versuchsabbruch am 08.06. beibehalten.

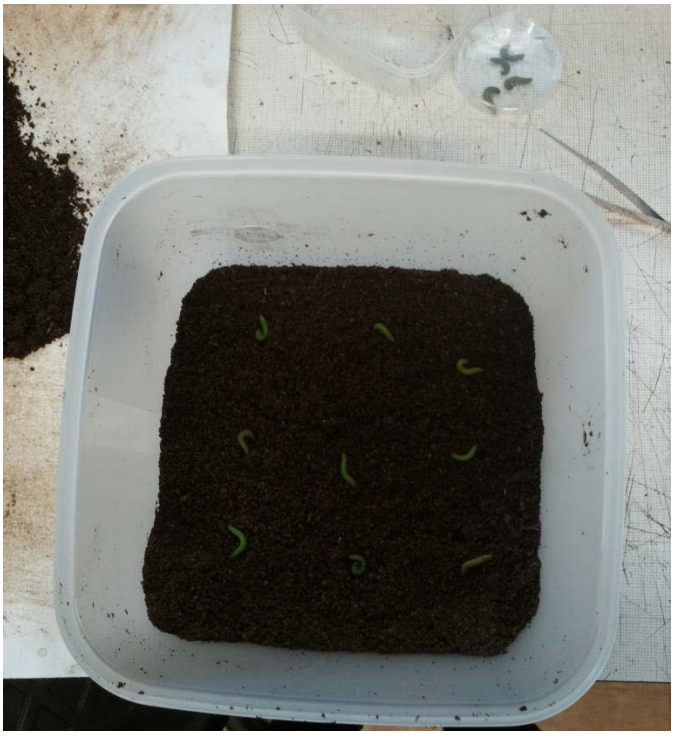


Abb.18: Nymphen für den Entwicklungsversuch bei erhöhter Temperatur verteilt auf gesiebtem Waldboden.

3.4.3 Unterkühlungspunkt

Für die Bestimmung des Unterkühlungspunktes (Supercoolingpoint, SCP) wurden Nymphen aus den Bodenprobensammlungen vom Jänner (75 Eo-, 15 Pronymphen), März (93 Eo-, 7 Pronymphen), April (89 Eo-, 1 Pronymphe) und Juli (20 Eonymphen) 2015 verwendet. Die Nymphen wurden einzeln in ein 2,0 ml Eppendorf-Reaktionsgefäß (Eppi) gegeben, das in ein 15 ml großes Kunststoffröhrchen zur Temperaturisolation gesteckt wurde, um ein zu rasches Abkühlen der Nymphen zu verhindern. Ein Thermoelement (Omega OMB-DAQ-56) mit einem Temperaturfühler aus Konstantandraht an der Spitze wurde durch die Deckelöffnung des Eppis an die Oberfläche der Nymphen gehalten, um den Temperaturverlauf während der Abkühlphase aufzuzeichnen (Abb.19). Zur Messung des SCP kamen die Nymphen in eine handelsübliche Gefriertruhe (Liebherr GT1402), die auf -30° C eingestellt war.

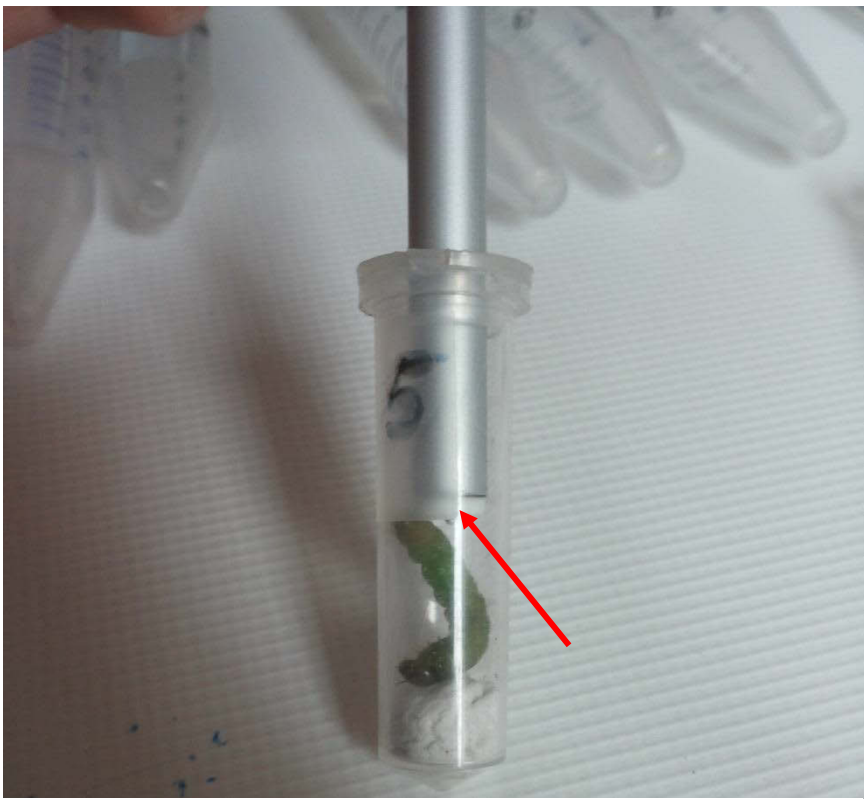


Abb.19: Spitze des Thermofühlers (Pfeil) berührt die Oberfläche einer Nymphe

Das Signal des Thermoelements wurde mittels der Messeinheit Omega USB Data Acquisition System an einen Computer geleitet, wo es mit dem Programm pDAQ 1.9 grafisch dargestellt wurde. Die Signale wurden anschließend in ein Excel-File überführt und der Unterkühlungspunkt als jene Temperatur identifiziert, bei der ein sprunghafter

Temperaturanstieg durch das Freisetzen von Kristallisationswärme beim Frieren des Körperwassers im Tier entsteht (Abb.20).

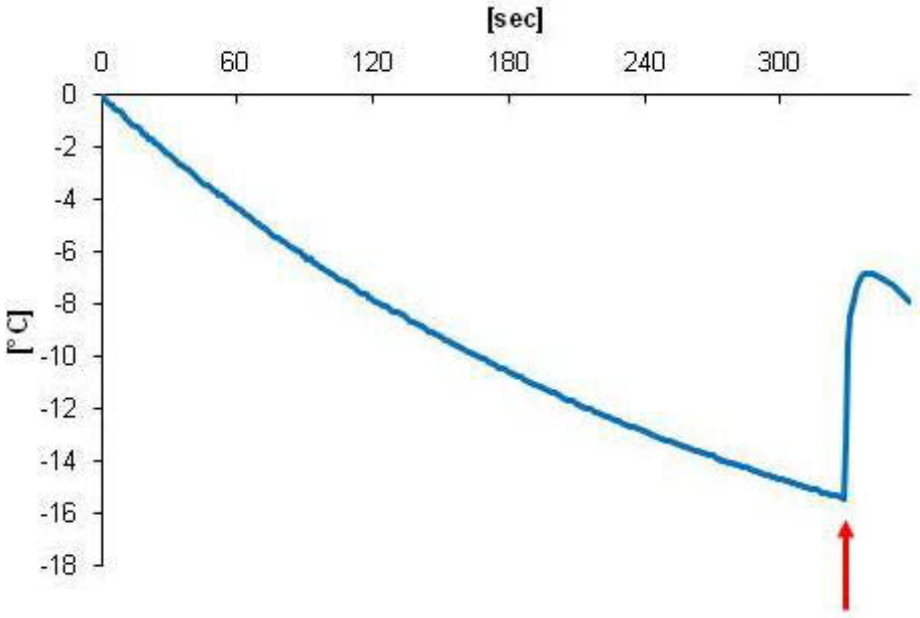


Abb.20: Aufzeichnung der Temperaturkurve einer *C. abietis* Nymphe zur Bestimmung des Unterkühlungspunkts. Der zeitliche Verlauf [sec] zeigt die Abkühlung des Tieres bis zu jenem Punkt, an dem die Körpertemperatur des Tieres durch die Eiskristallbildung kurzfristig ansteigt (Pfeil).

3.4.4 Respiration

Die Bestimmung der Atmungsaktivität der Nymphen erfolgte mit einem sog. Mikrorespirometer (Eigenbau). Dabei handelt es sich um ein Gerät zur kontinuierlichen Messung des Gasstoffwechsels eines Organismus, bestehend aus einem Manometerblock (Abb.21: A), einer gasdichten Hamilton-Mikroliterspritze (B), einer Mikrometerschraube (C) und einem Motor mit angeflanschtem Getriebe. Das Mikrorespirometer dient speziell für die Erfassung der Atmungsaktivität von kleinen Insekten (D). Im Manometerblock befindet sich die Manometerflüssigkeit (Öl), die zwischen einem sog. Respirations- (2) und einem Kompensationsgefäß (3) geführt wird. Bei Sauerstoffverbrauch steigt das Öl in einem der Schenkel an. Eine Lichtschranke, bestehend aus einer kleinen Glühbirne und einem Phototransistor überwacht diesen Vorgang (IRL). Da ungefärbtes Öl mehr Licht durch das Manometer durchlässt als Luft, erhöht sich durch Hochsteigen des Öls vor die Lichtschranke die Lichtausbeute. Durch den Niveauunterschied in der Manometerflüssigkeit wird die Lichtschranke aktiviert, durch ein Relais wird der Antriebsmotor in Gang gesetzt. Die

Mikrometerschraube, die senkrecht über der Spritze steht, bewirkt den Vorschub des Spritzenstempels. Durch das Nachschieben wird Sauerstoff (Luft) in die Respirationskammer gedrückt. Das ausgeatmete CO_2 wird von KOH (40%, Wattebausch) gebunden. Dadurch entsteht ein Unterdruck, der zu einer Verschiebung des Ölstandes führt und somit die Lichtschranke aktiviert, in weiterer Folge den Motor einschaltet, der ein Nachdrücken von Luft aus der Spritze bewirkt. Durch den Druckausgleich wird die Manometerflüssigkeit gesenkt, die Lichtausbeute sinkt und es kommt zum Abschalten des Motors. Durch das Zusammenschließen mehrerer geschlossener Atmungskammern können mehrere Insekten gleichzeitig gemessen werden. Die Spritzenvolumina werden an die Atmungsaktivität der Insekten angepasst und können ein Volumen von 10 bis 1000 µl Luft nachdrücken. Eine Genauigkeit von max. 0,002 µl ist möglich.

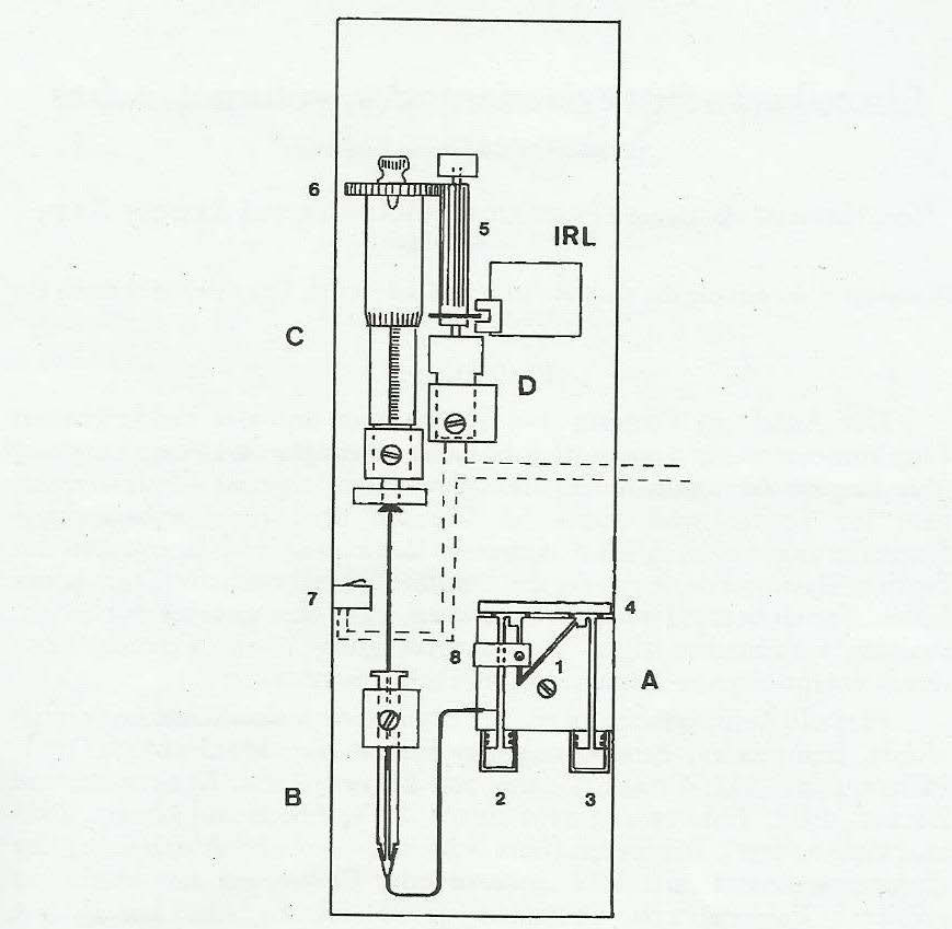


Abb. 1: Frontansicht des Respirometers. Abkürzungen: A = Manometerblock, B = Mikroliterspritze, C = Mikrometerschraube, D = Motor mit Getriebe, IRL = Infrarot-Lichtschranke, 1 = Manometer, 2 = Respirationsgefäß, 3 = Kompensationsgefäß, 4 = Manometerverschluß, 5 = Kunststoffritzel, 6 = Zahnrad, 7 = Endschalter.

Abb.21: Schematischer Aufbau der verwendeten Mirkorespirometer (Quelle: Pruscher et al. 1983)

Ein Endschalter schaltet nach maximalem Mikrometervorschub den Motorstrom ab (7). Zwei getrennte Registriereinrichtungen zeichnen die Mikrometervorgänge auf. Ein sog. Vielfach-Ereignisschreiber (Abb.22: ES) ist direkt mit den Motoren gekoppelt. Dessen Schreibwerke zeichnen solange auf, solange der Motor läuft. Daher kann man von der Dauer der Einschaltzeit auf den verbrauchten Sauerstoff schließen. Die zweite Einrichtung ist eine Scheibe, die am motorangetriebenen Ritzel sitzt und mit Schlitzen versehen ist, welche von einer Infrarot-Lichtschranke abgetastet werden. Sobald sich die Scheibe dreht, wird jeder Lichtimpuls, erzeugt durch die Schlitze, gewertet. 100 Impulse (counts) entsprechen einem Vorschub der Mikrometerschraube um 1 mm. Mit Umrechnungsfaktoren, abhängig vom Volumen der jeweiligen Mikroliterspritze, kann man den Sauerstoffverbrauch in µl berechnen. Zusätzlich zur Aufsummierung dieser Impulse ist eine Uhr vorhanden, mit der die Dauer des Experimentes festgehalten wird (Pruscha et al.1983).

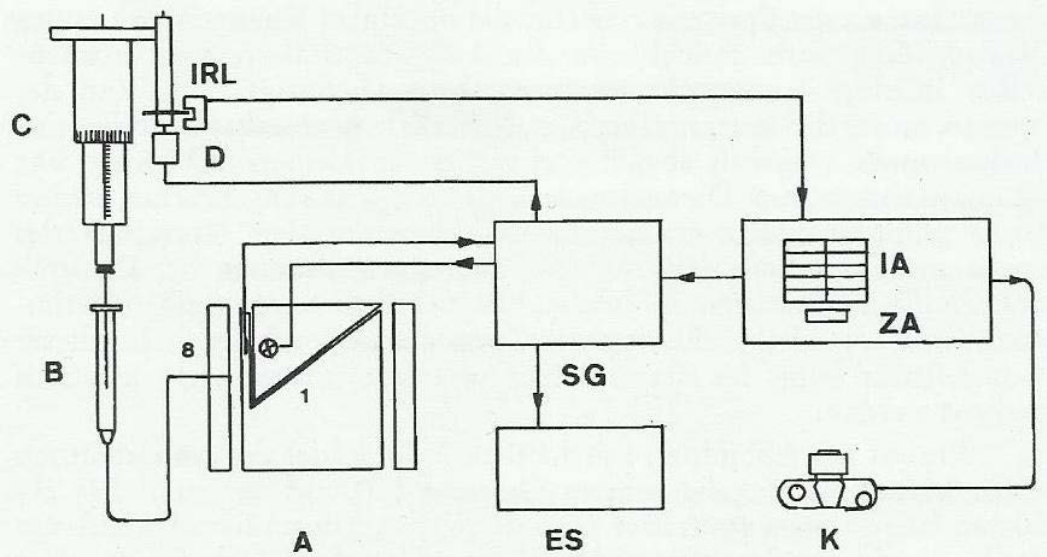


Abb. 2: Funktionsschema. Abkürzungen: A = Manometerblock, B = Mikroliterspritze, C = Mikrometerschraube, D = Motor, ES = Ereignisschreiber, IA = Impulsanzeige, IRL = Infrarot-Lichtschranke, K = Kamera, SG = Steuergerät, ZA = Zeitanzeige, 1 = Manometer, 8 = Lichtschranke.

Abb.22: Funktionsschema eines Respirometers (Quelle: Pruscher et al. 1983)

In der vorliegenden Arbeit wurde die Atmungsaktivität an je 36 Eonymphen der Probensammlungen Jänner und April 2015 bestimmt. Um bei den Messungen ähnliche Temperaturverhältnisse wie im Freiland zu simulieren, erfolgten die Messungen im Jänner bei einer Temperatur von 9,5°C, jene vom April bei 15°C. Die Nymphen wurden vor der Messung gewogen, um die Atmungsaktivität pro mg Körpergewicht zu bestimmen. Die Respirationsmessungen wurden für je 24 Stunden angesetzt, pro

Durchlauf konnte die Atmungsaktivität von 9 Nymphen gleichzeitig aufgezeichnet werden (Abb.23). Der Berechnungszeitraum erfolgte ab der 120. Minute, um mögliche Unregelmäßigkeiten durch die Manipulation der Tiere auszublenden. Die Aufzeichnungen endeten, sobald eine der 9 Nymphen die Luft, die durch die Hamilton-Mikroliterspritze nachgespritzt werden konnte (1002 counts), verbraucht hatte. Die Summe der counts steht für die Anzahl des Nachdrückens der Luft innerhalb des Untersuchungszeitraumes. Ein Count steht für das spezifische Nachdrückvolumen (µl) der jeweiligen Mikroliterspritze. Für die Berechnung der Atmungsaktivität wurde folgende Formel verwendet:

$$\mu l\ O_2 * h^{-1} * mg^{-1} = \frac{\frac{counts(t_E) - counts(_{+120min}) * Volumen\ der\ Mirkoliterspritze\ für\ 1\ count}{t}}{mg_{Nymphe}} * 60\ min$$

$_{+120min}$...Messbeginn *t_E... Messende*

t...Zeit von Messbeginn bis Messende [sec]

Die Werte werden als µl O_2-Verbrauch pro Stunde, bezogen auf ein Milligramm Gewicht des Tieres angegeben.

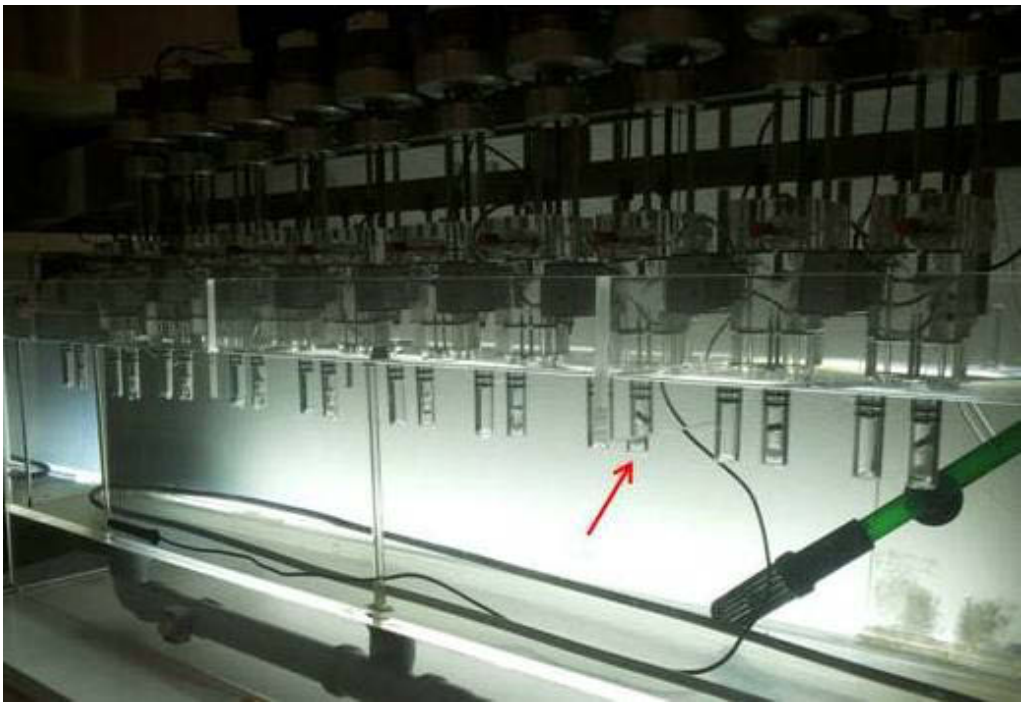


Abb.23: Mikrorespirometer (Eigenbau): Kammern in temperiertem Wasserbad; Pfeil: Nymphe in Respirationskammer.

