UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR WIEN

(University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna)

Department für Wald- und Bodenwissenschaften

Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz

DIPLOMARBEIT

Zum Einfluss von Niederschlag und Feuchtigkeit auf die Entwicklung von *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytinae)

Verfasser

Stefan Friedl

Studienrichtung: Forstwissenschaften (425)

Betreuer

Univ. Prof. Dr. phil. Axel Schopf

Wien, im März 2008

Inhaltsverzeichnis

Danksagung 3
Abstract 4
1. Einleitung 6
2. Material und Methoden 9
2.1. Untersuchungsgebiet Hirschgraben 9
2.1.1. Lockstofffalle 11
2.1.2. Messstation 12
2.1.3. Auswahl und Präparierung der Probebäume 12
2.1.4. Bastproben zur Bestimmung der Bastfeuchte 14
2.1.5. Brutbilder zur Analyse des Brutverlaufes 15
2.2. Beregnungsexperimente 16
2.2.1. Beregnungsanlage 16
2.2.2. Auswertung der Brutbilder 18
2.2.3. Versuchstiere und Käferansatz 19
2.3. Feuchtigkeitskammern 21
2.4. Klimakammern 23
2.5. Statistische Auswertung 25
3. Ergebnisse 26
3.1. Witterungsverlauf auf der Untersuchungsfläche Hirschgraben 26
3.1.1. Flugaktivität von *Ips typographus* im Untersuchungsgebiet 2007 31
3.1.2. Befallsverlauf und Brutentwicklung der Probebäume 32
3.1.3. Relative Bastfeuchte der Probebäume 38
3.2. Beregnungsexperimente 40
3.2.1. Versuchsvariante A: Beregnung zwei Wochen nach Brutbeginn 40
3.2.2. Versuchsvariante B: Beregnung eine Woche nach Brutbeginn 44
3.2.3. Relative Bastfeuchte der Versuchsstämme 62
3.3. Einfluss der relativen Luftfeuchte 65
3.4. Klimakammern 66
4. Diskussion 76
4.1. Laborergebnisse 76
4.2. Freilandbeobachtungen 79
4.3. Folgerungen aus den Laborergebnissen für das Freiland 81

5. Zusammenfassung 83
6. Anhang 85
7. Abbildungsverzeichnis 95
8. Tabellenverzeichnis 99
9. Literaturverzeichnis 101

Danksagung

Meine Arbeit hätte nicht in dieser Form entstehen können ohne die Mithilfe und Unterstützung zahlreicher Mitmenschen, bei denen ich mich an dieser Stelle ganz herzlich bedanken möchte!

Mein besonderer Dank gilt Univ. Prof. Dr. Axel Schopf für das Bereitstellen des Diplomarbeitsthemas, die freundliche Aufnahme in das Institut und die zahlreichen Ratschläge während des Anfertigens des Manuskripts. Bei DI Dr. Peter Baier möchte ich mich für die gemeinsamen Außenaufnahmen und die wertvollen Hinweise bei der Durchführung der Experimente bedanken. Univ. Ass. DI Dr. Gernot Hoch danke ich sehr herzlich für seine Hilfe bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse. Für die Unterstützung beim Aufbau der Experimente und die Hilfeleistung bei vielen alltäglichen Problemen danke ich DI Peter Kritsch. Weiters gebührt Dank folgenden Personen des Institutes, die immer ein offenes Ohr für meine Anliegen hatten: Ulla-Christin Deinbacher, Josef Pennerstorfer (MSc.), DI Nina Dobart, Ing. Gabriele Motlik, Andrea Stradner und Roman Wanjek.

Den Bediensteten des Forstamtes der Stadt Wien, namentlich DI Werner Fleck, DI Peter Gulas und Fö. Ing. Manfred Arrer, sei an dieser Stelle für die Bereitstellung des Untersuchungsgebietes und die Unterstützung bei den Außenaufnahmen gedankt.

Allen meinen Freunden und Studienkollegen möchte ich sowohl für die gegenseitige Unterstützung während des Studiums als auch für die gemeinsamen außeruniversitären Aktivitäten, aus denen ich viel Kraft für das Studium geschöpft habe, meinen Dank aussprechen.

Auch bei meinen Eltern und meiner Freundin Barbara Taferner möchte ich mich hiermit herzlich bedanken, da sie mich während der gesamten Studienzeit unterstützt haben und in jeder Hinsicht stets für mich da waren.

Abstract

The effect of precipitation and humidity on the development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytinae)

Studies in the field and under laboratory conditions were conducted to gain more information concerning development and flight activity of *I. typographus* under different intensities of precipitation and relative humidity. Temperature and precipitation were recorded for the growing season 2007 in a newly formed windthrow area located in the eastern limestone Alps of Austria at 1,400 m asl. Studies with artificial, controlled precipitation (0 mm, 140 mm/month and 350 mm/month) and relative humidity (30, 50 and 80% r. h.) were performed under semi field and laboratory conditions. The stage of brood development negatively correlated with increasing intensities of rainfall treatment. Additionally, mortality of larvae was higher under rain conditions than in controlled. Incubation of infested logs for four weeks in a phytotron under low levels of relative humidity inhibited darkening of adult beetles. The results of the laboratory experiments are discussed in context with the environmental conditions received from the field.

Zum Einfluss von Niederschlag und Feuchtigkeit auf die Entwicklung von *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytinae)

Anhand von Freilanduntersuchungen und Laborexperimenten wurde der Effekt von Niederschlag und Feuchtigkeit auf Entwicklung und Flugaktivität von *I. typographus* geprüft. Von einer kürzlich gebildeten Windwurffläche in der Region östliche Kalkalpen auf 1.400 m Seehöhe wurden für den Zeitraum Mai-Oktober 2007 Niederschlags- und Temperaturverläufe bestimmt. Gleichzeitig erfolgten Laborexperimente mit simuliertem Niederschlag (0 mm, 140 mm/Monat und 350 mm/Monat) und relativer Luftfeuchtigkeit (30, 50 und 80% r. F.). Die Ergebnisse des Beregnungsexperimentes ergaben, dass bei der Kontrollvariante geringere Larvenmortalität und schnellere Entwicklung der Nachkommen auftraten als bei den beregneten Varianten. Der Einfluss unterschiedlicher Luftfeuchtigkeiten wirkte sich auf den Ausfärbungsgrad der Jungkäfer, nicht jedoch auf die Entwicklungsrate der Larvenstadien aus. Der Zusammenhang zwischen Niederschlagsereignissen, Feuchtigkeitsbedingungen und Entwicklung des Borkenkäfers wird diskutiert und die im Labor gewonnenen Ergebnisse dabei auf die Freilandbedingungen umgelegt.

1. Einleitung

Der Buchdrucker oder Große achtzähnige Fichtenborkenkäfer (*Ips typographus* Linné) ist der gefährlichste Forstschädling der Fichtenwälder Europas (Christiansen und Bakke, 1988; Byers und Löfqyist, 1989; Schwenke, 1996), dessen Massenvermehrungen durch das Auftreten ausgedehnter Sturmwürfe kombiniert mit klimatisch förderlichen Entwicklungsbedingungen begünstigt wird.

Für seine Entwicklung spielen Photoperiode und Temperatur nachweislich eine bedeutende Rolle (Wild, 1953; Zaslavski, 1988; Schopf, 1989, Wermelinger und Seifert, 1998; Dolezal und Sehnal, 2007). Über den Einfluss von Feuchtigkeit und Niederschlag auf die Entwicklung des Käfers liegen dagegen kaum Untersuchungsergebnisse vor. Die bisher verfügbaren Daten anderer Insekten (siehe dazu Schwerdtfeger, 1963) legen jedoch den Verdacht nahe, dass für *I. typographus* ein ähnlich gültiges Schema der Feuchtigkeitsabhängigkeit mit optimalen und schädlichen Bereichen besteht, wie es für die Temperaturabhängigkeit bereits gilt (Uvarov, 1929).

Nach Uvarov (1929) wirkt sich relative Luftfeuchtigkeit weniger als die Temperatur auf die Insektenentwicklung aus, erlangt aber bei hohen Werten an Bedeutung, wenn dadurch Insektenkrankheiten begünstigt werden. Grundsätzlich treten bei der Ei-Sterblichkeit in Abhängigkeit der relativen Luftfeuchte zwei Verteilungsmuster auf, die mit dem jeweiligen Habitat eines Insektes in Verbindung gebracht werden können: Insekten, die ihre Eier an exponierter Stelle ablegen vertragen größere Luftfeuchtigkeitsschwankungen (eurhygr) als jene, die ihre Eiablage im Holz vollziehen (stenohygr). Der Zeitfaktor der Luftfeuchtigkeitseinwirkung spielt dabei eine bedeutende Rolle, da sowohl das Eintrocknen wie auch die Wasseranreicherung zeiterfordernde Abläufe sind. Die Schadwirkung nimmt deshalb mit der Expositionsdauer zu (Schimitschek, 1932; Schwerdtfeger, 1963).

Auf die Entwicklungsgeschwindigkeit von Ei- und Puppenstadien wirkt sich die Luftfeuchte bei Insekten allgemein nur geringfügig aus. Bei fressenden Stadien (Larve und Jungkäfer) ist der Einfluss weniger leicht zu erfassen, da durch die

Nahrungsaufnahme ein Ausgleich erfolgen kann. Bei Insekten, bei denen die Nahrung aber gleichzeitig auch den Lebensraum darstellt (z. B. Rindenbrüter), kann von einer Abhängigkeit der Nahrung von der Luftfeuchtigkeit ausgegangen werden. Aber auch andere Insektenreaktionen, wie beispielsweise Aktivität und Fortpflanzungsleistung, können von der relativen Luftfeuchte beeinflusst werden (Schwerdtfeger, 1963).

Niederschläge wirken sich zum einen unmittelbar auf Insekten aus, was zum Aufquellen der Außenhülle früher Entwicklungsstadien oder zum Ertrinken des Tieres führen kann (Uvarov, 1929; Schwerdtfeger, 1963). Zum anderen verursachen Niederschläge ein Ansteigen des Wassergehaltes im Stamm und könnten durch Harzdrucksteigerung zu einer Zunahme der Abwehrbereitschaft der potentiellen Brutbäume führen (Merker, 1952; Schwenke, 1996). Ebenso ist durch die mit dem Niederschlag verbundene Temperaturabsenkung im Stamm der Aufenthalt der Käfer (Schlechtwetterfraß) und der Nachkommen (Entwicklungsverlangsamung) in den Bruträumen verlängert (Wild, 1953; Postner, 1974), wodurch Antagonisten effizienter ihrer Jagd nachgehen können (Bouget und Duelli, 2004). Hennings (1907/08) stellte fest, dass sich bei steigender relativer Feuchte im Stamm und gleich bleibender Wärme die Entwicklungszeit für *I. typographus* verlängert. Optimale Entwicklungsbedingungen für den Borkenkäfer konnten bei 20-25°C und 50-60% relativer Feuchte registriert werden (Hennings, 1907/08). Untersuchungen von Führer (1981) an *Pityogenes chalcographus* (Linné) wiederum ergaben, dass sich der Einfluss der Holzfeuchte bei diesem Borkenkäfer eher gering auswirkte. Im Bereich zwischen 72% und 110% Holzfeuchte konnten kaum Abweichungen bei Entwicklungsdauer, Nachkommenzahl und Gewicht der Jungkäfer festgestellt werden, jedoch lässt sich aus den Ergebnissen folgern, dass bei etwa 90% Holzfeuchte die Brutbedingungen etwas ungünstiger ausfielen als bei höheren oder niedereren Holzfeuchtigkeitswerten (Führer, 1981).

Unterschiedliche Mortalitätsraten der verschiedenen Entwicklungsstufen nach einer Schlechtwetterperiode zeigt die Arbeit von Wild (1953) für *I. typographus* auf: Während Larvenstadien die höchste Mortalitätsrate aufwiesen (27%), verringerte sich diese mit zunehmendem Entwicklungsstadium stetig. Bei den Altkäfern wurde keine

direkt verursachte Mortalität durch die ungünstigen Witterungsbedingungen mehr verzeichnet.

Aus o. g. Gründen findet deshalb Berieselung als Forstschutzmaßnahme ihre Anwendung um einerseits unbefallene Stämme vor Käferbefall zu bewahren (präventiver Einsatz) oder andererseits die Bruten bereits befallener Stämme zu bekämpfen (kurativer Einsatz). Untersuchungen zur Berieselung als kurative Maßnahme bestätigen, dass frühe Entwicklungsstadien (Ei und Larve) rascher absterben und somit empfindlicher reagieren als Puppe und Jungkäfer (Boehm-Bezing, 1998).

Aufgrund dieser begrenzten Informationen wird deshalb oft von „klimatisch günstig“ (Wild, 1953; Schwenke, 1996) beziehungsweise „insufficient water supply“ (Wermelinger, 2004) oder „übernormal hoher Niederschläge“ (Postner, 1974) und „wet weather“ (Bouget und Duelli, 2004) gesprochen, wenn es gilt förderliche oder hemmende abiotische Umweltbedingungen von *I. typographus* aufzuzeigen.

Ziel dieser Arbeit war es somit, die Wirkung von Niederschlag und relativer Luftfeuchtigkeit auf die Entwicklung des Buchdruckers genauer zu untersuchen. Neben Laboruntersuchungen sollte auch der Effekt von Niederschlagsereignissen unter Freilandbedingungen auf die Flugaktivität und die Brutleistung von *I. typographus* analysiert werden.

2. Material und Methoden

2.1. Untersuchungsgebiet Hirschgraben

Untersuchungsgebiet war eine von Nordwest nach Südost verlaufende, 20 ha große Windwurffläche in einer Seehöhe von 1300-1500 m im Bezirk Liezen, Steiermark, auf der 5.500 fm Schadholz durch den Orkan *Kyrill* im Jänner 2007 angefallen sind (Abb. 1). Betroffene Baumart war die dort natürlich vorkommende Fichte (*Picea abies* Karsten).

Abb. 1: Luftbildaufnahme vom Schadgebiet Hirschgraben im Revier Schreier der Forstverwaltung Wildalpen im April 2007

Klimatisch lässt sich die Region dem alpinen Klima zuordnen, wobei aber bedingt durch die Nähe zu den nördlichen Randlagen ein ozeanischer Einfluss besteht. Ein Viertel bis ein Drittel des gesamten Niederschlages fällt als Schnee und hält die Schneedecke in tieferen Lagen durchschnittlich von Dezember bis März an (MA 49 Forstoperat FV Wildalpen). Hauptwindrichtung ist Nordwest, doch werden durch das gebirgige Relief uneinheitliche Luv- und Leelagen gebildet, welche im Winter zu Zonen unterschiedlicher Schneeakkumulation führen.

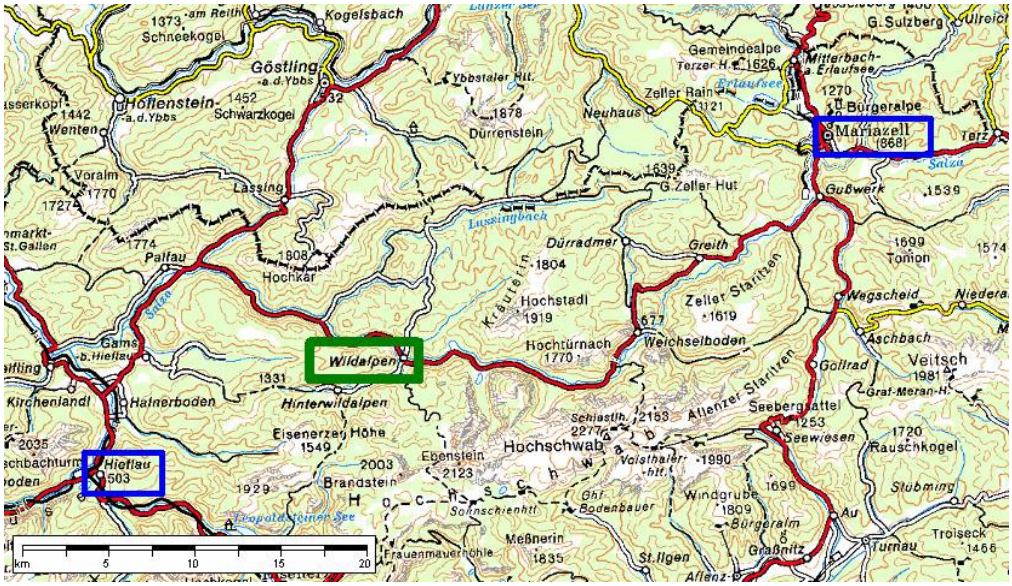

Abb. 2: ÖK500 Übersichtskarte: Untersuchungsgebiet (grün), Wetterstationen (blau)

Klimadiagramme zweier benachbarter Wetterstationen (Abb. 2), welche um das Untersuchungsgebiet liegen, geben das Klima der Region wieder (Abb. 3): Aufgrund der Nähe zu den nördlichen Randalpen und bedingt durch die Hauptwindrichtung aus Nordwest strömen feuchte Luftmassen von den Küstengebieten Europas landeinwärts und treffen auf die Alpen. Die Folge ist ein humides Stauklima, welches zu einem Niederschlagsmaximum im Juli und zu einem sekundären Maximum im Winter führt. Von West nach Ost reduziert sich die Niederschlagsmenge. Besonders in hohen Lagen kann der Niederschlag noch einmal durch den Effekt des „Steigungsregen“ zunehmen, wenn sich die aufsteigenden Luftmassen durch Abkühlung dem Taupunkt nähern. Die feuchte, ozeanische Luft wirkt sich in weiterer Folge auch auf die Temperaturen aus: Die in Wasserdampf latent gespeicherte Energie wird beim Kondensationsvorgang an die Umgebung abgegeben und trägt somit zu deren Erwärmung bei. Dieser Vorgang führt im Winter zu einem milderen Temperaturverlauf. Im Sommer wiederum wird die für den Verdunstungsvorgang benötigte Energie unter anderem vom Wärmevorrat der Luft gedeckt, was erneut zu einem milden Temperaturverlauf führt (Häckel, 1999).

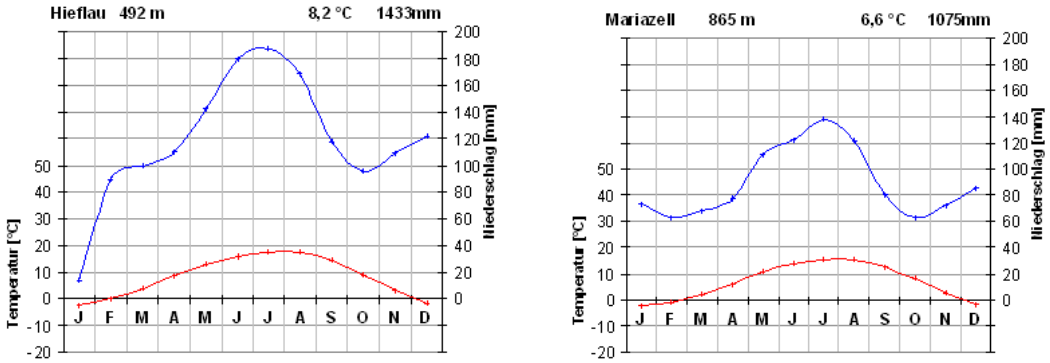

Abb. 3: Klimadiagramme von Hieflau und Mariazell. Blaue Linie: Niederschlag, rote Linie: Temperatur (Daten: ZAMG, 2001)

Einen weiteren Einfluss auf die Temperatur hat die Seehöhe. Abb. 4 stellt die Temperaturgänge der mittleren Monatstemperaturen, wie auch der mittleren maximalen und der mittleren minimalen Tagestemperaturen der entsprechenden Monate von den Wetterstationen Hieflau und Mariazell dar. Die unterschiedlich hohen Temperaturverläufe von Hieflau (492 m) und Mariazell (865 m) basieren vermutlich zum Teil auf einem vertikalen Temperaturgradienten der Luft. Besonders im Hinblick auf die Seehöhe des Untersuchungsgebietes (1300-1500 m ü.d.M.) gewinnt dieser Effekt an Bedeutung.

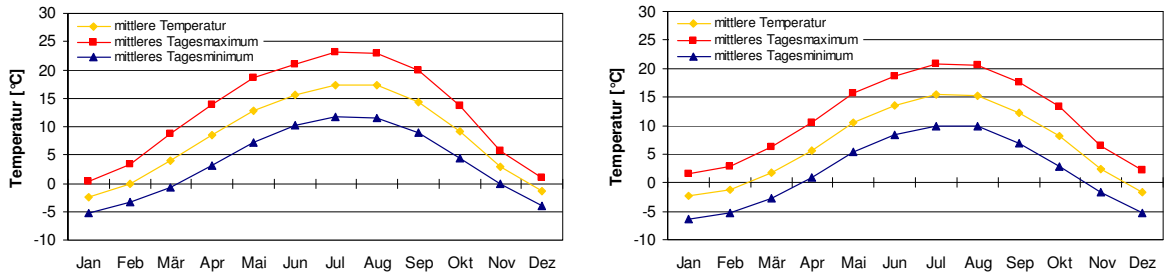

Abb. 4: Mittlere Temperaturverläufe Hieflau (links) und Mariazell (Daten: ZAMG, 2001)

2.1.1. Lockstofffalle

Das Flugverhalten von *I. typographus* wurde mittels Daten einer vom BFW (Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft) betriebenen Lockstofffalle (Fallenstern) in Scheibbs, Niederösterreich, dargestellt. Der Fallenstandort (993 m ü.d.M.) wurde aufgrund seiner Seehöhe und den ähnlichen klimatischen Bedingungen zum Untersuchungsgebiet gewählt. Die Fangzahlen betreffen die Saison 2007.

2.1.2. Messstation

Auf einem exponierten Kuppelstandort am südöstlichen, oberen Rand der Windwurffläche wurde eine Messstation mit Datenloggern errichtet (Abb. 5 und 6; Nord 47.62754, Ost 014.95687, 1.511 m ü.d.M.). Die Geräte zur Einstrahlungs- (Sternpyranometer, Schenk, Österreich) und Temperaturmessung (Tinytag TGP-0017, Gemini Dataloggers, England) wurden am 9. Mai 2007 aufgebaut. Der registrierende Niederschlagsmesser (ARG100, Wittich und Visser, Niederlande) wurde bei der Begehung am 15. Juni installiert. Eine mögliche Beeinflussung der Station durch angrenzende, überschirmende Bäume wurde bei der Wahl des Aufstellungsplatzes berücksichtigt.

Abb. 5: Messstation: Einstrahlungsmesser, Temperatursensor und Niederschlagsmesser am südlichen, oberen Rand der Windwurffläche Hirschgraben

2.1.3. Auswahl und Präparierung der Probebäume

Um den Brutverlauf von *I. typographus* beobachten zu können, wurden über die Untersuchungsfläche verteilt vier Probebäume am 9. Mai 2007 ausgewählt (Tab. 1) (Abb. 6). Dabei wurde die Absicht verfolgt, die unterschiedlichen Umweltbedingungen für *I. typographus* auf der Windwurffläche zu erfassen:

- Probebaum 1 befand sich am oberen Rand der Windwurffläche und sollte intermediäre Temperatur- und Einstrahlungsbedingungen darstellen.
- Probebaum 2 wurde im mittleren, südexponierten Abschnitt der Windwurffläche ausgewählt und war zur Gänze unbeschattet.
- Probebaum 3 lag am unteren Rand der Windwurffläche.

- Bei Probebaum 4 handelte es sich um einen lebenden, stehenden Baum im angrenzenden Bestand zur Windwurffläche.

Damit ein sicherer Befall durch *I. typographus* eintreten würde, wurden die liegenden Stämme (Probebäume 1-3) von der Wurzel gekappt. Zusätzlich sind an allen liegenden Probebäumen Pheromonköder (IPSOWIT, Witasek, Österreich) angebracht worden, welche nach erfolgter Einbohrung durch *I. typographus* wieder entfernt wurden.

Tab. 1: Lagedaten und Beschreibung der Probebäume auf der Windwurffläche Hirschgraben

Probebaum Nr.	Koordinaten Nord	Koordinaten Ost	Seehöhe (m)	Exposition	Stammlage (gon)	Länge (m)	BHD (cm)
Probebaum 1	47,62768	14,95671	1.510	nordwest	173	17,1	32
Probebaum 2	47,62977	14,95469	1.487	südwest	114	24	58
Probebaum 3	47,63077	14,95019	1.385	nord	183	27	66
Probebaum 4*	47,62969	14,95553	1.501	südwest			38

*stehend

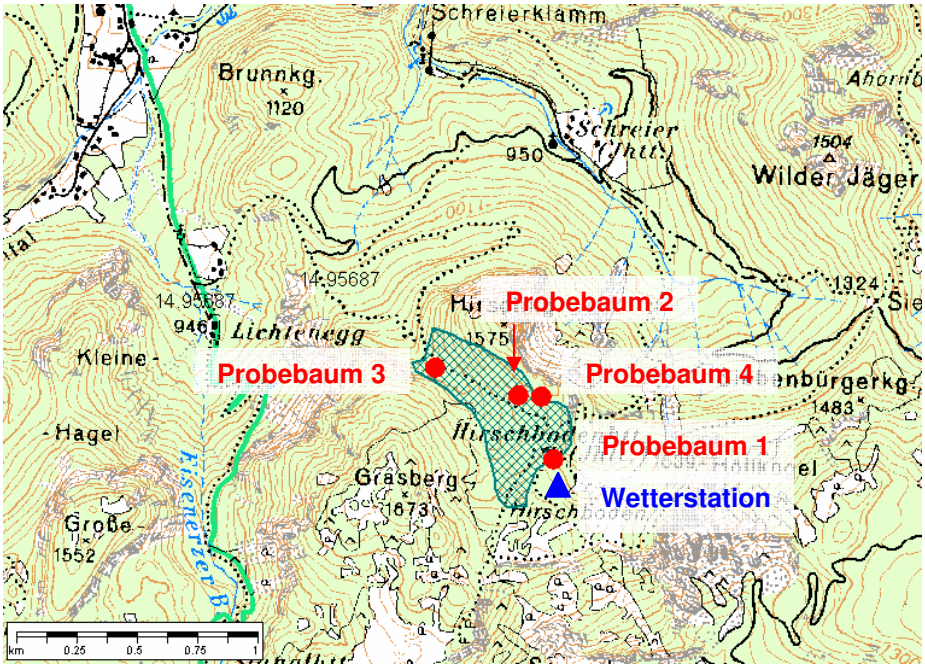

Abb. 6: ÖK50 Übersichtskarte Windwurffläche Hirschgraben: Windwurffläche (schraffiert), Lage der Probebäume (•) und der Wetterstation (▲)

Stündlich wurden bei den vier Probebäumen Luft- (Tinytag TGP-0017, Gemini Dataloggers, England) und Basttemperaturen (TinytagPlus TG12-0020, Gemini Dataloggers, England) erhoben: Die Messung der Lufttemperatur erfolgte in einem Meter Höhe über dem Boden in einer einstrahlungsgeschützten Behausung (Abb. 7,

linkes Bild). Für die Messung der Basttemperatur wurde bei jedem Probebaum ein Thermoelement in den Bast geschoben, welches mit einem Datenlogger verbunden war. Bei den liegenden Probebäumen fanden die Messungen auf der Oberseite des Stammes statt, beim stehenden Probebaum an der Westseite (Abb. 7, rechtes Bild).

Abb. 7: Linkes Bild: Probebaum 3 mit Lufttemperaturmesser im rechten Bildrand. Rechtes Bild: Probebaum 4 mit Datenlogger und externem Sensor zur Basttemperaturmessung

2.1.4. Bastproben zur Bestimmung der Bastfeuchte

Zur Bestimmung der Feuchtigkeit des Brutsubstrates von *I. typographus*, wurden bei jeder Außenaufnahme Bastproben von den vier Probebäumen entnommen. Die Außenaufnahmen wurden an folgenden Tagen durchgeführt:

- 15. Juni 2007
- 28. Juni 2007
- 25. Juli 2007
- 24. August 2007
- 3. Oktober 2007

Die Probenahme erfolgte an allen vier Seiten eines Probebaumes, um die unterschiedlichen Feuchtigkeitsbedingungen am Stamm zu erheben. Bei den mittels Rindenbohrer gewonnenen Bohrkernen (Ø 5 mm) wurde vor Ort die Borke entfernt und der überbleibende Bast in geschlossenen Eppendorf-Gefäßen aufbewahrt bis noch am selben Tag die genaue Bestimmung des Frischgewichtes im Labor erfolgte. Anschließend wurden die Proben bei 80°C im Trockenschrank (2718, Köttermann, Deutschland) bis zur Gewichtskonstanz (etwa eine Woche) getrocknet und der

Feuchtegehalt des Bastes aus der Differenz zwischen Frisch- und Trockengewicht bestimmt. Der relative Feuchtigkeitsgehalt des Bastes entsprach somit (Formel 1):

$$Bastwassergehalt\ (\%) = \frac{(Frischgewicht - Trockengewicht)}{Trockengewicht} * 100 \qquad [1]$$

2.1.5. Brutbilder zur Analyse des Brutverlaufes

Zur Kontrolle des Brutstadiums und zur Darstellung des Brutverlaufes wurde bei den Außenaufnahmen von den drei liegenden Probebäumen Rindenstücke (ca. 20x30 cm) herausgeschnitten und im Labor analysiert. Folgende Parameter wurden für jedes Brutbild bestimmt:

- Anzahl und Länge der Muttergänge
- Einischen pro Muttergang
- Larvengänge pro Muttergang
- Anzahl Larven
- Anzahl Puppen
- Anzahl Jungkäfer
- Anzahl Parentalkäfer

Der Transport der Rinden- wie auch der Bastproben erfolgte in einer Kühlbox, um eine Beeinflussung der Proben durch Temperaturschwankungen zu vermeiden.

2.2. Beregnungsexperimente

Von August bis Mitte September 2007 wurde der Einfluss von unterschiedlicher Niederschlagsdauer auf die Brutentwicklung des Buchdruckers in einem Beregnungsexperiment im Garten des Instituts (IFFF) getestet. Folgende drei Varianten kamen dabei zur Anwendung:

- keine Beregnung (Kontrollstämme)
- schwache Beregnung: Ø 4,5 mm Niederschlag/Tag (≈ 140 mm/Monat) in 4 x 12 Minuten Einheiten
- starke Beregnung: Ø 11,4 mm Niederschlag/Tag (≈ 354 mm/Monat) in 4 x 23 Minuten Einheiten

2.2.1. Beregnungsanlage

Die Beregnungsanlage bestand aus zwei baugleichen, überdachten Stationen, welche für die beiden Varianten schwache Beregnung (schwach) und starke Beregnung (stark) verwendet wurden. In unmittelbarer Nachbarschaft wurden zwei Käfige aufgestellt, welche gleiche Umweltbedingungen für die vier Kontrollstämme ermöglichten, aber einen Schutz vor Niederschlag boten (Abb. 8).

Abb. 8: Käfige mit den Kontrollstämmen und Aufbau der Beregnungsstation »stark« im Garten des Institutes. Von der Beregnungsstation »schwach« ist ein kleiner Teil am linken, unteren Bildrand ersichtlich

Die Regenmenge wurde im Hinblick auf die klimatischen Verhältnisse der Region Wildalpen gewählt: Niederschlagsdaten der Wetterstation Hieflau lieferten als

maximale Monatssumme für August (1961-2000) 335 mm Niederschlag (ZAMG, 2001). Dieser Wert wurde als Basis für die Beregnungsintensität der Station »stark« verwendet. Für die Beregnungsmenge der Station »schwach« war unsere Vorgabe, die Niederschlagsmenge auf etwa ein Drittel von jener der Station »stark« zu senken. Die grobe Kalibrierung der Düsen für die Beregnungsmenge erfolgte mittels handelsüblicher Regenmesser (S/N 176560, Westfalia, Deutschland). Für die Dauer des Versuches kamen zwei registrierende Niederschlagsmesser zur Anwendung (ARG100, Wittich und Visser, Niederlande). Die mit diesen Geräten während der Versuchsdauer erhobenen Werte lieferten die tatsächliche Niederschlagsmenge.

Für eine gleichmäßige Verteilung der Regenmenge über den Tagesverlauf wurden folgende Beregnungsintervalle gewählt: alle sechs Stunden (6 Uhr, 12 Uhr, 18 Uhr und 24 Uhr) wurden die Stationen über ein zentrales Steuerungsgerät (9001, Galcon, Israel) aktiviert. Um gleichen Wasserdruck in den Düsen der beiden Stationen zu erreichen, wurde zuerst in der Station »schwach« für die Dauer von zwölf Minuten und anschließend, zur vollen Viertelstunde, in der Station »stark« für die Dauer von 23 Minuten beregnet.

Die Anordnung der Versuchsstämme in den beiden Stationen war quadratisch um den Düsenmittelpunkt. Die Stämme lagen waagrecht auf einem Eisengitter, welches ein Abfließen der Regenmenge erlaubte und den direkten Kontakt mit dem Erdreich verhinderte. Ein Niederschlagsmesser wurde in jeweils einer Ecke einer Station montiert und war somit etwas weiter als die Versuchsstämme vom Mittelpunkt entfernt (Abb. 9). Die Kontrollstämme wurden paarweise und stehend in den beiden Käfigen gelagert.

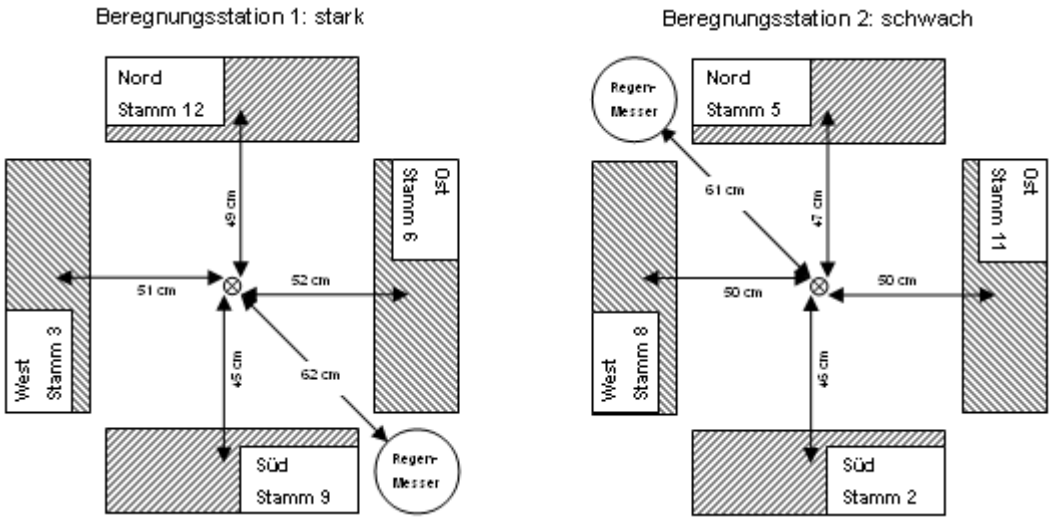

Abb. 9: Anordnung der Versuchsstämme und der Niederschlagsmesser während des Beregnungsexperiments im Institutsgarten (ohne Kontrollstämme)

Vor der Überführung der Versuchsstämme in die Beregnungsanlage wurden von den einzelnen Stämmen Bastproben zur Feuchtigkeitsbestimmung entnommen. In weiterer Folge wurden in wöchentlichen Abständen, genau zwischen zwei Beregnungsperioden, Bastproben von den Versuchsstämmen entnommen: Bei den Stämmen in der Beregnungsanlage erfolgte die Probennahme an Ober- und Unterseite; von den stehenden Kontrollstämmen wurde jeweils nur eine Bastprobe entnommen. Die an den Stämmen entstandenen Löcher wurden nach den Probenahmen sofort wieder mit Paraffin verschlossen.

2.2.2. Auswertung der Brutbilder

Nach Ablauf der Versuchsdauer in der Beregnungsanlage wurden die Stämme entrindet und die einzelnen Brutbilder analysiert. Dabei wurden folgende Parameter der Brutbilder erfasst:

- Anzahl und Länge der Muttergänge
- Anzahl der Larvengänge pro Muttergang
- Anzahl der Larven lebend und tot
- Anzahl der Puppen lebend und tot
- Anzahl der Jungkäfer lebend und tot
- Färbung der Jungkäfer (weiß, strohgelb, hellbraun, mittelbraun und dunkelbraun)

- Anzahl der Parentalkäfer lebend und tot

Die Berechnung der Larvenmortalität je Brutbild erfolgte nach folgender Gleichung (Formel 2):

$$Larvenmortalität\ (\%) = \left(\frac{Larvengänge - (Puppen + Jungkäfer)}{Larvengänge} \right) * 100 \quad [2]$$

2.2.3. Versuchstiere und Käferansatz

Die für die Durchführung der Versuche benötigten Individuen von *I. typographus* entstammten der Erhaltungszucht des Institutes. Die Aufzucht der Tiere findet unter Langtagbedingungen (16 Stunden Licht und 8 Stunden Dunkelheit = 16L:8D) bei 23°C ± 2°C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 – 60% statt.

Die Geschlechterbestimmung erfolgte mikroskopisch anhand morphologischer Unterschiede der Behaarung an Pronotum (Halsschild) und der Ausbildung eines Höckers an der Stirn der Käfer (Schlyter und Cederholm, 1981).

Der Käferansatz an die Brutstämme geschah im sog. freien Verfahren, bei dem jeweils 20 männliche und 40 weibliche Versuchstiere in einem Käfig (50x50x70cm) den Versuchsstamm (ca. 60 cm Höhe und 20 cm Durchmesser) frei besiedeln konnten. Licht-, Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbedingungen waren dieselben wie bei der Aufzucht. Als Brutmaterial kamen Stämme von *P. abies* zum Einsatz, welche aus der Region Prinzersdorf/Hafnerbach, Niederösterreich, stammten. Die Lagerung der Stämme erfolgte in 130 cm Teilstücken im Freien auf dem Institutsgelände. Unmittelbar vor einem Käferansatz wurden die benötigten Stammstücke herunter geschnitten und in den Käfig mit Seitenwänden aus Glas sowie feinmaschigem Gitter gestellt. Eine Versiegelung der Stirnflächen blieb aus, um einen Feuchtigkeitsaustausch über die Anschnittflächen zu ermöglichen. Die verwendeten Stammstücke eines Versuches stammten von ein und demselben Baum.

Während die Käfer in den Versuchsstämmen 1-3 erst nach einer Verweildauer von 16 Tagen im Labor der Beregnung ausgesetzt wurden, kamen die Käfer in den

nachfolgenden Versuchsstämmen 4-12 bereits nach einer Aufenthaltsdauer von 9 Tagen unter Laborbedingungen in die Beregnungsanlage (Tab. 2). Damit sollte die Auswirkung der Beregnung auch auf frühe Brutstadien der Käferentwicklung getestet werden. Über den Ansatzverlauf der Versuchsstämme in der Erhaltungszucht wurde Protokoll geführt, um unterschiedliches Verhalten von *I. typographus* bei der Annahme der einzelnen Stämme feststellen zu können.

Tab. 2: Zeitpunkte und Dauer von Käferansatz und Beregnung der Versuchsstämme

Stamm Nummer	Variante	Start Käferansatz	Start Beregnung	Ende Beregnung	Dauer Beregnung
1	Kontrolle	18.07.	03.08.	02.09.	30 d
2	schwach	18.07.	03.08.	01.09.	29 d
3	stark	18.07.	03.08.	31.08.	28 d
4	Kontrolle	26.07.	03.08.	03.09.	31 d
5	schwach	26.07.	03.08.	03.09.	31 d
6	stark	26.07.	03.08.	02.09.	30 d
7	Kontrolle	01.08.	10.08.	11.09.	32 d
8	schwach	01.08.	10.08.	10.09.	31 d
9	stark	01.08.	10.08.	10.09.	31 d
10	Kontrolle	08.08.	17.08.	19.09.	33 d
11	schwach	08.08.	17.08.	17.09.	31 d
12	stark	08.08.	17.08.	18.09.	32 d

2.3. Feuchtigkeitskammern

Die Sandwichplattentechnik ermöglicht es, den Brutverlauf von Borkenkäfern durch eine Plexiglasscheibe hindurch zu beobachten. Zu diesem Zweck wird ein Rindenstück (20x20 cm) zwischen zwei Plexiglasscheiben aufbewahrt, an dem ein Männchen und ein Weibchen über eine Öffnung mittels Kapselzwinger angesetzt werden (Führer, 1977).

Mit der Methode zur Regulierung der Luftfeuchtigkeit über gesättigte Salzlösungen nach Zwölfer (1932) wurde in drei Glasgefäßen (40x25x25 cm) die relative Luftfeuchtigkeit eingestellt:

- 55% ($Ca(NO_3)_2$)
- 76% (NaCl)
- 92% (KNO_3)

Zur Kontrolle befand sich in jedem Gefäß ein Feuchtigkeitsmesser mit Datenlogger (Tinytalk, Gemini Dataloggers, England) (Abb. 10). Um den Gasaustausch mit der Rinde zu gewährleisten, wurde der innere Teil der Plexiglasscheibe, die an der Rindenaußenseite angebracht war, bis auf einen Rahmen von etwa 2 cm breite herausgeschnitten. Die Glasgefäße, die jeweils Platz für drei Sandwichplatten lieferten, wurden in Inkubatoren (Lichtthermostat, Schütt, Deutschland) bei 20°C Lufttemperatur und unter Langtagbedingungen (16 h Licht, 8 h Dunkelheit) aufbewahrt. Die Überwachung des Ansatzverlaufes fand auf einer sterilen Werkbank statt (8580, Köttermann, Deutschland), um eine Pilzinfektion der Rindenstücke zu verhindern.

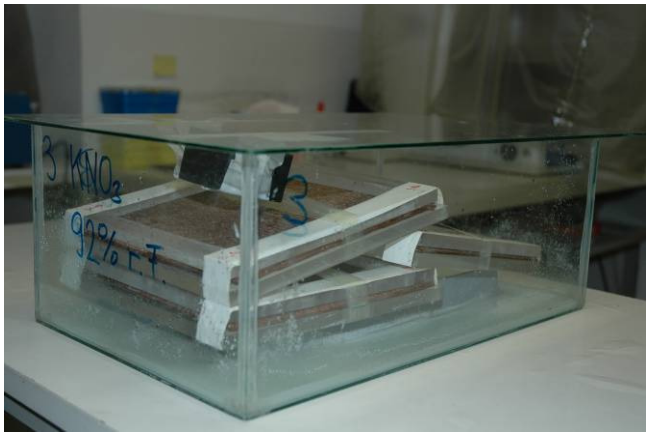

Abb. 10: Glasgefäß 3 (92% r. F.) mit drei modifizierten Sandwichplatten. Am Boden befindet sich die gesättigte Salzlösung für die Regulierung der Luftfeuchtigkeit. An der Innenseite des Deckels ist der Feuchtigkeitsmesser mit Datenlogger angebracht

Nach einer Gesamtversuchsdauer von vier Wochen (inklusive Ansatz) wurden die neun Sandwichplatten geöffnet und folgende Parameter der Brutbilder aufgenommen:

- Anzahl und Länge der Muttergänge
- Anzahl der Larvengänge pro Muttergang
- Anzahl der Larven lebend und tot
- Anzahl der Parentalkäfer lebend und tot

2.4. Klimakammern

An 60 cm langen Stammstücken wurden zu Beginn jeweils 20 Männchen und 40 Weibchen frei in einem Käfig angesiedelt. Die Phase der Besiedelung dauerte hier für alle Versuchsstämme eine Woche (Tab. 3). Von den jeweils letzten Stämmen einer Serie (3, 6 und 9) wurde zusätzlich das Brutstadium nach der Ansatzwoche bestimmt, um eventuelle Unterschiede zwischen den Serien erkennen zu können. Zu diesem Zweck wurde vom entsprechenden Stamm ein Drittel herunter geschnitten (20 cm) und nach dem Entrinden die Brutbilder hinsichtlich folgender Parameter ausgewertet:

- Anzahl und Länge der Muttergänge
- Anzahl der Einischen pro Muttergang
- Anzahl der Larvengänge pro Muttergang
- Anzahl der Larven lebend und tot
- Anzahl der Parentalkäfer lebend und tot

Danach wurden die Versuchsstämme aus der Erhaltungszucht in ein Phytotron (VB0714, Vötsch, Deutschland) überstellt, in dem unter konstanten Temperatur- (20°C) und Langtagbedingungen (16L:8D) folgende Luftfeuchtevarianten getestet wurden:

- 30% r. F.
- 50% r. F.
- 80% r. F.

Vier Wochen nach Exposition der Brutstämme im Phytotron wurden die Stämme entrindet und die Brutbilder nach den gleichen Kriterien wie beim Beregnungsversuch analysiert (Kapitel 2.2.2.). Von der 30% und der 80% - Variante wurden zusätzlich nach der Phytotroninkubation die Holzfeuchten bestimmt (Elektronischer Feuchtemesser M05819, Siemens, Deutschland).

Tab. 3: Zeitpunkte und Dauer von Käferansatz und Inkubation der Versuchsstämme

relative Luft-feuchte [%]	Stamm Nr.	Start Käferansatz	Start Phytotron	Ende Phytotron	Inkubationsdauer Phytotron
30	7	09.01.08	16.01.08	14.02.08	29 d
	8	09.01.08	16.01.08	15.02.08	30 d
	9	09.01.08	16.01.08	13.02.08	28 d
50	1	09.11.07	16.11.07	15.12.07	29 d
	2	09.11.07	16.11.07	14.12.07	28 d
	3	09.11.07	16.11.07	14.12.07	28 d
80	4	12.12.07	19.12.07	17.01.08	29 d
	5	12.12.07	19.12.07	17.01.08	29 d
	6	12.12.07	19.12.07	16.01.08	28 d

2.5. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programm SPSS™ 15.0 (SPSS Inc., 1989-2007) in der Version 15.0.0.

In einem ersten Arbeitsschritt wurden die Datensätze auf Normalverteilung überprüft (Kolmogorov-Smirnov-Test). Bei normalverteilten Daten wurde danach eine einfaktorielle ANOVA einschließlich Überprüfung auf Varianzenhomogenität (Levene-Test) durchgeführt. Zeigte die ANOVA signifikante Unterschiede (Signifikanzlevel $P \leq 0,05$), folgte ein post-hoc Test, bei dem die Untergruppen der Daten ermittelt wurden: Bei Varianzgleichheit wurde der Scheffé-Test, bei ungleichen Varianzen der Dunnett-T3-Test verwendet.

Erbrachte die Datenanalyse keine Normalverteilung, erfolgte ein nichtparametrischer Mittelwertsvergleich (Kruskal-Wallis-H-Test). Lieferte dieser signifikante Unterschiede, schloss sich ein Paarweiser Mann-Whitney-U-Test an, bei dem die gelieferte Signifikanz mit der Bonferroni-Methode korrigiert wurde (Green et al., 2000).

3. Ergebnisse

3.1. Witterungsverlauf auf der Untersuchungsfläche Hirschgraben

Das Wetter der Untersuchungsfläche Hirschgraben war im Sommer 2007 durch häufige Temperaturschwankungen und zahlreiche Niederschlagsereignisse geprägt (Abb. 11). Warmphasen wechselten sich dabei mit kurzen Kaltphasen ab. Von Beginn der Aufzeichnungen durch die Wetterstation an (10.5.), erlaubten die Lufttemperaturen von ≥ 16,5°C (Lobinger, 1994) immer wieder Flugaktivitäten von *I. typographus* (Abb. 11, Tab. 4).

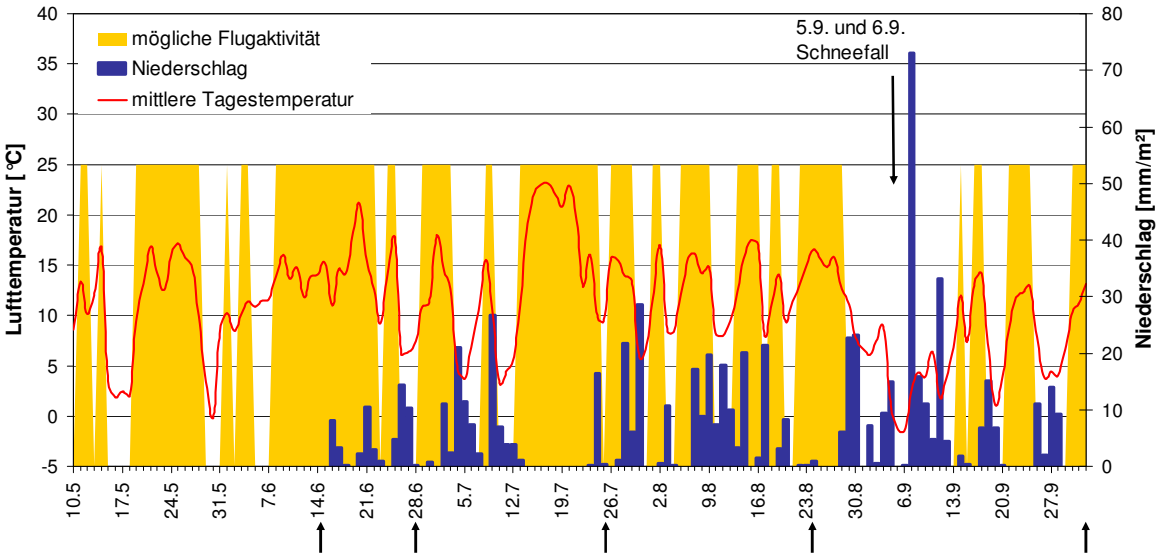

Abb. 11: Mittlere Lufttemperatur und Tagesniederschläge (ab 16.6.) von der Messstation auf der Untersuchungsfläche Hirschgraben während des Untersuchungszeitraums. Gelb hinterlegte Bereiche kennzeichnen Tage mit Schwärmtemperatur (maximale Lufttemperatur ≥ 16,5°C). Pfeile unterhalb der Abszisse signalisieren die Kontrolltage der Brutentwicklung auf der Untersuchungsfläche

Ab Ende Juni konnte eine Häufung von kühlen Perioden und eine Zunahme bei den Niederschlägen beobachtet werden. Dieser Trend kehrte sich Mitte Juli (13.7. bis 23.7.) um, als eine niederschlagsfreie Phase mit hohen Temperaturen einsetzte. Der August gestaltete sich abwechslungsreich mit viel Regen und deutlichen Temperaturschwankungen, welche zu einem ersten Kälteeinbruch mit Frost und Schneefall in der ersten Septemberwoche überleiteten. Perioden möglicher Flugaktivitäten von *I. typographus* waren im September nur mehr selten gegeben.