3.4.5 Fettmessung

Anhand der Methode von Bolander (1996) wurde Acylester als Maß für den Fettgehalt der Nymphen herangezogen. Die Bestimmung des Gesamtfettgehalts wurde an 50 Eonymphen vom März bzw. 60 Eonymphen vom April 2015 durchgeführt. Die Nymphen wurden lebend gewogen, mit flüssigem Stickstoff schockgefroren und anschließend bis zur Gewichtskonstanz gefriergetrocknet (LH Leybold LYOVAC GT2). Aus dem Verhältnis Trockengewicht zu Lebendgewicht wurde mithilfe folgender Formel der Wassergehalt der Tiere berechnet:

$$Wassergehalt\ (\%) = \frac{(Lebendgewicht - Trockengewicht)}{Lebendgewicht} * 100$$

Die gefriergetrockneten, gewogenen Nymphen wurden einzeln in einem Homogenisator (Janke&Kunkel Ultra-Turrax T25) mit 1 ml MeOH (Methanol)/ H_2O-Lösung (1:1, v:v) in einem 13 ml Glaszentrifugenröhrchen zerkleinert, anschließend in einem Ultraschallbad bei 30°C für 5 min extrahiert. Der Extrakt wurde für 3 min bei 18°C mit 4000 Umdrehungen/min zentrifugiert. Der klare Überstand wurde mit einer Pasteurpipette in ein neues Zentrifugenröhrchen überführt. Der Rückstand wurde erneut mit 1,0 ml MeOH/H_2O versetzt, extrahiert und zentrifugiert, der Überstand mit dem vorherigen vereinigt. Nun wurde der Rückstand je 3x in 1 ml $CHCl_3$ (Chloroform) gelöst und zentrifugiert. Die Chloroform-Extraktionen wurden den MeOH/H_2O-Überständen zugeführt, geschüttelt (IKA MS2 Minishaker) und für 10 min bei Raumtemperatur und 4000 U/min zentrifugiert. Es erfolgte eine Phasentrennung in methanolisch-wässrig und Chloroformphase; in der letzteren sind die Lipide gelöst (Abb.24). Die obere, methanolisch-wässrige Phase wurde verworfen. Zur Chloroformphase wurde 1 ml $CHCl_3$ hinzugefügt, das Extrakt erneut gemischt und zentrifugiert. Nach nochmaligem Abheben und Verwerfen der restlichen wässrig-methanolischen Phase wurde das Chloroform über Nacht bei 60°C im Wasserbad im Abzug getrocknet. Der Rückstand wurde in 600 µl Chloroform gelöst und in 3 gleiche Volumseinheiten geteilt.

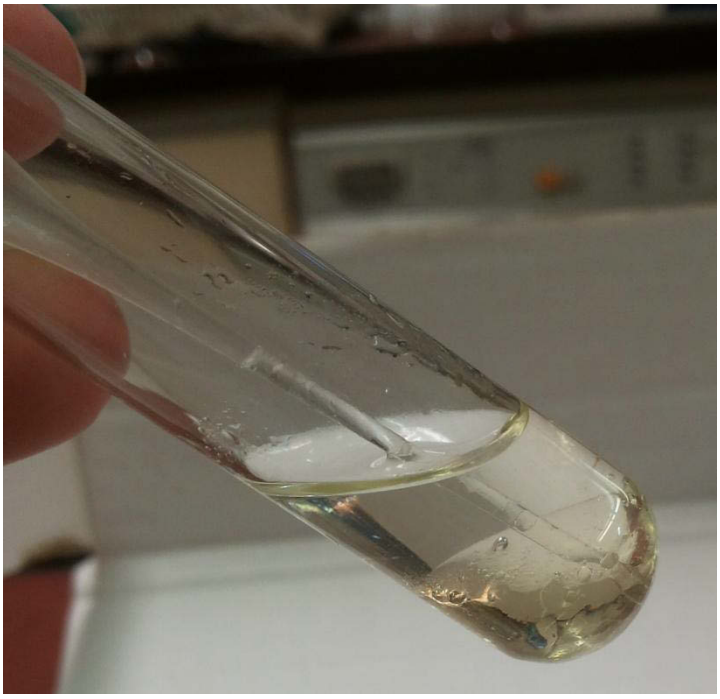


Abb.24: Phasentrennung zwischen der methanolisch-wässrigen (oben) und der Chloroformphase (unten). Die Chloroformphase enthält die Lipide.

Für die photometrische Bestimmung der Fette wurden die getrockneten Proben in 1 ml Hydroxylamin Reagenz (8 g NaOH und 4 g Hydroxylamin, in 5 ml H_2O gelöst) gelöst. Die Probe wurde anschließend für 3 min ins Wasserbad bei 60°C gestellt, danach für 5 min auf Raumtemperaturabgekühlt. Hydroxylamin verdrängt den Alkohol Glycerin aus den Acylestern und bildet aus der Esterbindung Hydroxamsäure. Es wurden 2,5 ml Eisenperchlorat Reagenz zur Lösung dazupipettiert und gevortext. Eisenperchlorat Reagenz erhält man durch die zuvor hergestellte Stammlösung aus 5 g 98 % Eisen(II)perchlorathydrat (Aldrich) in 5 ml H_2O plus 70 % Perchlorsäure (Merck), mit 100% EtOH (Ethanol) (Merck) auf 100 ml aufgefüllt. Das Reagenz wurde frisch zuzubereitet, indem 4 ml Stammlösung mit 30 ml 70 % Perchlorsäure versetzt und auf 100 ml mit EtOH aufgefüllt wurde. Hydroxamsäure aus den Proben reagiert mit dem zugesetzten Eisenperchlorat-Reagenz unter Farbumschlag zu einem violetten Eisen-Chelatkomplex. Die Perchlorsäure im Eisenperchlorat-Reagenz verhindert den Niederschlag von Eisenhydroxid, die Probe bleibt gelöst.

Die Proben wurden aus den Glas-Zentrifugenröhrchen in Einmal-Kunststoffküvetten (Brand 2,5 ml makro) (Abb.25) überführt und die Absorption bei 530 nm im Photometer (Thermo Scientific Genesys 10 vis) gemessen.

Als Standard wurde Ölsäure-Methylester (Sigma) verwendet. Zur Erstellung der Eichkurve wurden 100 µl Ölsäure-Methylester (Stammlösung 0,87 g*ml^{-1}) mit 10 ml $CHCl_3$ verdünnt. Davon wurden in 25 µl-Schritten 25-400 µl in Glaszentrifugenröhrchen pipettiert, über Nacht bei 60° C im Wasserbad getrocknet und nach der Trocknung gleich behandelt wie die Proben (Bolander 1996).

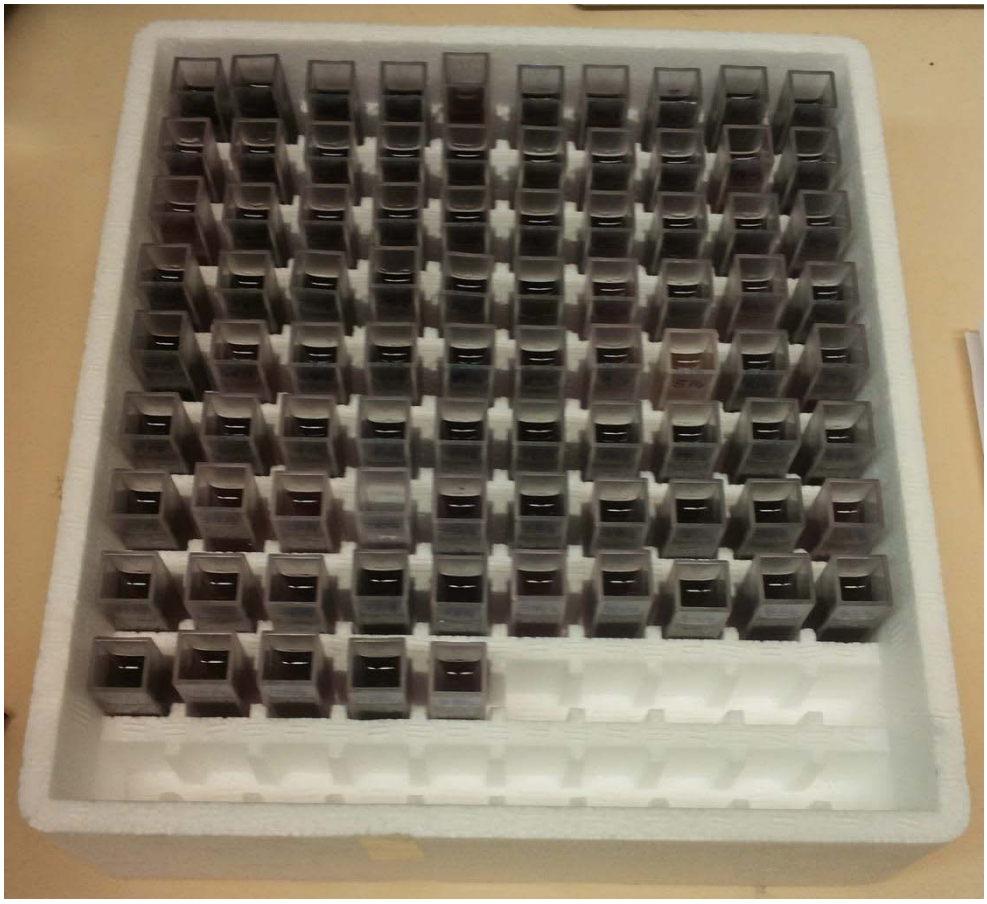


Abb.25: Proben zur Fettbestimmung in Küvetten zur Messung der Absorption im Photometer.

Die Standards mit dem Ölsäure-Methylester/Chloroform-Gemisch ergab eine logarithmische Eichkurve mit dem Bestimmtheitsmaß R^2=0,9968 (Abb.26). Zur Auswertung des Lipidgehaltes der Nymphen wurde folgende Formel angewendet:

$$OME_{\mu g} = \frac{\frac{Wert_{Ext} - b}{a}}{\frac{TG}{3}}$$

OME...Ölsäure-Methylester

Die Werte a, b stammen aus der Gleichung der Eichkurve, Ext steht für den Extinktionswert der jeweiligen Probe. Um auf die richtige Konzentration schließen zu können, wurde das Trockengewicht (TG) der Nymphe gedrittelt.

Um auf den Fettgehalt einer Nymphe pro mg Körpergewicht zu berechnen, wurde die Relation Lebendgewicht (LG) zu Trockengewicht berücksichtigt:

$$OME_{\mu g/mg} = \frac{OME_{\mu g}}{\frac{LG}{TG}}$$

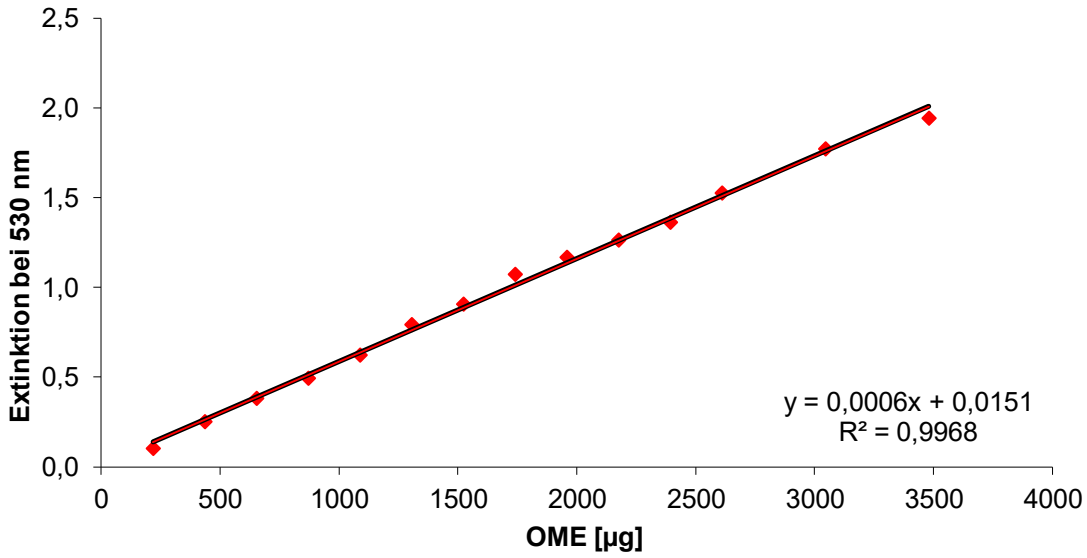


Abb.26: Logarithmische Eichkurve aus OME-Standard-Reihe nach der Gleichung y=a(x)+b. Die Extinktion der Verdünnungen ist auf der x-Achse logarithmisch abgebildet.
R² = Bestimmtheitsmaß

3.5 Statistische Auswertung

Die Auswertung der Daten erfolgte mittels Microsoft Excel 2010 und SPSS 18 und 21.

Mittelwertsunterschiede zweier Versuchsgruppen wurden anhand von Student's T-Tests (Possibility-Tests, P) auf Signifikanzen untersucht. Folgende Grenzwerte kamen zur Anwendung:

- $P > 0,5$: nicht signifikant; Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha > 5\%$
- $P \leq 0,5$: signifikant, $\alpha = 5\%$
- $P \leq 0,1$: hoch signifikant; $\alpha = 1\%$
- $P \leq 0,01$: höchst signifikant; $\alpha = 0,1\%$

Veränderungen in physiologischen Untersuchungen der Nymphen im Jahresverlauf wurden mit einer Varianzanalyse (VGLM) und nachfolgendem posthoc Test (Scheffé) bewertet. Eine Bonferoni Korrektur wurde durchgeführt.
Die Grafiken wurden mittels Microsoft Office Excel 2007 und IBM SPSS Statistics 21 erstellt.

4. Ergebnisse

4.1 Standortparameter

Um Rückschlüsse über die 2013 unvermittelt aufgetretene Massenvermehrung von *C. abietis* ziehen zu können, wurden die Lufttemperaturen der Jahre 2008 bis 2015 ausgewertet (Abb.27, Tab.1). Die Temperaturdaten der Befallsfläche wurden mit 2 Datenloggern (Boden, Luft) von Jänner bis Juli 2015 aufgezeichnet.

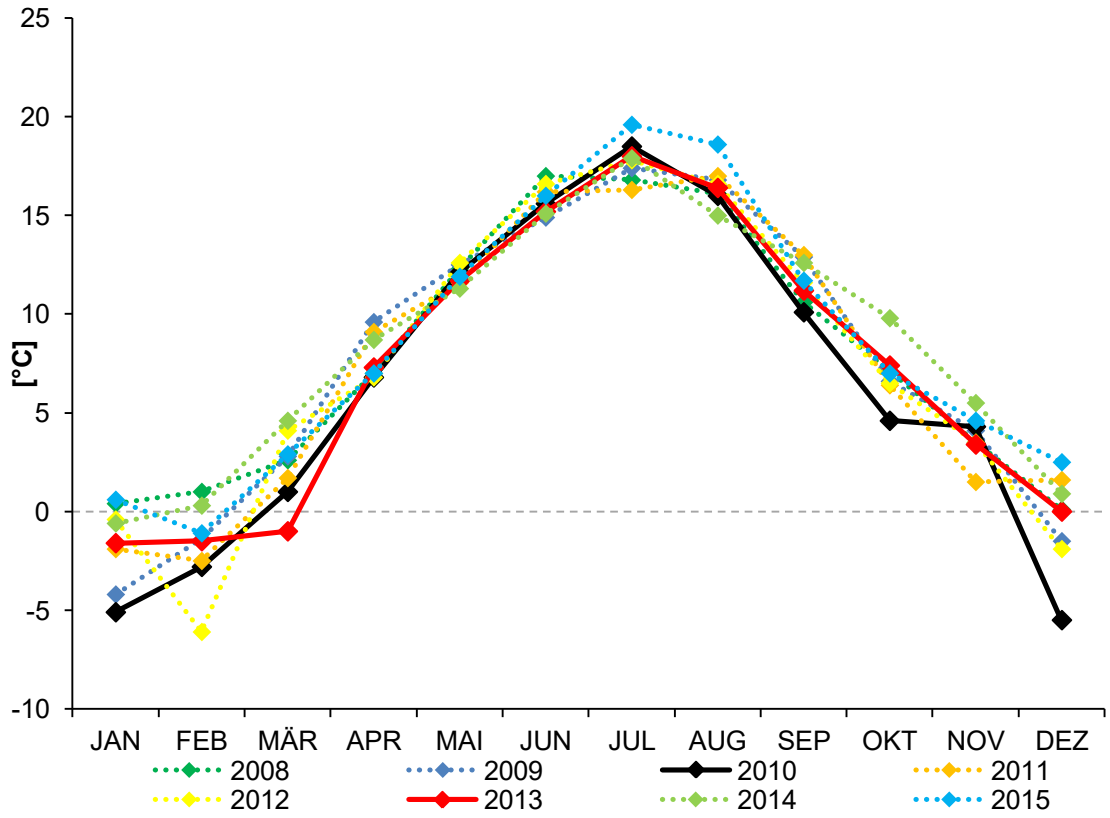


Abb.27: Monatsmittelwerte der Lufttemperaturen von 2008-2015 (Messstation Stift Zwettl)

Im Befallsjahr 2013 wurden bis auf die etwas niedrigeren Lufttemperaturen von Jänner bis März (Monatsmittel: -1,6°C bis -1.0°C) keine Auffälligkeiten im Vergleich zu den übrigen Jahren sichtbar. Im Gegensatz dazu waren die Wintertemperaturen (Monatsmittel: Jänner -5,1°C, Dezember -5,5°C) im Jahre 2010 besonders niedrig. Der tiefste Monatsmittelwert (-6,1°C) wurde im Februar 2012 gemessen.

Tabelle 1 zeigt die absoluten Minima und Maxima der Lufttemperaturen der Wetterstation Stift Zwettl. Die Extremwerte innerhalb eines Jahres lagen ca. um 50°C auseinander.

Tab.1: Absolute Minima und Maxima der Lufttemperatur (°C) der Wetterstation Stift Zwettl in den Jahren 2008-2015. Das Hauptschwärmjahr 2013 ist rot gekennzeichnet.

	Minimum (°C)	Maximum (°C)
2008	-13,7	30,1
2009	-16,6	32,5
2010	-22,0	32,3
2011	-15,6	34,2
2012	-23,1	35,7
2013	-16,4	35,2
2014	-11,6	33,1
2015	-10,6	36,3

Tabelle 2 zeigt die Unterschiede zwischen den aufgezeichneten Lufttemperaturen der Wetterstation Zwettl und jene der Datenlogger auf der Befallsfläche im Untersuchungszeitraum Jänner bis Juli 2015. Klar erkennbar ist, dass die Messwerte der Befallsfläche im Schnitt um 0,9°C-2,0°C unter denen der Wetterstation liegen, vor allem in den Monaten Jänner, März, Mai und Juni 2015 (Abb.28).

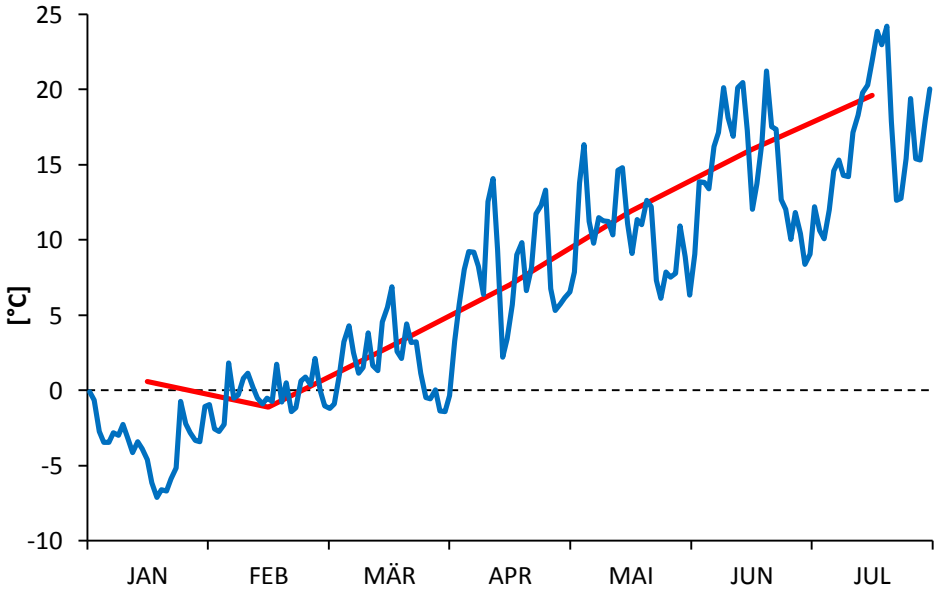


Abb.28: Verlauf der Lufttemperaturen gemessen von der Messstation Zwettl (rot: Monatsmittelwerte) und der Befallsfläche (blau: Tagesmittelwerte) in den Monaten Jänner bis Juli 2015.

Tab.2: Monatsmittelwerte (± Standardfehler) von Luft- und Bodentemperaturen (°C) der Befallsfläche und der Messstation Stift Zwettl von Jänner bis Juli 2015.

	Temperatur (°C)		
	Zwettl	Befallsfläche	
	Luft	Luft	Boden
JAN	0,6	-2,6 ± 0,4	1,3 ± 0,0
FEB	-1,1	-2,5 ± 0,5	0,7 ± 0,0
MÄR	2,9	1,7 ± 0,4	1,9 ± 0,2
APR	7,0	6,1 ± 0,8	5,2 ± 0,4
MAI	11,9	10,5 ± 0,5	9,6 ± 0,2
JUN	16,0	14,7 ± 0,7	13,4 ± 0,3
JUL	19,6	18,6 ± 0,7	15,9 ± 0,2

Die monatlichen Temperaturschwankungen im Boden waren wesentlich weniger ausgeprägt als die der Luft (Tab. 2). In den Wintermonaten (Jänner – März) lag die Lufttemperatur unter der Bodentemperatur, in den übrigen Monaten (April – Juli) darüber (Abb.29 und Abb.30). Es gab an einzelnen Tagen beträchtliche Unterschiede zwischen Luft- und Bodentemperatur, so betrug am 5. Februar die Differenz zwischen den Tagesmaxima in Luft und Boden mehr als 5,8° C (Luft: -4,9° C, Boden: 1,0° C), am 7. Juni lag die Lufttemperatur um mehr als 13°C über der Bodentemperatur (Boden max.: 19,9° C, Luft max.: 33,5° C).

Der kälteste Monatsmittelwert der Lufttemperatur trat im Jänner auf (-2,6°C), der kälteste Monatsmittelwert der Bodentemperatur im Februar (0,7°C). Die Tagesmittelwerte der Bodentemperatur wiesen im Untersuchungszeitraum nie einen Wert unter 0°C auf. Bodentemperaturen über 13°C wurden nur in den Monaten Juni und Juli gemessen.

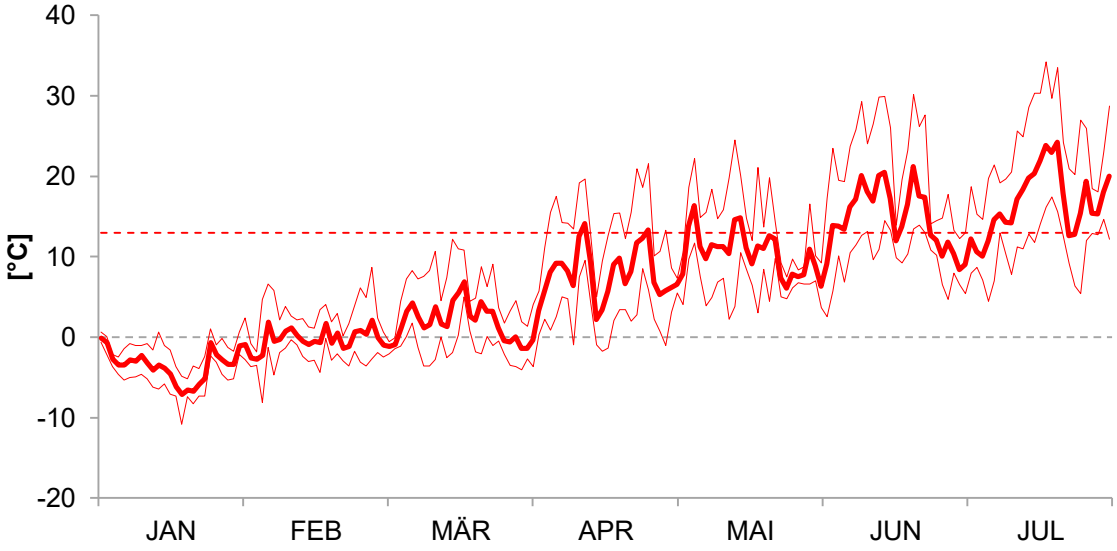


Abb.29: Tagesmittelwerte, Minima und Maxima der Lufttemperatur (°C) auf der Befallsfläche von Jänner bis Juli 2015. Die rot strichlierte horizontale Linie bei 13°C steht für den Schwellenwert des Schwärmens adulter Wespen.

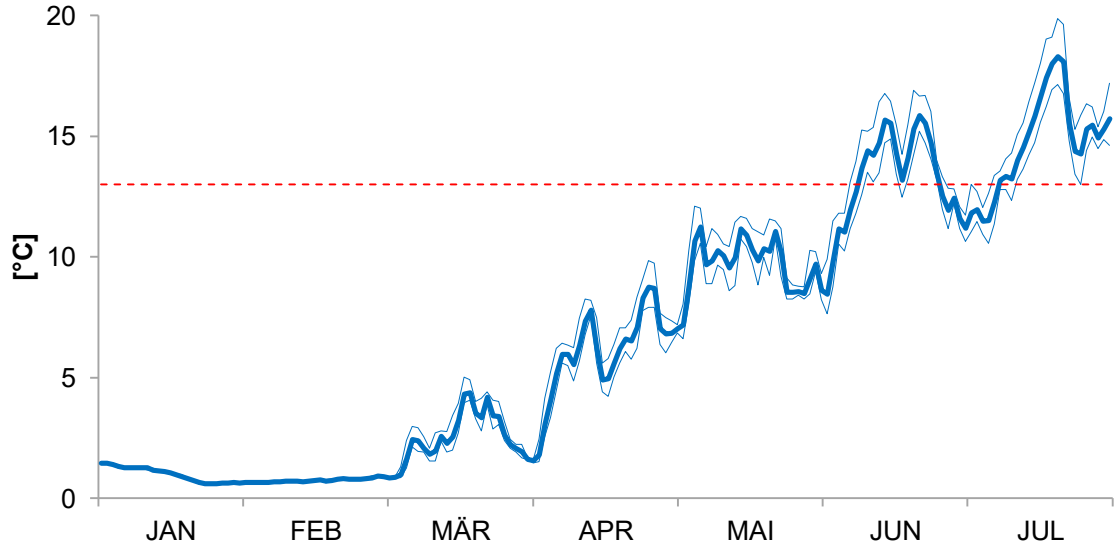


Abb.30: Tagesmittelwerte, Minima und Maxima der Bodentemperatur (°C) auf der Befallsfläche von Jänner bis Juli 2015. Die rot strichlierte horizontale Linie steht für den Entwicklungsnullpunkt bei 13°C.

4.2 Nymphenentwicklung im Boden

Die Anzahl der Nymphen im Boden wurde innerhalb des Untersuchungszeitraumes dreimal (Jänner, April und November 2015) bestimmt, ebenso die Mortalität. Aus einer früheren Bodenprobenentnahme im April 2014 wurde ebenfalls eine Zählung durchgeführt, bei der jedoch die Mortalität nicht erhoben wurde (Tab.3).

Tab.3: Absolute Nymphenzahl, aus 22 Bodenproben mit einer Fläche von 0,1 m²; bei der Zählung im April 2014 wurde die Mortalität nicht berücksichtigt.

	Gesamt	Lebend	Tot	% der Tiere
APR 14	1346	1346	nicht erhoben	100
JÄN 15	1227	1110	117	91,1
APR 15	752	549	203	55,9
NOV 15	700	505	195	52,0

Tote Nymphen wurden hinsichtlich der Ursachen der Mortalität in Pilze, Nematoden oder unbekannten Ursachen eingeteilt (Tab.4).

Tab.4: Mortalitätsursachen der Nymphen zum jeweiligen Sammelzeitpunkt. Die Werte geben die Anzahl der Tiere wieder.

	Pilz	Nematoden	Unbekannt
JÄN 15	0	0	117
APR 15	8	3	192
NOV 15	9	5	181

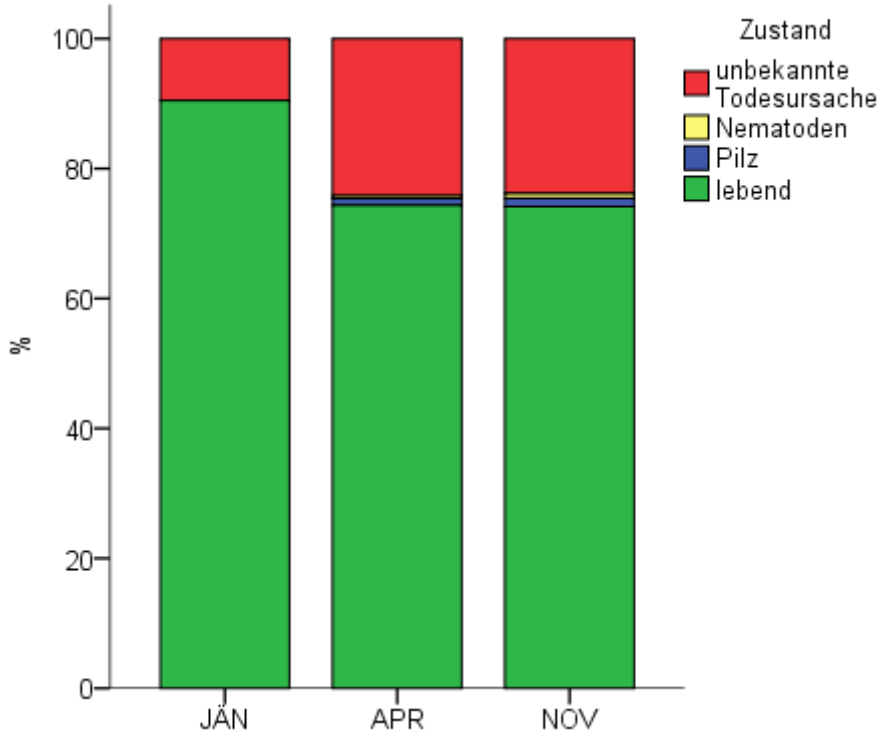


Abb.31: Prozentuelle Verteilung der Vitalitätszustände der vorgefundenen Nymphen zum jeweiligen Sammelzeitpunkt.

In der Sammlung vom Jänner 2015 wurde nicht zwischen den verschiedenen Mortalitätsursachen unterschieden, lediglich zwischen toten und lebenden Nymphen. Der Anteil toter Nymphen lag bei ca. 10 % der gesamten Nymphen. In den Sammlungen vom April und November wurde bei den Mortalitätsfaktoren zwischen Pilz- und Nematodenbefall bzw. Mortalität durch unbekannte Ursachen unterschieden. Nematoden, die sich gerade aus den Nymphen ausbohrten, oder Nymphen mit Ausbohrlöchern wurden in dieser Gruppe zusammengefasst; es wurden jedoch keine Nymphen seziert. Pilzbefallene Nymphen hatten eine harte Konsistenz, bei manchen war Myzelbewuchs an der Körperoberfläche zu beobachten. Tote Nymphen, deren Todesursache nicht eruiert werden konnte, waren entweder schlaff oder es trat Körperflüssigkeit aus, die auf mögliche Verletzungen hinwies. Ursache für die hohen Mortalitätsraten könnte der lange Transport der Bodenproben in Säcken von der Versuchsfläche ans Institut gewesen sein. Prädatoren können als Ursache ebenfalls in Betracht gezogen werden.

Der Anteil parasitierter Nymphen lag sowohl im April als auch November unter 1 %, verpilzte Nymphen wurden etwas häufiger vorgefunden, doch blieb der Anteil unter 2 %. Die Mortalität aus unbekannter Ursache war für den Großteil der Mortalität verantwortlich, sowohl im April als auch November lag der Anteil bei rund 25 % der vorgefundenen Nymphen (Abb.31).

Die Verteilung der Nymphen unter den Probebäumen innerhalb des Transekts schwankte im Jahresvergleich. Im April 2014 wies Probebaum Nr. 14 die höchste Eonymphendichte auf, im Jänner 2015 war es der Probebaum Nr. 2, der sich in der Transektmitte befindet (Abb.32, Tab.5). Im April 2015 wurden niedrigere Nymphenzahlen festgestellt, hier war bei Probebaum Nr. 9 mit 58 Eonymphen die höchste Nymphendichte im Boden (Tab.5, Abb.32). Die höchste Pronymphenzahl wurde im Jänner 2015 mit je 8 Raupen an den Bäumen Nr. 1 und Nr. 5 gefunden, im April 2015 war sie mit nur 2 Pronymphen unter dem Baum Nr. 10a (Tab.5).

Tab.5: Absolute Nymphenzahl aus Bodenproben mit einer Fläche von 0,1 m²; entnommen unter 21 (April 2014) bzw. 22 (Jänner und April 2015) Probebäumen.

Baumnummer	April 14	Jänner 15		April 15	
	Eonymphe	Eonymphe	Pronymphe	Eonymphe	Pronymphe
1	47	49	8	33	0
2	113	103	5	2	0
3	117	90	1	34	0
4	109	10	0	25	0
5	38	53	8	17	0
6	27	22	0	18	0
7	15	29	0	17	0
8	83	11	0	28	0
9	94	90	7	58	1
10	88	52	1	40	0
10a	-	90	4	32	2
11	13	30	2	10	0
12	125	16	0	5	0
13	47	58	0	27	0
14	139	61	0	39	0
15	91	52	2	55	0
16	33	77	1	20	0
17	46	17	0	33	1
18	69	53	3	21	0
19	30	82	1	34	1
20	21	19	0	4	0
21	1	3	0	2	0

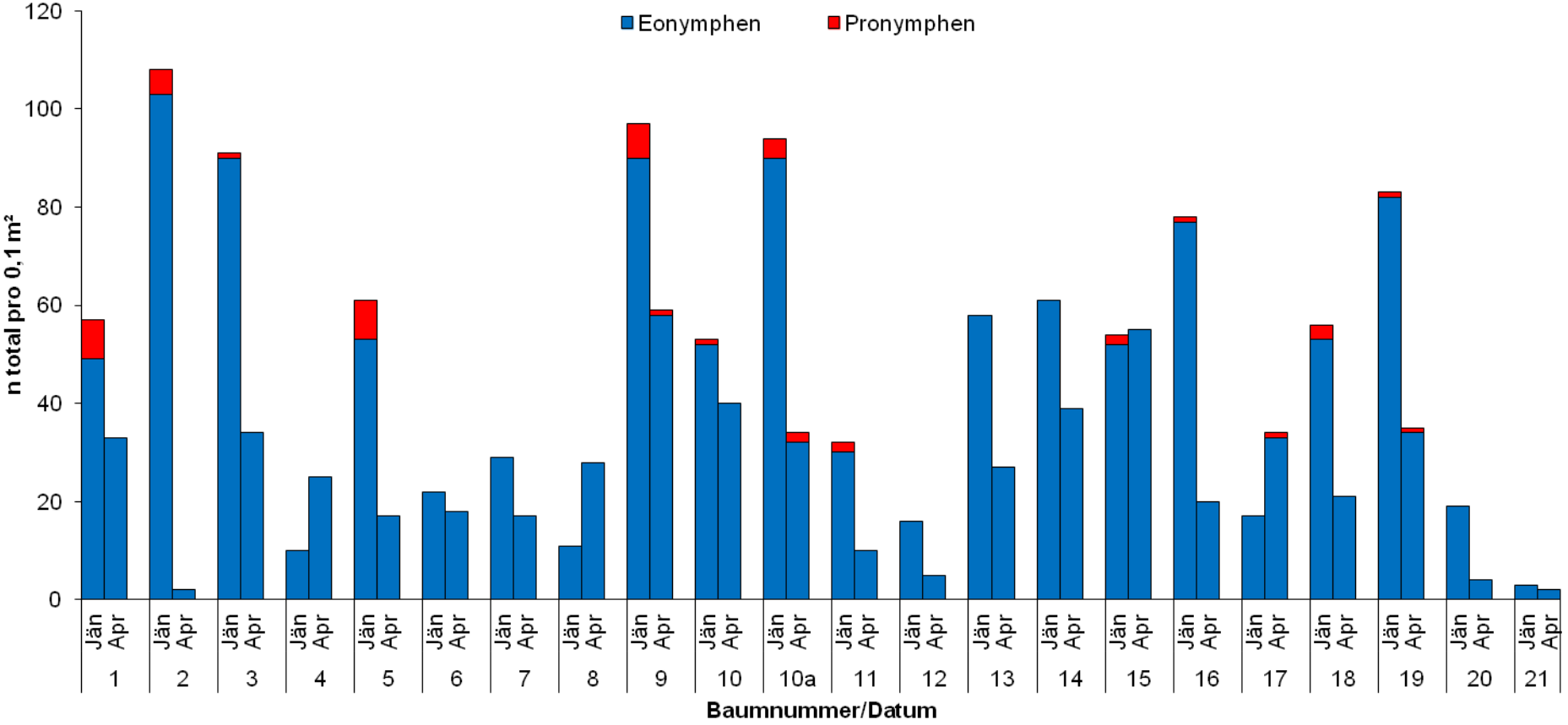


Abb.32: Absolute Nymphenzahl aus Bodenproben mit einer Fläche von 0,1 m²; entnommen unter 22 Probebäumen im Jänner und April 2015.

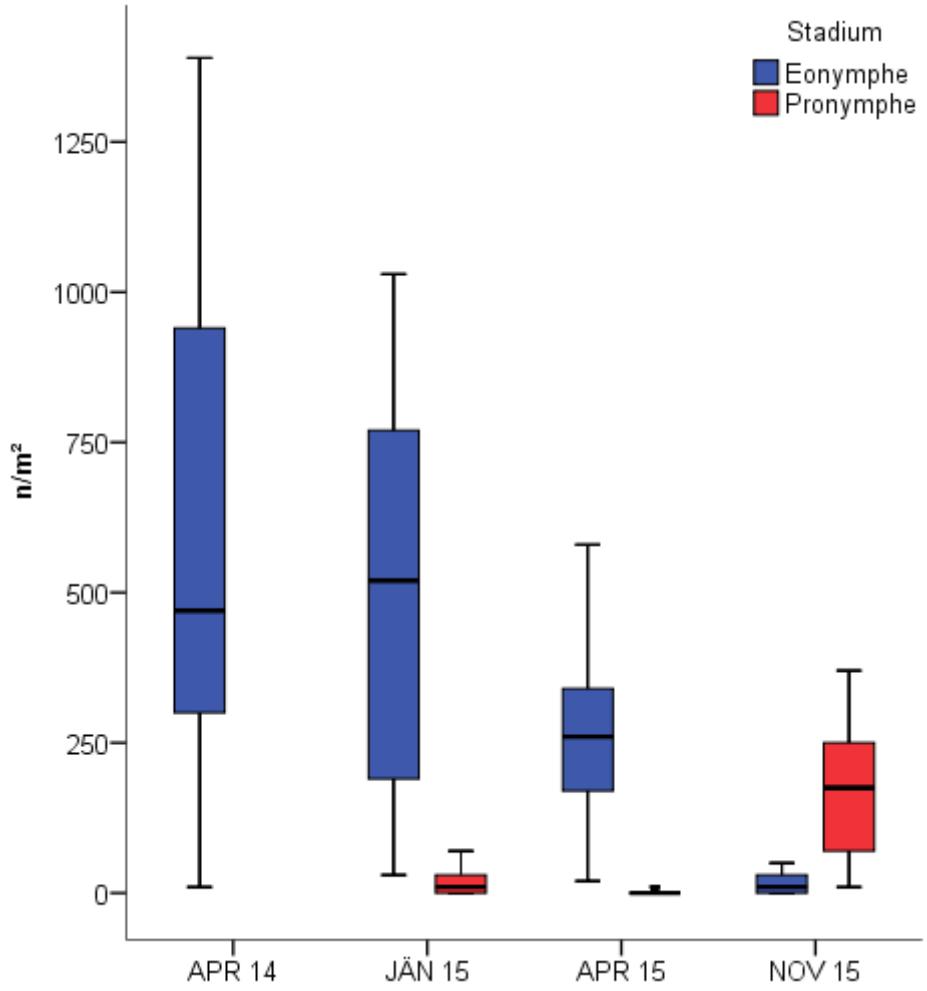


Abb.33: Dichteverteilung (n/m²) von Eo- (blau) und Pronymphen (rot) im Boden auf der Befallsfläche, abhängig vom Sammelzeitpunkt. Die horizontale Linie innerhalb der Kästchen gibt den Median an, die Länge der Kästchen entspricht den Interquartilen
(75. Perzentile – 25. Perzentile). Die Antennen nach oben und unten kennzeichnen die beiden Extremwerte (Maximum, Minimum). Insgesamt wurden 22 Bodenproben à 0,1 m² Fläche ausgewertet und auf m² umgerechnet.

Aus den Bodenproben von April 2014 und Jänner, April und November 2015 wurde die Dichteverteilung pro m² errechnet. Im Verlaufe von 1,5 Jahren sank die Anzahl pro m² um rund 50 % (Abb.33). Im April 2014 gab es noch keine Pronymphen im Boden, im November 2015 dagegen betrug deren Anteil bereits rund 88 % (Tab.6, Abb.34).

Im Untersuchungszeitraum vom Ende Jänner bis Ende Juli 2015 lag die Temperatursumme (Gradtage GT über Entwicklungsnullpunkt ENP = 13°C) für die Eonymphen im Boden bei 71,3°C GT. Insgesamt lag die Temperatur im Boden an 34 Tagen über 13°C.

Tab.6: Nymphendichte in n/m² (MW ± Standardfehler) und relativer Anteil von Eonymphen und Pronymphen (%) im Boden, bezogen auf den Sammeltermin.

	n/m²			Signifikanz	%	
	Gesamt	Eonymphen	Pronymphen	P	Eonymphen	Pronymphen
APR 14	641±4 a	641±4	0		100	0
JÄN 15	558±3 ab	485±3	20±0,3	0,000	96	4
APR 15	342±2 bc	252±2	2±0,1	0,000	99	1
NOV 15	318±3 c	30±0,5	207±2	0,003	12	88

Die Angabe der Signifikanz bezieht sich auf den Unterschied in der Dichte zwischen Eonymphen und Pronymphen am jeweiligen Sammeltermin (t-Test). Unterschiedliche Buchstaben hinter den Zahlen geben signifikante Unterschiede in der Nymphendichte im Boden zwischen den Sammelterminen an (VGLM, post-hoc Scheffé, P < 0,05).

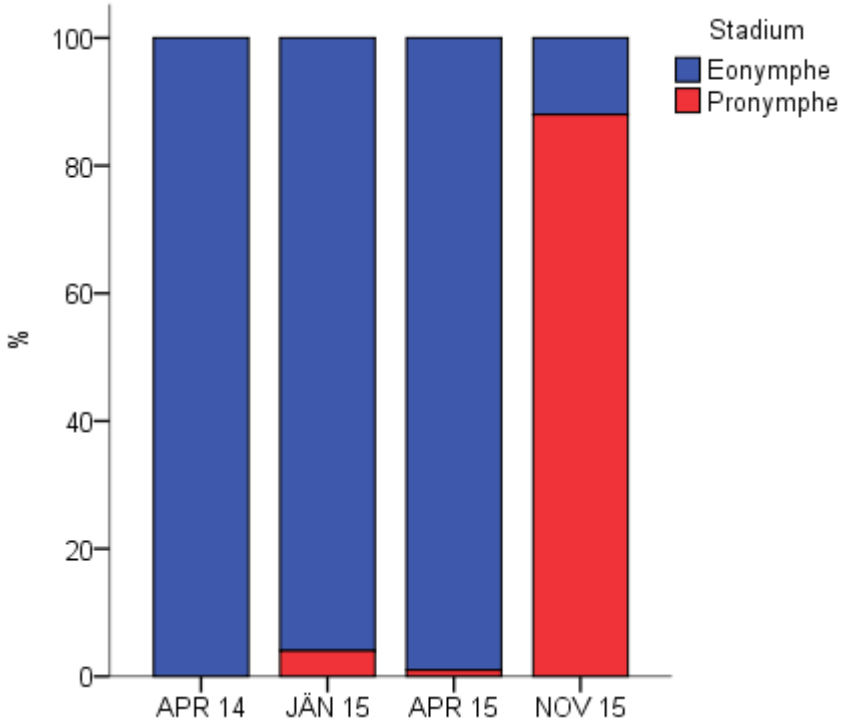


Abb.34: Prozentuelle Verteilung von Eo- und Pronymphen im Boden getrennt nach Sammelterminen.