Tab. 4: Übersicht über Temperaturschwellenwerte, thermale Kennwerte der einzelnen Entwicklungsstadien und unterer und oberer Entwicklungsnullpunkte von *Ips typographus* (effektive Tagesgrade: aufsummierte mittlere Tagestemperaturen über dem unteren Entwicklungsnullpunkt; relative Tagesgrade: relative Temperatursumme für die Entwicklung einer Generation; LTmax: maximale Tageslufttemperatur) (nach Wermelinger und Seifert, 1998; Baier, 2007)

		effektive Tagesgrade	Σ Tagesgrade	relative Tagesgrade	Σ rel. Tagesgrade	LTmax [°C]	Temperatur [°C]
Schwärmtemperatur						≥ 16,5	
Brutentwicklung							
Stadium	Ei	55,7	55,7	0,10	0,10		
	Larve	222,8	278,5	0,40	0,50		
	Puppe	55,7	334,2	0,10	0,60		
	Jungkäfer	222,8	557	0,40	1,00		
	Ei - Puppe	334,2					
	Ei - reifer Jungkäfer	557					
Start Geschwisterbrut				0,5			
unterer Entwicklungsnullpunkt							< 8,3
oberer Entwicklungsnullpunkt							> 38,9

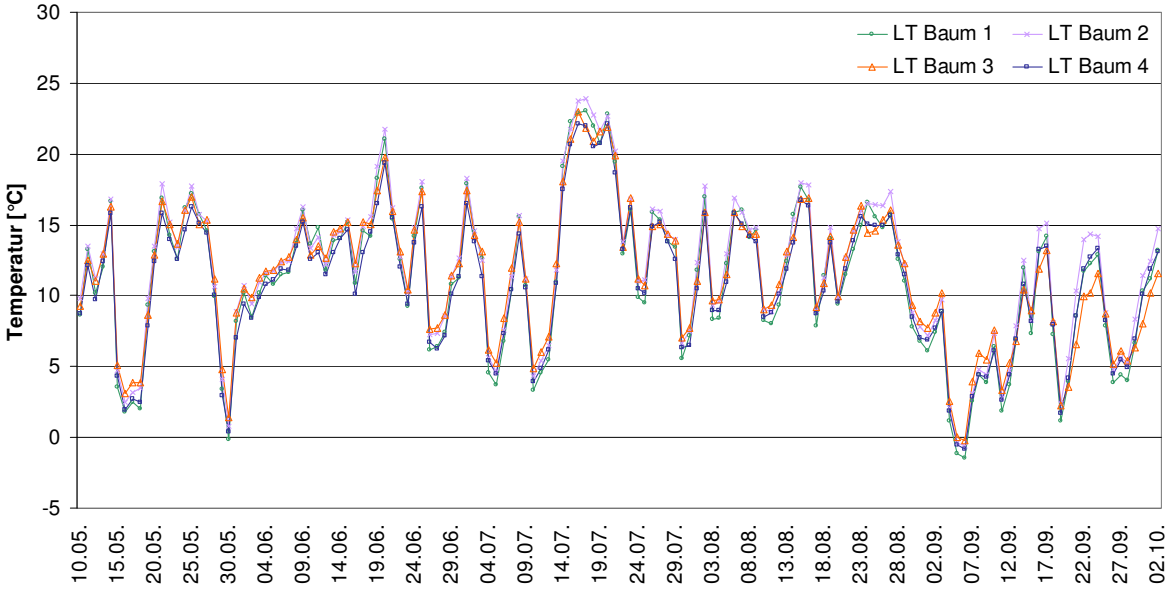

Abb. 12: Mittlere Lufttemperaturen (°C) bei den einzelnen Probebäumen (LT Baum$_i$) während der Monate Mai-Oktober 2007

Die mittleren Tageslufttemperaturen über den Beobachtungszeitraum Mai-Oktober 2007 ergaben nur geringfügige Unterschiede zwischen den einzelnen Probebaumstandorten (Abb. 12). Deutlicher wird der Unterschied bei Gegenüberstellung der mittleren maximalen täglichen Lufttemperaturen (Tab. 5): Hier lässt sich ein abnehmender Gradient vom südexponierten Standort 2 mit einem Mittelwert der Tagesmaxima von 18,5°C (±7,4°C) hin in den geschlossenen Bestand von Standort 4 mit einem Mittelwert von 14,9°C (±4,8°C) beobachten.

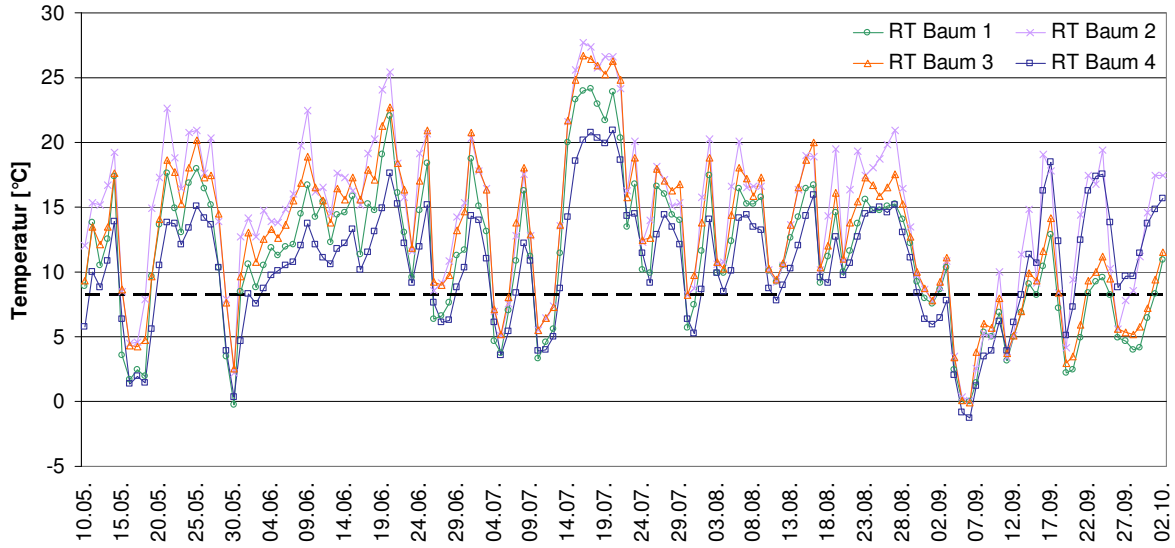

Abb. 13: Mittlere Rindentemperaturen (°C) der einzelnen Probebäume (RT Baum$_i$) während der Monate Mai-Oktober 2007 und unterer Entwicklungsnullpunkt (8,3°C; gestrichelt)

Bei den mittleren Tagestemperaturen im Brutraum von *I. typographus* unter der Rinde traten zeitweise beachtliche Unterschiede von >5°C zwischen den einzelnen Probebäumen hervor (Abb. 13). Besonders ausgeprägt war der Unterschied wiederum zwischen dem südexponierten Probebaum 2 und dem stehenden Probebaum 4 im Bestand. Im September verringerte sich der Abstand zwischen diesen beiden Bäumen zusehends, was mit der isolierenden Wirkung eines geschlossenen Bestandes auf den täglichen Temperaturgang und einem flacheren Einstrahlungswinkel der Sonne zusammenhängen kann (siehe dazu auch Abb. 12). Die mittleren täglichen Rindentemperaturen von Probebaum 1 und 3 verliefen die meiste Zeit innerhalb der beiden oben genannten Extremwerte. Mit sinkendem Sonnenstand zum Ende des Sommers und daraus folgender zunehmender Abschattung dieser beiden Stämme durch benachbarte Bäume (Probebaum 1) und topographische Erhebungen (Probebaum 3) reduzierten sich auch deren Rindentemperaturen, die ab Mitte September unter jenen von Probebaum 4 im Bestand lagen.

Die thermalen Entwicklungsbedingungen von eventuellen Borkenkäferbruten waren somit bis Ende August bei den auf der Freifläche befindlichen Probebäumen 1-3 günstiger als im Bestand (Probebaum 4). Nach dem Kälteeinbruch Anfang September konnte jedoch gezeigt werden, dass der lebende Baum im Bestand

ähnliche Rindentemperaturen erreichte wie der südexponierte Probebaum 2 und damit noch eine Weiterentwicklung eventueller Nachkommen möglich machte.

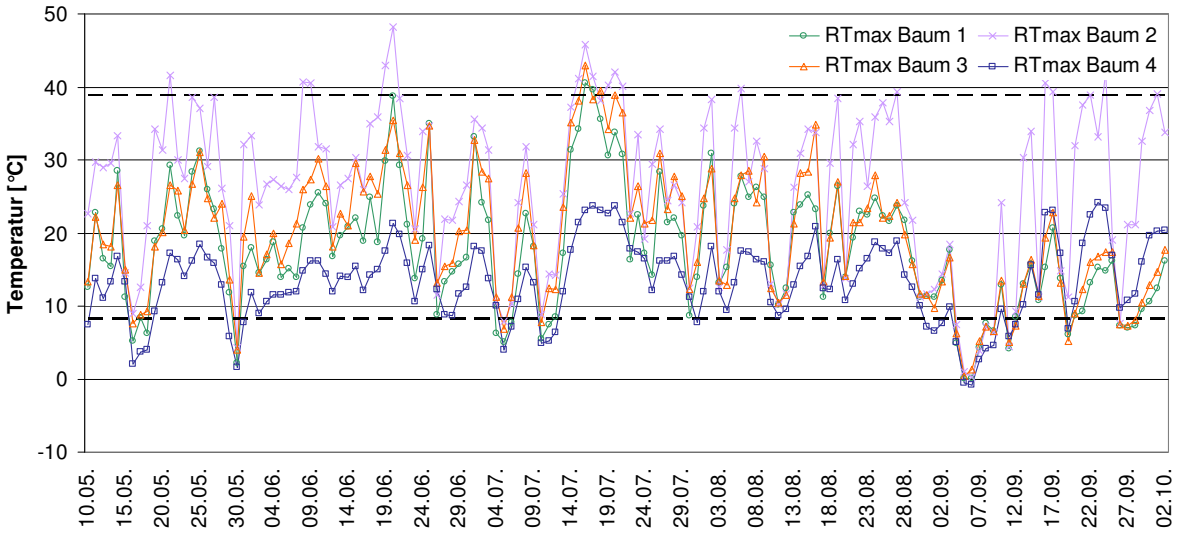

Abb. 14: Tägliche maximale Rindentemperaturen (°C) der Probebäume (RTmax Baum$_i$) während der Monate Mai-Oktober 2007 sowie oberer und unterer Entwicklungsnullpunkt (8,3°C bzw. 38,9°C; gestrichelt)

Bei Betrachtung der täglichen maximalen Rindentemperaturen erwies sich ebenfalls der Verlauf des südexponierten Probebaum 2 mit einem Mittelwert von 26,3°C (±11,0°C) am höchsten (Tab. 5) (Abb. 14). Zweitweise erreichte die Differenz >20°C zu den Maxima des Baumes im Bestand. Temperaturen >40°C erlauben keine Entwicklung mehr und ab ca. 45°C sind sie letal für den Buchdrucker (Postner, 1974). Kontrollen von Probebaum 2 während der Außenaufnahmen ergaben, dass ein stammoberseitig verlaufender Bereich bereits abgestorbene Brutbilder durch Rindenüberhitzung hervorbrachte.

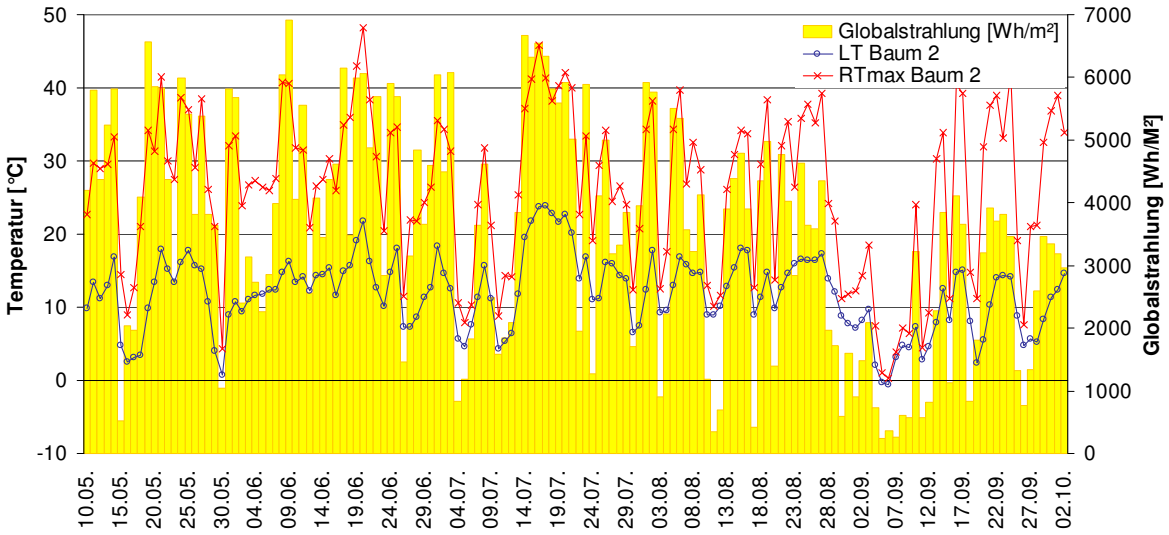

Abb. 15: Mittlere Lufttemperatur (LT) und maximale Rindentemperatur (RTmax) am südexponierten Probebaum 2 in 1.487 m Seehöhe während der Monate Mai-Oktober 2007. Die gelben Balken geben die summierte tägliche Globalstrahlung bei der Wetterstation an

Die Einwirkung direkter Sonneneinstrahlung auf exponierte Stammbereiche kann zu erheblichen Temperaturunterschieden führen (Abb. 15). Am Beispiel des südexponierten Probebaumes 2 wird ersichtlich wie sehr Lufttemperatur und Rindentemperatur von einander abweichen können.

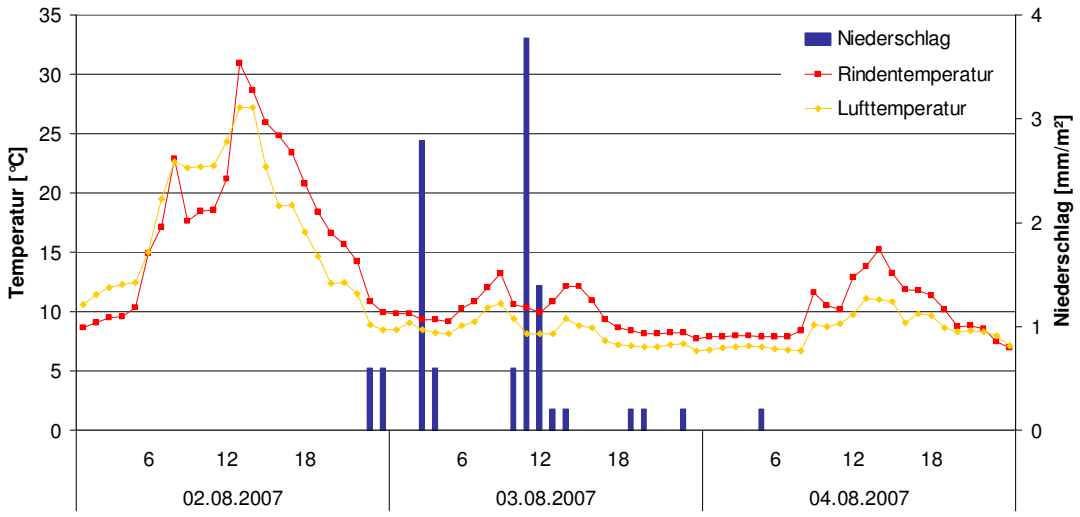

Abb. 16: Stündliche Rinden- und Lufttemperaturen (°C) von Probebaum 1 sowie Niederschlagswerte der Messstation Anfang August auf der Untersuchungsfläche

Die Rindentemperaturmessung des auf der Freifläche liegenden Probebaum 1 dürfte großteils abgeschirmt vor direkter Sonneneinstrahlung erfolgt sein, da der Unterschied zwischen Luft- und Rindentemperatur gering ausfiel (Tab. 5) und eignet

sich deshalb, um den Einfluss von Niederschlag auf die Rindentemperatur aufzuzeigen (Abb. 16). Nach zwei regenfreien Tagen (31.7. und 1.8.) ergaben die Messungen vom 2. August 2007 einen der Lufttemperaturkurve sehr nahe liegenden Rindentemperaturverlauf. Der einsetzende Niederschlag brachte eine gleichmäßige Abkühlung beider stündlich erhobenen Werte mit sich, wobei die Rindentemperaturen wie schon vorher über jenen Werten der Luft verliefen. Eine weitere Reduzierung der Rindentemperatur unter die Lufttemperatur konnte dabei nicht beobachtet werde. Somit konnte durch Niederschlag ein ähnlicher Abkühlungseffekt auf Rinden- wie auch auf die Lufttemperatur gezeigt werden.

3.1.1. Flugaktivität von *Ips typographus* im Untersuchungsgebiet 2007

Erste Fallenfänge konnten bereits ab 16. April registriert werden (Lockstofffalle des BFW). Nach dem Temperaturverlauf und der Anzahl gefangener Buchdrucker in der Pheromonfalle lässt sich folgende Flugaktivität für die Umgebung Scheibbs und Hirschgraben interpretieren: In der Woche 14. und 21.5. erfolgte offensichtlich erst der Hauptschwärmflug der überwinternden Parentalkäfer. Nach der Anlage der Bruten verließen diese Mitte Juni ihre Brutsysteme wieder, um Geschwisterbruten anzulegen. Ab diesem Zeitpunkt erfolgte auch die Aufnahme der Niederschlagsereignisse an der Untersuchungsfläche (Abb. 17). Eine erste Niederschlagsspitze in der Woche um den 9.7. verringerte die Flugaktivität der Parentalkäfer. Während der sehr trockenen Phase von Mitte bis Ende Juli konnten sehr hohe Flugaktivitäten verzeichnet werden. Hierbei dürfte es sich um die erste Filialgeneration (F1 Generation) handeln. Beim weiteren Verlauf der Flugaktivitäten Anfang August konnte gezeigt werden, dass *I. typographus* bei konstanten Temperaturbedingungen schon auf geringfügige Niederschlagsänderungen reagiert, wie die Woche um den 6.8. zeigte. Mit den abnehmenden Temperaturen und dem ersten Kälteeinbruch Anfang September verringerten sich die Fangzahlen weiter. Von Mitte September bis etwa Mitte Oktober konnten nur noch vereinzelte Flugaktivitäten beobachtet werden.

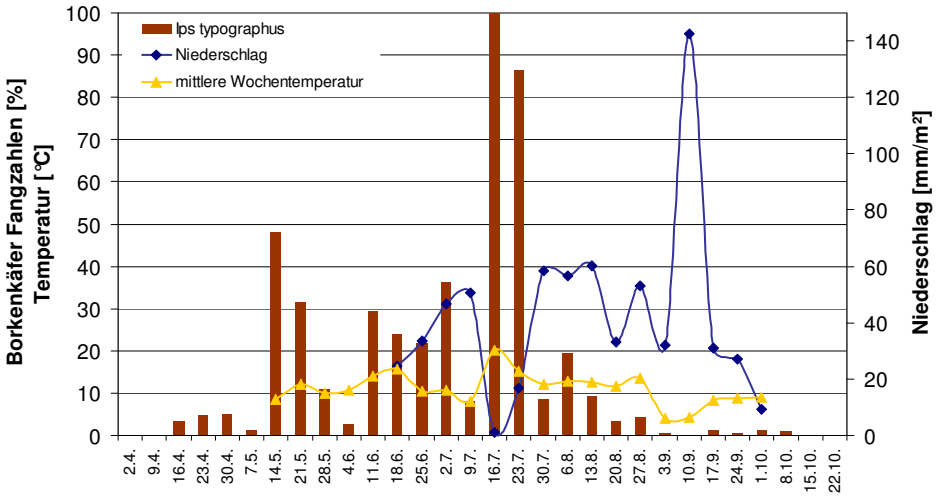

Abb. 17: Wöchentliche Fangzahlen (%) von *I. typographus* auf 993 m Seehöhe in Scheibbs (BFW) sowie mittlere Wochentemperaturen (°C) (beginnend 14.5.) und wöchentliche Niederschlagssummen (mm/m²) von der Untersuchungsfläche (beginnend 18.6.) 2007

3.1.2. Befallsverlauf und Brutentwicklung der Probebäume

Befallsverlauf und Brutentwicklung auf der Untersuchungsfläche verliefen von Probebaum zu Probebaum unterschiedlich (Tab. 5 und 6, Abb. 18-21). Nachdem die Temperaturen um Mitte Mai Schwärmaktivitäten von *I. typographus* erlaubten, konnten erste Einbohrungen an den ausgewählten Probebäumen am 18.5. beobachtet werden (Abb. 17, Tab. 6). Beginnend von diesem Zeitpunkt wurden mit den auf der Untersuchungsfläche gemessenen Rindentemperaturen thermale Entwicklungsprognosen für jeden Probebaum erstellt, bei der die für die Entwicklung der Nachkommen effektiven täglichen Rindentemperaturen aufsummiert wurden (Tab. 4 und 5). Die daraus für die Entwicklung einer Generation abgeleiteten relativen Temperatursummen wurden für die detaillierte Prognose des Brutverlaufes der einzelnen Probebäume verwendet (Abb. 18-21).

Tab. 5: Mittelwert und Standardabweichung der Luft- und Rindentemperaturen (10.5.-2.10.2007, N=146 Tage). Effektive und relative Temperaturen wurden ab den beobachteten Einbohrungen am 18.5. aufsummiert (N=138 Tage) (Σ effektive Temperaturen: aufsummierte mittlere Tagestemperaturen oberhalb des unteren Entwicklungsnullpunkts (8,3°C); Σ relative Temperaturen: relative Temperatursumme für die Entwicklung einer Generation)

		Tages-	Mittelwert [°C]	Std. Abw. [°C]	Σ effektive Temperaturen	Σ relative Temperaturen
Lufttemperatur	Probebaum 1	Mittelwert	11,10	5,28	544,59	0,98
		Maximum	17,59	7,49		
	Probebaum 2	Mittelwert	11,86	5,13	615,48	1,10
		Maximum	18,49	7,40		
	Probebaum 3	Mittelwert	11,49	4,70	554,54	1,00
		Maximum	16,91	6,42		
	Probebaum 4	Mittelwert	10,91	4,81	502,83	0,90
		Maximum	14,93	5,84		
Rindentemperatur	Probebaum 1	Mittelwert	11,34	5,41	569,74	1,02
		Maximum	17,91	8,41		
	Probebaum 2	Mittelwert	14,34	5,89	918,51	1,65
		Maximum	26,32	11,03		
	Probebaum 3	Mittelwert	13,01	5,68	757,45	1,36
		Maximum	19,90	8,81		
	Probebaum 4	Mittelwert	10,66	4,59	472,28	0,85
		Maximum	13,37	5,37		

Tab. 6: Beobachtete maximale und prognostizierte Brutentwicklung auf der Untersuchungsfläche 2007. Die Kontrolle am 18.5. erfolgte durch den Revierförster

Datum	Beobachtete maximale Brutentwicklung			*Prognostizierte maximale Brutentwicklung*		
	Probebaum 1	Probebaum 2	Probebaum 3	*Probebaum 1*	*Probebaum 2*	*Probebaum 3*
18.5.	erste Einbohrungen	erste Einbohrungen	erste Einbohrungen			
15.6.	Larven	Larven	verharzte Einbohrungen	*Larven*	*Larven*	
28.6.	Larven	Puppen	Larven	*Larven*	*Puppen*	*Larven*
25.7.	helle Jungkäfer	dunkle Jungkäfer	Larven	*Jungkäfer*	*Jungkäfer*	*Puppen*
24.8.	Ausbohrlöcher	Ausbohrlöcher	helle Jungkäfer	*Ausbohrlöcher*	*Ausbohrlöcher*	*Jungkäfer*
3.10.	Ausbohrlöcher	Ausbohrlöcher	erste Ausbohrlöcher	*Ausbohrlöcher*	*Ausbohrlöcher*	*Jungkäfer*

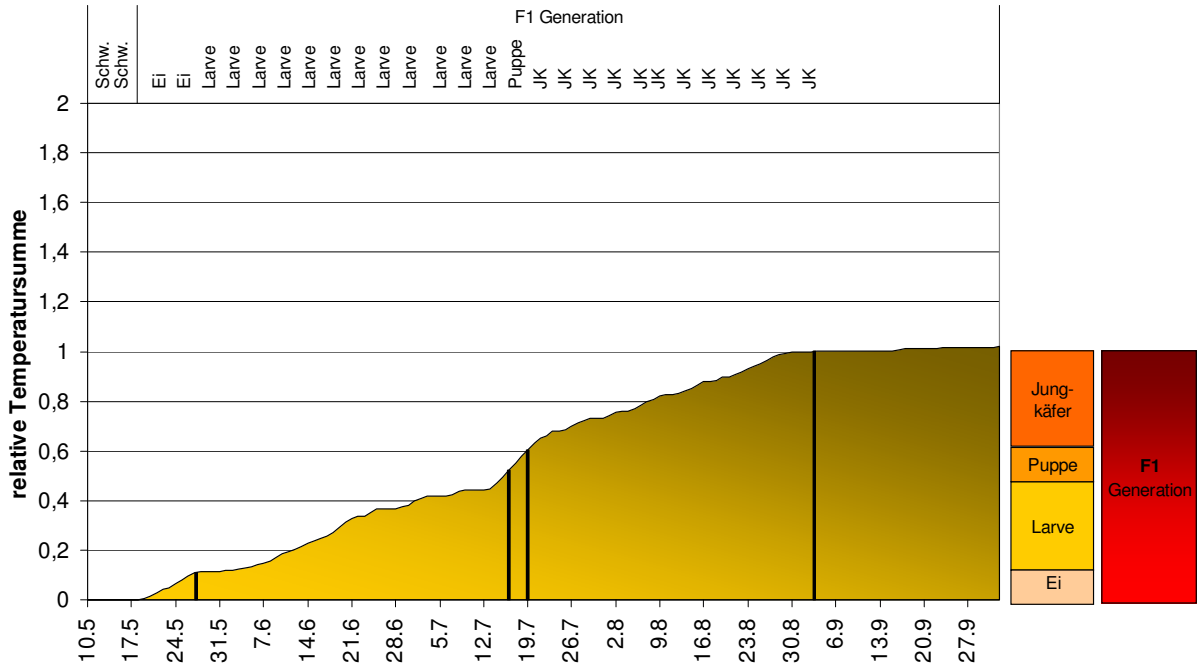

Abb. 18: Relative mittlere Rindentemperatursumme von Probebaum 1 und mögliche Entwicklungsabfolge von *Ips typographus* (Schw.: Schwärmen, JK: Jungkäfer)

Die prognostizierte Entwicklung der Brut von Probebaum 1 auf einer Seehöhe von 1.510 m verlief am langsamsten von den liegenden Probebäumen 1-3 (Abb. 18). Die mittlere Luft- und Rindentemperatur ergaben geringere Werte als jene der beiden anderen Standorte der Freifläche (Tab. 5). Die Überprüfung der Prognose der Entwicklungsstadien mit den Beobachtungen an den Kontrolltagen zeigte keine Abweichungen (Tab. 6). Der in Abb. 16 dargestellte, abkühlende Effekt von Niederschlag wurde bereits bei der Registrierung der Rindentemperaturen aufgenommen und hatte darüber hinaus keinen zusätzlichen negativen Einfluss auf den Entwicklungsfortschritt der Nachkommen. Für eine Beurteilung der Mortalitätsrate der Nachkommen standen keine Daten zur Verfügung.

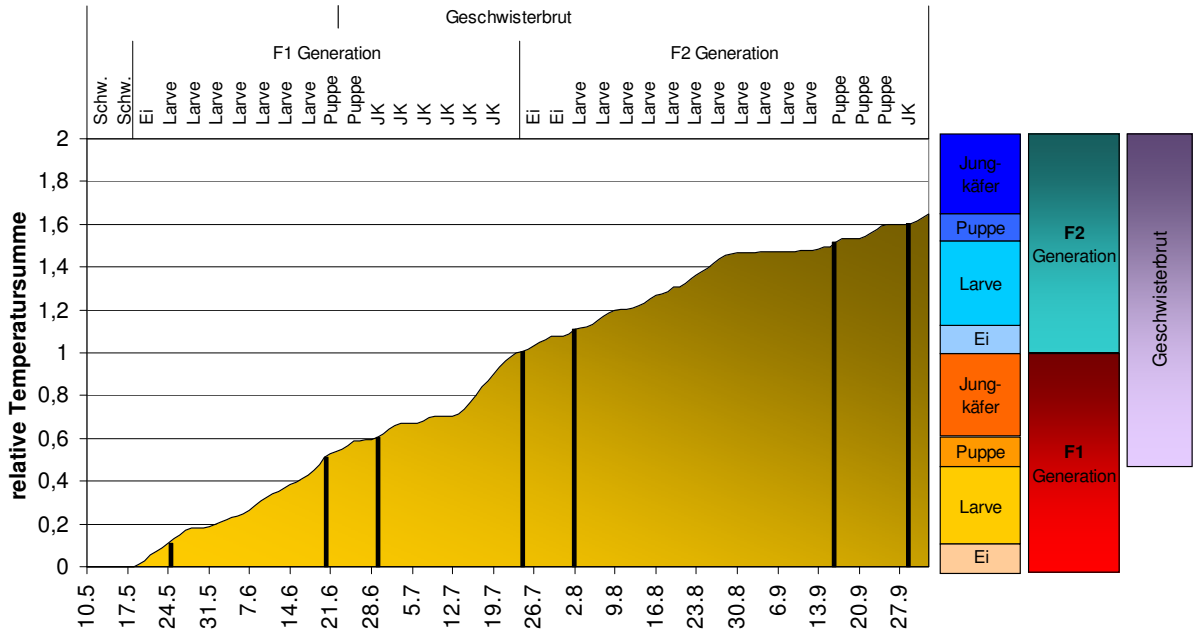

Abb. 19: Relative mittlere Rindentemperatursumme von Probebaum 2 und mögliche Entwicklungs- und Generationsabfolge von *Ips typographus* (Schw.: Schwärmen, JK: Jungkäfer)

Beim südexponierten Probebaum 2 (1.487 m) konnte der rascheste Entwicklungsfortschritt der Nachkommen prognostiziert und beobachtet werden (Abb. 19). Die ersten Puppen wurden schon bei der Außenaufnahme Ende Juni beobachtet. 11 Wochen nach der Einbohrung konnten die ersten fertigen Jungkäfer gefunden werden (dunkle Jungkäfer am 25.7.). Auch hier brachte der Vergleich zwischen Beobachtung und Prognose der Entwicklungsstadien keine Unterschiede hervor (Tab. 6).

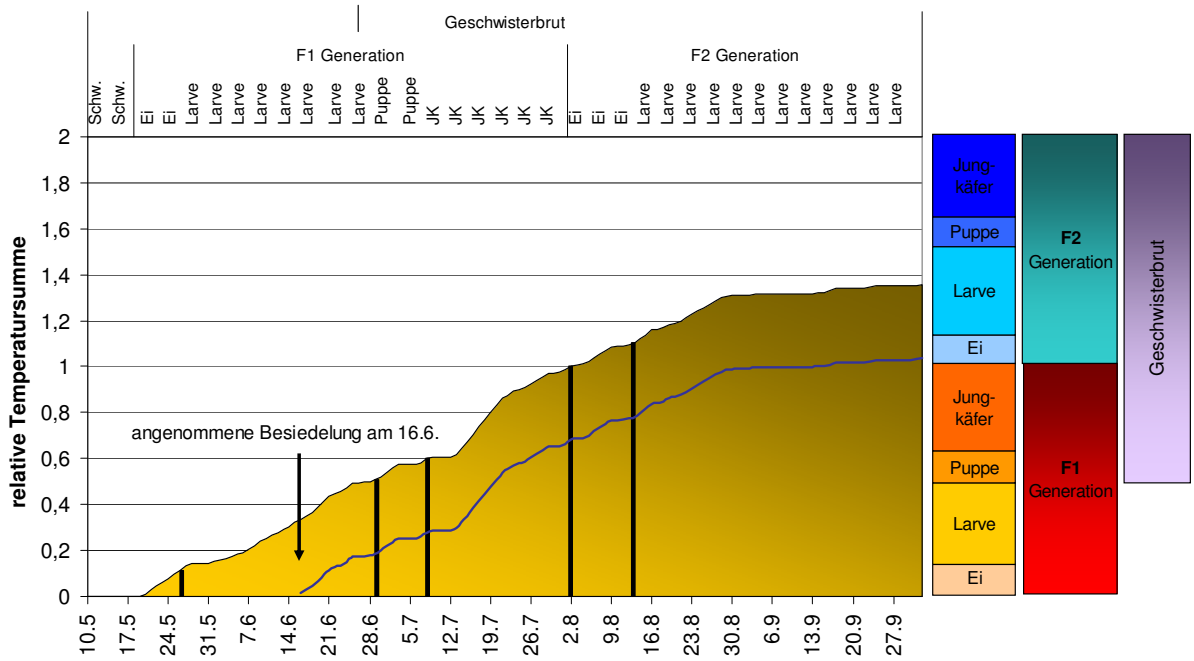

Abb. 20: Relative mittlere Rindentemperatursumme von Probebaum 3 und mögliche Entwicklungs- und Generationsabfolge von *Ips typographus* (Schw.: Schwärmen, JK: Jungkäfer). Die ersten Besiedelungsversuche vom 18.5. verharzten. Eine erfolgreiche Besiedelung wurde nach der Trennung von der Wurzel am 16.6. angenommen

Da Probebaum 3 (1.385 m) zu Beginn der Untersuchung nicht von der Wurzel gekappt worden war, konnten die ersten Besiedelungsversuche von *I. typographus* durch Harzfluss erfolgreich vom Baum abgewehrt werden. Als am 16. Juni die Trennung von der Wurzel erfolgte, wurde ein erfolgreicher Befall ab diesem Tag durch schwärmende Käfer angenommen (Abb. 17) (Abb. 20). Nachdem zu diesem Zeitpunkt bereits eine relative Temperatursumme von annähernd 0,5 bei Probebaum 2 verzeichnet worden war, handelte es sich bei diesen späten Einbohrungen am Baum 3 offenbar um die Anlagen von Geschwisterbruten durch die überwinternden Parentalkäfer (Abb. 17). Um dennoch den direkten Vergleich mit den anderen Standorten auf der Untersuchungsfläche zu ermöglichen, wurde zusätzlich eine thermale Entwicklungskurve beginnend vom Tag der Einbohrung bei den anderen Probebäumen (18.5.) gebildet.

Die Überprüfung der bei den Außenaufnahmen beobachteten Entwicklungsstadien ergab am 25.7. bei Probebaum 3 eine Abweichung von dem prognostiziertem Stadium des angenommenen Befalls vom 16.6: statt dem erwarteten Puppenstadium wurden in den Brutbilden noch Larven gefunden (Tab. 6).

Im Zuge der nächsten Überprüfung am 24.8. konnte keine Abweichung zwischen prognostizierten und tatsächlich auftretenden Stadien festgestellt werden. Am 3.10 ergab die Kontrolle auf der Untersuchungsfläche mit ersten Ausbohrlöchern wiederum eine Abweichung vom prognostizierten Jungkäferstadium.

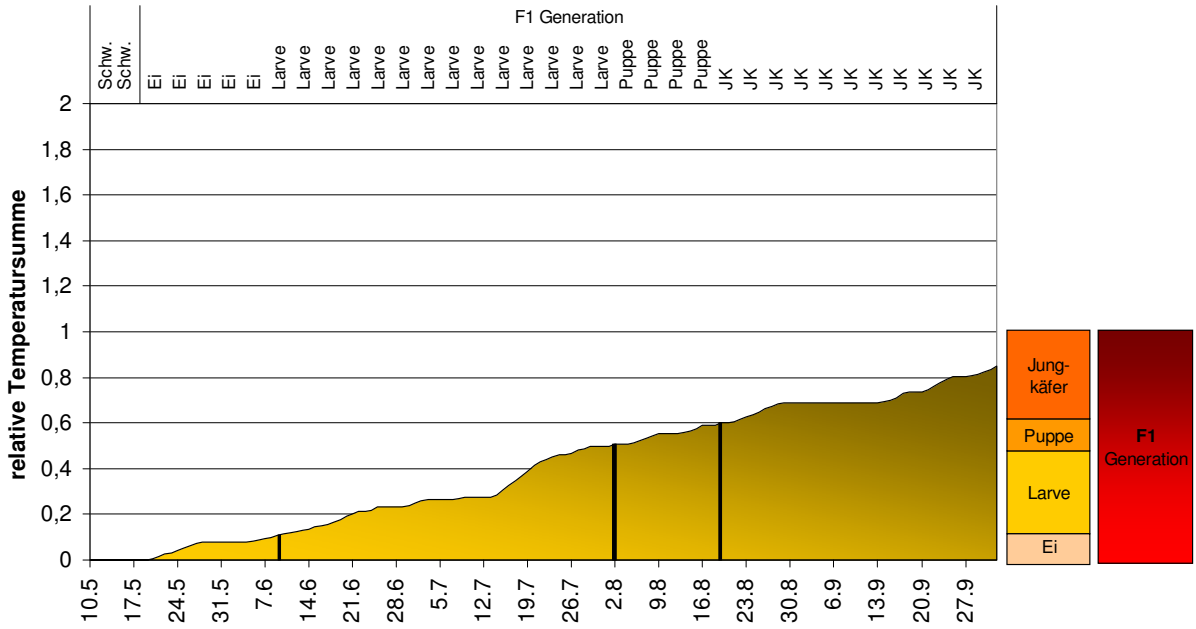

Abb. 21: Relative mittlere Rindentemperatursumme vom stehenden Probebaum 4 und mögliche Entwicklungsabfolge von *Ips typographus* (Schw.: Schwärmen, JK: Jungkäfer)

Ein potentieller Befall durch *I. typographus* im Bestand (1.501 m) hätte bis 3. Oktober keine fertig entwickelten Jungkäfer hervorgebracht (Abb. 21). War der Unterschied zwischen den mittleren Lufttemperaturen der verschiedenen Standorte noch wenig ausgeprägt, so hat sich vor allem durch das Ausbleiben der fehlenden direkten Sonneneinstrahlung im Bestand ein großer Unterschied zu den ermittelten Rindentemperaturen auf der Freifläche ergeben (Tab. 5). Durch die isolierende Wirkung eines geschlossenen Bestandes hinsichtlich der Lufttemperaturen gegenüber der Freifläche und zunehmender seitlicher Einstrahlung durch den sinkenden Sonnenstand konnten dafür im Spätsommer für eventuell vorhandene Nachkommen noch effektiv nutzbare Temperaturen unter der Rinde gemessen werden.

3.1.3. Relative Bastfeuchte der Probebäume

Mit einer mittleren Feuchtigkeit von 61% (±21,5%) war die Oberseite vom südexponierten Probebaum 2 am trockensten (Abb. 22). Der zu Beginn erwartete Effekt der Austrocknung mit zunehmender Versuchsdauer trat nur hier deutlich hervor. Bei allen anderen Probebäumen und Probestellen wurde eine annähernd gleich bleibende oder sogar ansteigende Bastfeuchte während des Versuchszeitraumes beobachtet (Tab. 7, Abb. 22). Der stehende, lebende Probebaum 4 wies die geringsten Schwankungen auf und lag konstant bei knapp unter 100% Bastfeuchte.

Tab. 7: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (Std. Abw.) der Bastfeuchten (%) der einzelnen Probebäume von den fünf Außenaufnahmen (Juni-Oktober 2007)

	Datum der Probenahme									
	15.6.		28.6.		25.7.		24.8.		3.10.	
	MW [%]	Std. Abw.	MW [%]	Std. Abw.	MW [%]	Std. Abw.	MW [%]	Std. Abw.	MW [%]	Std. Abw.
Probebaum 1	111,14	5,84	94,15	30,23	103,28	15,54	97,46	39,89	122,42	28,29
Probebaum 2	71,74	21,95	98,27	38,77	86,12	31,53	113,20	51,68	104,33	42,19
Probebaum 3	142,59	11,32	132,32	5,76	116,28	12,82	80,08	13,06	160,04	23,81
Probebaum 4	75,61	16,12	96,00	5,03	100,74	10,62	99,71	1,16	101,46	14,08

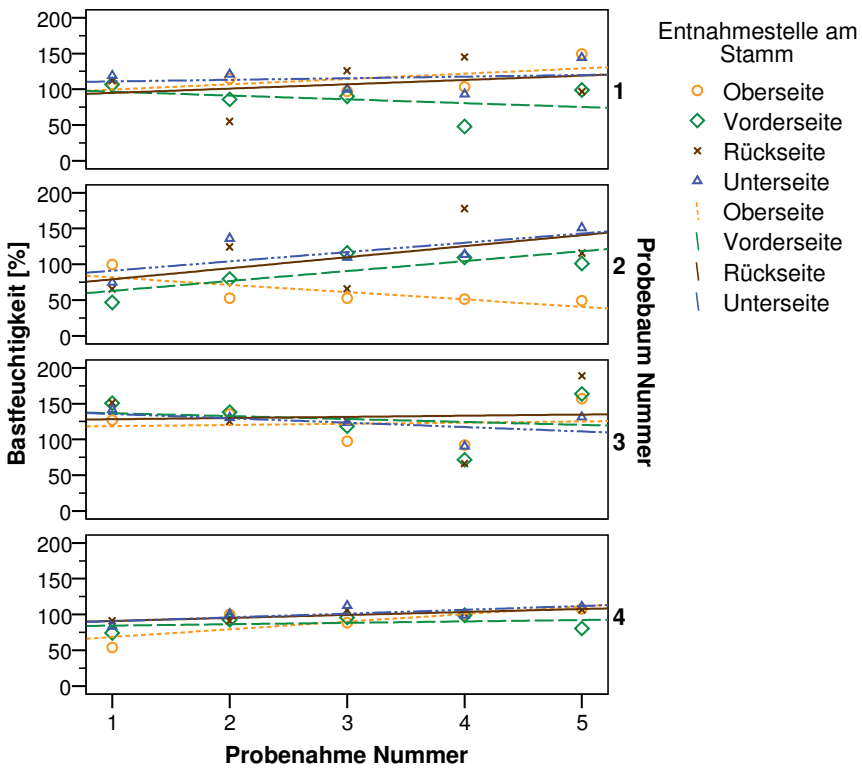

Abb. 22: Zeitlicher Verlauf der Bastfeuchten (%) der Probebäume von der Untersuchungsfläche Hirschgraben im Sommer 2007 (Nummer der Probenahme: 1=15.6., 2=28.6., 3=25.7., 4=24.8., 5=3.10.) (Vorderseite: sonnenexponierte Seite; Rückseite: Sonne abgewandte Seite; stehender Probebaum 4: Oberseite: Süden, Vorderseite: Osten, Rückseite: Westen, Unterseite: Norden)

3.2. Beregnungsexperimente

3.2.1. Versuchsvariante A: Beregnung zwei Wochen nach Brutbeginn

Um den Effekt von Niederschlag auf die Entwicklung der Nachkommen zu überprüfen, fanden Beregnungsexperimente von Brutstämmen im Institutsgarten statt. In zwei Versuchsvarianten wurde der Einfluss unterschiedlicher Beregnungsdauer auf weiter entwickelte (Versuchsvariante A: Vor dem Beregnungsstart 16tägige Verweildauer der Versuchsstämme im Labor) und weniger weit entwickelte Brutstadien (Versuchsvariante B: vor dem Beregnungsstart neuntägige Verweildauer der Versuchsstämme im Labor) untersucht. Ein weiterer Unterschied der beiden Versuchsvarianten A und B lag im Verfahren der Brutbildauswertung nach der Beregnung: Bei den Versuchsstämmen der Variante A erfolgte die Auswertung der Brutbilder am Ende der Entrindung eines Stammes (Tab. 8); bei der Variante B (und allen folgenden Versuchen) wurde bei Erscheinen eines Brutbildes während des Schälvorganges die Nachkommen abgesammelt und in separaten Petrischalen aufbewahrt. Damit konnte eine höhere, brutbildspezifische Ausbeute an Parametern erreicht werden, wodurch die Ergebnisse von Versuchsvariante B etwas genauer waren als jene der Variante A.

Tab. 8: Summen und Mittelwerte (bezogen auf die Muttergänge) der Entwicklungsparameter von *Ips typographus* in den einzelnen Versuchsstämmen der Versuchsvariante A nach einmonatigem Aufenthalt unter verschiedenen Beregnungsintensitäten (St.: Stamm, BB: Brutbild, Sum: Summe, MG: Muttergang, MW: Mittelwert, Std. Abw.: Standardabweichung, LG: Larvengang, La: Larve, Pu: Puppe, JK: Jungkäfer)

Start Beregnung	Variante	St. Nr.	BB Sum	MG Sum	MG Länge MW [cm]	Std. Abw.	LG MW	Std. Abw.	La Sum	Pu Sum	JK Sum	La/ MG	Pu/ MG	JK/ MG
03.08.	Kontrolle	1	22	39	6,0	2,1	25	14	21	18	214	0,5	0,5	5,5
03.08.	schwach	2	19	30	6,3	2,6	22	15	40	50	58	1,3	1,7	1,9
03.08.	stark	3	25	42	5,2	2,1	19	14	208	108	13	5,0	2,6	0,3
Gesamt		3	66	111					269	176	285			

Eine Überprüfung der Muttergänglängen (n=111; P=0,150) und der Anzahl Larvengänge/Muttergang (n=111; P=0,172) zwischen den Beregnungsvarianten Kontrolle, schwache Beregnung und starke Beregnung mittels einfaktorieller ANOVA ergab keine statistisch signifikanten Unterschiede.

Bei den Beregnungsvarianten Kontrolle und schwache Beregnung lag die Anzahl Larven/Muttergang signifikant unter jener bei starker Beregnung (Abb. 23, linke Graphik).

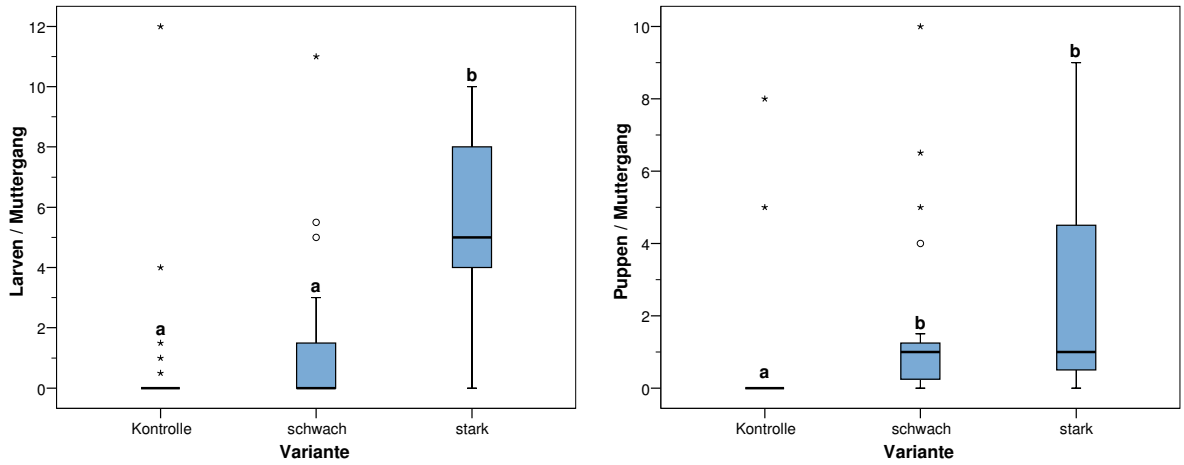

Abb. 23: Anzahl Larven/Muttergang (links) und Puppen/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede. Linke Graphik: Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Vergleich Kontrolle zu schwacher Beregnung (schwach): P=0,283, Vergleich Kontrolle zu starker Beregnung (stark): P=0,000, Vergleich schwach zu stark: P=0,000. Rechte Graphik: Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,000, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,307

Die Anzahl der Puppen/Muttergang des Kontrollstammes war signifikant geringer als jene der beiden beregneten Versuchsstämme (Abb. 23, rechte Graphik). Wie bei der vorangegangenen Anzahl Larven/Muttergang wurde auch beim Parameter Puppen/Muttergang die höchste Anzahl beim stark beregneten Versuchsstamm gefunden. Daraus wird ersichtlich, dass der Kontrollstamm weniger frühe Entwicklungsstadien (Larven und Puppen) aufwies als die beiden beregneten Stämme und somit die Entwicklung der Nachkommen am unberegneten Kontrollstamm schneller vorangeschritten sein muss. Der Versuchsstamm der schwachen Beregnung nahm eine Zwischenstellung zwischen der Kontroll- und der starken Beregnungsvariante ein.