In den Monaten Jänner, April und November 2015 wurden insgesamt 2187 Nymphen auf ihre Körperfarbe untersucht; 4,8 % der Tiere waren gelb, die überwiegende Mehrheit der Nymphen, nämlich 95,2 % war grün. Tab.7 zeigt das Verhältnis gelber zu grüner Nymphen für die einzelnen Sammeltermine.

Tab.7: Farbpolymorphismus bei *C. abietis* Nymphen.

	grüne Nymphen		gelbe Nymphen		Verhältnis
	n	%	n	%	gelb/grün
JAN	1051	94,7	59	5,3	1:18
APR	536	95,9	23	4,1	1:23
NOV	495	95,6	23	4,4	1:22

An allen drei Sammelterminen wurden in Summe nur 2 gelbe Nymphen mit einem Gewicht über 100 mg (Weibchen) gefunden, der Unterschied zwischen leichten und schweren gelben Nymphen war höchst signifikant (t-Test, P=0,000).

Da sich bei den im Jänner 2015 gesammelten Tiere keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der physiologischen Parameter zwischen grünen und gelben Nymphen ergaben, wurde bei den darauffolgenden Auswertungen keine weitere Differenzierung zwischen grünen und gelben Nymphen vorgenommen.

Die Nymphen wurden in 5 mg-Gewichtsklassen von 40-200 mg eingeteilt, es ergab sich sowohl für die Eo- als auch für die Pronymphen eine zweigipfelige Verteilung, mit einem Maximum bei 75-80 mg und einem zweiten bei 145-150 mg. Zwischen Eonymphen und Pronymphen konnten keine wesentlichen Unterschiede in der Verteilung der Tiere in bestimmten Gewichtsklassen festgestellt werden.

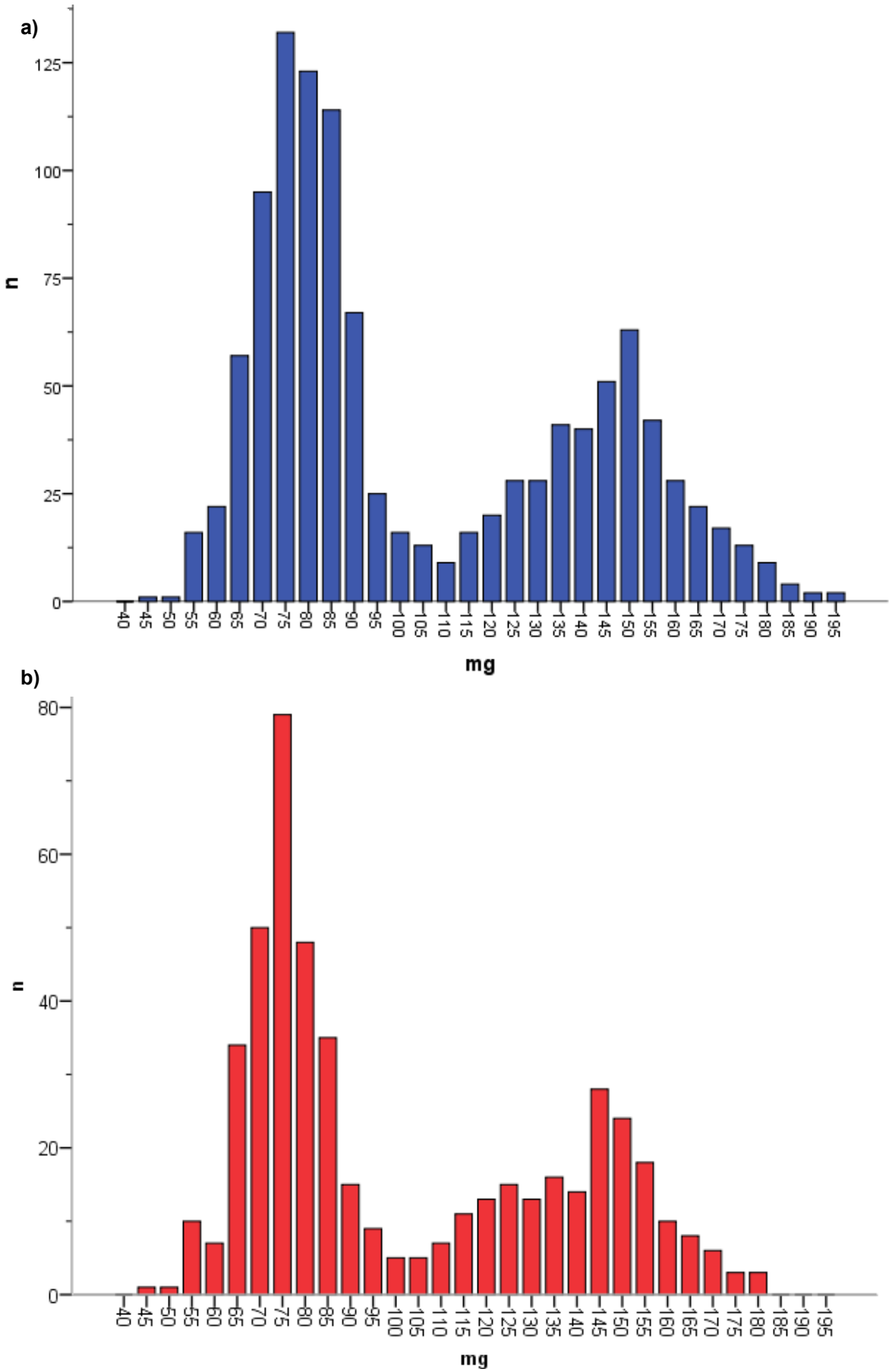


Abb.35: Häufigkeit der Gewichtsverteilung von Eo- (a) und Pronymphen (b); Extremwerte wurden nicht berücksichtigt, da es sich in diesen Fällen um eventuell kranke oder parasitierte Tiere handelte. Die Tiere wurden in Gewichtsklassen von je 5 mg zusammengefasst.

Diese zweigipfelige Verteilung legt nahe, dass es sich bei den Tieren mit einem mittleren Gewicht um 75 mg um Männchen und bei jenen mit einem mittleren Gewicht von 145 mg um Weibchen handelt. In der vorliegenden Arbeit wurde bei 100 mg die Grenze zwischen Männchen und Weibchen gezogen, und daraus das ungefähre Geschlechterverhältnis in der Population errechnet (Tab.8). Die Häufigkeiten der Gewichtsverteilungen von Männchen und Weibchen sind in Abb.35 ersichtlich, die Gewichtsverteilung von Männchen und Weibchen in Abb. 36. Das Geschlechterverhältnis männlicher zu weiblicher betrug im Jänner 1,4:1, im März 1,6:1, im April 1,7:1, im Juli 1,9;1 und im November 1:1,5. Das Verhältnis männlicher zu weiblicher Pronymphen war bis November weitgehend ausgeglichen, im November betrug es 1,5:1.

Tab.8: Gewichte von Eo- und Pronymphen (mg, Mittelwerte ± Standardfehler) von Jänner bis November 2015.

	Eonymphen			Pronymphen		
	Männchen mg	Weibchen mg	t-Test P	Männchen mg	Weibchen mg	t-Test P
JÄN	78,8±0,9 a (n=127)	149,3±2,8 a (n=90)	0,000	72,2±3,0 a (n=13)	161,6±5,5 a (n=13)	0,000
MÄR	76,4±1,0 a (n=89)	145,9±2,5 a (n=54)	0,000	67,0±3,6 a (n=3)	134,3±12,0 b (n=4)	0,006
APR	76,4±0,8 a (n=108)	143,0±2,6 a (n=64)	0,000	73,1 (n=1)	- -	-
JUL	73,8±1,8 a (n=26)	140,0±5,2 a (n=14)	0,000	- -	- -	-
NOV	77,4±1,9 a (n=24)	147,7±2,8 a (n=38)	0,000	73,2±0,6 a (n=276)	137,5±1,3 b (n=180)	0,000

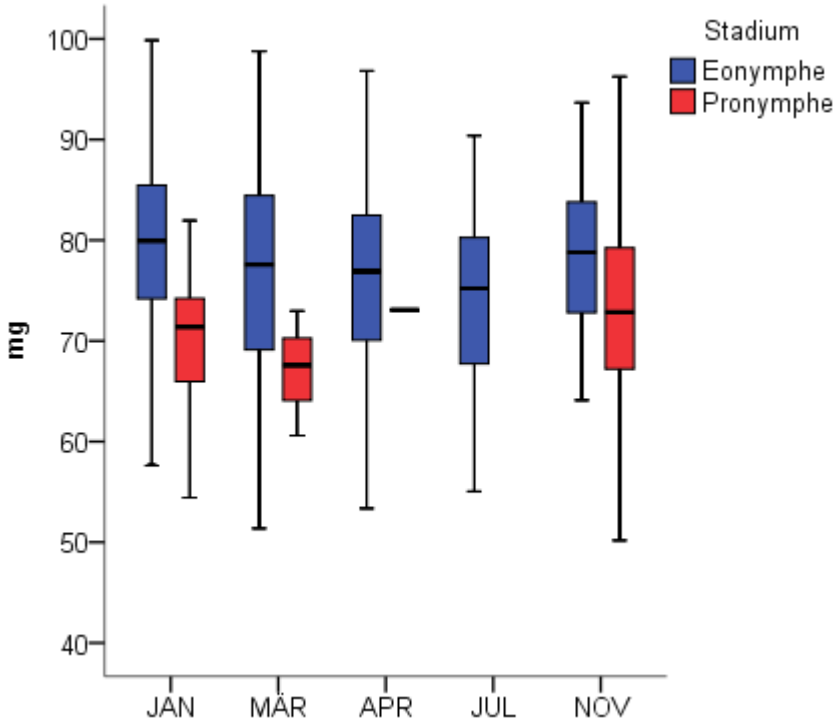
Zahlen in Klammern geben die Anzahl der Individuen an, VGLM mit post-hoc Scheffé, unterschiedliche Buchstaben hinter den Zahlenwerten geben signifikante Unterschiede zwischen den Männchen bzw. Weibchen der einzelnen Sammelterminen wieder.

Die Angabe der Signifikanzen in Tabelle 9 bezieht sich auf den Unterschied in den Gewichten zwischen männlichen Eo- und Pronymphen bzw. weiblichen Eo- und Pronymphen am jeweiligen Sammeltermin, wobei die Pronymphen stets leichter als die Eonymphen waren (Ausnahme: Eonymphen- und Pronymphen-Weibchen im Jänner).

Tab.9: Signifikanzen, bezogen auf den Unterschied in den Gewichten zwischen männlichen Eo- und Pronymphen und weiblichen Eo- und Pronymphen am jeweiligen Sammeltermin.

	P Männchen	P Weibchen
JÄN	0,029	0,112
MÄR	0,123	0,237
APR	-	-
JUL	-	-
NOV	0,034	0,001

a)



b)

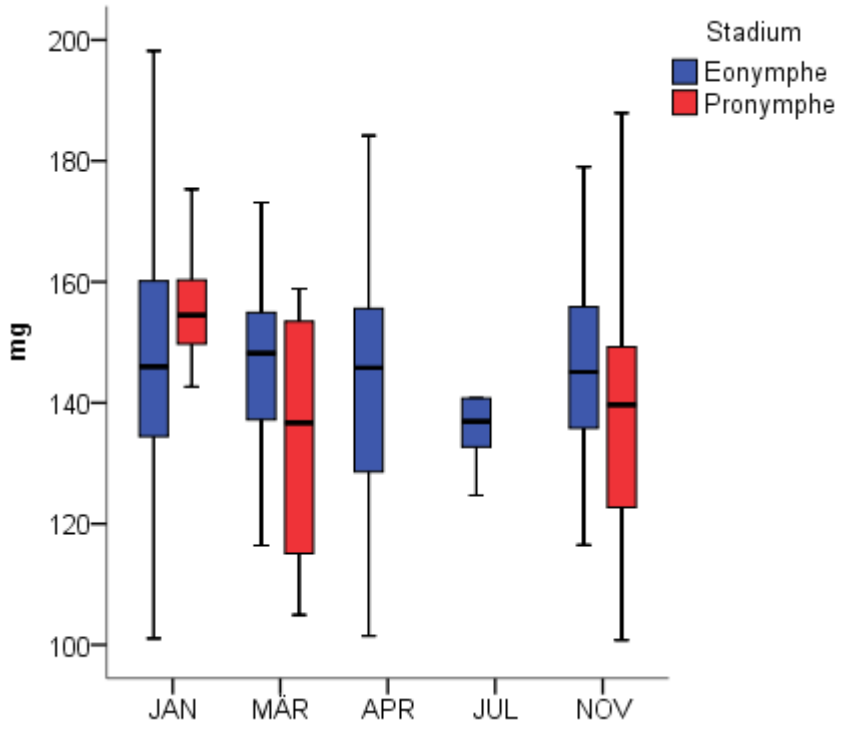


Abb.36: Gewichtsverteilung (mg) von Männchen (a) und Weibchen (b) bei Eonymphen und Pronymphen von Jänner bis November 2015. Die horizontale Linie innerhalb der Kästchen gibt den Median an, die Länge der Kästchen entspricht den Interquartilen (75. Perzentile – 25. Perzentile). Die Antennen nach oben und unten kennzeichnen die beiden Extremwerte (Maximum, Minimum). Insgesamt wurden 1124 Nymphen gewogen.

Die Nymphen aus dem Entwicklungsversuch im Labor bei 25°C starben alle innerhalb des Untersuchungszeitraumes vom 25.2. bzw. 4.3. bis zum 8. Juni ohne sich zu verpuppen. Obwohl eine Wasserschale im Klimaschrank aufgestellt war, trocknete die Erde sehr stark aus. Mittels Gießen der Erde wurde versucht ein natürlicheres Milieu zu schaffen, doch durch die warmen Temperaturen kam es bei den Nymphen zu Pilzbefall, der sich mit einem Außenmyzel an der Körperoberfläche bemerkbar machte. Viele Nymphen gruben sich bis an die Erdoberfläche, wo sie liegen blieben, bis sie vertrockneten.

4.3 Schlupfdynamik der Wespen

Mit Hilfe von Boden-Photoeklektoren wurden die Schlupftermine von *C. abietis* Imagines dokumentiert. Bereits in der Fangperiode 28.4.-19.5. wurden *C. arvensis*-Imagines gefangen, die früher als *C. abietis* schwärmen. Bis zum 16.07. wurden insgesamt 74 adulte *C. abietis* Wespen gefangen, 37 Männchen und 37 Weibchen. Die Geschlechterzuordnung erfolgte nach morphologischen Kriterien. Die Männchen schlüpften großteils vor den Weibchen, ab dem 29. Mai. Die Hauptschlupfzeit fand im Zeitraum vom 5.6. bis 18.6. statt. Zwischen 2.7. und 16.7. schlüpften die letzten Imagines (Abb.37).
Innerhalb zwischen 28.4. und 16.7. betrug an 39 Tagen die Lufttemperatur über 13°C (Schwellenwert für das Schwärmen adulter Wespen).

Andere Insekten aus den Ordnungen Coleoptera, Diptera und Hymenoptera, die als sog. Beifänge auftraten, wurden sortiert und nach Familien getrennt bestimmt. Als mögliche Gegenspieler von *C. abietis*-Larven bzw. Nymphen können Vertreter der Familien der Tachinidae (Raupenfliegen), Braconidae (Brackwespen) und Ichneumonidae (Schlupfwespen) gelten. Im gesamten Untersuchungszeitraum wurde nur eine einzige Raupenfliege in der Sammelperiode 28.04.-19.05.) gefangen (Abb.38).

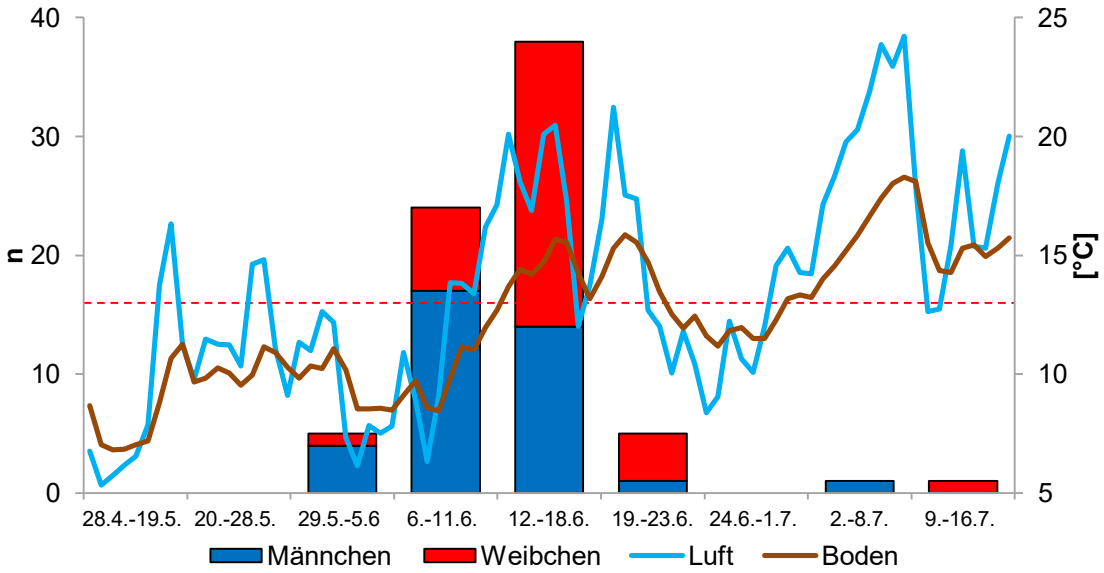


Abb.37: Absolute Anzahl (n) geschlüpfter *C. abietis* Männchen und Weibchen in 35 Eklektoren; der Verlauf der Luft- bzw. Bodentemperaturen (°C) ist parallel dazu angeführt; die rot strichlierte horizontale Linie steht für den Entwicklungsnullpunkt bei 13°C.

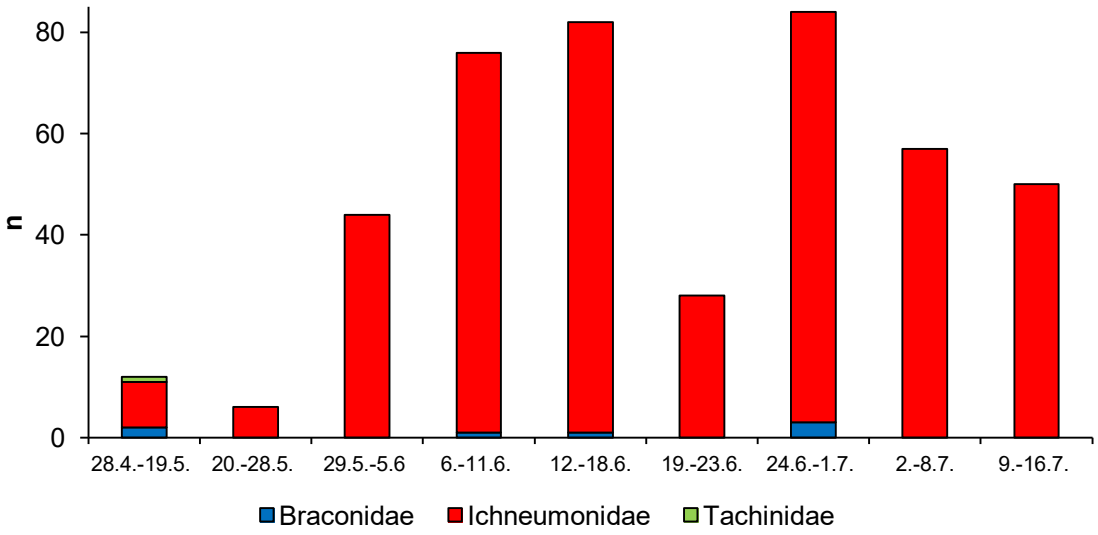


Abb.38: Absolute Anzahl (n) geschlüpfter Braconidae, Ichneumonidae und Tachinidae in 35 Eklektoren

Die Anzahl der gefangenen Individuen aus den Ordnungen Coleoptera, Diptera und Hymenoptera sowie der Zeitpunkt ihres Schlupfes aus dem Boden sind der Tabelle 10 zu entnehmen.

Tab.10: Beifänge der Ordnungen Coleoptera, Diptera und Hymenoptera aus den Eklektoren; Fangperioden in 2015: I=28.04.-19.05., II: 19.05. - 28.05., III: 28.05. - 05.06., IV: 05.06. - 11.06., V: 11.06. - 18.06., VI: 18.06. - 23.06., VII: 23.06. - 01.07., VIII: 01.07. - 08.07., IX: 08.07. - 16.07. ÜF...Überfamilie.

		Fangperiode								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Ordnung	Familie	Anzahl								
Coleoptera	Carabidae	0	0	0	0	0	0	0	12	0
	Cerambycidae	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	Chrysomelidae	0	0	1	1	2	0	1	1	1
	Curculionidae	33	8	24	83	37	10	42	120	30
	Elateridae	19	1	9	1	1	0	0	0	0
	Lymexylidae	0	0	2	1	0	0	0	1	0
	Staphylinidae	0	0	79	79	78	46	47	38	31
Diptera	Acroceridae	20	0	4	0	0	0	0	0	0
	Canacidae	6	0	21	23	18	7	18	10	5
	Cecidomyiidae	137	88	342	262	252	159	290	330	174
	Chaoboridae	7	0	12	7	8	2	18	17	2
	Chloropidae	0	3	2	0	0	0	0	0	0
	Culicidae	1	0	1	0	0	0	0	0	0
	Cylindrotomidae	6	0	2	6	1	0	0	12	4
	Dolichopedidae	0	0	35	126	173	176	341	70	25
	Empididae	6	11	78	116	74	89	324	171	102
	Limoniidae	1703	238	511	369	527	242	584	387	586
	Lonchaeidae	0	6	3	6	2	1	6	11	8
	Muscidae	0	0	0	0	0	0	4	12	8
	Neottiophilidae	1	1	24	9	2	0	1	1	0
	Pediciidae	6	0	2	0	1	0	0	0	0
	Phoridae	63	10	135	77	100	45	152	202	158
	Platypezidae	0	0	4	0	3	0	0	0	0
	Psychodidae	4	1	9	31	2	0	3	4	0
	Ptychopteridae	21	0	4	5	0	6	2	0	0
	Rhagionidae	0	0	0	0	0	15	57	91	68
	Sciomyzidae	0	19	1	0	0	0	0	0	0
	Tachinidae	**1**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
	Tipulidae	12	1	17	6	9	1	4	1	1
	Xylophagidae	33	2	6	0	0	0	0	0	0
Hymenoptera	**Braconidae**	**2**	**0**	**0**	**1**	**1**	**0**	**3**	**0**	**0**
	Ceraphronoidea (ÜF)	0	0	1	5	13	6	5	2	0
	Chalcidoidea (ÜF)	6	0	52	58	36	7	34	52	29
	Chrysidoidea (ÜF)	0	0	0	1	2	0	0	0	0
	Formicidae	0	0	1	0	2	1	0	0	0
	Ichneumonidae	**9**	**6**	**44**	**75**	**81**	**28**	**81**	**57**	**50**
	Platygasteridae	9	0	4	0	0	0	0	0	0
	Proctotrupoidea (ÜF)	4	0	3	6	5	8	8	6	2
	Sphecidae	1	0	0	0	1	0	3	0	0

In den am 16.07. aufgestellten 35 Trichterfallen wurde bis zum 28.07. eine einzige abgebaumte *C. abietis*-Larve gefunden (Probebaum Nr. 15).