Dagegen war die Anzahl der Jungkäfer/Muttergang in der Kontrolle signifikant höher als bei den beiden Beregnungsvarianten (Abb. 24, linke Graphik). Dieses Ergebnis bestätigt somit die o. g. Beobachtung, dass die Entwicklungsgeschwindigkeit der Borkenkäferbruten bei den beregneten Stämmen

langsamer verlief als im Kontrollstamm. Da für die Beregnung der Versuchstämme kühles Leitungswasser verwendet wurde, ist ein thermaler Einfluss für die unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeit der Bruten anzunehmen.

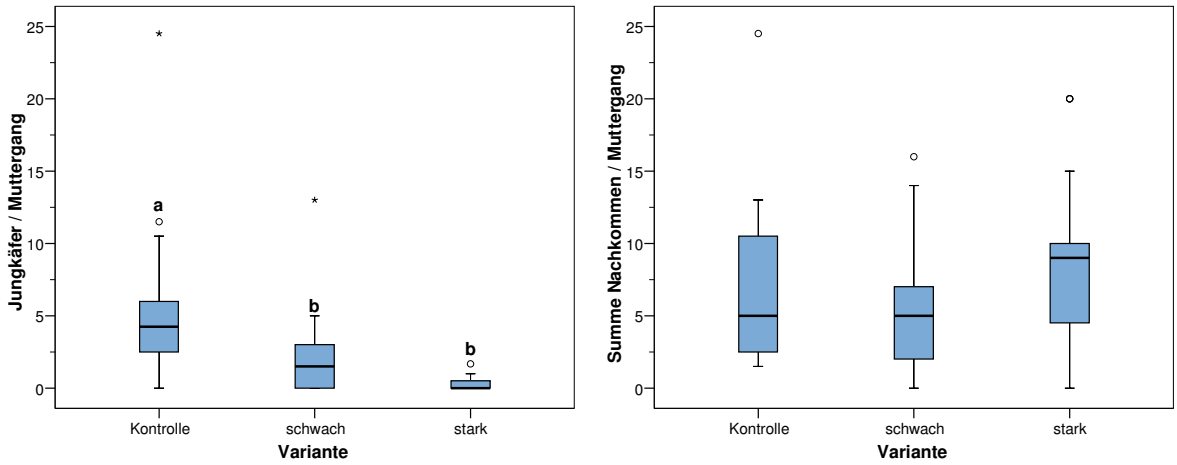

Abb. 24: Anzahl der Jungkäfer/Muttergang (links) und der insgesamt sich entwickelnden Nachkommen/Muttergang (Larven, Puppen, Jungkäfer; rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Linke Graphik: Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (nach der Bonferroni-Methode ist bei drei Gruppen, für einen signifikanten Unterschied von P=0,05, ein P≤0,0167 erforderlich) (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,002, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,032). Rechte Graphik: Kruskal-Wallis-Test mit P=0,177

Bei der Anzahl der Nachkommenschaft/Muttergang konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Beregnungsvarianten beobachtet werden (Abb. 24, rechte Graphik).

Für den Vergleich des Alters der Jungkäfer diente ihr Ausfärbungsgrad. Hierbei wurde zwischen den Klassen hell (weiß, strohgelb und hellbraun) und dunkel (mittelbraun und dunkelbraun) unterschieden.

Im Kontrollstamm waren signifikant mehr helle und dunkle Jungkäfer/Muttergang vorhanden als in den beregneten Varianten, woraus wiederum geschlossen werden kann, dass die Entwicklungsgeschwindigkeit der Nachkommen im nicht beregneten Stamm schneller war als bei den beregneten Stämmen. Beim stark beregneten Versuchsstamm hatten sich überhaupt noch keine dunklen Jungkäfer entwickelt (Abb. 25).

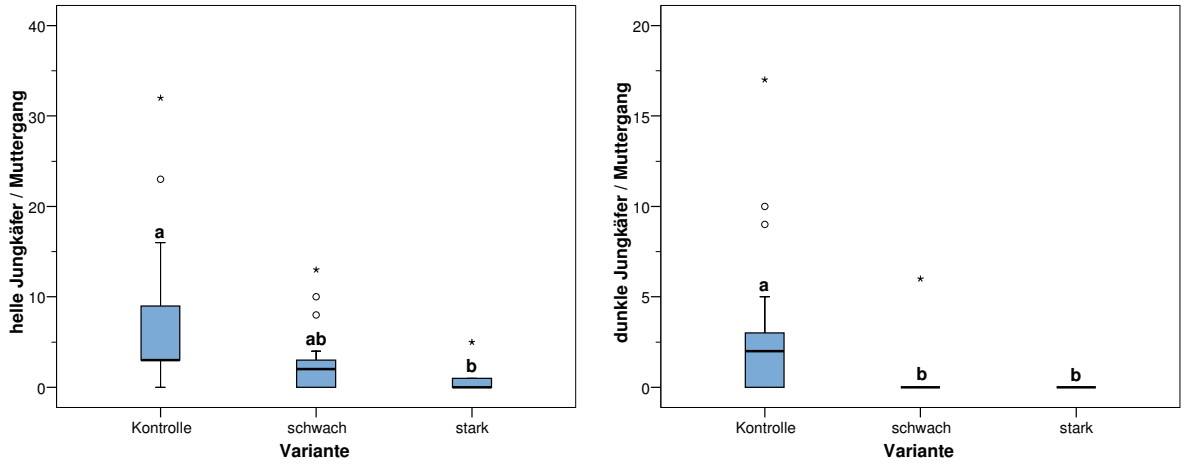

Abb. 25: Anzahl von hellen Jungkäfern/Muttergang (links) und dunklen Jungkäfern/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede. Linke Graphik: Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,017, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,041. Rechte Graphik: Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,000, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,251

Für die Berechnung der Dichte der Larvengänge diente die Anzahl der Larvengänge/Muttergang. Beim Vergleich der einzelnen Beregnungsvarianten konnten keine signifikante Unterschiede hinsichtlich der Dichte der Larvengänge festgestellt werden (Abb. 26, linke Graphik). Da die Stämme dieser Versuchsvariante erst 16 Tage nach dem Käferansatz der Beregnung ausgesetzt wurden, war zu diesem Zeitpunkt die Eiablage und großteils das Schlüpfen der Larven schon erfolgt.

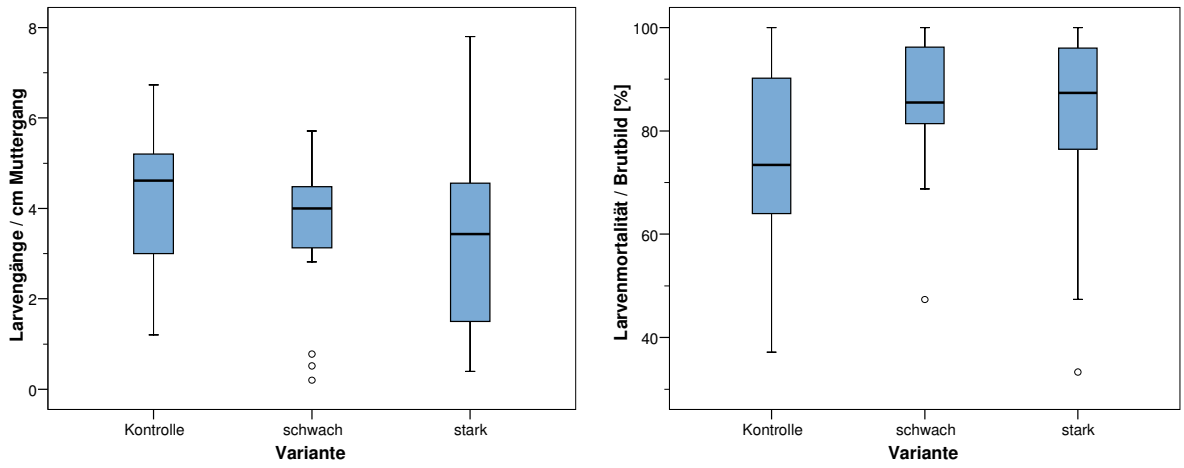

Abb. 26: Larvengänge/cm Muttergang (links) und Mortalität der Larven/Brutbild (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Es wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Beregnungsvarianten gefunden. Linke Graphik: Kruskal-Wallis-Test mit P=0,152. Rechte Graphik: einfaktorielle ANOVA mit P=0,054; n=66

Bei der abschließenden Betrachtung der Larvenmortalität je Brutbild konnten ebenso keine signifikanten Unterschiede aufgezeigt werden (Abb. 26, rechte Graphik).

3.2.2. Versuchsvariante B: Beregnung eine Woche nach Brutbeginn

Mit dieser Versuchsvariante des Beregnungsexperiments wurde der Einfluss von Niederschlag auf weniger weit entwickelte Brutstadien untersucht (vgl. Kap. 3.2.1.).

Bevor eine Überprüfung der Ergebnisse zwischen den Beregnungsvarianten stattfand, wurden in einem ersten Arbeitsschritt die Versuchsstämme innerhalb derselben Beregnungsvariante verglichen, da diese zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Beregnung ausgesetzt worden waren (Abb. 27).

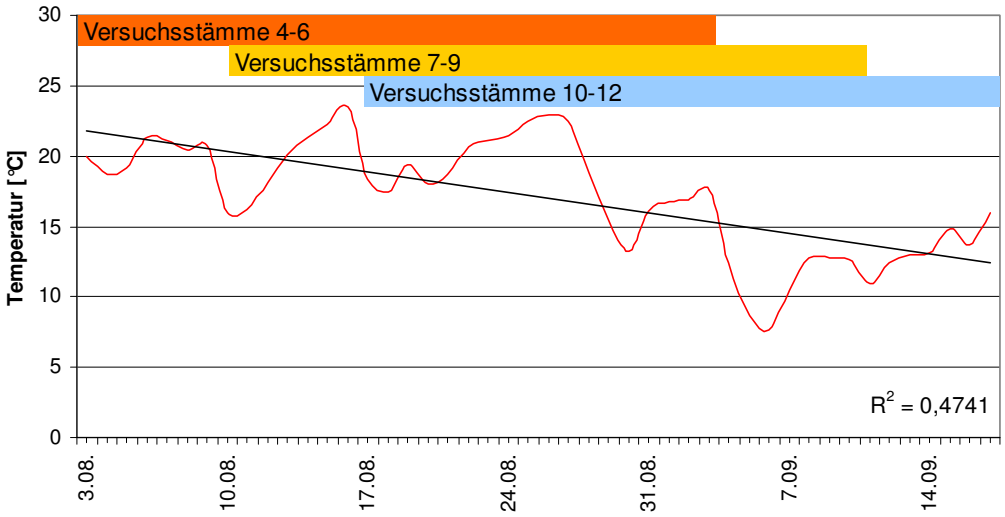

Abb. 27: Mittlerer Tagestemperaturverlauf (°C) im Garten des IFFF und Aufenthaltsdauer der Versuchsstämme in der Beregnungsanlage (Balken)

<u>Überprüfung der Ergebnisse innerhalb der Beregnungsvarianten</u>

Variante: Kontrolle (Versuchsstämme 4, 7 und 10)

Die Überprüfung der Muttergranglängen von den Kontrollstämmen unterschiedlicher Starttermine ergab keinen signifikanten Unterschied (einfaktorielle

ANOVA mit P=0,597; n=86). Bei der Gegenüberstellung der Parameter „Larven/Muttergang“, „Puppen/Muttergang“ und „Jungkäfer/Muttergang“ konnten mehrere, signifikante Unterschiede zwischen den Kontrollstämmen festgestellt werden (Abb. 28): Diese erlauben den Schluss, dass bei Versuchsstamm 4 eine schnellere Entwicklung der Nachkommen stattgefunden haben muss als bei Stamm 10, da signifikant mehr fortgeschrittene Entwicklungsstadien (Jungkäfer) vorgekommen sind. Das kann als Hinweis auf die temperaturbedingte, sich verlangsamende Entwicklung des jahreszeitlich später der Beregnung ausgesetzten Stammes 10 (17.8.) gedeutet werden (Abb. 27). Versuchsstamm 7, welcher am 10.8. der Beregnung ausgesetzt wurde, nimmt dagegen mit seinen Werten eine intermediäre Stellung innerhalb der Beregnungsvariante ein.

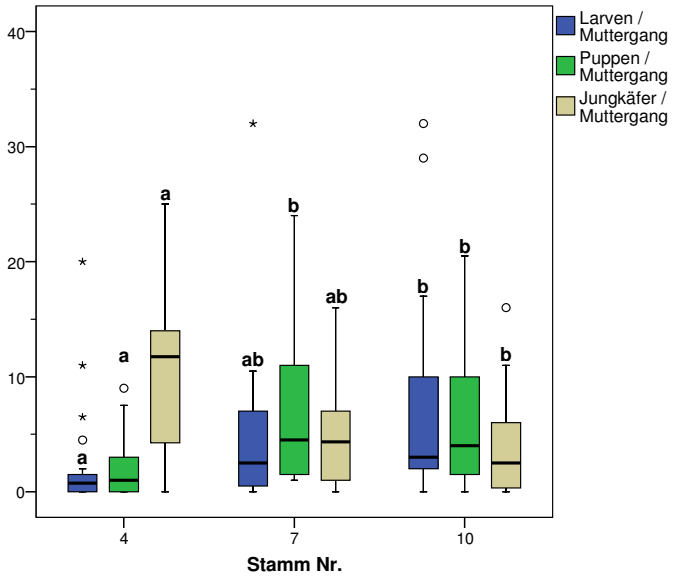

Abb. 28: Kontrollstämme 4, 7 und 10: Anzahl Larven-, Puppen- und Jungkäfer/Muttergang. Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede des Parameters zwischen den Versuchsstämmen (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; P≤0,05)

Bei der Anzahl heller Jungkäfer/Muttergang konnte kein Unterschied zwischen den Stämmen festgestellt werden (Kruskal-Wallis-Test mit P=0,332). Der Vergleich der Anzahl dunkler Jungkäfer/Muttergang ergab, dass die Stämme 7 und 10 signifikant weniger dunkle Jungkäfer aufwiesen als Stamm 4. Dies festigt die oben getroffene Vermutung, dass die Entwicklung der Nachkommenschaft der Versuchsstämme 7 und 10 langsamer verlaufen ist als bei Versuchsstamm 4.

Variante: schwache Beregnung (Versuchsstämme 5, 8 und 11)

Die gemessenen Muttergänglängen an Stamm 5 waren signifikant länger als jene der Stämme 8 und 11, welche sich nicht voneinander unterschieden (einfaktorielle ANOVA mit post-hoc Scheffé-Test; P≤0,05; n=57). Bei Betrachtung der Parameter „Larven/Muttergang“, „Puppen/Muttergang“ und „Jungkäfer/Muttergang“ ergab sich ein ähnliches Bild wie im vorangegangenen Vergleich der Kontrollstämme (Abb. 29): Die Brutentwicklung des früh der Beregnung ausgesetzten Versuchsstammes 5 war weiter fortgeschritten (signifikant höhere Anzahl Jungkäfer) als jene der Stämme 8 und 11, die später den Beregnungsversuch durchlaufen haben (Abb. 27).

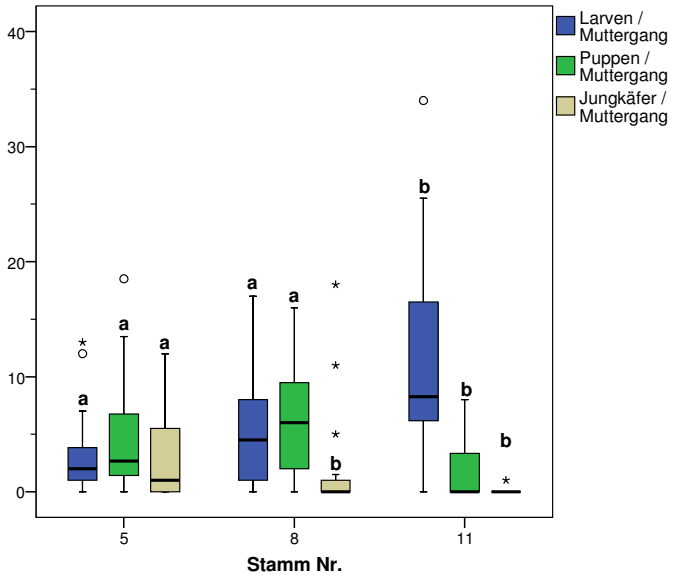

Abb. 29: Schwach beregnete Versuchsstämme 5, 8 und 11: Anzahl Larven-, Puppen- und Jungkäfer/Muttergang. Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede des Parameters zwischen den Versuchsstämmen (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; P≤0,05)

Jungkäfer kamen ausschließlich hell gefärbt vor, wobei, wie aus Abb. 29 ersichtlich, die Mehrzahl der Jungkäfer im Versuchsstamm 5 gefunden wurde.

Variante: starke Beregnung (Versuchsstämme 6, 9 und 12)

Die Überprüfung der Muttergänglängen erbrachte keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stämmen der Variante (Kruskal-Wallis-Test mit

P=0,175). Bei der anschließenden Überprüfung der Häufigkeiten von den einzelnen Entwicklungsstadien je Muttergang konnte festgestellt werden, dass Versuchsstamm 6 signifikant weniger Larven aufwies als Stamm 12 (Abb. 30). Nachdem Versuchsstamm 6 trendmäßig auch eine höhere Anzahl Jungkäfer / Muttergang als Stamm 12 enthält, kann daraus geschlossen werden, dass die Brutentwicklung im Stamm 6 schneller verlaufen ist.

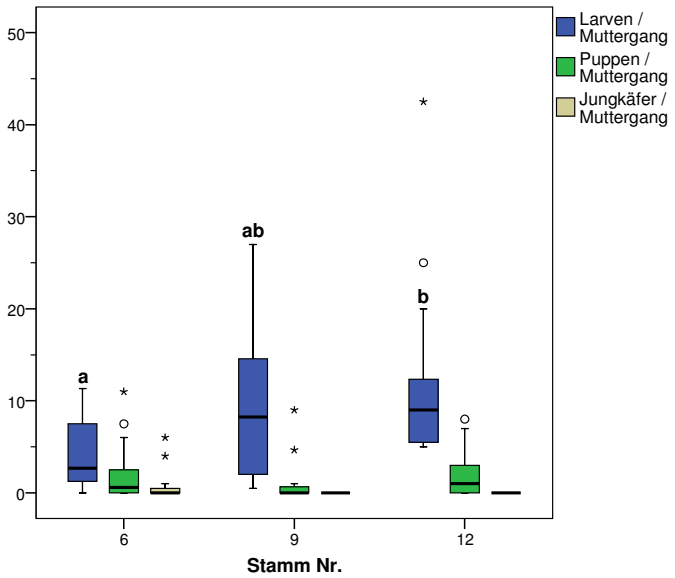

Abb. 30: Stark beregnete Versuchsstämme 6, 9 und 12: Anzahl Larven-, Puppen- und Jungkäfer/Muttergang. Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede des Parameters zwischen den Versuchsstämmen (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; P≤0,05)

Brutbilder mit Jungkäfern kamen bei dieser Beregnungsvariante nur vereinzelt und ausschließlich im Versuchsstamm 6 vor und waren dann hell gefärbt.

Vergleich der Ergebnisse zwischen den Beregnungsvarianten

Nachdem die Überprüfung der Ergebnisse innerhalb der Beregnungsvarianten signifikante Unterschiede hervorgebracht hatte, erfolgte für die weitere Auswertung eine Gegenüberstellung der Beregnungsvarianten nach dem Beginn der Beregnung, womit der Außentemperaturverlauf für die zu vergleichenden Stämme identisch war (Tab. 9).

Tab. 9: Summen und Mittelwerte (bezogen auf die Muttergänge) der Entwicklungsparameter von *Ips typographus* in den einzelnen Versuchsstämmen der Versuchsvariante B nach einmonatigem Aufenthalt unter verschiedenen Beregnungsintensitäten (St.: Stamm, BB: Brutbild, Sum: Summe, MG: Muttergang, MW: Mittelwert, Std. Abw.: Standardabweichung, LG: Larvengang, La: Larve, Pu: Puppe, JK: Jungkäfer)

Start Beregnung	Variante	St. Nr.	BB Sum	MG Sum	MG Länge MW [cm]	Std. Abw.	LG MW	Std. Abw.	La Sum	Pu Sum	JK Sum	La/ MG	Pu/ MG	JK/ MG
03.08.	Kontrolle	4	20	30	6,6	2,3	26	12	64	66	301	2,1	2,2	10,0
03.08.	schwach	5	19	31	6,9	2,9	21	15	118	149	84	3,8	4,8	2,7
03.08.	stark	6	16	30	6,1	2,8	22	16	131	56	19	4,4	1,9	0,6
10.08.	Kontrolle	7	14	26	6,4	2,7	19	11	111	155	163	4,3	6,0	6,3
10.08.	schwach	8	18	28	5,0	2,0	16	10	166	179	47	5,9	6,4	1,7
10.08.	stark	9	12	27	5,0	3,0	12	12	239	35	0	8,9	1,3	0,0
17.08.	Kontrolle	10	17	30	5,9	2,5	24	17	178	205	100	5,9	6,8	3,3
17.08.	schwach	11	20	35	5,3	2,5	17	12	377	44	2	10,8	1,3	0,1
17.08.	stark	12	17	31	5,1	2,9	17	17	383	56	0	12,4	1,8	0,0
Gesamt		9	153	268					1.767	945	716			

Beregnungsstart: 3. August (Versuchsstämme 4-6)

Der Vergleich der Muttergänglängen und der Anzahl Larvengänge/Muttergang zwischen den Varianten: Kontrolle, schwache Beregnung und starke Beregnung zeigte keine signifikanten Unterschiede (einfaktorielle ANOVA mit P=0,529; n=91 beziehungsweise Kruskal-Wallis-Test mit P=0,181) (Tab. 9).

Bei der Gegenüberstellung der Anzahl Larven/Muttergang konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Abb. 31, linke Graphik). Ein trendmäßiger Anstieg der Anzahl Larven mit zunehmender Beregnungsintensität geht jedoch aus der Graphik hervor, woraus abgeleite werden kann, dass in beregneten Stämmen mehr junge Entwicklungsstadien (Larven) vorkamen.

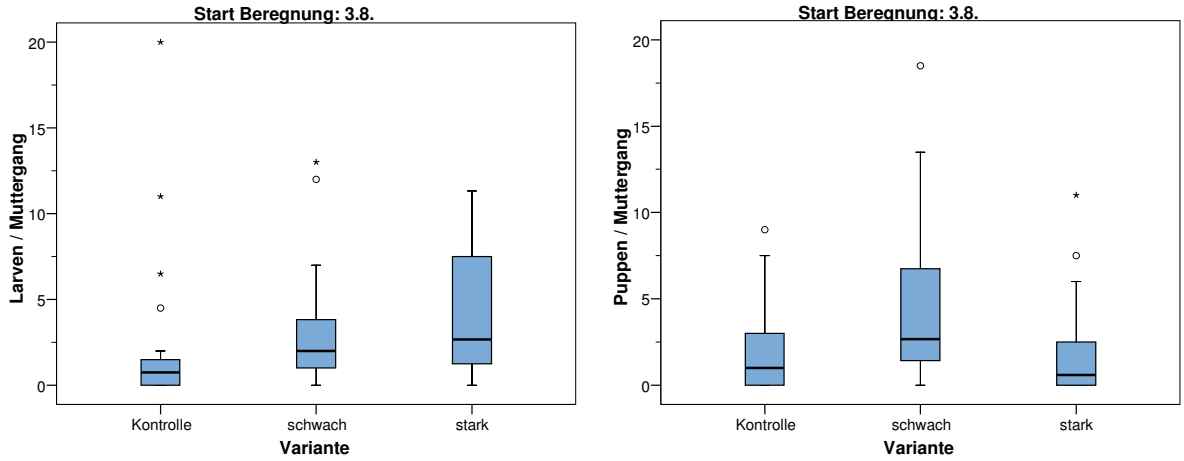

Abb. 31: Anzahl Larven/Muttergang (links) und Puppen/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Es konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Linke Graphik: Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,019, Kontrolle zu stark: P=0,021, schwach zu stark: P=0,635. Rechte Graphik: Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,022, Kontrolle zu stark: P=0,765, schwach zu stark: P=0,024

Die Analyse der Anzahl Puppen/Muttergang brachte ebenfalls keinen signifikanten Unterschied hervor (Abb. 31, rechte Graphik).

Hinsichtlich der Anzahl Jungkäfer/Muttergang wurden signifikant höhere Werte im Kontrollstamm als bei den beregneten Stämmen gefunden (Abb. 32, linke Graphik). Die Anzahl Jungkäfer/Muttergang der beiden beregneten Versuchsstämme unterschied sich nicht signifikant voneinander. Stellt man die Graphiken der drei Parameter Larven-, Puppen- und Jungkäfer/Muttergang einander gegenüber so ist ersichtlich, dass sich die zu Beginn beobachtete Häufigkeitsverteilung beim Larvenstadium bis zum Jungkäferstadium umkehrt. Dieses Ergebnis beweist, dass die Entwicklungsgeschwindigkeit bei der Kontrolle schneller war (höhere Anzahl später Entwicklungsstadien), als bei den beiden beregneten Stämmen. Innerhalb der Beregnungsvarianten lässt sich das Ergebnis trendmäßig fortsetzen.