4.4 Physiologische Untersuchungen

4.4.1 Frosthärte

C. abietis Nymphen sind nicht frosttolerant, haben aber das ganze Jahr über einen sehr tiefen Unterkühlungspunkt (Tab.11). Gefrorene Nymphen zeigten nach der Messung bis zum anschließenden Auftauen bei Raumtemperatur eine kurzfristige Verfärbung im Verdauungstrakt. Aufgrund der geringen Zahl an verfügbaren Pronymphen wurde bei der Bestimmung des SCPs nicht zwischen Männchen und Weibchen unterschieden (Abb.39).

Tab.11: Unterkühlungspunkt (°C, Mittelwert ± Standardfehler) von Eo- und Pronymphen in den Monaten Jänner, März, April und Juli.

	SCP [°C]		Signifikanz	SCP [°C]		Signifikanz
	Eo M	Eo W	P	Eonymphe (M+W)	Pronymphe (M+W)	P
JÄN	-12,2±0,6 a (n=52)	-13,7±0,7 a (n=23)	0,162	-12,7±0,5 (n=75)	-19,1±0,5 (n=15)	0,000
MÄR	-16,2±0,5 b (n=50)	-14,6±0,7 a (n=42)	0,068	-15,5±0,4 (n=92)	-16,8±1,8 (n=7)	0,405
APR	-18,2±0,4 bc (n=61)	-16,2±0,7 a (n=37)	0,007	-17,4±0,4 (n=98)	-19,7 (n=1)	-
JUL	-19,6±0,9 c (n=15)	-16,0±1,6 a (n=5)	0,065	-18,7±0,8 (n=20)	- (n=0)	-

Zahlen in Klammern geben die Anzahl an gemessenen Individuen an, die Angabe der Signifikanz bezieht sich auf den Unterschied in den Unterkühlungspunkten zwischen männlichen und weiblichen Eonymphen am jeweiligen Sammeltermin (t-Test); VGLM mit post-hoc Scheffé, unterschiedliche Buchstaben hinter den Zahlenwerten geben signifikante Unterschiede zwischen den männlichen (Eo M) bzw. weiblichen (Eo W) Eonymphen der einzelnen Sammelterminen wieder

Während bei den Eonymphen die SCPs nicht nur im Winter, sondern v.a. im Sommer sehr tief liegen, steigt der SCP der Pronymphen von Jänner bis März von -19°C auf -17°C an. Pronymphen, die im März und April im Boden gefunden werden, entwickeln sich bis Mai/Juni zur Puppe weiter und schlüpfen als adulte Wespen im selben Jahr.

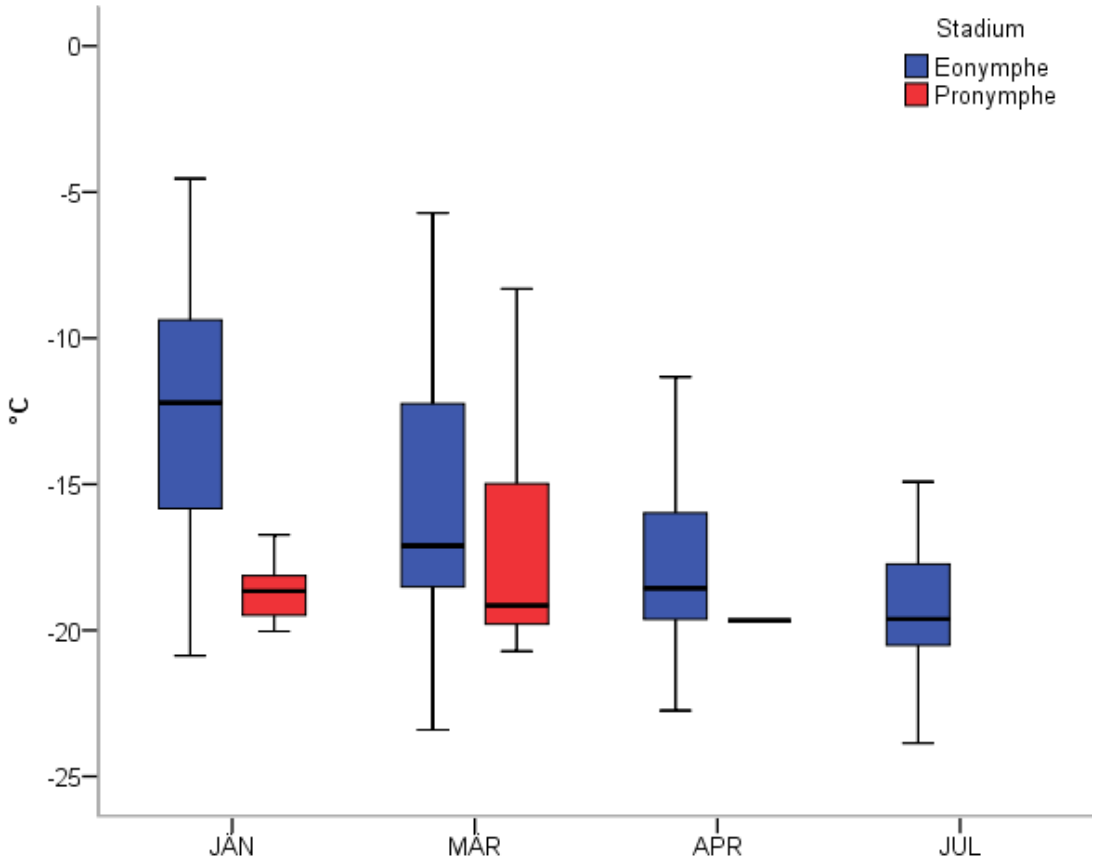


Abb.39: Unterkühlungspunkt (°C) von Eo- und Pronymphen in den Monaten Jänner, März, April und Juli. Die horizontale Linie innerhalb der Kästchen gibt den Median an, die Länge der Kästchen entspricht den Interquartilen (75. Perzentile – 25. Perzentile). Die Antennen nach oben und unten kennzeichnen die beiden Extremwerte (Maximum, Minimum). Insgesamt wurde der SCP an 308 Nymphen gemessen.

4.4.2 Atmungsaktivität

Im Jänner und April 2015 wurde die Atmungsaktivität an 34 (Jänner) bzw. 35 (April) Eonymphen aufgezeichnet. Um die Bedingungen bei der Messung möglichst an natürliche Verhältnisse im Freiland anzupassen, wurden die Temperaturen jeweils an, die Bodentemperaturen im jeweiligen Monat angenähert. Die Eonymphen aus der Jännersammlung wurden bei ca. 9,5°C, jene aus der Aprilsammlung bei 15°C gemessen. Der Sauerstoffverbrauch wurde an männlichen und weiblichen Eonymphen bestimmt, die Unterschiede zwischen den Geschlechtern waren nicht signifikant (Student's T-Test; Jänner: P=0,271; April: P=0,320) (Tab.12).

Tab.12: Sauerstoffverbrauch (µl O_2*h^{-1}*mg^{-1}, Mittelwerte ± Standardfehler) von männlichen (Eo M) und weiblichen (Eo W) Eonymphen, abhängig vom Sammeltermin.

Monat	µl O_2*h^{-1}*mg^{-1}		Signifikanz
	Eo M	Eo W	P
JÄN (9,5°C)	0,032±0,003 a (n=20)	0,027±0,003 a (n=14)	0,271
APR (15°C)	0,079±0,007 b (n=19)	0,070±0,007 b (n=16)	0,320

Unterschiedliche Buchstaben geben signifikante Unterschiede der Männchen bzw. der Weibchen zwischen den Monaten wieder (Student's T-Test P<0,001). Zahlen in Klammern geben die Anzahl an gemessenen Individuen an. Temperaturangaben beim jeweiligen Monat entsprechen den Messtemperaturen.

Der Sauerstoffverbrauch der Eonymphen stieg von Jänner bis April signifikant an, sowohl bei den Männchen als auch bei den Weibchen (t-Test, Männchen: P=0,000, Weibchen=0,000) (Abb.40).

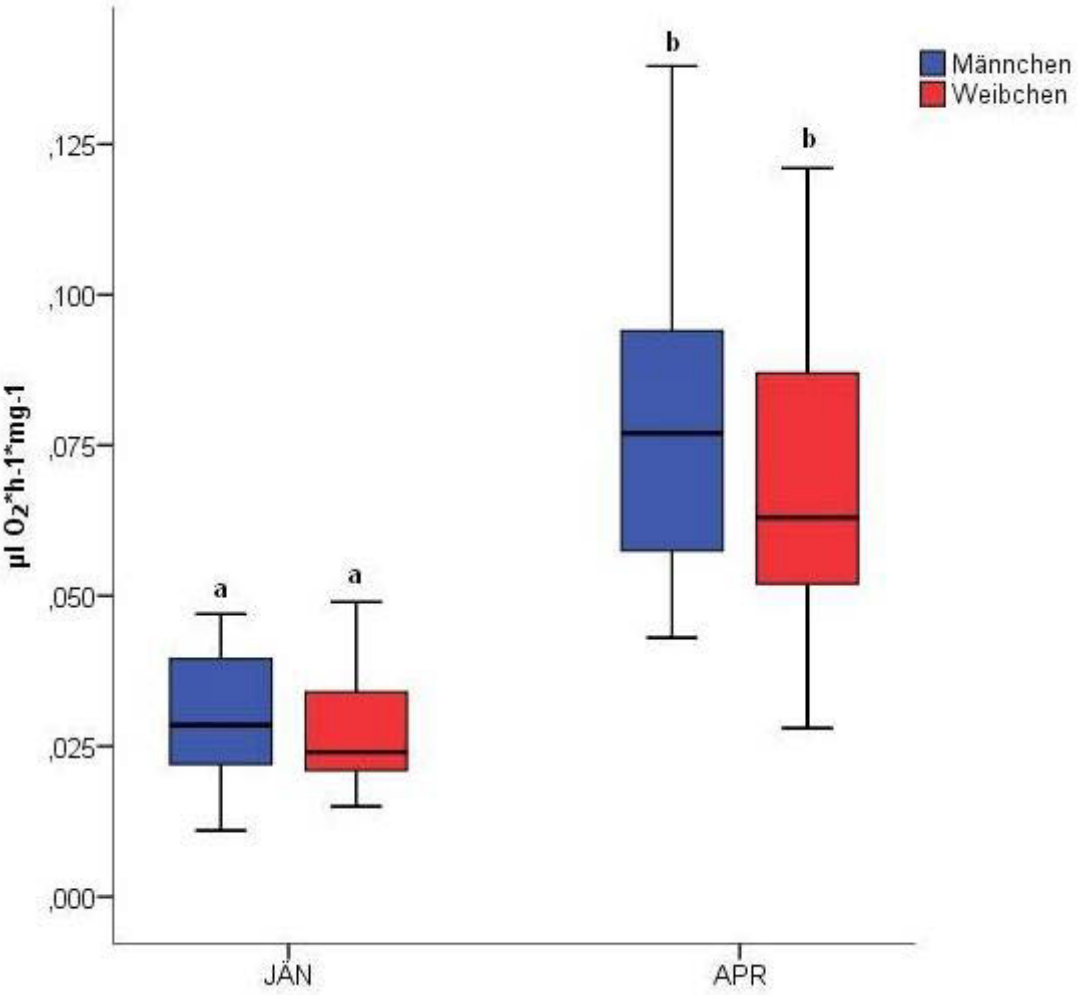


Abb.40: Sauerstoffverbrauch (µl O_2/h/mg) von Eonymphen vom Jänner und April 2015; unterschiedliche Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen Männchen, unterschiedliche Großbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen den Weibchen an (Student's T-Test P<0,001). Die horizontale Linie innerhalb der Kästchen gibt den Median an, die Länge der Kästchen entspricht den Interquartilen (75. Perzentile – 25. Perzentile). Die Antennen nach oben und unten kennzeichnen die beiden Extremwerte (Maximum, Minimum). Insgesamt wurde der Sauerstoffverbrauch an 69 Eonymphen gemessen.

4.4.3 Energiehaushalt

Zur Aufgabe der Energiereserven der Nymphen die Fettgehalte bestimmt und als Ölsäuremethylester-Äquivalente OME bezogen auf das Lebendgewicht der Tiere berechnet. Der Wassergehalt ergab sich aus der Differenz Lebendgewicht zu Trockengewicht und wurde als % Körperwasser berechnet (Tab.13).

Tab.13: Lipidgehalt (OME µg*mg^{-1}, Mittelwerte ± Standardfehler) und Wassergehalt (%, Mittelwerte ± Standardfehler) von Eonymphen (Männchen, Weibchen) abhängig vom Sammeltermin.

	OME µg*mg^{-1}		Signifikanz	Wassergehalt [%]		Signifikanz
	Eo M	Eo W	P	Männchen	Weibchen	P
März	47,5±1,2 a (n=38)	49,3±2,5 a (n=11)	0,487	69,5±0,3 a (n=38)	62,5±0,7 b (n=11)	0,000
April	44,3±1,9 a (n=40)	44,7±2,3 a (n=20)	0,900	69,5±0,4 a (n=40)	64,4±0,7 b (n=20)	0,000

Unterschiedliche Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede bei Männchen bzw. Weibchen zwischen den jeweiligen Sammeltermin an (Student's T-Test P<0,001).

Die Fettgehalte der Tiere lagen im Bereich 4,4 bis knapp 5,0 %, der Wassergehalt der Tiere betrug 63-70 %. Zwischen Männchen und Weibchen gab es weder im März noch im April signifikante Unterschiede im Fettgehalt der Nymphen (Tab.13). Auch die Gehalte bei den Geschlechtern im März und April unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Tab.13, Abb. 41). Beim Wassergehalt traten signifikante Unterschiede zwischen Männchen und Weibchen in beiden Monaten auf, wobei die Gehalte bei den Weibchen signifikant niedriger waren als bei den Männchen (Tab.13, Abb.42).

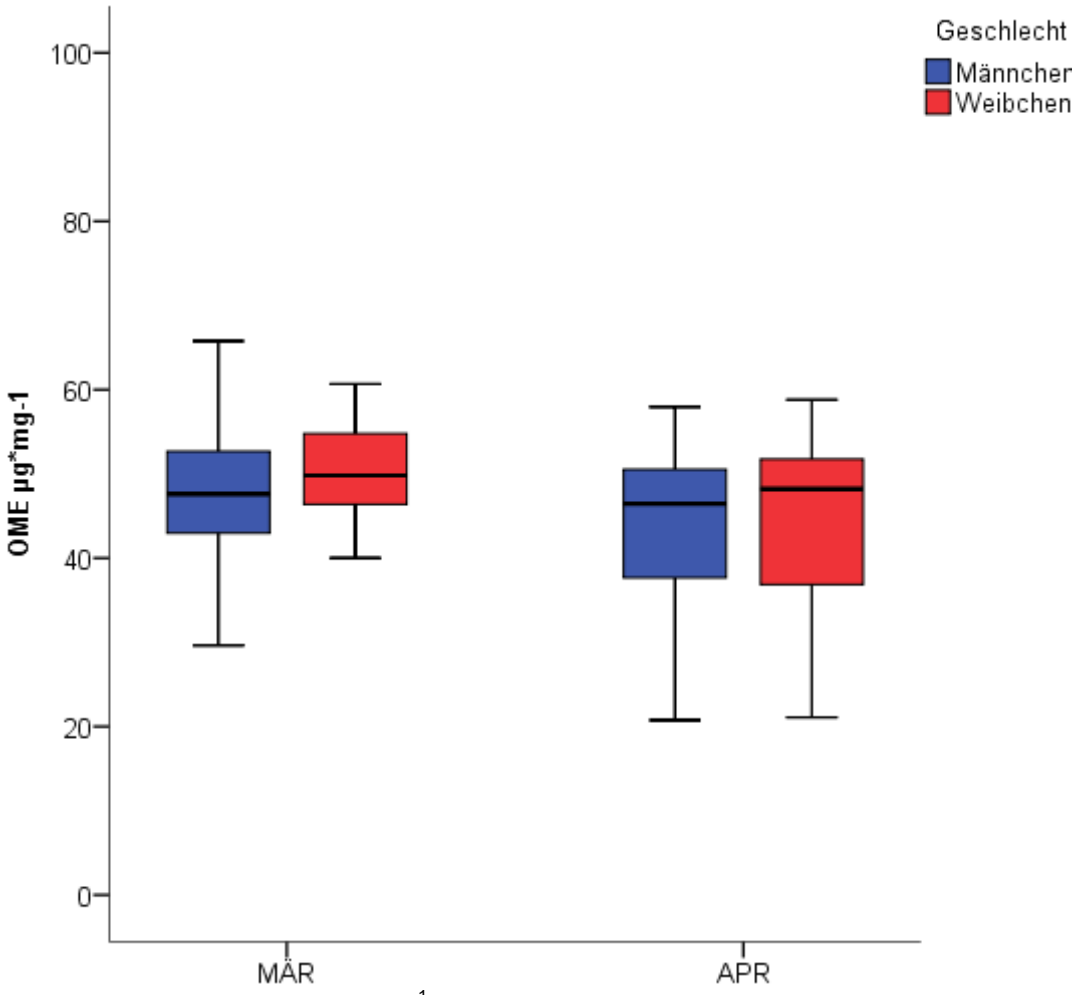


Abb.41: Fettgehalte (OME µg*mg^{-1}) von männlichen und weiblichen Eonymphen, abhängig vom Sammeltermin; die horizontale Linie innerhalb der Kästchen gibt den Median an, die Länge der Kästchen entspricht den Interquartilen (75. Perzentile – 25. Perzentile). Die Antennen nach oben und unten kennzeichnen die beiden Extremwerte (Maximum, Minimum). Insgesamt wurden die Fettgehalte an 109 Nymphen gemessen.

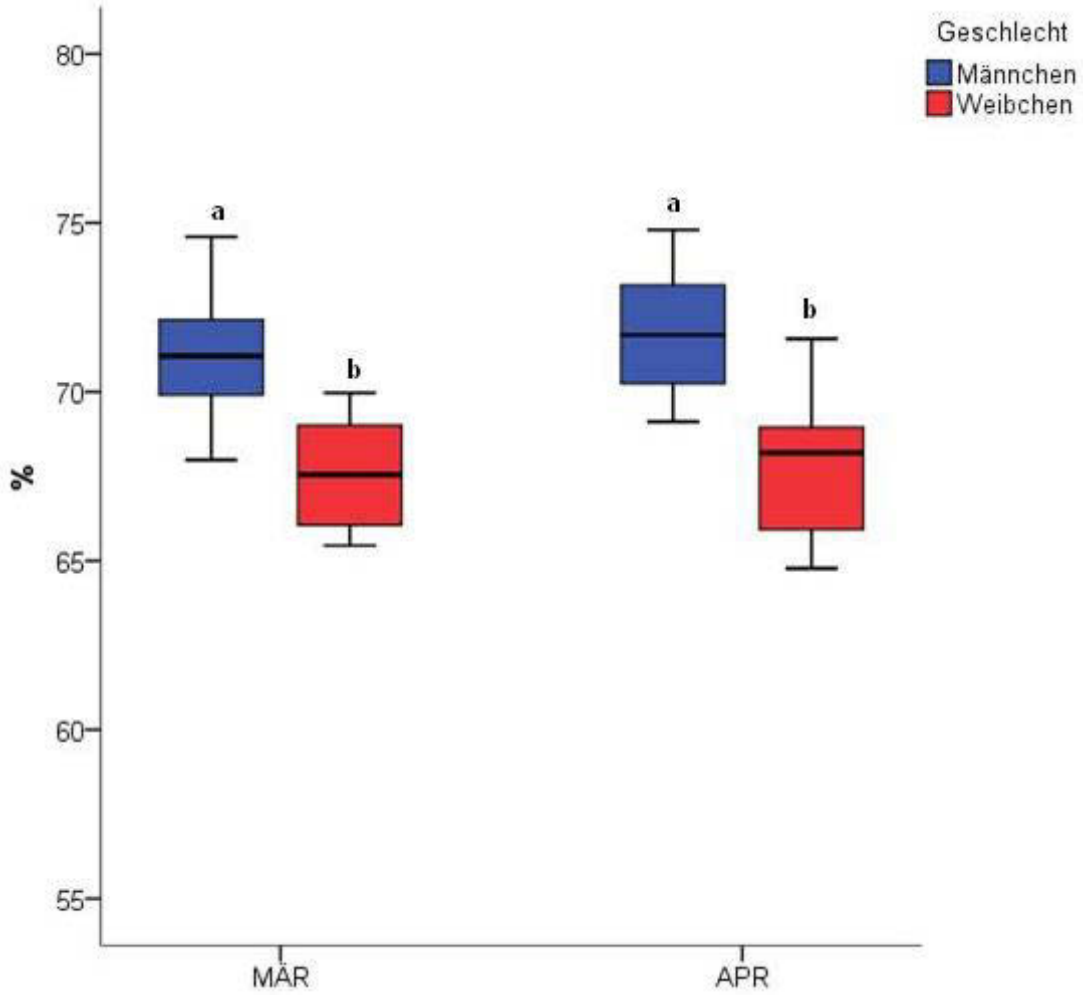


Abb.42: Wassergehalte (%) von männlichen und weiblichen Eonymphen, abhängig vom Sammeltermin; Männchen und Weibchen unterscheiden sich an beiden Terminen signifikant voneinander. Die horizontale Linie innerhalb der Kästchen gibt den Median an, die Länge der Kästchen entspricht den Interquartilen (75. Perzentile – 25. Perzentile). Die Antennen nach oben und unten kennzeichnen die beiden Extremwerte (Maximum, Minimum). Insgesamt wurden die Wassergehalte an 109 Nymphen bestimmt.

5. Diskussion

Standortparameter

Der 2013 aufgrund der vielen Kotgespinste in den Baumkronen und am Boden entdeckte Befall der Fichtengespinstblattwespe beschränkte sich auf eine Fläche von 10 ha, die ausschließlich mit 85-jährigen Fichten vollbestockt war. Das Areal befindet sich im rein von Fichten dominierten Wuchsgebiet. Warum gerade diese Fläche befallen wurde, bleibt ungeklärt.

Die Weibchen von *C. abietis* legen ihre Eier bevorzugt an Fichten ab, die wenig Nadelverlust aufweisen; an voll benadelten Fichtenzweigen ist die Ernährungssicherheit der Larven gewährleistet. Im weiteren Befallsverlauf nimmt die Eiablage an den im Vorjahr geschädigten Bäumen ab (Baier et al. 1999). Durch Trockenstress geschädigte Fichten bilden Nadeln mit spezifischen Charakteristika aus, die offenbar weniger attraktiv für die Eiablage erscheinen. Gut wasserversorgte Bäume bilden voll benadelte Zweige mit langen Nadeln aus, die die Blattwespe zur Eiablage bevorzugt (Krause et al. 1993).

In der Literatur findet man zahlreiche Beispiele, in denen lokale Gradationen von *C. abietis* unter anderem auf die Geländemorphologie zurückgeführt werden. So wird in Muldenlagen ein niedrigeres Gradationsrisiko erwartet als auf Kuppen (Führer et al. 2001). Auch die Exposition dürfte eine Rolle am Entstehen einer Gradation haben. So werden sonnenexponierte Lokalitäten gegenüber nördlichen Expositionen bevorzugt (Führer et al. 2001). Ein Grund dafür ist in einer höheren Schwärmaktivität der männlichen Wespen an sonnigen Stellen zu suchen (Baier 1997). Da die Befallsfläche bei Grafenschlag eben ist, können sich bei genügend Sonnenlicht die bodennahen Luftmassen entsprechend aufwärmen, wodurch der Schwärmflug im Frühjahr sicherlich begünstigt wird. Trockene, warme Witterungsverhältnisse begünstigen das Überleben der adulten Tiere sowie der Larven am Baum (Führer et al. 1994).

Gradationen der Fichtengespinstblattwespe werden vermehrt außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes der Fichte, jedoch auch in naturnahen Beständen, beobachtet. Dabei sind reine, gleichaltrige Fichtenbestände anfälliger als ungleichaltrige Mischbestände. Als Grund dafür wird die nach Fraßschäden höhere Lichtausbeute angegeben, die in Mischbeständen durch belaubte Bäume ausbleibt. Durch die verstärkte Sonneneinstrahlung entsteht an der Bodenoberfläche ein Mikroklima mit höherer Temperatur, was wiederum den Entwicklungsfortschritt der Nymphen im Boden vorantreibt. Unklar bleibt jedoch die Tatsache, warum es in natürlichen Fichtenreinbeständen weniger häufig zu Massenvermehrung kommt,

obwohl ein optimales Nahrungsangebot vorliegt (Führer et al. 2001). Da sich die Befallsfläche im Waldviertel im natürlichen Wuchsgebiet der Fichte befindet, ist die Gradation der Fichtengespinstblattwespe aus den Bestandesparametern allein nicht erklärbar. Jedoch muss man berücksichtigen, dass natürliche Fichtenbestände in höheren Lagen keine optimalen Temperaturverhältnisse für die Entwicklung der Fichtengespinstblattwespe bieten.

In immissionsbelastenden Regionen, v.a. mit hohen Stickstoffeinträgen, konnte in der Vergangenheit eine erhöhte Prädisposition zu Massenvermehrungen beobachtet werden, da sich die Nahrungsqualität der Fichtennadeln durch das höhere Stickstoffangebot verbessert (Führer et al. 2001). Da im aktuellen Befallsgebiet lokal keine übermäßigen Stickstoffimmissionen bekannt sind, dürfte eine verbesserte Nahrungsqualität für die Larven als Grund für die Massenvermehrung auszuschließen sein.

Intensiver Fraß der Larven der Fichtengespinstblattwespen führt bei befallenen Bäumen zu einer Prädisposition für Borkenkäfer und weitere Sekundärschädlinge (Steyrer et al. 2014). Auf der Befallsfläche kam es nach dem massiven Eisbruch Anfang Dezember 2014 zum Ausfall einzelner Fichten durch Borkenkäfer. So musste im Untersuchungszeitraum der vorliegenden Arbeit ein Probebaum des Transekts ersetzt werden, da der Baum von Borkenkäfern befallen wurde und abstarb.

Standörtliche Charakteristika sind maßgeblich am Entstehen einer Massenvermehrung von Schadinsekten beteiligt. Es kann angenommen werden, dass sowohl der Temperaturverlauf wie auch die Wetterlage der letzten Jahre mitbestimmend waren, dass die Fichtengespinstblattwespenpopulation aus der Latenzphase in die Massenvermehrung kam. Die Temperaturverhältnisse im Boden in den Folgejahren entscheiden darüber, wie lange der Generationszyklus dieser Population dauert.

Schlechte Witterungsbedingungen (Regen, Wind) verkürzen die Lebensdauer der Imagines von *C. abietis* und somit auch das Zeitfenster für die Eiablage. Die Eier wiederum benötigen eine Mindesttemperatur von 15°C, um sich zu entwickeln. So kann trotz starkem Schwärmflug, hohem Weibchenanteil und großer Eiablagezahl die Population stark dezimiert werden (Baier 1991).

Auf der Befallsfläche im Waldviertel konnten in den Jahren vor dem Massenauftreten 2013 keine allzu großen Differenzen hinsichtlich der Monatsmitteltemperaturen festgestellt werden. Lediglich im Februar 2012 (1 Jahr vor den beobachteten Fraßschäden) war der Monatsmittelwert um 4,3°C niedriger im Vergleich zum Durchschnitt der Monatsmittelwerte im Februar der übrigen Jahre (Abb.27). Allerdings bezieht sich diese Temperaturangabe auf Luft- und nicht auf Bodentemperaturen.

In Muldenlagen bewirkt die stauende Luftfeuchtigkeit, dass sich Pilzkrankheiten im Boden rasch ausbreiten und so regulierend auf *C. abietis*-Gradationen wirken können (Führer et al. 2001). Im aktuellen Befallsgebiet kann man aufgrund der Topographie schließen, dass Pilzkrankheiten einen eher geringen Einfluss auf die Nymphenmortalität im Boden haben. Das bestätigen auch die Auswertungen der Bodenproben; im Winter, Frühjahr, Sommer und Spätherbst wiesen weniger als 2 % der Nymphen Symptome von Pilzbefall auf.

Starke Versauerung des Bodens beeinträchtigt die Lebensfähigkeit von entomophatogenen Nematoden sehr stark (Führer et al. 2001). Die durchgeführten pH-Wert-Messungen an allen Probenahmestellen der Befallsfläche ergaben Werte zwischen 3,7 und 4,2; der Waldboden muss als sauer eingestuft werden. Die niedrigen pH-Werte können u.a. eine Erklärung dafür sein, warum bis auf wenige Ausnahmen keine Nematoden an toten Nymphen vorgefunden wurden. Die Dichte an Nematoden im Boden sinkt mit fallendem pH-Wert, die genauen Umstände sind noch nicht vollständig geklärt (Fischer et al. 1990). Ein weiterer Grund für das Nicht-Auffinden von Nematoden auf der Befallsfläche liegt in der schnellen Entwicklung von Nematoden im Wirtstier. Die befallene Nymphe stirbt, unabhängig von der Nematodenart, innerhalb von 48 Stunden durch die von den Nematoden in den Wirt abgegebenen symbiontischen Bakterien. Diese Bakterien lösen eine Sepsis aus und führen zu einer raschen Auflösung des Wirtskadavers, sodass dieser schon wenige Tage später nicht mehr auffindbar ist. Zur Abklärung, ob Nematoden im Boden der Befallsfläche vorkommen oder nicht, müssten indirekte Nachweismethoden eingesetzt werden, wie zum Beispiel die Galleria-Köder-Methode, bei der man Larven der Großen Wachsmotte (*Galleria mellonella*; Lepidoptera, Pyralidae) mit Streuproben aus dem Untersuchungsgebiet in Kontakt bringt. Befinden sich in der Probe entomopathogene Nematoden, werden die Larven sterben. Das Vorhandensein von Nematoden ist bestätigt, wenn man Junglarven im Wirtstier vorfindet. Bei optimaler Bodentemperatur und –feuchtigkeit ist die Entwicklung der Nematoden im Wirt innerhalb 3-5 Tagen vollendet (Eichhorn 1988).

Nymphenentwicklung im Boden

Für die Umwandlung der Eonymphe zur Pronymphe wird eine Bodentemperatur von über +13°C benötigt. Wenn daher im Jahr des Larvenfraßes kühlere Temperaturen auftreten, ist im folgenden Jahr nicht mit einem Wespenschlupf zu rechnen. Dieser Entwicklungsstopp bei +13°C (Entwicklungsnullpunkt ENP) stellt einen wesentlichen Faktor für die Dauer der Diapause und der Generationszyklen dar (Baier 1995). Früh abgebaumte Larven können unter günstigen Bedingungen eine einjährige Entwicklung

haben, später abgebaumte haben eine zwei- oder mehrjährige Entwicklung (Martinek 1986). Das lässt sich dadurch erklären, dass früher abbaumende Larven die benötigten Temperatursummen (Gradtage) über ENP im Boden für die Weiterentwicklung vom Eo- zum Pronymphenstadium erfahren. Pronymphen benötigen vor der Weiterentwicklung zur Puppe eine Kälteperiode (Winterphase). Diese betrug in Laborversuchen mindestens zwei Monate bei Temperaturen von -1°C. Bei einer zweijährigen Generationsdauer gehen die Eonymphen in Diapause und überwintern, wenn sie die benötigte Temperatursumme zur Umwandlung in das Pronymphenstadium nicht erreichen. Sie entwickeln sich im Frühjahr nicht weiter zu Pronymphen und überliegen ein weiteres Jahr. Die Kälteperiode, die Eonymphen für eine Weiterentwicklung benötigen, ist viel länger als jene der Pronymphen, nämlich mindestens 4 Monate bei 0°C (Eichhorn et. al. 1986). Entsprechend hat die Höhenlage ebenso Einfluss auf die Entwicklungsdauer der Tiere. In Tieflagen unter 700 m Seehöhe kommt eine einjährige Generation häufiger vor als in höheren Lagen (Martinek 1980). Auf Seehöhen über 1200 m ist das Risiko häufiger *C. abietis*-Gradation schwindend, Grund dafür dürften die niedrigen Temperaturen sein (Führer et al. 2001).

Weder 2014 noch im Untersuchungszeitraum von Jänner bis Juli 2015 kam es zu einem Massenschlupf adulter Wespen, daher scheinen die Eonymphen im Boden nicht genügend Temperatursummen erfahren zu haben, um die Umwandlung zur Pronymphe und später weiter zur Puppe zu vollziehen. Die Tagesmittelwerte der Bodentemperatur erreichten erst ab Juni Werte von über +13° C, also konnte erst dann die Nymphenentwicklung fortgesetzt werden. Trotzdem schlüpften einige Wespen, diese könnten sowohl aus einer ein-, zwei- oder dreijährigen Generationsentwicklung stammen. Aufgrund der Steuerung über die Temperatur und anderer exogener Faktoren können auch mehrere überlappende Blattwespengenerationen parallel vorkommen, d.h. wenige haben einen 1-jährigen oder 2-jährigen Zyklus, die meisten einen 3-jährigen (Eichhorn 1990). Unter günstigen Witterungsverhältnissen kann eine Massenvermehrung durch Zusammentreffen der Schlüpfphasen aus Populationen unterschiedlicher Generationszyklen entstehen (Führer et al. 1994).

Ebenso könnte ein spätes Abbaumen der Larven die Verzögerung in der Weiterentwicklung hervorgerufen haben, da die Bodentemperaturen nur von Juni bis Oktober (Werte aus 2016) über 13°C betrugen und somit die Temperatursumme nicht im selben Jahr erreicht wurde. Da die Befallsfläche auf ca. 800 m liegt, ist die Wahrscheinlichkeit einer einjährigen Generation jedenfalls gering und nur extrem früh abbaumende Larven könnten sich noch im Fraßjahr bzw. im Folgejahr zur Pronymphe

entwickelt haben. In der Regel dürfte jedoch die Mehrheit der Population einen 3-jährigen Entwicklungszyklus haben. Das Hauptschwärmjahr der adulten Wespen fand tatsächlich im Frühsommer (Juni) 2016 statt, also 3 Jahre nach dem Befallsjahr 2013. Diese Tiere verpuppten sich im Frühjahr 2016 und schwärmten dann als adulte Wespen.

Bei überlappenden Generationen könnte es theoretisch auch dazu kommen, dass im Laufe der Jahre die Populationsdichte an Nymphen im Boden zunimmt. Ein entsprechender Trend war auf der Befallsfläche in Grafenschlag jedoch nicht zu erkennen. Die festgestellte Abnahme der Nymphendichte im Jahresverlauf um mehr als 50 % lässt vielmehr darauf schließen, dass ein beträchtlicher Anteil der Nymphen stirbt. Für diesen Rückgang kommen v. a. biotische Faktoren wie Prädatoren, Parasiten oder Pathogene in Frage. Eine 2- bis 3-jährige Entwicklungsdauer wirkt sich maßgeblich auf die Mortalität aus, da die Tiere im Boden länger Räubern, Krankheitserregern und Parasiten ausgesetzt sind (Eichorn et al. 1986). Bei Freilandpopulationen von *C. abietis* wiesen die weit entwickelten Pronymphen eine höhere Mortalität als die Eonymphen auf (Baier 1990, Eichhorn et al. 1986). Die Fitness der Population ist, neben dem Vorkommen überlappender Generationen, auch ausschlaggebend für das Entstehen einer Gradation (Gruppe 1998). Besonders exogene Faktoren, wie z.B. der Witterungsverlauf während der Fraßaktivität, sowie der Vitalitätszustand des Wirtsbaumes haben einen großen Einfluss auf die Fitness der Tiere (Eichhorn 1990).

Im Jahresverlauf nahm die Zahl der lebenden Nymphen im Boden auf der Befallsfläche um mehr als die Hälfte ab. Neben räuberischen Insekten, Parasiten und Pathogenen sind räuberische Säuger wie Mäuse oder Wildschweine, die den Boden umgraben, um an die Tiere zu gelangen, als Gegenspieler der Nymphen zu nennen. Freiliegende Nymphen, die nicht gefressen werden, trocknen an der Bodenoberfläche rasch aus und sterben (Eichhorn et al., 1982; Baier 2000). Auf der Befallsfläche in Grafenschlag wurden oftmals Stellen vorgefunden, wo der Boden stark durchwühlt war. Ein Hauptgrund für die hohe Mortalität, die keiner Ursache zugeordnet werden konnte, dürfte jedoch darin liegen, dass ein Teil der Tiere durch den Transport der Bodenproben verletzt bzw. gequetscht wurde, sodass die Mortalität scheinbar stark zunahm. Doch lässt sich aus der höheren Mortalität allein nicht die geringere Nymphendichte im Boden im Jahresverlauf erklären. So wird ein Teil der Tiere Nymphenräubern zum Opfer gefallen sein bzw. könnten ungünstige Witterungsverhältnisse zum Tod von Nymphen im Boden geführt haben. Auch Eichhorn (1990) konnte in langjährigen Untersuchungen eine erhöhte Mortalität der

Nymphenpopulation feststellen, ohne dass er die eigentliche Ursache im Boden erkennen konnte. So waren nach dreijährigen Untersuchungen nur noch ein Drittel der ursprünglich abgebaumten Larven vorhanden, die sich erfolgreich zu Imagines entwickeln konnten. Durch die lange Entwicklungsdauer der Nymphen im Boden ist das Risiko Räubern, Krankheitserregern oder Nematoden zum Opfer zu fallen und ungünstigen Witterungsbedingungen ausgesetzt zu sein, ein Vielfaches höher als bei sogenannten Subitanentwicklern mit univoltiner Entwicklung und nur einer Überwinterungsphase. (Eichhorn et al. 1986).

Der Massenschlupf von *C. abietis*-Wespen fand nicht wie anfangs vermutet im Jahr 2015 statt. Im Jahresverlauf nahm jedoch der Anteil der Pronymphen an der Gesamtzahl an Nymphen stetig zu, während der Anteil der Eonymphen schwand. Fanden sich im April 2014 und Jänner 2015 praktisch keine Pronymphen in den Bodenproben, stieg ihr Anteil bis November 2015 auf knapp 90 %. Damit ließ sich der Massenschlupf für das Frühjahr bzw. den Frühsommer 2016 prognostizieren. Demzufolge weist die Hauptpopulation der Fichtengespinstblattwespe in Grafenschlag eine 3-jährige Entwicklungsdauer auf. Bei den etwa 10 % im Spätherbst 2015 vorhandenen Eonymphen handelt es sich um sog. Überlieger. Diese Überlieger bleiben mindestens noch für zwei Winter im Boden, da sich die Tiere erst im darauffolgenden Jahr (2016) zu Pronymphen weiterentwickeln können und diese wiederum eine – wenn auch kürzere – Winterphase (Kältereiz) benötigen, um die Verpuppung und Metamorphose (2017) einzuleiten. Ob es sich bei den Tieren um eine gegenüber der Hauptpopulation „verschobene“ Population oder um eine Population mit einer mehr als 3-jährigen Entwicklungsdauer handelt, kann aber aus den vorhandenen Daten nicht beurteilt werden.

Auffallend war die geringere Anzahl an Pronymphen in den Bodenproben vom April gegenüber der Jännersammlung 2015. Einerseits kann es Zufall sein, dass die Bodenproben genau an jenen Stellen genommen wurden, wo die Dichte an Pronymphen sehr gering war. Zum anderen könnte eine erhöhte Mortalität der Pronymphen im Spätsommer aufgetreten sein, wie auch in der Literatur mehrfach berichtet wird (z.B. Eichhorn et al. 1986). Dieses Phänomen wird als Metamorphosemortalität beschrieben (Eichhorn 1990, Eichhorn et al. 2000). Auf allen Dauerversuchsflächen wurde diese erhöhte Mortalität der Pronymphen im Vergleich zur minimalen Eonymphenmortalität festgestellt. Durch dieses Pronymphensterben schrumpft die Population beträchtlich. Aufgrund der 3-jährigen Nymphenentwicklung in Grafenschlag kommt die Pronymphenmortalität erst im Winter 2015/16 zum Tragen. Die Dichte der Nymphen nahm von April 2014 bis November 2015 um 50 %, im

Untersuchungszeitraum dieser Arbeit (Jänner – November 2015) um mehr als ein Drittel ab. Dieser Trend konnte auch trotz der uneinheitlichen Verteilung der Nymphen unter den Probebäumen festgestellt werden (Tab.5, Abb.32). Die unterschiedlichen Werte zwischen den Sammelterminen lassen sich durch die inhomogene Verteilung der Nymphen im Boden erklären.

Polychromismus bei Larven/Nymphen ist nicht nur von *C. abietis* beschrieben, sondern auch von einigen anderen Blattwespenarten in den Familien Pamphiliidae, Diprionidae, Cimbicidae und Tenthredinidae (Schedl 1991). Bei *C. abietis*-Populationen gibt es innerhalb der dominanten grünen Färbung der Nymphen einen kleinen Anteil an gelb- bis gelborange gefärbten Individuen. Das Verhältnis gelber zu grüner Nymphen wird in der Literatur mit unterschiedlichen Werten angegeben. So betrug der Anteil gelber Nymphen in einer Population in Skåne (Schweden) ca. 4 % (Hequist 1956). Eichhorn et al. (1982) geben ein relativ konstantes Verhältnis grüner zu gelber Nymphen von 90:10 an. In einer Studie aus 1961 wurde ein Anteil von 2-5 % gelber Nymphen in Populationen in Niederösterreich beobachtet (Donaubauer 1961, zitiert in Eichhorn 1990). Dabei wurden auch signifikante Unterschiede zwischen lokal abgegrenzten Populationen festgestellt. Lokale Unterschiede im Grün- bzw. Gelbanteil der Populationen bestätigte auch Gruppe (1995). Auf der Versuchsfläche in Grafenschlag lagen die Anteile gelber Nymphen an der Gesamtnymphenzahl zwischen 5,3 % (Jänner) und 4,4 % (November). Rund 80 % der gelben Nymphen sind Männchen. Diese Beobachtungen führten zur Annahme, dass die gelbe Färbung monogen rezessiv vererbt wird, die Mutation in einem Gen führt bei Männchen zur Farbausprägung Gelb, da diese als haploide Individuen nur einen einfachen Chromosomensatz aufweisen. Weibchen als diploide Individuen dagegen sind nur dann gelb, wenn beide Allele die Mutation tragen, was natürlich wesentlich seltener der Fall ist als bei Männchen. Auch in der vorliegenden Untersuchung bezüglich des Geschlechts konnte ein klarer Trend festgestellt werden; bis auf wenige Ausnahmen betrugen die Gewichte der gelben Nymphen weniger als 100 mg, was auf männliche Individuen schließen lässt.