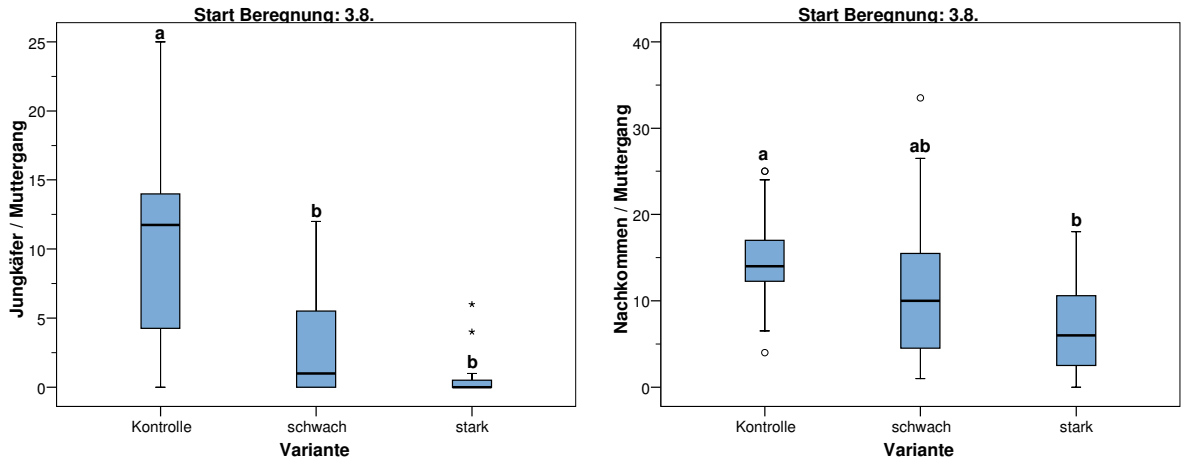

Abb. 32: Anzahl der Jungkäfer/Muttergang (links) und der insgesamt sich entwickelnden Nachkommen/Muttergang (Larven, Puppen, Jungkäfer; rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede. Linke Graphik: Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,000, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,047. Rechte Graphik: Einfaktorielle ANOVA mit post-hoc Scheffé-Test; n=91; Kontrolle zu schwach: P=0,304, Kontrolle zu stark: P=0,003, schwach zu stark: P=0,120

In der Anzahl der Nachkommen/Muttergang war das Ergebnis der Kontrolle wiederum signifikant höher als jenes der starken Beregnung, woraus geschlossen werden kann, dass die Brutbedingungen bei der Kontrolle besser waren als bei der starken Beregnung (Abb. 32, rechte Graphik). Die schwache Beregnung wies dagegen keinen signifikanten Unterschied von der Kontrolle wie auch von der starken Beregnung auf, wenngleich deren intermediäre Stellung deutlich aus der Graphik hervorgeht.

Für den Entwicklungsvergleich der Jungkäfer wurde wiederum der Grad der Verfärbung herangezogen: Die Anzahl heller Jungkäfer/Muttergang war bei der Kontrolle am höchsten und unterschied sich signifikant von der Anzahl heller Jungkäfer des stark beregneten Stammes (Abb. 33, linke Graphik). Das Ergebnis des schwach beregneten Stammes unterschied sich nicht von den beiden anderen Ergebnissen.

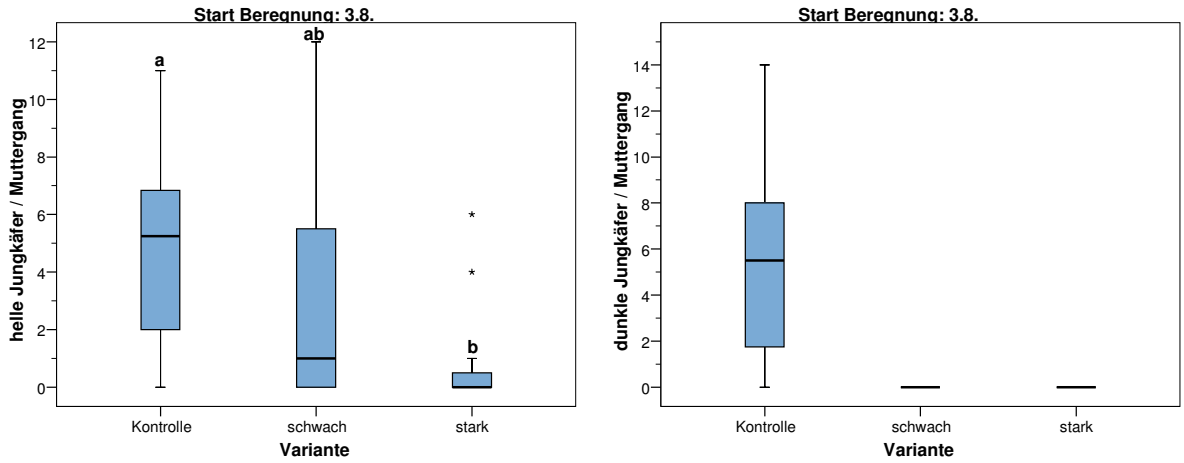

Abb. 33: Anzahl von hellen Jungkäfern/Muttergang (links) und dunklen Jungkäfern/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Linke Graphik: Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,113, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,041). Rechte Graphik: Bei den beiden beregneten Versuchsstämmen wurden keine dunklen Jungkäfer gefunden

Dunkel gefärbte Jungkäfer konnten nur beim Versuchsstamm der Kontrolle festgestellt werden; die beregneten Stämme wiesen keine ausgefärbten Jungkäfer auf (Abb. 33, rechte Graphik). Die Entwicklung der Nachkommen dürfte somit im Kontrollstamm schneller erfolgt sein als bei den beregneten Stämmen.

Beim Vergleich der Dichte der Larvengänge konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Beregnungsintensitäten festgestellt werden (Abb. 34, linke Graphik). Nach neuntägigem Käferansatz im Labor dürfte sich die Beregnung nicht mehr auf die Anzahl Larvengänge/cm Muttergang ausgewirkt haben.

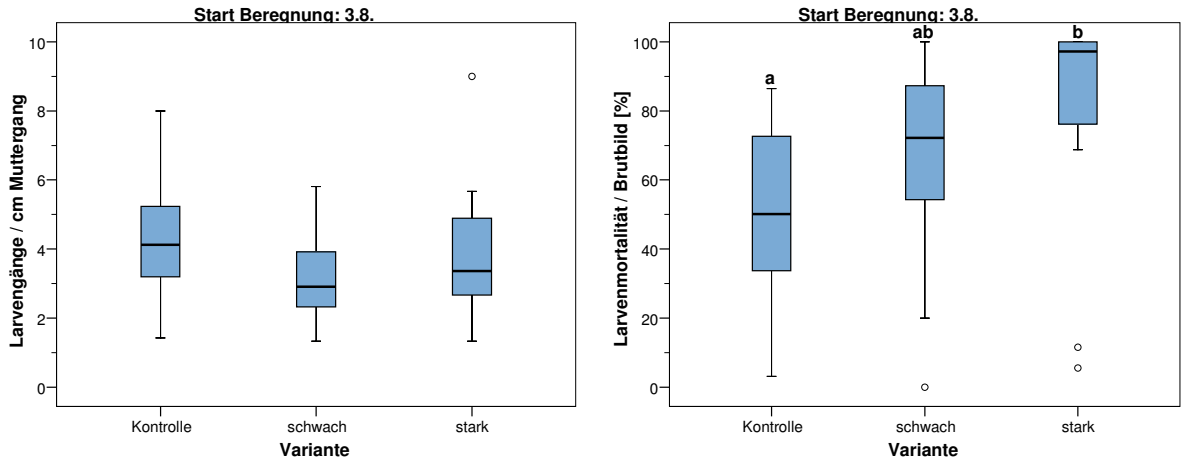

Abb. 34: Larvengänge/cm Muttergang (links) und Mortalität der Larven/Brutbild (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Linke Graphik: Es wurde kein signifikanter Unterschied gefunden (einfaktorielle ANOVA mit P=0,063; n=91). Rechte Graphik: Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,041, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,029)

Die Larvenmortalität fiel beim Kontrollstamm mit durchschnittlich 50,7% (±24,5%) signifikant geringer aus als beim stark beregneten Versuchsstamm (81,8% ±30,4%) (Abb. 34, rechte Graphik). Der Versuchsstamm der schwachen Beregnung wies bezüglich der Larvenmortalität keine signifikante Abweichung von den anderen Varianten auf (66,5% ±28,1%). Mit diesen Ergebnissen wird ersichtlich, dass mit zunehmender Beregnungsintensität ein Anstieg der Larvenmortalitätsrate verzeichnet werden konnte.

Beregnungsstart: 10. August (Versuchsstämme 7-9)

Auch in diesem Versuchsansatz brachte der Vergleich der Muttergänglängen und der Anzahl der Larvengänge/Muttergang keine signifikanten Unterschiede hervor (Kruskal-Wallis-Test mit P=0,108 beziehungsweise P=0,086) (Tab. 9).

Die in Abb. 35 (linke Graphik) dargestellte Anzahl der Larven/Muttergang der jeweiligen Beregnungsvarianten ergaben keine signifikanten Unterschiede, wenngleich diesbezüglich ein trendmäßig ansteigender Verlauf von der Kontrolle über die schwache Beregnung bis hin zur starken Beregnung aus der Graphik hervorgeht.

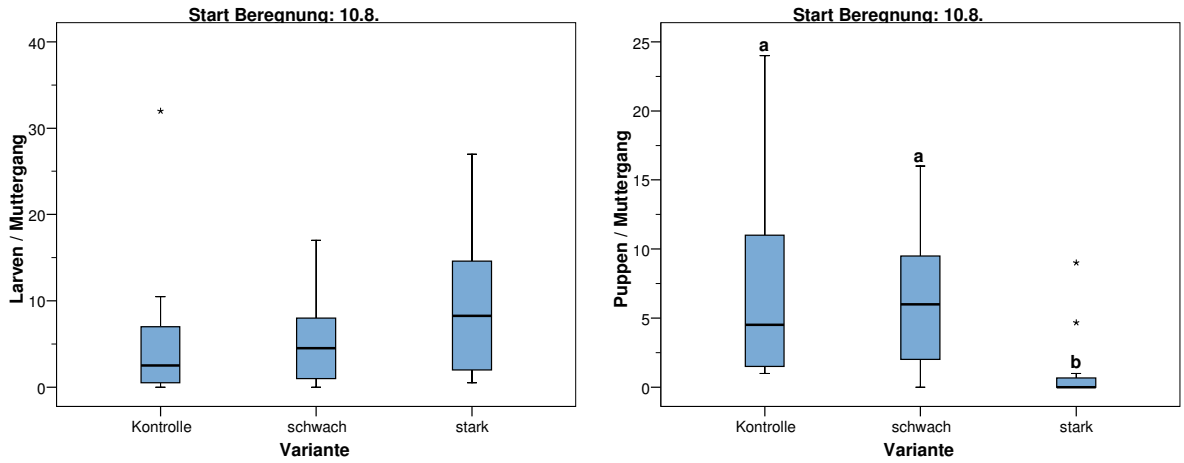

Abb. 35: Anzahl Larven/Muttergang (links) und Puppen/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Linke Graphik: Es konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Kruskal-Wallis-Test mit P=0,147). Rechte Graphik: Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,985, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,006)

Wie schon beim Beregnungsstart vom 3. August ergab die Verteilung der Anzahl Puppen/Muttergang der verschiedenen Varianten ein gegenläufiges Bild zur Verteilung der Anzahl Larven/Muttergang (Abb. 35, rechte Graphik). Die schwache Beregnung wies wiederum die höchste Zahl an Puppen auf. Der Versuchsstamm unter starker Beregnung wies signifikant geringere Anzahlen Puppen/Muttergang auf als die Stämme der schwachen Beregnung und der Kontrolle.

Deutlicher tritt die Umkehr der Häufigkeitsverteilung bei Betrachtung der Anzahl Jungkäfer/Muttergang hervor (Abb. 36, linke Graphik): In der Kontrolle wurden signifikant mehr Jungkäfer/Muttergang gefunden als beim schwach beregneten Versuchsstamm. Im stark beregneten Versuchsstamm konnten sich bis zum Ende des Experimentes keine Jungkäfer entwickeln.

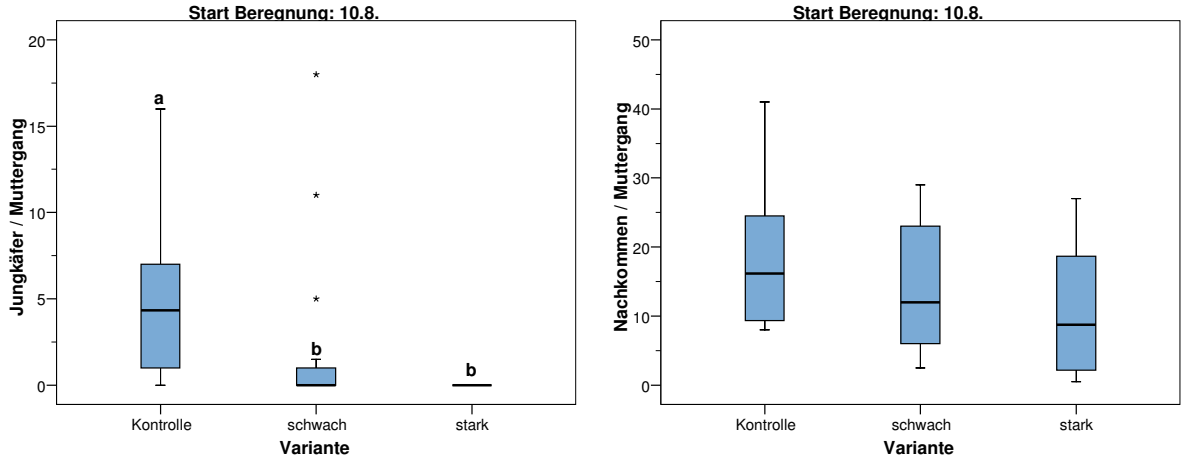

Abb. 36: Anzahl der Jungkäfer/Muttergang (links) und der insgesamt sich entwickelnden Nachkommen/Muttergang (Larven, Puppen, Jungkäfer; rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Linke Graphik: Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,008, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,079). Rechte Graphik: Es konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (einfaktorielle ANOVA mit P=0,154; n=81)

Obwohl mit intensiverer Beregnung ein abnehmender Trend bei der Anzahl der Nachkommen ersichtlich ist, konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten nachgewiesen werden (Abb. 36, rechte Graphik).

Die Anzahl hell gefärbter Jungkäfer nahm mit zunehmender Beregnungsintensität ab (Abb. 37, linke Graphik). Die Kontrolle unterschied sich dabei signifikant von der schwachen Beregnung. Der Versuchsstamm der starken Beregnung wies keine Jungkäfer auf.

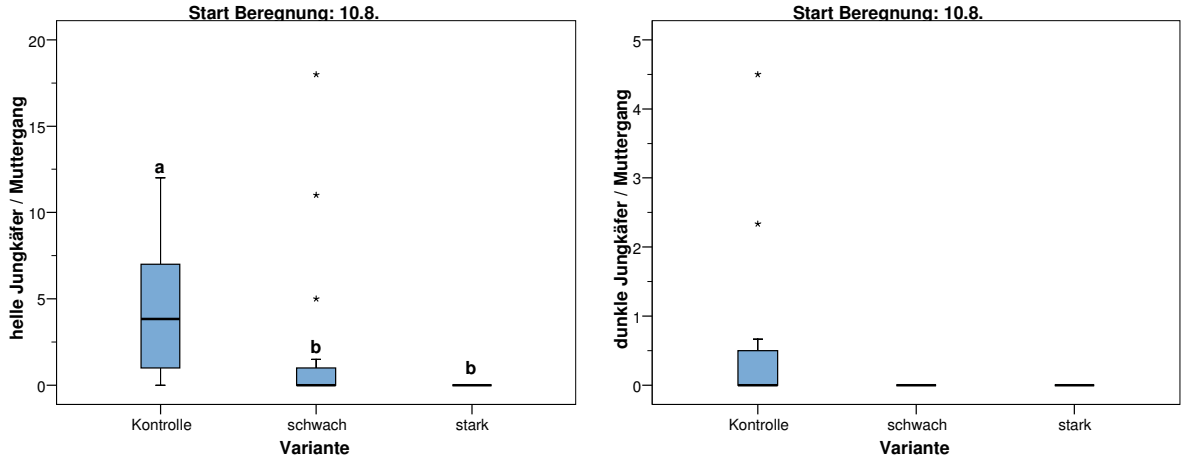

Abb. 37: Anzahl von hellen Jungkäfern/Muttergang (links) und dunklen Jungkäfern/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Linke Graphik: Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,009, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,079). Rechte Graphik: Die beiden beregneten Versuchsstämmen wiesen keine dunklen Jungkäfer auf

Dunkel gefärbte Jungkäfer wurden nur in der Kontrolle gefunden (Abb. 37, rechte Graphik). Auch hier lässt sich eine deutlich schnellere Entwicklung der Borkenkäfer an dem Kontrollstamm gegenüber den beregneten Versuchsstämmen erkennen.

Bei der Dichte der Larvengänge je Zentimeter Muttergang wurde kein signifikanter Unterschied gefunden (Abb. 38, linke Graphik).

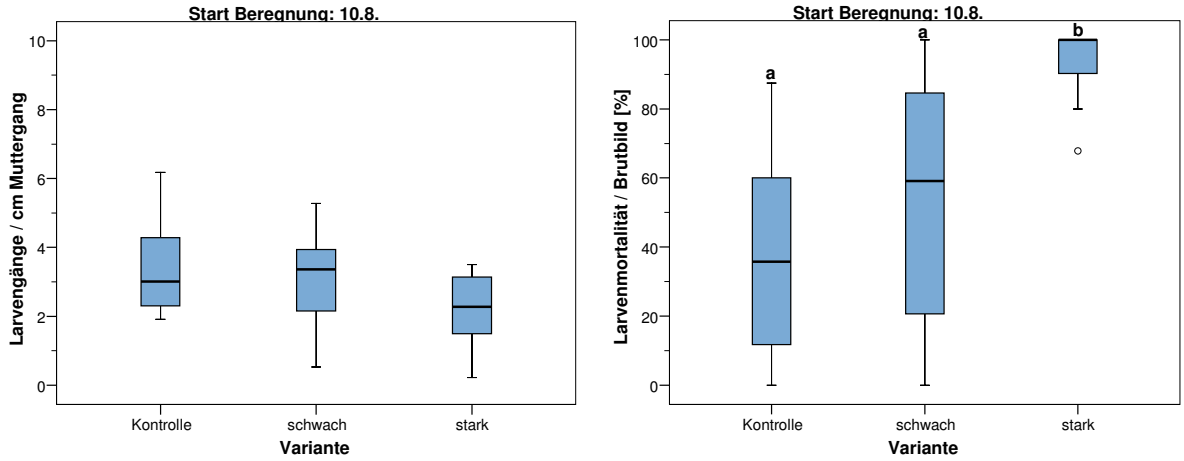

Abb. 38: Larvengänge/cm Muttergang (links) und Mortalität der Larven/Brutbild (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Linke Graphik: Es wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt (einfaktorielle ANOVA mit P=0,058; n=81). Rechte Graphik: Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,251, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,001)

Bei Gegenüberstellung der Larvenmortalität der einzelnen Varianten ergab sich ein klar ansteigender Trend der Verlustrate mit zunehmender Beregnung (Abb. 38, rechte Graphik). Die Mortalitätsrate war bei der Kontrolle mit durchschnittlich 38,6% (±29,0%) am geringsten und unterschied sich somit signifikant von der Variante mit starker Beregnung (94,0% (±10,4%). Mit einem Mittelwert von 53,3% (±35,3%) lag der schwach beregnete Versuchsstamm trendmäßig über der Kontrolle und signifikant unter der Rate vom Stamm mit starker Beregnung.

Beregnungsstart: 17. August (Versuchsstämme 10-12)

Muttergänglängen und Anzahl Larvengänge/Muttergang wiesen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsstämmen auf (Kruskal-Wallis-Test mit P=0,203 beziehungsweise P=0,075) (Tab. 9).

Auch hier setzt sich der schon bei den vorherigen Startterminen beobachtete, trendmäßige Anstieg der Anzahl Larven/Muttergang mit zunehmender Beregnungsdauer fort (A+bb. 39, linke Graphik). Die Anzahl der Larven/Muttergang der Kontrolle lag signifikant unter der der starken Beregnung. Das Ergebnis der

schwachen Beregnung unterschied sich nicht signifikant von den beiden anderen Varianten.

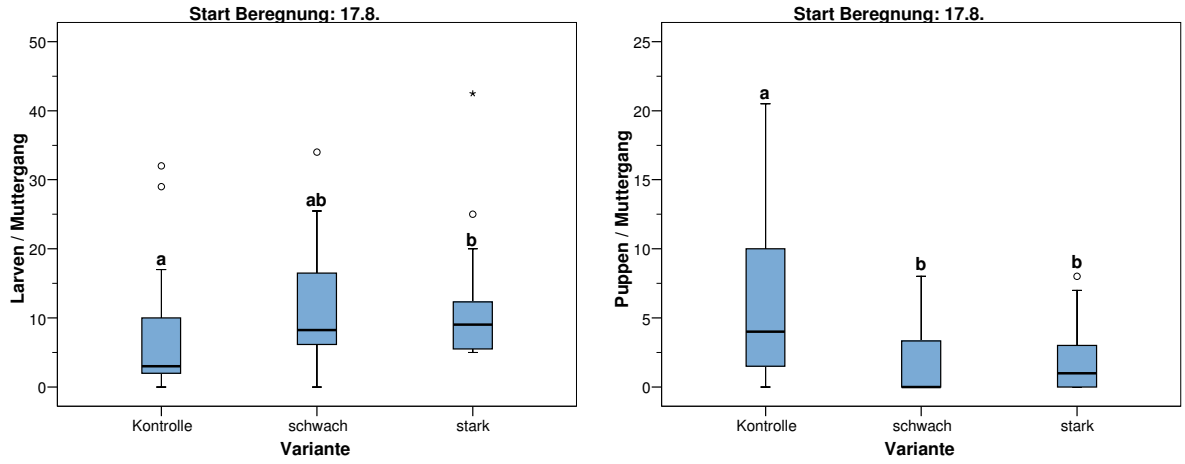

Abb. 39: Anzahl Larven/Muttergang (links) und Puppen/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede. Linke Graphik: Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,033, Kontrolle zu stark: P=0,007, schwach zu stark: P=0,940. Rechte Graphik: Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,001, Kontrolle zu stark: P=0,012, schwach zu stark: P=0,326

Der bisher aufgezeigte Trend mit der höchsten Anzahl Puppen/Muttergang bei der schwachen Beregnung war bei diesem Starttermin nicht mehr nachvollziehbar (Abb. 39, rechte Graphik). Bei der Auswertung der Anzahl Puppen/Muttergang wiesen die Muttergänge der Kontrolle signifikant mehr Puppen auf als jene der Beregnungsvarianten. Die Entwicklung der Nachkommen dürfte hier temperaturbedingt schon deutlich langsamer verlaufen sein als bei den vorherigen Startterminen, sodass die Umkehr der Häufigkeitsverteilung schon bei der Anzahl Puppen/Muttergang eingetreten ist (Abb. 27).

Wieder dem bisher beobachteten Trend entsprechend ist die Verteilung der Anzahl Jungkäfer/Muttergang mit signifikant höheren Werten in der Kontrolle als beim schwach beregneten Versuchsstamm (Abb. 40, linke Graphik). Der Versuchsstamm der starken Beregnung brachte auch hier keine Jungkäfer hervor.

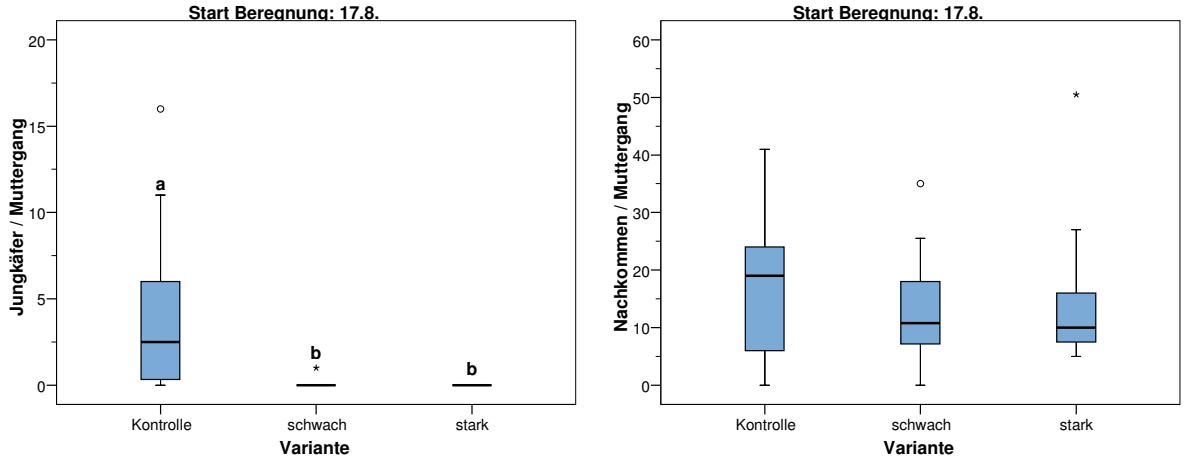

Abb. 40: Anzahl der Jungkäfer/Muttergang (links) und der insgesamt sich entwickelnden Nachkommen/Muttergang (Larven, Puppen, Jungkäfer; rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Linke Graphik: Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,000, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,798). Rechte Graphik: Es konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Kruskal-Wallis-Test mit P=0,391)

Im Vergleich der Anzahl der Nachkommen/Muttergang konnte eine trendmäßige Abnahme mit zunehmender Beregnung festgestellt werden, welche aber statistisch nicht signifikant war (Abb. 40, rechte Graphik).

Die höchste Anzahl heller Jungkäfer/Muttergang wurde bei der Kontrolle gefunden, welche sich vom schwach beregneten Versuchsstamm signifikant unterschied (Abb. 41, linke Graphik). Die Auswertung des stark beregneten Versuchstammes ergab keine Jungkäfer.

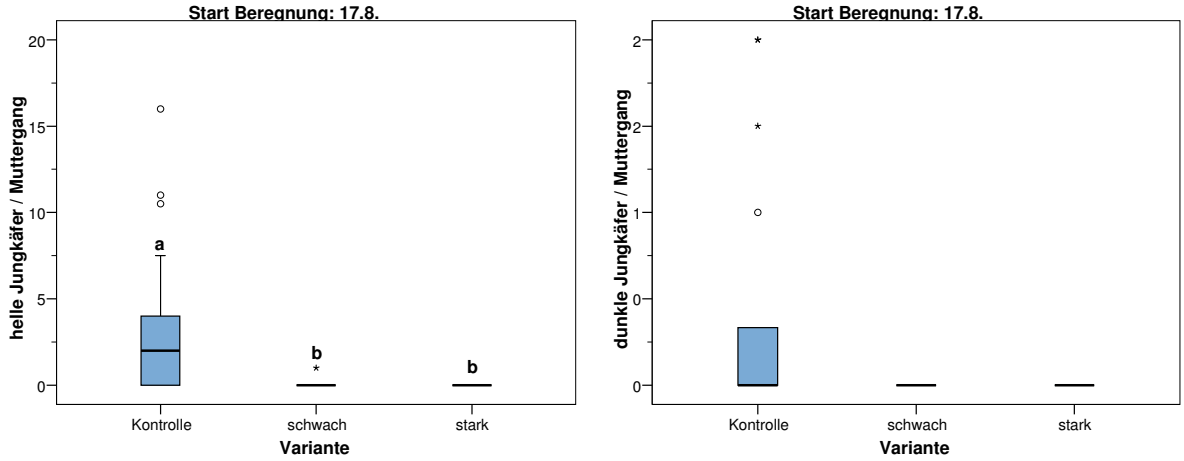

Abb. 41: Anzahl von hellen Jungkäfern/Muttergang (links) und dunklen Jungkäfern/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Linke Graphik: Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,00, Kontrolle zu stark: P=0,000, schwach zu stark: P=0,798). Rechte Graphik: Bei den beiden beregneten Versuchsstämmen wurden keine dunklen Jungkäfer gefunden

Dunkel gefärbte Jungkäfer wurden nur im Versuchsstamm der Kontrolle gefunden (Abb. 41, rechte Graphik). Damit kann aufgezeigt werden, dass die Entwicklungsgeschwindigkeit der Bruten bei dem nicht beregneten Kontrollstamm höher war als bei den beregneten Versuchsstämmen.

Eine Gegenüberstellung der Dichte der Larvengänge ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Beregnungsvarianten (Abb. 42, linke Graphik).

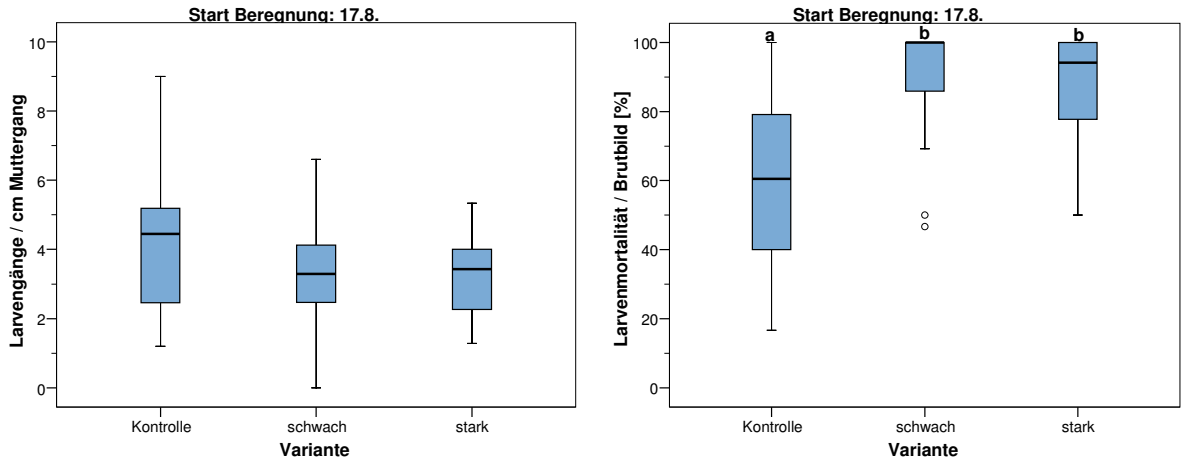

Abb. 42: Larvengänge/cm Muttergang (links) und Mortalität der Larven/Brutbild (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten. Linke Graphik: Es wurde kein signifikanter Unterschied gefunden (einfaktorielle ANOVA mit P=0,219; n=96). Rechte Graphik: Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; Kontrolle zu schwach: P=0,000, Kontrolle zu stark: P=0,004, schwach zu stark: P=0,297)

Die Larvenmortalität/Brutbild ergab einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrolle mit durchschnittlich 62,0% (±25,5%) und den beiden beregneten Versuchsstämmen (90,4% (±17,1%) bzw. 86,8% (±17,0%) (Abb. 42, rechte Graphik). Somit bestätigten auch diese 3 Versuchsstämme, dass die beregneten Stämme signifikant höhere Verlustraten bei Larven aufwiesen als der Kontrollstamm.

Gesamtübersicht der erzielten Ergebnisse von Versuchsvariante B

Bis auf den Parameter Anzahl Larvengänge/cm Muttergang, bei der zu keinem Beregnungsstart signifikante Unterschiede zwischen den Beregnungsvarianten festgestellt werden konnten, gibt Tab. 10 einen Überblick über die statistischen Ergebnisse wieder.

Tab. 10: Übersicht der Mittelwerte und Standardabweichungen der statistischen Überprüfungen nach dem Start der Beregnung (La: Larven, MG: Muttergang, Std. Abw.: Standardabweichung, Pu: Puppen, JK: Jungkäfer, Nachk.: Summe der Nachkommen, Mort.: Mortalität, BB: Brutbild, k.A.: keine Angabe)

Start Beregnung	Variante	La/ MG	Std. Abw.	Pu/ MG	Std. Abw.	JK/ MG	Std. Abw.	Nachk./ MG	Std. Abw.	helle JK/ MG	Std. Abw.	dunkle JK/ MG	Std. Abw.	La Mort./ BB [%]	Std. Abw.
3.8.	Kontrolle	2,5	5,1	2,0	2,6	$10,4^{a}$	7,1	$15,0^{a}$	5,6	$4,8^{a}$	3,2	5,6	4,2	$50,7^{a}$	24,5
	schwach	3,5	3,7	4,8	5,1	$3,3^{b}$	4,2	$11,6^{ab}$	8,6	$3,3^{ab}$	4,2	k.A.	k.A.	$66,5^{ab}$	28,1
	stark	4,0	3,5	2,1	3,3	$0,8^{b}$	1,7	$6,8^{b}$	5,1	$0,8^{b}$	1,7	k.A.	k.A.	$81,8^{b}$	30,4
10.8.	Kontrolle	5,5	8,4	$7,4^{a}$	8,1	$5,2^{a}$	4,9	18,1	10,0	$4,6^{a}$	4,0	0,6	1,3	$38,6^{a}$	29,0
	schwach	5,7	5,6	$6,1^{a}$	5,1	$2,1^{b}$	4,8	13,9	8,5	$2,1^{b}$	4,8	k.A.	k.A.	$53,3^{a}$	35,8
	stark	9,7	8,2	$1,3^{b}$	2,9	k.A.	k.A.	11,0	9,4	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	$94,0^{b}$	10,4
17.8.	Kontrolle	$7,6^{a}$	9,7	$6,4^{a}$	6,2	$4,0^{a}$	4,8	18,0	11,8	$3,6^{a}$	4,8	0,4	0,7	$62,0^{a}$	25,5
	schwach	$11,7^{ab}$	9,0	$1,4^{b}$	2,3	$0,1^{b}$	0,2	13,1	8,9	$0,1^{b}$	0,2	k.A.	k.A.	$90,4^{b}$	17,1
	stark	$11,8^{b}$	9,6	$2,0^{b}$	2,6	k.A.	k.A.	13,8	11,1	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	$86,8^{b}$	17,0

Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede

Der schon bei der Eingangsüberprüfung der Datensätze festgestellte Einfluss der gestaffelten Startzeitpunkte auf die Entwicklungsgeschwindigkeit der Nachkommenschaften wird bei Gegenüberstellung der prozentuellen Anteile von Larven-, Puppen- und Jungkäfer/Muttergang, gegliedert nach Beregnungsvariante und Startzeitpunkt, ersichtlich (Abb. 43). Besonders deutlich tritt der Effekt zwischen dem 3.8. und dem 17.8. hervor: Waren bei der Auswertung der Versuchsstämme vom Beregnungsstart 3.8. noch in jedem Versuchsstamm Jungkäfer zu finden, so brachte die Analyse der Versuchsstämme vom Beregnungsstart 17.8. nur mehr Jungkäfer in der Kontrolle und der schwachen Beregnung (1 Brutbild von 20 wies hier Jungkäfer auf) hervor. Der Startzeitpunkt 10.8. nimmt in dieser Gegenüberstellung eine deutliche Zwischenstellung ein.

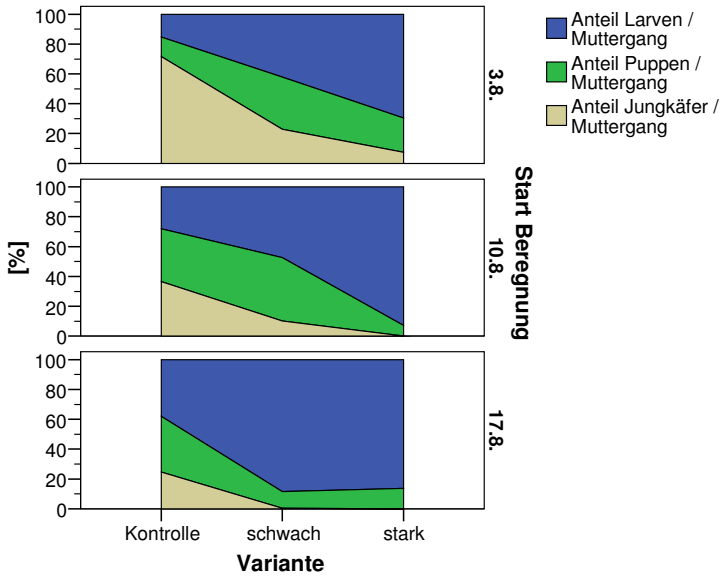

Abb. 43: Prozentuelle Verteilung von Larven-, Puppen- und Jungkäfern/Muttergang gegliedert nach den Beregnungsvarianten und dem Start der Beregnung

3.2.3. Relative Bastfeuchte der Versuchsstämme

Die Versuchsstämme wurden mit einer mittleren Bastfeuchte von 158% (±11,0%) aus dem Labor in die Beregnungsanlage transferiert. Nach der ersten Woche in der Anlage erhöhte sich diese auf 186%-197% (Tab. 11). Interessanterweise wiesen die Kontrollstämme dabei sogar höhere Feuchtigkeitswerte auf als die Versuchsstämme der starken Beregnung. Erst in der 3. Woche erreichten die Stämme der starken Beregnung die erwarteten höheren Feuchtigkeitsgehalte als die Kontrolle, lagen dabei aber immer noch hinter den ermittelten Werten der schwachen Beregnung zurück. Nach Ablauf des Versuches in der 4. Woche hatten die Versuchsstämme der schwachen Beregnung die höchsten Bastfeuchtigkeiten gefolgt von der starken Beregnung. Die Bastfeuchte der Kontrollstämme lag nur geringfügig unterhalb jener der beregneten Stämme.

Tab. 11: Mittelwerte (MW) und Standardabweichungen (Std. Abw.) der Bastfeuchte (%) gegliedert nach Entnahmestelle (Kontrollstämme immer nur eine Probenahme je Stamm) und Zeitpunkt der Probenahme

Zeitpunkt	Kontrollstämme		schwache Beregnung				starke Beregnung			
		Std. Abw.	oben	Std. Abw.	unten	Std. Abw.	oben	Std. Abw.	unten	Std. Abw.
1. Woche	190	6,0	197	8,6	192	6,9	189	17,2	186	25,2
2. Woche	194	12,2	216	23,1	198	14,3	191	27,1	194	7,0
3. Woche	187	32,4	196	13,3	199	25,8	193	16,0	198	15,6
4. Woche	197	22,7	216	14,2	217	24,5	206	23,6	208	16,8

Der Verlauf der Bastfeuchte innerhalb einer Beregnungsvariante über den Versuchszeitraum ergab keine signifikanten Unterschiede (Abb. 44). Dennoch lässt sich ein leichter trendmäßiger Anstieg der Werte von der 1. Woche bis zur 4. Woche aus den Graphiken ablesen.

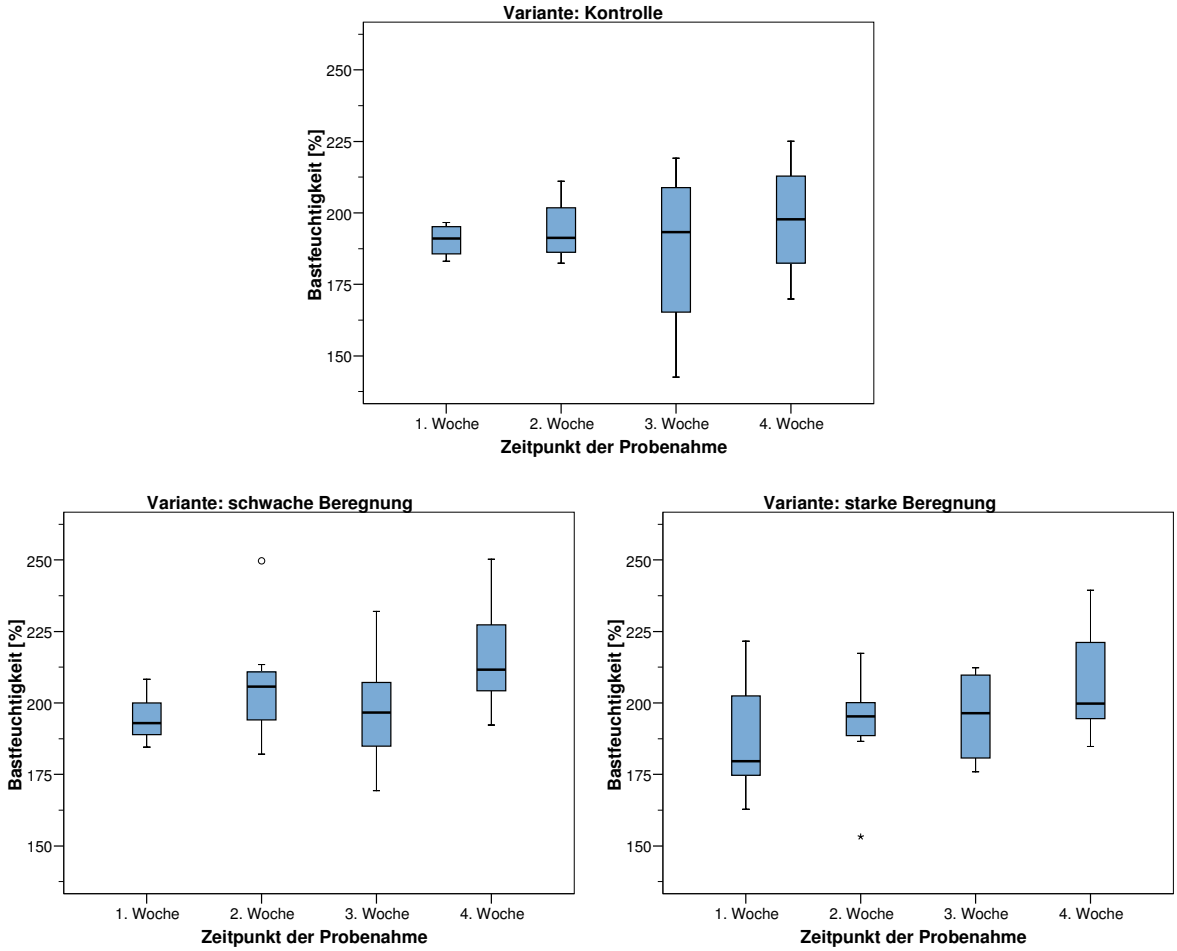

Abb. 44: Bastfeuchten (%) der Varianten während des Beregnungsexperiments. Es konnten keine signifikanten Unterschied festgestellt werden (einfaktorielle ANOVA; P≤0,05; n=16 (Kontrolle) bzw. n=32 (beregnete Versuchsstämme))

Die Proben, welche von Ober- und Unterseite der beregneten Versuchsstämme entnommen wurden, ließen ebenfalls keinen signifikanten Unterschied in der Bastfeuchte erkennen (Kruskal-Wallis-Test mit P=0,386 bzw. einfaktorielle ANOVA mit P=0,782; n=32) (Abb. 45). Die gleichmäßige Abschirmung der Beregnungsanlagen vor direkter Sonneneinstrahlung dürfte zu den ähnlichen Feuchtigkeitswerten auf beiden Stammseiten geführt haben, wobei auch ein Sättigungsgrad des Bastes erreicht worden sein könnte.

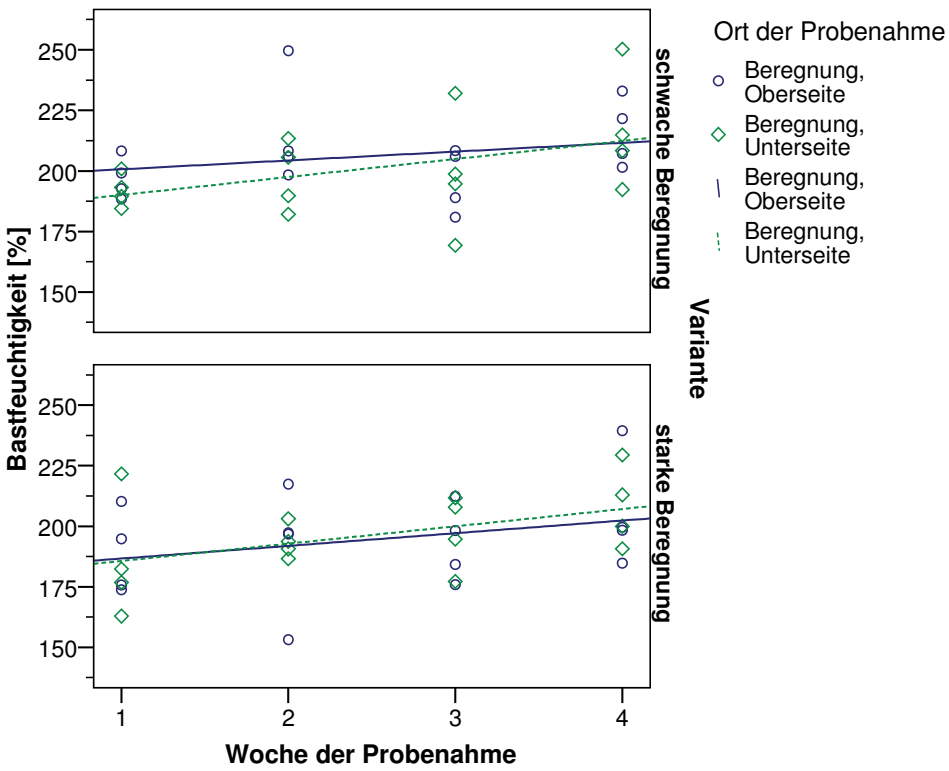

Abb. 45: Verlauf der Bastfeuchten (%) von den beregneten Varianten gegliedert nach der Entnahmestelle während des Beregnungsexperiments

3.3. Einfluss der relativen Luftfeuchte

Die aus diesem Versuch erzielten Ergebnisse ließen keine Behandlung der Fragestellung bzgl. der Wirkung von relativer Luftfeuchte auf die Entwicklung des Buchdruckers zu. Die zu Beginn in Feuchtekammern über gesättigte Salzlösungen im Sandwichplattensystem angesetzten Käfer haben in den wenigsten Fällen mit der Anlage von Brutsystemen begonnen. Der Grund dafür dürfte zum einen in der Modifikation der Sandwichplattentechnik für den Versuch liegen: Zur Förderung des Gasaustausches wurde bei der oberen Plexiglasscheibe (Rindenaußenseite) der innen liegende Bereich heraus geschnitten. Dadurch beschränkte sich aber der Anpressdruck der Außenplatte nur noch auf den Randbereich des Rindenstückes, wodurch sich bei fortschreitender Versuchsdauer das Rindenstück, in der Mitte beginnend, von der unteren Plexiglasscheibe abhob. Vermutlich begründet durch diese Veränderung waren die Käfer nicht in der Lage Muttergänge anzulegen.

Eine weitere Ursache dürfte auch im verwendeten Holz auszumachen sein: Für die Sandwichplattentechnik eignet sich insbesondere Holz, welches in der Vegetationsperiode geerntet worden ist und einen möglichst frischen Zustand vor der Verarbeitung aufweist. Damit wird gewährleistet, dass sich die Rinde problemlos und ohne Zuführung von mechanischen Verletzungen vom Stamm lösen lässt. Die diesem Versuch zugrunde liegenden Stämme erfüllten diese Voraussetzungen nicht mehr.

3.4. Klimakammern

Die Überprüfung des Käferansatzes geschah durch eine Brutbildanalyse vor der Überführung der Stämme von der Erhaltungszucht in das Phytotron. Dabei wurde stellvertretend für eine Versuchsreihe ein 20 cm langes Teilstück eines Stammes (Versuchsstämme 3, 6 und 9) heruntergeschnitten und der Entwicklungsstand der Bruten nach einer Woche analysiert. Damit konnten eventuelle Unterschiede zwischen den Versuchsreihen in der Initialphase der Brutbildung erkannt werden (Abb. 46).

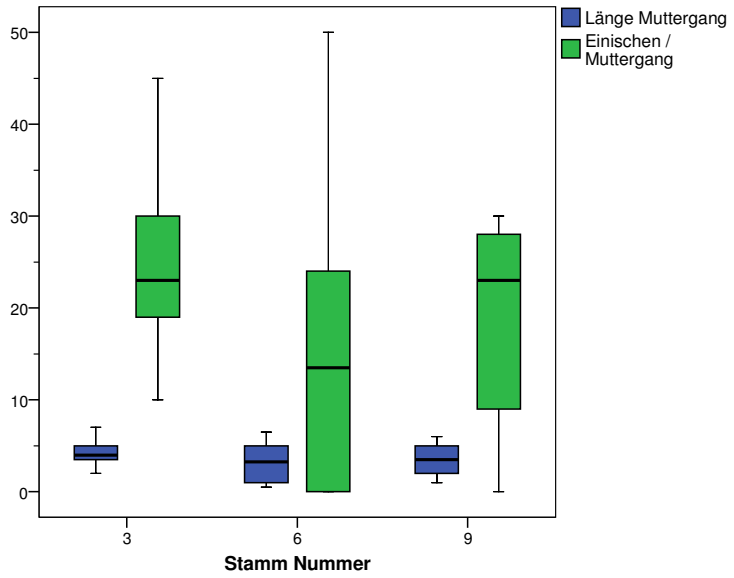

Abb. 46: Entwicklungsstand der Stämme 3, 6 und 9 zum Zeitpunkt der Überführung von der Erhaltungszucht in die Klimakammer. Es konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden

Bezüglich der Muttergänglänge konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Stämmen festgestellt werden (einfaktorielle ANOVA mit P=0,174; n=57). Ebenso unterschieden sich die Stämme vor dem Versuchsbeginn im Phytotron nicht hinsichtlich der Anzahl der Einischen/Muttergang.