Anhand der zweigipfeligen Verteilung der Nymphengewichte lässt sich das Verhältnis Männchen (<100 mg) zu Weibchen (>100 mg) berechnen, mit der Einschränkung, dass eine absolut sichere Geschlechtsbestimmung nur durch Sektion der Tiere möglich ist (siehe Gruppe 1993, 1995). Das höhere Gewicht der Weibchen erklärt sich aus einem zusätzlichen Larvenstadium, die Fraßaktivität der Tiere am Baum dauern daher länger. Der Grenzwert zwischen den Geschlechtern kann zwischen verschiedenen Populationen variieren. Als Gründe kommen exogene Ursachen, wie z.B. regionale

Klima- und Bestandesunterschiede in den befallenen Gebieten oder unterschiedliche Nahrungsqualität des Wirtsbaumes, sowie endogene Ursachen (z.B. genotypische Unterschiede) in Frage (Gruppe 1995).

Da sich, wie bei Hymenopteren üblich, befruchtete Eier zu weiblichen, unbefruchtete Eier zu männlichen Individuen entwickeln, kann es zu erheblichen jährlichen Schwankungen im Geschlechterverhältnis innerhalb der Blattwespenpopulation kommen, die sich jedoch über die Jahre ausgleichen. Im aktuellen Befallsgebiet im Waldviertel ließ sich bis auf eine Ausnahme (Sammeltermin im November) stets ein höherer Anteil an männlichen Eonymphen erkennen. Aufgrund der geringen Anzahl an Pronymphen in den Bodenproben im Winter, Frühjahr und Sommer 2015 konnte hier kein Trend festgestellt werden. Am Sammeltermin im November, an dem sich bereits 88 % der Nymphen im Pronymphenstadium befanden, waren die Männchen mit 1,5:1 klar in der Überzahl. Ein höherer Anteil an Männchen innerhalb der Population spricht dafür, dass viele nicht begattete Weibchen ihre Eier abgelegt haben. Allgemein scheint ein ausgeglichenes Geschlechterverhältnis bzw. ein leichtes Überwiegen des Weibchenanteils in der Latenzphase bei Blattwespen die Regel zu sein (Eichhorn 1990). Untersuchungen über die Populationsdynamik der Kleinen Fichtenblattwespe, *Pristiphora abietina*, haben keine Unterschiede im Geschlechterverhältnis in Gradations- und Latenzgebieten erkennen lassen (Ohnesorge et al., 1966). Ob dies auch für *C. abietis* gilt, muss offenbleiben.

Schlupfdynamik der Wespen

Der Schlupf aus dem Boden und anschließende Schwärmflug adulter Wespen ist unter anderem von den klimatischen Gegebenheiten abhängig. So schwärmen Wespen in wärmeren Lagen bereits ab April, mit Schwärmhöhepunkt im Mai. In ungünstigeren Lagen findet die Hauptschwärmzeit in Juni statt, mit verringerter Schwärmaktivität von Juli bis August (Eichhorn 1982). Bei *C. abietis* liegt eine ausgeprägte Protandrie vor, d.h. die Männchen schlüpfen bis zu 2 Wochen vor den Weibchen (Eichhorn et al. 2000). Auf der Befallsfläche in Grafenschlag begann der Schwärmflug Ende Mai und endete mit einzelnen gefangenen Individuen Mitte Juli. Der Höhepunkt des Schwärmens fand im Juni statt. Protandrie war nicht besonders ausgeprägt, allerdings blieb die Zahl der gefangenen Wespen gering (74 Individuen). Bereits unter den ersten gefangenen Wespen fanden sich Weibchen, wenn auch in geringer Zahl.
Die im Frühsommer 2015 geschlüpften Wespen könnten aus einer Nebenpopulation stammen. Insgesamt wurden gleich viele Männchen (n=37) wie Weibchen (n=37) gefangen, das Geschlechterverhältnis betrug also 1:1, dies ließ sich bereits aus den Gewichten der Pronymphen im Boden vor dem Schlupf der Imagines prognostizieren.

Parallel zum Schlupf der adulten *C. abietis*-Wespen wurden auch potenzielle Gegenspieler der Fichtengespinstblattwespe wie parasitische Wespen aus den Familien der Schlupfwespen (Ichneumonidae) und Brackwespen (Braconidae) dokumentiert, ebenso räuberische Käfer und Raupenfliegen (Tachinen). Im gesamten Untersuchungszeitraum wurde eine einzige Raupenfliege (erste Maihälfte) gefangen. Ob es sich dabei um *Myxexoristops abietis,* die die Larven der Blattspe befällt, handelte, wurde nicht weiter untersucht. Die Zahl der gefangenen Brackwespen war im Gegensatz zu den gefangenen Schlupfwespen um ein Vielfaches geringer. Der Höhepunkt des Schwärmens der parasitierten Wespen deckte sich mit dem Höhepunkt des Schlupfes von *C. abietis*-Wespen (Juni), die Zahl der gefangenen Individuen war höher als die Zahl der gefangenen Fichtengespinstblattwespen. Ob sich darunter die im Kapitel 2.4 angeführten Larven-/Nymphenparasiten befanden, wurde nicht weiter untersucht. Räuberische Käfer aus der Familie der Kurzflügler (Staphylinidae) wurden im gesamten Zeitraum in hoher Zahl gefangen, v.a. im Juni.

In insgesamt 35 Trichterfallen mit einer Gesamtfläche von ca. 17 m² auf der rund 10 ha großen Fläche wurde von Mitte Juli bis Ende August 2015 nur eine einzige abgebaumte *C. abietis*-Larve gefangen. Daraus kann man schließen, dass sich die Population durch neu hinzugekommene Nymphen aus der Larvengeneration 2015 im Boden praktisch nicht erhöht. Erst die Bedingungen im prognostizierten (und tatsächlichen) Hauptschwärmjahr 2016 entscheiden darüber wie gut sich eine neue Population entwickeln wird.

Frosthärte

Damit sich Eonymphen zu Pronymphe entwickeln können, benötigen sie im Boden einen Kältereiz mit moderaten Minustemperaturen (-1°C) über einen längeren Zeitraum (ca. 2 Monate) (Baier 1994, 1995). Ob Eo- und Pronymphen auch tiefe Temperaturen überleben können, war bisher nicht bekannt. Da die Fichtengespinstblattwespe unter anderem auch in nördlicheren Breitengraden vorkommt (siehe Massenauftreten in Skåne, Schweden; Hequist 1956), nimmt man an, dass das Insekt tiefe Temperaturen unbeschadet übersteht und möglicherweise sogar frosttolerant (Überleben von Temperaturen unterhalb des Unterkühlungspunktes) ist. Die vorliegenden Ergebnisse aus den Messungen des Unterkühlungspunkts zeigen aber eindeutig: Die Fichtengespinstblattwespe ist nicht gefriertolerant, sie stirbt sobald die Körpertemperatur den Unterkühlungspunkt erreicht und das Körperwasser friert. Der Unterkühlungspunkt liegt jedoch weit unter -10°C, abhängig vom Entwicklungsfortschritt der Tiere. Pronymphen scheinen dabei einen niedrigeren Unterkühlungspunkt zu haben als Eonymphen. Es gilt als sehr unwahrscheinlich, dass

die Böden in den Tiefen, in denen sich die Nymphen aufhalten, derartig tiefe Temperaturen erreichen, daher ist ein Kältetod der Tiere weitgehend auszuschließen. In den mitteleuropäischen Wintermonaten dürfte daher die Gefahr des Erfrierens sehr gering sein.

Interessant ist allerdings der Abfall des Unterkühlungspunktes im Jahresverlauf, den man an den Eonymphen besonders gut beobachten konnte. Zu erwarten wäre gewesen, dass die Erdnymphen bei höheren Lufttemperaturen im Sommer ihre Unterkühlungspunkte anpassen, doch die Messungen ergaben das genaue Gegenteil. Im April und Juli lagen die Werte um bis zu 8°C tiefer als im Jänner. Bei den Pronymphen, die im selben Jahr als adulte Wespen schlüpfen, stieg der Unterkühlungspunkt von Jänner bis März um gute 2°C. Die Frosthärte lag bei diesen Tieren aber immer noch bei unter -16°C. Damit die Tiere derart niedrige Temperaturen überleben können, muss ihr Stoffwechsel eine extrem gute Anpassung durchlaufen, d.h. es müssen Substanzen in die Zellen eingelagert werden, die als Frostschutzmittel wirken, wie zum Beispiel Glykol. Außerdem schützen Frostschutzproteine die empfindlichen Biomembranen, indem sie winzige Eiskristalle am Weiterwachsen und damit am Zerstören der Zellmembran hindern (Kuiper et al. 2015).

Atmungsaktivität

Die Atmungsaktivität ist einerseits vom Körpergewicht und andererseits von der Entwicklungsphase des Tieres abhängig. So ist der Sauerstoffverbrauch während der Larvalentwicklung normalerweise hoch. Bezogen auf 1 mg Körpergewicht sinkt jedoch die Atmungsaktivität von jüngeren zu älteren Stadien, da sie ja auf Körpergewichtseinheit bezogen wird (Sláma 1960, Schedl 1991). Die *C. abietis*-Eonymphen im Boden nehmen keine Nahrung zu sich, ihr Gewicht bleibt über längere Zeiträume mehr oder weniger konstant bzw. nimmt mit der Entwicklung zur Pronymphe leicht ab. Die Atmungsaktivität der Eonymphen war im Jänner signifikant niedriger als im April, eine deutliche Abhängigkeit des O_2-Verbrauchs von der Temperatur ließ sich erkennen.

Sláma (1960) stellte fest, dass der Sauerstoffverbrauch von *C. abietis*-Pronymphen niedriger war als von Eonymphen, erst im Puppenstadium steigt die Atmungsaktivität der Tiere um ein Vielfaches an, wobei jüngere Puppen weitaus weniger als ältere Puppen verbrauchen, die aufgrund der Metamorphose einen hohen O_2-Bedarf haben (Schedl 1991). Präzisere Messmethoden zeigen während der geringen Atmungsaktivität immobiler Praepuppen und Puppen vieler Insekten eine pulsierende Kurve (Sláma 1988). Auch *C. abietis* Nymphen und Puppen dürften eine fluktuierende Atmung haben. Parasitierte Eonymphen der Lärchenblattwespe (*Pristiphora erichsonii*;

Hymenoptera, Tenthredinidae) haben aufgrund des benötigten Sauerstoffs für die Larvenentwicklung des Parasites im Wirt eine vielfach höhere Atmungsaktivität als unparasitierte (Heron, 1960). Der Sauerstoffverbrauch der Eonymphen war bei allen Messterminen so einheitlich niedrig, dass sich parasitierte Nymphen offenbar nicht unter den gemessenen Tieren befanden.

Es ist anzunehmen, dass der Sauerstoffverbrauch der Eonymphen über die Sommermonate ähnlich hoch sein dürfte wie im April, wo die Messungen bei 15°C durchgeführt wurden. Die Bodentemperaturen auf der Befallsfläche erreichten im Juli und August Werte zwischen 10°C und maximal 18°C. Zu bedenken ist immerhin, dass die Tiere aufgrund erhöhter Atmungsaktivität auch Energie verlieren, die sie nicht durch Nahrungsaufnahme kompensieren können. Ohne entsprechende Energiereserven könnten die Tiere sicherlich nicht über mehrere Jahre im Boden überleben.

Energiehaushalt

Damit die Nymphen die meist mehrjährige Entwicklung im Boden ohne Nahrungsaufnahme überleben können, müssen sie ausreichend Energiereserven besitzen. Diese Energiereserven können die Tiere nur während des Larvenfraßes am Baum anlegen. Um über die Quantität der Reserven Einblick zu bekommen, wurden die Fettgehalte der Eonymphen in den Monaten März und April getrennt für Männchen und Weibchen bestimmt. Da die Weibchen ein zusätzliches fressendes Stadium am Baum durchlaufen und somit mehr Zeit zur Nahrungsaufnahme haben, können sie mehr Fettreserven anlegen als Männchen. In den vorliegenden Untersuchungen waren die Fettgehalte der Männchen geringfügig höher als jene der Weibchen und lagen bei knapp 5 % des Lebendgewichts der Tiere. Die Energiereserven der Weibchen werden in erster Linie zur Eiproduktion benötigt. So wurde an Kiefernblattwespen (*Diprion ssp., Neodiprion sertifer*; Hymenoptera, Diprionidae) eine größere Eianzahl bzw. größere Eier bei höhere Lipidwerte der Weibchen festgestellt (Herz et al., 2002). In einer Studie an der Lärchenblattwespe (*Pristiphora erichsonii*; Hymenoptera, Tenthredinidae) zeigten sich kaum Unterschiede in den Lipidgehalten zwischen lokal abgegrenzten Populationen (Heron, 1955).

Beide Geschlechter brauchen allerdings auch energiereiche Substanzen, um sich nach der Diapause zur Puppe und zum adulten Tier weiterentwickeln zu können. Neben Lipiden sind auch Proteine, Aminosäuren und Kohlenhydrate (Zucker, Glykogen) für die Metamorphose der Tiere wichtig. Diese wurden in der vorliegenden Arbeit allerdings nicht untersucht.

6. Zusammenfassung

Ausgangspunkt der Arbeit war ein im Jahr 2013 unvermittelt aufgetretener Massenbefall eines ca. 10 ha großen Fichtenaltbestands im sog. Miniwald/Revier Heubach (Waldviertel) durch die Fichtengespinstblattwespe *Cephalcia abietis*. Anfang 2014 auf der Fläche entnommene Bodenproben ergaben exorbitant hohe Belagsdichten an Nymphen (im Mittel >650 Nymphen/m2, Spitzenwerte bei >1300 Nymphen/m2). Da im Frühsommer 2014 kaum Wespenschlupf zu beobachten war, wurden für die vorliegende Masterarbeit detaillierte Untersuchungen zur Populationsdynamik und zum physiologischen Zustand der Nymphen im Jahresverlauf 2015 durchgeführt.

Zunächst wurde ein Transekt in N-S bzw. W-O Richtung mit 22 Probebäumen durch das Befallszentrum gelegt und Datenlogger zur Aufzeichnung der Luft- bzw. Bodentemperaturen auf der Fläche installiert. Im Winter, Frühjahr, Sommer und Herbst wurden bei allen Probebäumen Bodenproben mit 0,1 m² Fläche entnommen und die Nymphendichte bestimmt. Erhoben wurden auch das Entwicklungsstadium der Nymphen (Eonymphe, Pronymphe), der Farbpolymorphismus (grüne, gelbe Nymphen) und die Mortalität (Parasiten, Pilze, Nematoden, unbekannte Ursache). Mittels Photoeklektoren wurden aus dem Boden frisch geschlüpfte Blattwespen im Frühsommer 2015 abgefangen, wie auch sog. Beifänge, die den Ordnungen Hymenoptera, Diptera und Coleoptera zugeordnet werden konnten. Aus den Baumkronen abbaumende Larven wurden in Trichterfallen gefangen.

Im Labor wurden an den Nymphen der Unterkühlungspunkt und der Sauerstoffverbrauch bei unterschiedlichen Temperaturen gemessen. Die Geschlechtszuordnung erfolgte anhand des Gewichtes (Männchen <100 mg, Weibchen >100 mg). Eonymphen aus dem Freiland wurden im Klimaschrank bei 20°C auf eine Weiterentwicklung zu Pronymphen untersucht. An Eonymphen und Pronymphen aus dem Freiland wurden außerdem Fettreserven (Lipide) und Wassergehalte bestimmt.

Im Untersuchungszeitraum von Anfang Jänner bis Mitte Juli 2015 lagen die Bodentemperaturen nur an 34 Tagen über dem Entwicklungsnullpunkt von 13°C, bei dem sich Eonymphen zu Pronymphen weiter entwickeln. Vergleiche der Lufttemperaturen der letzten Jahre ergaben keinen Rückschluss auf das Entstehen der Massenvermehrung. Innerhalb des Transekts waren die Nymphen im Boden inhomogen verteilt. Die Nymphendichte im Boden sank von April 2014 bis November 2015 um mehr als 50 %. Der Anteil toter Nymphen lag zwischen 10 und 28 %. An

wenigen Tieren konnte Pilz- bzw. Nematodenbefall als Todesursache festgestellt werden; äußerlich war keine Parasitierung der Tiere erkennbar.

Betrug der Anteil an Eonymphen im April 2014 noch 100 %, war er im November 2015 auf 12 % gefallen, d.h. ein Großteil der Eonymphen entwickelte sich im Jahresverlauf 2015 zu Pronymphen weiter. Der Anteil gelb-oranger Nymphen an der Gesamtpopulation lag bei 4-5 %, wobei der Großteil der gelben Tiere Männchen waren. Die überwiegende Mehrheit der Nymphen war grün gefärbt. Von Mai bis Juli 2015 wurden 74 aus dem Boden geschlüpfte Wespen in den Photoeklektoren abgefangen, das Geschlechterverhältnis war ausgeglichen. Es wurden auch viele Vertreter aus der Familie der Schlupfwespen (Ichneumonidae) und einige wenige aus den Familien der Brackwespen (Braconidae) bzw. Raupenfliegen (Tachinidae) gefangen; ob es sich bei diesen Insekten hauptsächlich um Parasitoide der Fichtengespinstblattwespe handelt, wurde nicht weiter untersucht. Räuberische Käfer aus der Familie der Kurzflügler waren ebenfalls vorhanden. Im Spätsommer wurde eine einzige abgebaumte Larve in den Trichterfallen gefangen.

Das Geschlechterverhältnis bei den Eonymphen war von Jänner bis Juli leicht zugunsten der Männchen verschoben, im November waren Eonymphen-Weibchen in der Überzahl; bei diesen handelt es sich um sog. Überlieger, die nicht im darauffolgenden (2016), sondern frühestens im übernächsten Jahr (2017) als adulte Wespen schlüpfen werden. Bei den Pronymphen war das Geschlechterverhältnis ausgeglichen. Weibliche Nymphen hatte ein bis zu 50 % höheres Gewicht als Männchen, Pronymphen waren leichter als Eonymphen, was aufgrund des Energieverbrauchs der Tiere während des Überliegens im Boden ohne gleichzeitige Nahrungsaufnahme verständlich ist.

Im Entwicklungsversuch bei 20°C starben die Eonymphen innerhalb weniger Wochen ohne erkennbare Entwicklung zu Pronymphen; die Temperaturverhältnisse dürften ausschlaggebend für den Tod der Tiere gewesen sein. Nymphen von *C. abietis* sind nicht frosttolerant; die Tiere starben mit dem Erreichen des Unterkühlungspunktes, an dem das Körperwasser der Tiere friert. Der Unterkühlungspunkt von Eonymphen lag im Jänner bei ca. -13°C und sank bis Juli auf ca. -18°C, wobei sich Männchen und Weibchen nicht signifikant voneinander unterschieden. Pronymphen wiesen sogar bis zu 6°C tiefere Werte als Eonymphen auf. Die Atmungsaktivität der Tiere nahm mit steigender Temperatur zu, unabhängig von deren Geschlecht. Der Lipidgehalt männlicher und weiblicher Nymphen betrug zwischen 4,5 und 5 % des Lebendgewichts. Männchen hatten stets einen signifikant höheren Wassergehalt als Weibchen (70 bzw. 63 %).

Anhand der Ergebnisse konnte die Generationsentwicklung der *Cephalcia*-Population auf der Untersuchungsfläche als 3-jährig bestimmt werden, mit 2016 als Hauptschwärmjahr der Wespen. Aufgrund des dramatischen Rückgangs der Nymphendichte von April 2014 bis November 2015 ist ein neuerlicher Massenbefall der Fichten wie im Jahr 2013 jedoch auszuschließen.

7. Literaturverzeichnis

Baier U., 1990: Untersuchungen der Pronymphenentwicklung in einer Freilandpopulation der Fichtengespinstblattwespe *Cephalcia abietis* L. Beiträge für die Forstwirtschaft, 24 (1): 35-39.

Baier U., 1991: Untersuchungen zur Fertilität der Fichtengespinstblattwespe (*Cephalcia abietis* L.). Beiträge für die Forstwirtschaft, 25 (2): 76-78.

Baier U., 1995: Untersuchungen zum Diapauseverhalten der Fichtengespinstblattwespe (*Cephalcia abietis* L.). Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie, Band 9: 711-714.

Baier U.; Stürtz M.; Kolk T., 1997: Untersuchungen zum Schwarmflug der Großen Fichtengespinstblattwespe *Cephalcia abietis* L. (Hymenoptera, Pamphiliidae). Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie 31 (1997) 1: 36-40.

Baier U.; Stuertz M., 1999: The influence of vitality of the host plant *Picea abies* on the oviposition and feeding behaviour of the spruce webspining sawfly *Cephalcia abietis* L. In: Forster, B.; Knizek, M.; Grodzki, W. (Authoren): Methodology of forest insect and disease survey in central Europe: 271-272.

Baier U.; Otto L-F., 2000: Beiträge zur Waldschutzforschung in Thüringen. Mitteilung der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 17/2000: 47-68.

Bohlander F., 1996: Zum energetischen Status des Buchdruckers *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae) [Dissertation]. München: Ludwig-Maximilians-Universität: 189 f.

Eichhorn O.; Gauss R.; Kühlhorn F.; Lange R.; Postner M.; Pschorn-Walcher H.; Schwenke W.; Skatulla U., 1982: Hautflügler und Zweiflügler. In: Schwenke, W. 1983 (Hrsg.): Die Forstschädlinge Europas. Bd.4., Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin: 42-49.

Eichhorn O.; Pausch K., 1986: Untersuchungen über die Fichtengespinstblattwespen *Cephalcia ssp*. Panz. (Hym., Pamphiliidae). Journal of Applied Entomology - Volume 101: 101-111.

Eichhorn O., 1990: Untersuchungen über die Fichtengespinstblattwespen *Cephalcia ssp*. Panz. (Hym., Pamphiliidae). Journal of Applied Entomology - Volume 110: 321-345.

Fischer P.; Führer E., 1989: Effect of soil acidity on the entomophilic nematode *Steinernema kraussei* Steiner. Biology and Fertility of Soils 9 (2): 174-177.

Führer E.; Fischer P., 1994: Die Gemeine Fichtengespinstblattwespe, *Cephalcia abietis* L. (Hym., Pamphiliidae), im Böhmerwald: Zur Kenntnis der Verursachung und Vermeidung von Gradationen. Forstliche Schriftreihe, Universität für Bodenkultur Wien, Bd. 7, 1994: 209-235.

Führer E.; Rosner S.; Schmied A.; Wegensteiner R., 2001: Studies on the significance of pathogenic fungi in the population dynamics of the Lesser Spruce Sawfly, *Pristiphora abietina* Christ. (Hym., Tenthredinidae). Journal of Applied Entomology - Volume 125: 235-242.

Georgis R.; Hague N. G. M., 1988: Field evaluation of *Steinernema feltiae* against the web-spinning larch sawfly *Cephalcia lariciphila.* Journal of Nematology 20 (2): 317-320.

Gruppe A., 1993: Untersuchungen zur Entwicklungszeit der Erdlarven von *Cephalcia abietis* L. (Hym., Pamphiliidae). Journal of Applied Entomology - Volume 116: 487-493.

Gruppe A., 1994: Polymorphismus und geographische Variation bei *Cephalcia abietis* L. (Hymenoptera: Pamphiliidae). Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie, Band 9: 285-289.

Gruppe A., 1995: Populationsgenetische Aspekte der Präpuppenfärbung bei der Fichtengespinstblattwespe *Cephalcia abietis* (Linnaeus 1758) (Hymenoptera, Pamphiliidae). Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie, Band 10: 87-90.

Gruppe A., 1998: Influence of genotype and temperature on the fitness of the webspinning sawfly *Cephalcia abietis* (Hymenoptera: Symphyta, Pamphiliidae). In: Brunnhofer, V. & Soldan, T.: Book of Abstracts (Proceedings of the VI. European Congress of Entomology) Vol. 2: 439 440.

Hequist K-J., 1956: Studier över större granspinnarstekeln (*Cephalcia abietis* L.) och dess uppträdande i Skåne – Studien über die grosse Fichtengespinstblattwespe (*Cephalcia abietis* L.) und deren Auftreten in Skåne. Meddelanden Från Statens Skogsforskninginstitut Band 46 Nr. 5.

Heron R.J., 1995: Studies on the starvation of last-instar larvae of the larch sawfly, *Pristiphora erichsonii* (Htg.) (Hymenoptera: Tenthredinidae). Contribution No. 231, Forest Biology Division, Science Service, Department of Agriculture, Ottawa, Canada: 417-427.

Heron R.J., 1960: The relative effects of cocoon submergence on the mortality of the larch sawfly, *Pristiphora erichsonii* (Hymenoptera: Tenthredinidae), and its parasite *Bessa harveyi* (Diptera: Tachinidae). Annals of the Entomological Society of America, Vol. 53, No. 4: 476-481.

Herz A.; Heitland W., 2002: Comparison of the fat allocation patterns in female pine sawflies (Hymenoptera: Diprionidae). European Journal of Entomology Vol.99 No.1: 117-120.

Jahn E., 1976: Die Fichtengespinstblattwespe, *Cephalcia abietis* L., ein gefährlicher Bestandes- und Kulturschädling. Kurzfassung eines Vortrages, Entomologentagung Gießen, 8.-12.3.1976 in Zeitschrift für Angewandte Entomologie Volume 82: 276.

Krause S.; Raffa K.; Wagner M., 1993: Tree response to stress: a role in sawfly outbreaks? In: Raffa K. F. 1993 (Hrsg.): Sawfly life history adaptions to woody plants, Verlag Academic Press: 211-227.

Kuiper M.; Morton C.; Abraham S.; Gray-Weale A., 2015: The biological function of an insect antifreeze protein simulated by molecular dynamics. eLife, vol. 4: 1-14

Lemme H.; Petercord R., 2010: Neues Monitoringverfahren für die Fichtengespinstblattwespe in Bayern eingeführt. Forstschutz Aktuell 50: 20-23.

Ohnesorge B.; Thalenhorst W., 1966: Untersuchungen über die Populationsdynamik der Kleinen Fichtenblattwespe, *Pristiphora abietina* (Christ) (Hym. Tenthr.): III. Teil: Die Latenz. Journal of Applied Entomology - Volume 57: 229-293.

Pruscha H.; Fehringer F.; Kren R., 1983: Ein selbstständiges, volumetrisches Mikrorespirometer. Sitzung der mathem.-naturw. Klasse am 16. Dezember 1983.

Schedl W., 1991: Hymenoptera: Unterordnung Symphyta – Pflanzenwespen. In: Fischer, M. 1991 (Hrsg.): Handbuch der Zoologie, Band IV Arthropoda: Insecta, Verlag de Gruyter: 95 ff.

Sinclair B., 1999: Insect cold tolerance: How many kinds of frozen? European Journal of Entomology Vol.96 No.2: 157-164.

Sláma K., 1960: Physiology of sawfly metamorphosis – I. continuous respiration in diapausing prepupae and pupae. Journal of Insect Physiology, Volume 5: 341-348.

Sláma K., 1988: A new look at insect respiration. Biological Bulletin 175: 289-300.

Steyrer T.; Hoch G.; Tomiczek C., 2014: Schwere Eisbruchschäden im Dezember 2014 in Ostösterreich. Forstschutz Aktuell, Wien 60/61: 48-50.

Steyrer G.; Perny B.; Hoch G.; Schafellner C., 2014: Auftreten der Großen Fichtengespinstblattwespe im Waldviertel. Forstschutz Aktuell, Wien 60/61: 20-23.

Storey K. & J., 2012: Insect cold hardiness: metabolic, gene, and protein adaption. Canadian Journal of Zoology 90 (4): 456-475.

Wharton D. A., 2012: Supercooling and freezing tolerant animals. Intechopen.com (Aufrufdatum: 05.10.2016).

8. Verzeichnis

8.1 Tabellen

Tab.1: Absolute Minima und Maxima der Lufttemperatur (°C) der Wetterstation Stift Zwettl in den Jahren 2008-2015. Das Hauptschwärmjahr 2013 ist rot gekennzeichnet 39

Tab.2: Monatsmittelwerte (± Standardfehler) von Luft- und Bodentemperaturen (°C) der Befallsfläche und der Messstation Stift Zwettl von Jänner bis Juli 2015 40

Tab.3: Absolute Nymphenzahl, aus 22 Bodenproben mit einer Fläche von 0,1 m²; bei der Zählung im April 2014 wurde die Mortalität nicht berücksichtigt 42

Tab.4: Mortalitätsursachen der Nymphen zum jeweiligen Sammelzeitpunkt. Die Werte geben die Anzahl der Tiere wieder 42

Tab.5: Absolute Nymphenzahl aus Bodenproben mit einer Fläche von 0,1 m²; entnommen unter 21 (April 2014) bzw. 22 (Jänner und April 2015) Probebäumen 44

Tab.6: Nymphendichte in n/m² (MW ± Standardfehler) und relativer Anteil von Eonymphen und Pronymphen (%) im Boden, bezogen auf den Sammeltermin 47

Tab.7: Farbpolymorphismus bei *C. abietis* Nymphen 48

Tab.8: Gewichte von Eo- und Pronymphen (mg, Mittelwerte ± Standardfehler) von Jänner bis November 2015 50

Tab.9: Signifikanzen, bezogen auf den Unterschied in den Gewichten zwischen männlichen Eo- und Pronymphen und weiblichen Eo- und Pronymphen am jeweiligen Sammeltermin 51

Tab.10: Beifänge der Ordnungen Coleoptera, Diptera und Hymenoptera aus den Eklektoren; Fangperioden in 2015: I=28.04.-19.05., II: 19.05. - 28.05., III: 28.05. - 05.06., IV: 05.06. - 11.06., V: 11.06. - 18.06., VI: 18.06. - 23.06., VII: 23.06. - 01.07., VIII: 01.07. - 08.07., IX: 08.07. - 16.07. ÜF...Überfamilie 55

Tab.11: Unterkühlungspunkt (°C, Mittelwert ± Standardfehler) von Eo- und Pronymphen in den Monaten Jänner, März, April und Juli 56

Tab.12: Sauerstoffverbrauch (µl O_2*h^{-1}*mg^{-1}, Mittelwerte ± Standardfehler) von männlichen (Eo M) und weiblichen (Eo W) Eonymphen, abhängig vom Sammeltermin 58

Tab.13: Lipidgehalt (OME µg*mg^{-1}, Mittelwerte ± Standardfehler) und Wassergehalt (%, Mittelwerte ± Standardfehler) von Eonymphen (Männchen, Weibchen) abhängig vom Sammeltermin.....60

8.2 Abbildungen

Abb.1: Adulte weibliche (oben) und männliche (unten) *C. abietis* Wespe (Quelle: pohoda.joste.cz) 3

Abb.2: Gespinst mit Wohnröhren und Kotresten der Larven und abgestorbenen, verbräunten Futternadeln (Quelle: Duhan)....4

Abb.3: Polychromismus von *C. abietis* Nymphen (Quelle: Altenhofer) 5

Abb.4: Nymphe in hakenförmiger Stellung in Erdhöhle 6

Abb.5: Entwicklungsstadien anhand der Augenentwicklung: E = Eonymphe, P1-P4 = fortschreitende Entwicklung der Pronymphe (Quelle: Baier 1990)....6

Abb.6: Kartenausschnitt von Grafenschlag und umliegenden Gemeinden; rot schraffierte Fläche: Befallsgebiet; Maßstab: 1:25000 (Quelle: http://atlas.noe.gv.at/)....15

Abb.7: Schematische Darstellung des Probebaumtransekts; Zahlen in den Kreisen zeigen die Baumnummer 16

Abb.8: Das Befallszentrum mit Baum Nr. 2 im November 2016 (Quelle: Zelinka, IFFF)....17

Abb.9: Zeitlicher Ablauf der Freilandaufnahmen; die Abkürzungen an der Basis stehen für die Monate im Untersuchungsjahr 2015; Kästchen über den Monaten stellen die Arbeiten im jeweiligen Zeitraum dar 19

Abb.10: Datenlogger für Boden- (gelb) und Lufttemperaturaufnahme (unter dem weißen Strahlungsschutzgehäuse)....20

Abb.11: a) Abstecken der Fläche für eine Bodenprobenentnahme; b) Lagerung der Bodenproben in Jutesäcken unter Freilandbedingungen im Institutsgarten des IFFF (Wien) 21

Abb.12: a) Bodenmaterial im Sieb zum Aussieben der Nymphen, b) Aufbewahren der Nymphen in offenen Plastiksäcken mit Erde unter Freilandbedingungen....22

Abb.13: Aufstellungsorte der Eklektoren (Dreiecke) beim jeweiligen Probebaum....23

Abb.14: Boden-Photoeklektor mit Auffangbecher für die aus dem Boden schlüpfenden Wespen 24

Abb.15: Adulte *C. abietis* Wespen, Weibchen (links) und Männchen (rechts) (Quelle: C. Schafellner, IFFF) 25

Abb.16: Trichterfalle zum Abfangen der Larven aus der Baumkrone (Quelle: Schafellner, IFFF).....25

Abb.17: Dosen gefüllt mit Nadelstreu aus dem Befallsgebiet zum Auffangen der abbaumenden Larven aus den Baumkronen 26

Abb.18: Nymphen für den Entwicklungsversuch bei erhöhter Temperatur verteilt auf gesiebtem Waldboden 27

Abb.19: Spitze des Thermofühlers (Pfeil) berührt die Oberfläche einer Nymphe 28

Abb.20: Aufzeichnung der Temperaturkurve einer *C. abietis* Nymphe zur Bestimmung des Unterkühlungspunkts. Der zeitliche Verlauf [sec] zeigt die Abkühlung des Tieres bis zu jenem Punkt, an dem die Körpertemperatur des Tieres durch die Eiskristallbildung kurzfristig ansteigt (Pfeil) 29

Abb.21: Schematischer Aufbau der verwendeten Mirkorespirometer (Quelle: Pruscher et al. 1983) 30

Abb.22: Funktionsschema eines Respirometers (Quelle: Pruscher et al. 1983) 31

Abb.23: Mikrorespirometer (Eigenbau): Kammern in temperiertem Wasserbad; Pfeil: Nymphe in Respirationskammer 32

Abb.24: Phasentrennung zwischen der methanolisch-wässrigen (oben) und der Chloroformphase (unten). Die Chloroformphase enthält die Lipide 34

Abb.25: Proben zur Fettbestimmung in Küvetten zur Messung der Absorption im Photometer.....35

Abb.26: Logarithmische Eichkurve aus OME-Standard-Reihe nach der Gleichung y=a(x)+b. Die Extinktion der Verdünnungen ist auf der x-Achse logarithmisch abgebildet. R^2 = Bestimmtheitsmaß.....36

Abb.27: Monatsmittelwerte der Lufttemperaturen von 2008-2015 (Messstation Stift Zwettl).....38

Abb.28: Verlauf der Lufttemperaturen gemessen von der Messstation Zwettl (rot: Monatsmittelwerte) und der Befallsfläche (blau: Tagesmittelwerte) in den Monaten Jänner bis Juli 2015 39

Abb.29: Tagesmittelwerte, Minima und Maxima der Lufttemperatur (°C) auf der Befallsfläche von Jänner bis Juli 2015. Die rot strichlierte horizontale Linie bei 13°C steht für den Schwellenwert des Schwärmens adulter Wespen 41

Abb.30: Tagesmittelwerte, Minima und Maxima der Bodentemperatur (°C) auf der Befallsfläche von Jänner bis Juli 2015. Die rot strichlierte horizontale Linie steht für den Entwicklungsnullpunkt bei 13°C 41

Abb.31: Prozentuelle Verteilung der Vitalitätszustände der vorgefundenen Nymphen zum jeweiligen Sammelzeitpunkt 43

Abb.32: Absolute Nymphenzahl aus Bodenproben mit einer Fläche von 0,1 m²; entnommen unter 22 Probebäumen im Jänner und April 2015 45

Abb.33: Dichteverteilung (n/m²) von Eo- (blau) und Pronymphen (rot) im Boden auf der Befallsfläche, abhängig vom Sammelzeitpunkt. Die horizontale Linie innerhalb der Kästchen gibt den Median an, die Länge der Kästchen entspricht den Interquartilen (75. Perzentile – 25. Perzentile). Die Antennen nach oben und unten kennzeichnen die beiden Extremwerte (Maximum, Minimum). Insgesamt wurden 22 Bodenproben à 0,1 m² Fläche ausgewertet und auf m² umgerechnet..... 46

Abb.34: Prozentuelle Verteilung von Eo- und Pronymphen im Boden getrennt nach Sammelterminen..... 47

Abb.35: Häufigkeit der Gewichtsverteilung von Eo- (a) und Pronymphen (b); Extremwerte wurden nicht berücksichtigt, da es sich in diesen Fällen um eventuell kranke oder parasitierte Tiere handelte. Die Tiere wurden in Gewichtsklassen von je 5 mg zusammengefasst 49

Abb.36: Gewichtsverteilung (mg) von Männchen (a) und Weibchen (b) bei Eonymphen und Pronymphen von Jänner bis November 2015. Die horizontale Linie innerhalb der Kästchen gibt den Median an, die Länge der Kästchen entspricht den Interquartilen (75. Perzentile – 25. Perzentile). Die Antennen nach oben und unten kennzeichnen die beiden Extremwerte (Maximum, Minimum). Insgesamt wurden 1124 Nymphen gewogen 52

Abb.37: Absolute Anzahl (n) geschlüpfter *C. abietis* Männchen und Weibchen in 35 Eklektoren; der Verlauf der Luft- bzw. Bodentemperaturen (°C) ist parallel dazu angeführt; die rot strichlierte horizontale Linie steht für den Entwicklungsnullpunkt bei 13°C..... 53

Abb.38: Absolute Anzahl (n) geschlüpfter Braconidae, Ichneumonidae und Tachinidae in 35 Eklektoren 54

Abb.39: Unterkühlungspunkt (°C) von Eo- und Pronymphen in den Monaten Jänner, März, April und Juli. Die horizontale Linie innerhalb der Kästchen gibt den Median an, die Länge der Kästchen entspricht den Interquartilen (75. Perzentile – 25. Perzentile). Die Antennen nach oben und unten kennzeichnen die beiden Extremwerte (Maximum, Minimum). Insgesamt wurde der SCP an 308 Nymphen gemessen 57

Abb.40: Sauerstoffverbrauch (µl O_2/h/mg) von Eonymphen vom Jänner und April 2015; unterschiedliche Kleinbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen Männchen, unterschiedliche Großbuchstaben geben signifikante Unterschiede zwischen den Weibchen an (Student's T-Test P<0,001). Die horizontale Linie innerhalb der Kästchen gibt den Median an, die Länge der Kästchen entspricht den Interquartilen (75. Perzentile – 25. Perzentile). Die Antennen nach oben und unten kennzeichnen die beiden Extremwerte (Maximum, Minimum). Insgesamt wurde der Sauerstoffverbrauch an 69 Eonymphen gemessen 59

Abb.41: Fettgehalte (OME µg*mg^{-1}) von männlichen und weiblichen Eonymphen, abhängig vom Sammeltermin; die horizontale Linie innerhalb der Kästchen gibt den Median an, die Länge der Kästchen entspricht den Interquartilen (75. Perzentile – 25. Perzentile). Die Antennen nach oben und unten kennzeichnen die beiden Extremwerte (Maximum, Minimum). Insgesamt wurden die Fettgehalte an 109 Nymphen gemessen 61

Abb.42: Wassergehalte (%) von männlichen und weiblichen Eonymphen, abhängig vom Sammeltermin; Männchen und Weibchen unterscheiden sich an beiden Terminen signifikant voneinander. Die horizontale Linie innerhalb der Kästchen gibt den Median an, die Länge der Kästchen entspricht den Interquartilen (75. Perzentile – 25. Perzentile). Die Antennen nach oben und unten kennzeichnen die beiden Extremwerte (Maximum, Minimum). Insgesamt wurden die Wassergehalte an 109 Nymphen bestimmt 62

Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Datum Unterschrift

Edna Lucia Gober, BSc.

Adresse	1180 Wien, Starkfriedgasse 15/3/3111
Telefon	0650/677 71 85 (mobile)
E-Mail	gober.e@gmx.at
Geburtsdatum	02. Oktober 1990
Nationalität	Österreich

Ausbildung

seit April 2014	Masterstudium Phytomedizin, Universität für Bodenkultur (BOKU), Wien
2010 – 2014	Bachelorstudium Forstwirtschaft, Universität BOKU, Wien
	Qualifikation: Bachelor of Science
2005 – 2010	hlfs Bruck a. d. Mur
	Qualifikation: Matura
2001 – 2005	Bundesgymnasium Berndorf
1997 – 2001	Volksschule Weissenbach a. d. Triesting

Berufserfahrung

Forstfachbedienstete, Magistratsabteilung 49 der Stadt Wien

Studentischer Mitarbeiter des Institutes für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz

Laborassistentin, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft

Forstpraktikantin, Stift Lilienfeld

Forstpraktikantin, Arzl im Pitztal

Wien, Februar 2017

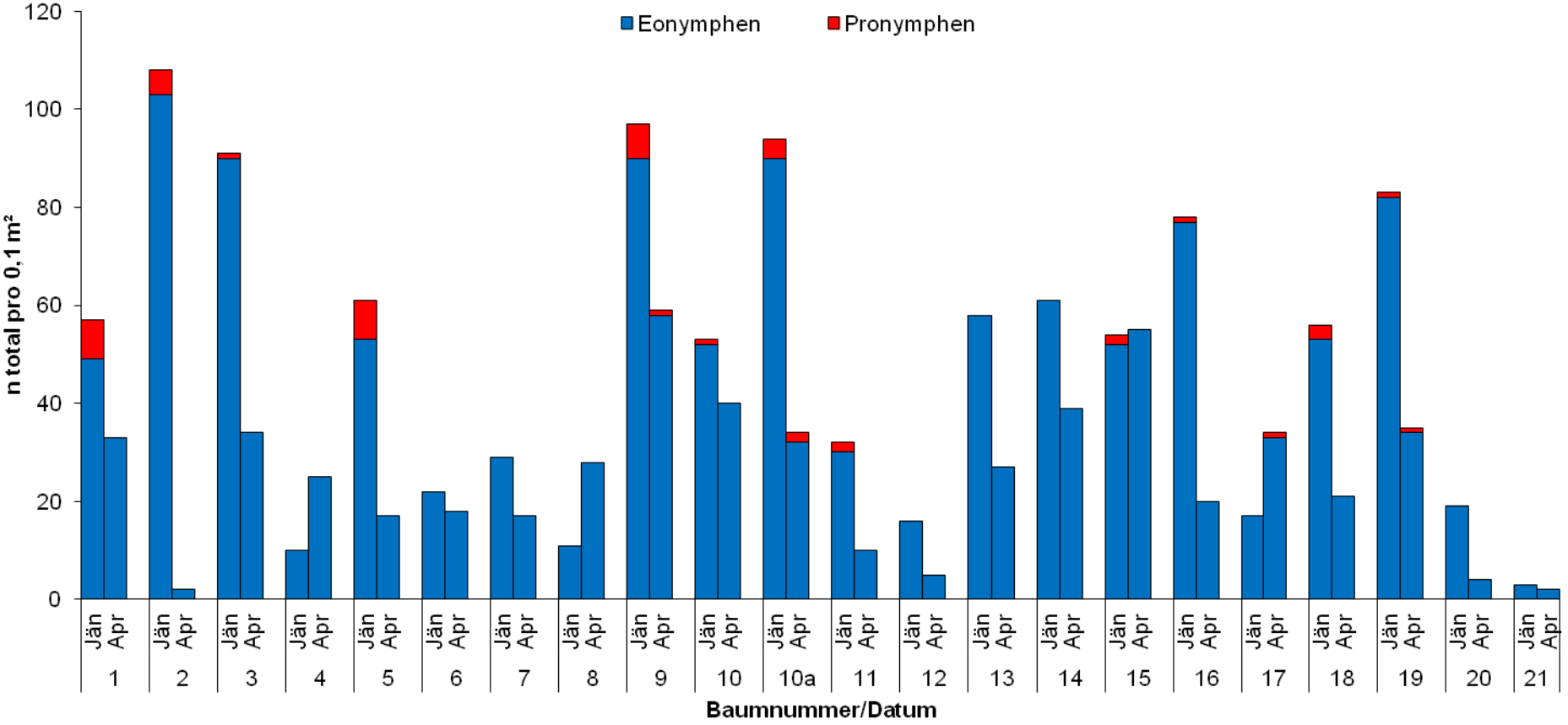


Abb.32: Absolute Nymphenzahl aus Bodenproben mit einer Fläche von 0,1 m²; entnommen unter 22 Probebäumen im Jänner und April 2015.