Vor der eigentlichen Gegenüberstellung der drei Luftfeuchtevarianten (30%, 50% und 80% r. F.) fand zuerst eine Überprüfung der Ergebnisse innerhalb einer Luftfeuchtevariante statt, um vorhandene Abweichungen an den Versuchsstämmen zu erkennen.

Überprüfung der Ergebnisse innerhalb der Luftfeuchtevarianten

30% relative Luftfeuchtigkeit (Versuchsstämme 7-9)

Die Muttergangslängen unterschieden sich bei den Versuchsstämmen 7-9 nicht signifikant untereinander (einfaktorielle ANOVA mit P=0,380; n=63) (Tab. 12). Bei der Gegenüberstellung der Parameter „Larven/Muttergang“, „Puppen/Muttergang“ und „Jungkäfer/Muttergang“ konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Abb. 47). Basierend auf diese Ergebnisse lässt sich keine unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeit zwischen den Stämmen feststellen.

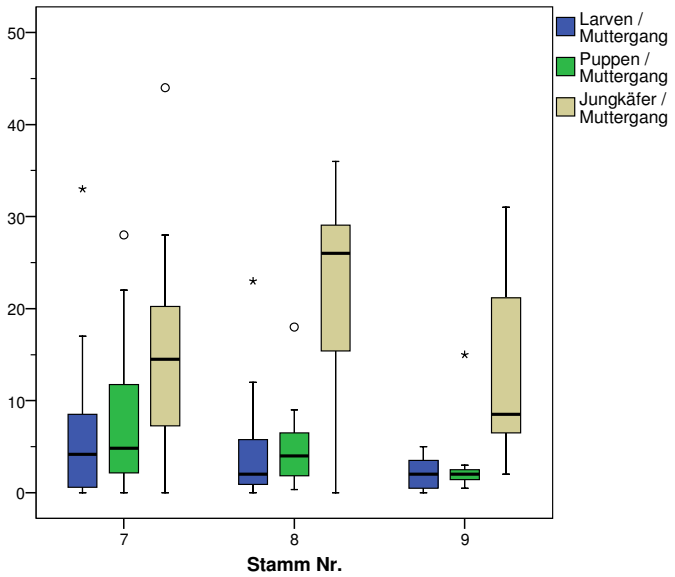

Abb. 47: Der Entwicklungsstand der Tiere in den Versuchsstämmen 7-9 unterschied sich nach einmonatiger Inkubation im Phytotron bei 20°C und 30% r. F. nicht signifikant (Anzahl Larven/Muttergang und Puppen/Muttergang: Kruskal-Wallis-Test mit P=0,603 bzw. P=0,133; Anzahl Jungkäfer/Muttergang: einfaktorielle ANOVA mit P=0,263 (n=63))

Bei Betrachtung der Ausfärbung der Jungkäfer als Hinweis für den Entwicklungsstand konnte zwischen den Versuchsstämmen 7-9 kein signifikanter Unterschied bei der Anzahl der hellen Jungkäfer/Muttergang festgestellt werden (Kruskal-Wallis-Test mit P=0,068). Allerdings konnte mittels Kruskal-Wallis-Test und nachfolgendem Man-Whitney-U-Test nachgewiesen werden, dass Stamm 8 (P=0,017) und Stamm 9 (P=0,012) signifikant höhere Anzahlen dunkler Jungkäfer hervorbrachten als Stamm 7. Zwischen den Stämme 8 und 9 konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (P=0,126). Daraus lässt sich schließen,

dass bei Versuchsstamm 7 die Entwicklung der Brut langsamer geschehen ist als bei den Stämmen 8 und 9.

50% relative Luftfeuchtigkeit (Versuchsstämme 1-3)

Bei den Muttergangslängen (Kruskal-Wallis-Test mit P=0,813) und der Überprüfung der einzelnen Entwicklungsstadien konnte wiederum kein Unterschied zwischen den Versuchsstämmen festgestellt werden (Abb. 48). Damit kann auch hier von gleichen Entwicklungsfortschritten zwischen den Stämmen ausgegangen werden.

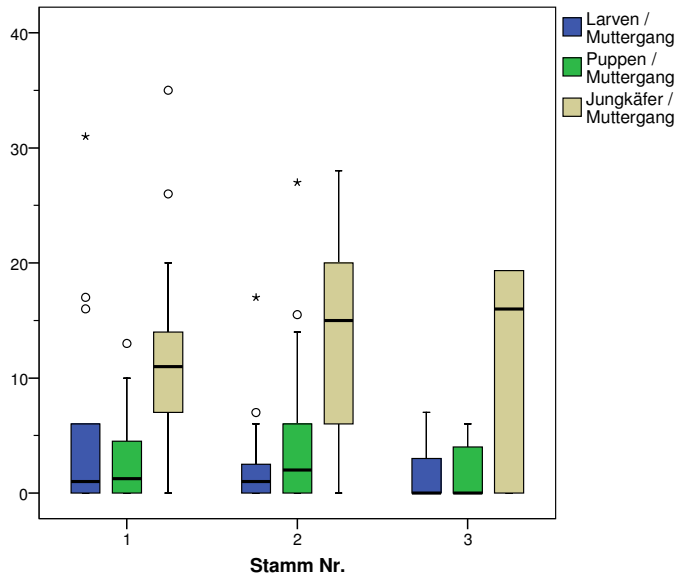

Abb. 48: Der Entwicklungsstand der Tiere in den Versuchsstämmen 1-3 unterschied sich nach einmonatiger Inkubation im Phytotron bei 20°C und 50% r. F. nicht signifikant (Anzahl Larven/Muttergang und Puppen/Muttergang: Kruskal-Wallis-Test mit P=0,855 bzw. P=0,451; Anzahl Jungkäfer/Muttergang: einfaktorielle ANOVA mit P=0,810 (n=62))

Bei der Anzahl von hellen und dunklen Jungkäfern/Muttergang konnte ebenfalls kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Stämmen nachgewiesen werden, wodurch wiederum von einer einheitlichen Entwicklung der Brut gesprochen werden kann (Kruskal-Wallis-Test mit P=0,114 bzw. P=0,585).

80% relative Luftfeuchtigkeit (Versuchsstämme 4-6)

Auch zwischen diesen Stämmen wurde kein Unterschied hinsichtlich der Muttergangslängen festgestellt (Kruskal-Wallis-Test mit P=0,617). Desgleichen konnten keine signifikanten Unterschiede bei den angestellten Vergleichen über die Anzahl Larven-, Puppen- und Jungkäfer/Muttergang ausgemacht werden (Abb. 49).

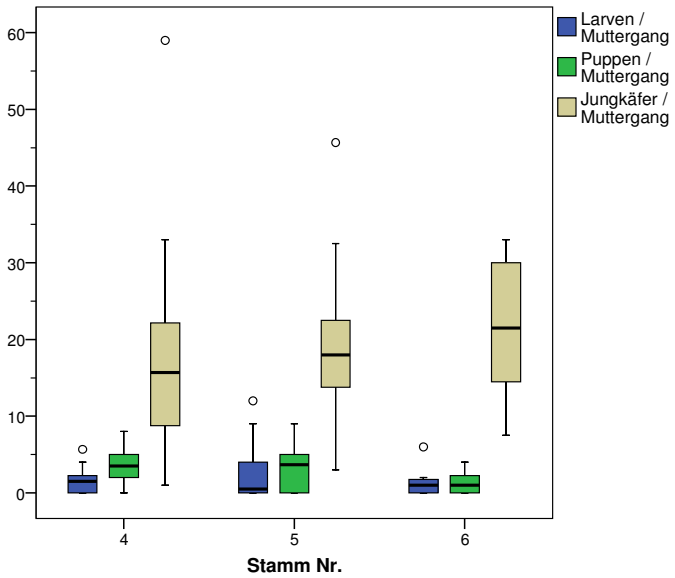

Abb. 49: Der Entwicklungsstand der Tiere in den Versuchsstämmen 4-6 unterschied sich nach einmonatiger Inkubation im Phytotron bei 20°C und 80% r. F. nicht signifikant (Anzahl Larven/Muttergang: Kruskal-Wallis-Test mit P=0,951; Anzahl Puppen/Muttergang: einfaktorielle ANOVA mit P=0,117 (n=53); Anzahl Jungkäfer/Muttergang: Kruskal-Wallis-Test mit P=0,533)

Auch die Anzahl heller und dunkler Jungkäfer/Muttergang unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Kruskal-Wallis-Test mit P=0,524 bzw. P=0,349). Auf diese Weise lässt sich auch hier feststellen, dass die Entwicklungsgeschwindigkeit der Nachkommen der Versuchsstämme 4-6 ähnlich war.

Vergleich der Ergebnisse zwischen den Luftfeuchtevarianten

Durch einen Beleuchtungsausfall am 17. und 18.11.2007 im Phytotron waren die Stämme der 50% - Variante geänderten Lichtbedingungen ausgesetzt, die übrigen Bedingungen (Temperatur, r. F.) blieben während der Dauer des Experimentes jedoch konstant. Bei den Graphiken der Auswertung wurden die Ergebnisse der 50% - Variante daher durch eine graue Überdeckung von den anderen Varianten getrennt.

Tab. 12: Summen und Mittelwerte (bezogen auf die Muttergänge) der Entwicklungsparameter von *Ips typographus* in den einzelnen Versuchsstämme nach einem einmonatigen Aufenthalt unter verschiedenen r. F.-Bedingungen, Langtag-Photoperioden von 16L:8D und 20°C (BB: Brutbild, Sum: Summe, MG: Muttergang, MW: Mittelwert, Std. Abw.: Standardabweichung, LG: Larvengang, La: Larve, Pu: Puppe, JK: Jungkäfer)

Relative Luft-feuchtigkeit [%]	Stamm Nr	BB Sum	MG Sum	MG Länge MW [cm]	Std. Abw.	LG MW	Std. Abw.	La Sum	Pu Sum	JK Sum	La/ MG	Pu/ MG	JK/ MG
30	7	16	29	8,4	4,5	32	22	142	208	392	4,9	7,2	13,5
	8	11	23	9,7	3,6	35	24	79	99	482	3,4	4,3	21,0
	9	7	11	7,9	3,4	28	17	18	30	161	1,6	2,7	14,6
50	1	20	25	8,2	3,7	26	15	94	61	283	3,8	2,4	11,3
	2	21	28	8,5	2,6	31	15	64	140	364	2,3	5,0	13,0
	3	5	9	7,9	3,8	18	9	10	10	132	1,1	1,1	14,7
80	4	16	27	9,1	4,0	33	19	46	92	471	1,7	3,4	17,4
	5	11	17	8,8	4,8	32	20	47	51	382	2,8	3,0	22,5
	6	8	9	9,7	3,1	34	15	13	12	180	1,4	1,3	20,0
Gesamt	9	115	178	8,7		29,9		513	703	2.847	2,6	3,4	16,4

Abb. 50 stellt den Zusammenhang der Muttergänglänge mit der Anzahl Larvengänge/Muttergang aller Versuchsstämme dar. Der längste Muttergang maß 20 cm und wies 64 Larvengänge auf. Der maximale Wert an Larvengängen (n=87) wurde bei einem 16 cm langen Muttergang gezählt (Abb. 51).

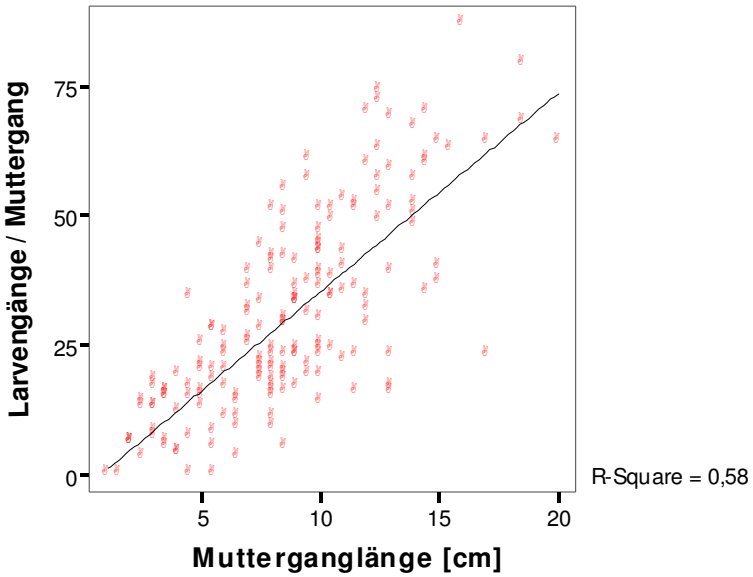

Abb. 50: Zusammenhang zwischen Muttergänglänge und der Anzahl Larvengänge/Muttergang

Abb. 51: Brutbild von *Ips typographus* mit einer Muttergänglänge von 16 cm und 87 Larvengängen, angelegt unter Bedingungen von 30% r. F. und 20°C

Eine Überprüfung des Parameters Larven/Muttergang ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stämmen in den verschiedenen Luftfeuchtevarianten (Abb. 52, linke Graphik). Eine trendmäßige Abnahme der Häufigkeiten von der 30% bis zur 80% - Variante geht jedoch aus der Graphik hervor.

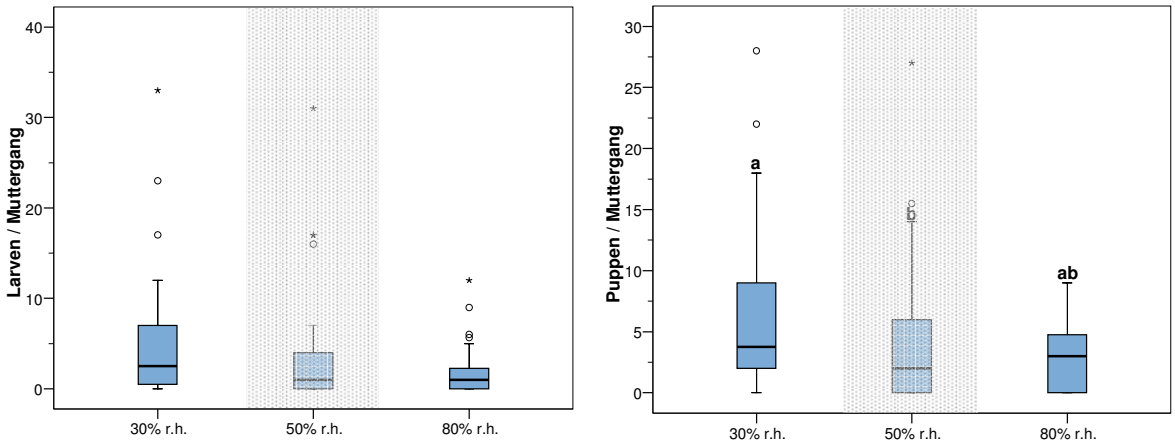

Abb. 52: Anzahl Larven/Muttergang (links) und Puppen/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Luftfeuchten (r.h.) und 20°C. Aufgrund eines zweitägigen Beleuchtungsausfalls im Phytotron der 50% - Variante erfolgt eine Abgrenzung der Ergebnisse durch graue Überdeckung. Linke Graphik: Es konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden (Kruskal-Wallis-Test mit P=0,58). Rechte Graphik: Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Mann-Whitney-U-Test; 30% zu 50%: P=0,011, 30% zu 80%: P= 0,054, 50% zu 80%: P=0,756)

Die Stämme unter 30% r. F. wiesen signifikant mehr Puppen/Muttergang auf als die der Variante mit 50% r. F. (Abb. 52, rechte Graphik). Die Anzahl Puppen/Muttergang der Stämme der 80% - Variante unterschied sich von keiner der beiden anderen Varianten signifikant.

Bei Betrachtung der Jungkäfer/Muttergang ergab die 50% - Variante wiederum die geringsten Ergebnisse (Abb. 53, linke Graphik). Die beiden anderen Varianten lieferten jeweils mehr Jungkäfer, wobei sich aber nur die 80% - Variante signifikant von der 50% - Variante unterschied.

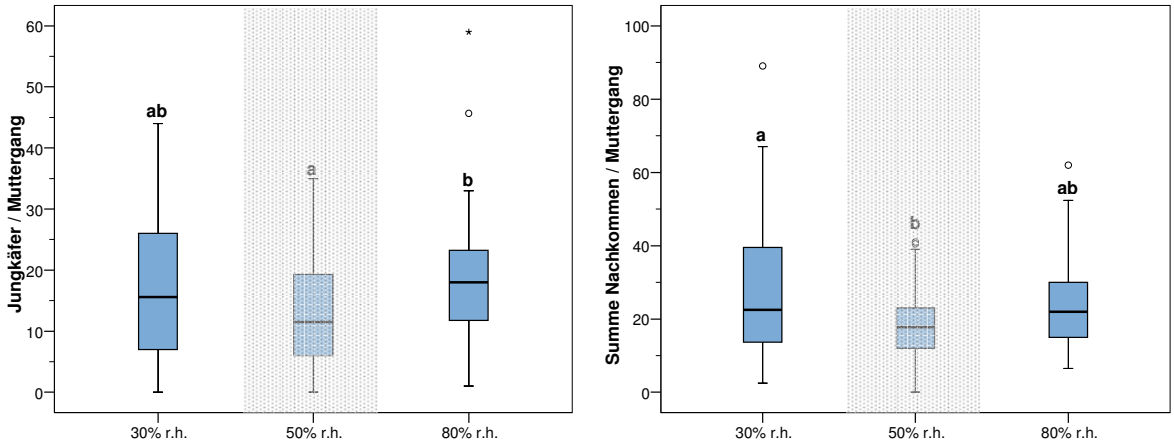

Abb. 53: Anzahl der Jungkäfer/Muttergang (links) und der insgesamt sich entwickelnden Nachkommen/Muttergang (Larven, Puppen, Jungkäfer; rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Luftfeuchten (r.h.) und 20°C. Unterschiedliche Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede. Linke Graphik: Einfaktorielle ANOVA mit post-hoc Scheffé-Test; n=178; 30% zu 50%: P=0,147, 30% zu 80%: P=0,622, 50% zu 80%: P=0,012. Rechte Graphik: Einfaktorielle ANOVA mit post-hoc Dunnett-T3-Test; n=178; 30% zu 50%: P=0,050, 30% zu 80%: P=0,678, 50% zu 80%: P=0,200

In der Gesamtzahl der Nachkommen unterschieden sich die Stämme der Varianten mit 30% und 80% r. F. nicht voneinander (Abb. 53, rechte Graphik). Die Summe der Nachkommen der Variante mit 50% r. F. war am geringsten, unterschied sich aber nur von der 30% - Variante signifikant. Aus dieser Verteilung lässt sich wieder ableiten, dass kein unterschiedlicher Einfluss auf die Entwicklung der Nachkommenschaften unter der 30% und der 80% - Variante bestand.

Bei der Anzahl heller Jungkäfer/Muttergang erzielten wiederum die 30% und die 80% - Variante signifikant höhere Werte als die 50% - Variante (Abb. 54, linke Graphik). Wie schon bei allen vorangegangenen Vergleichen konnte auch hier kein signifikanter Unterschied zwischen 30% r. F. und 80% r. F. ermittelt werden.

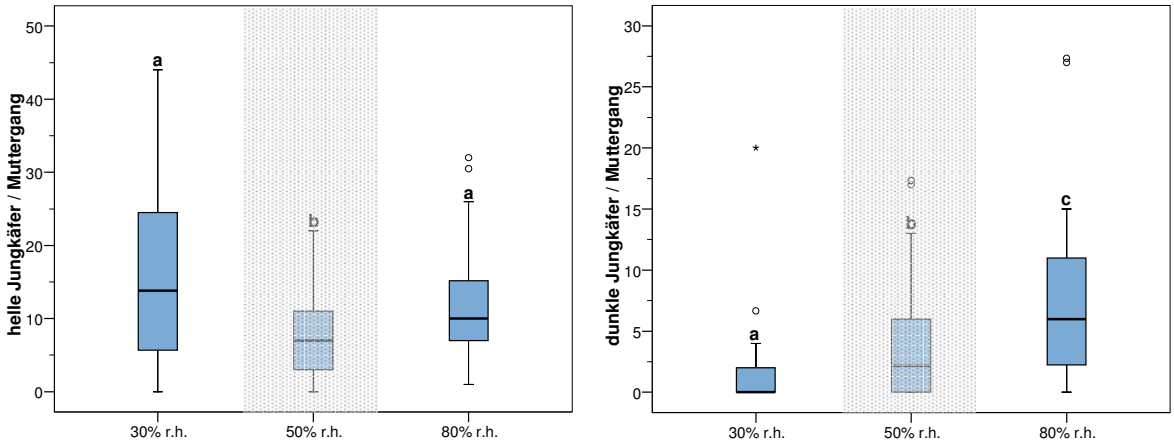

Abb. 54: Anzahl von hellen Jungkäfern/Muttergang (links) und dunklen Jungkäfern/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Luftfeuchten (r.h.) und 20°C. Kleinbuchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede. Linke Graphik: Einfaktorielle ANOVA mit post-hoc Dunnett-T3-Test; n=178; 30% zu 50%: P=0,04, 30% zu 80%: P=0,385, 50% zu 80%: P=0,049. Rechte Graphik: Kruskal-Wallis-Test mit post-hoc Man-Whitney-U-Test; 30% zu 50%: P=0,002, 30% zu 80%: P=0,000, 50% zu 80%: P=0,005

Interessanterweise ergab die Auswertung der Anzahl dunkler Jungkäfer/Muttergang eine neue Verteilungsform der Häufigkeiten (Abb. 54, rechte Graphik): Der signifikant höchste Wert wurde bei 80% r. F. gefunden (Mittelwert der Anzahl: 7,4 ±6,7), gefolgt von der 50% - Variante (4,1 ±4,9) die sich wiederum signifikant von der 30% - Variante unterschied, welche am wenigsten dunkle Jungkäfer/Muttergang aufwies (1,5 ±3,6). Somit ließen die Luftfeuchtigkeitsbedingungen der 80% - Variante eine raschere Entwicklung der Jungkäfer zu als die beiden anderen Varianten. Bemerkenswert ist, dass sich dieser Effekt mit abnehmender Luftfeuchtigkeit signifikant reduziert.

Ein Einfluss der verschiedenen Luftfeuchtevarianten auf die Dichte der Larvengänge konnte nicht gefunden werden (Abb. 55, linke Graphik).

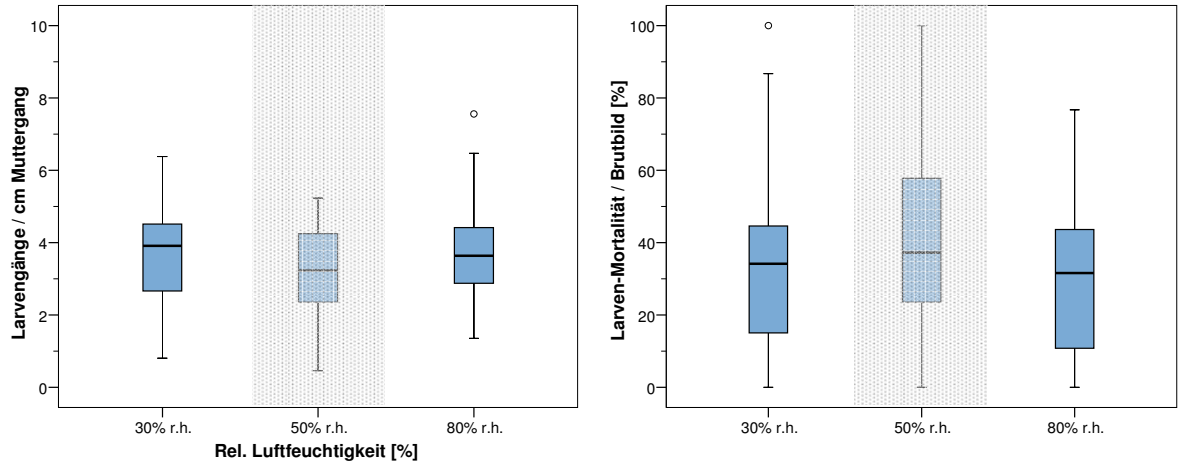

Abb. 55: Larvengänge/cm Muttergang (links) und Mortalität der Larven/Brutbild (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Luftfeuchten (r.h.) und 20°C. Es konnten kein signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Linke Graphik: Einfaktorielle ANOVA mit P=0,148; n=178. Rechte Graphik: Einfaktorielle ANOVA mit P=0,171; n=115

Auch hatten die unterschiedlichen r. F.-Bedingungen keinen Einfluss auf die Larvenmortalität/Brutbild (Abb. 55, rechte Graphik).

Ergebnisse der Holzfeuchtigkeitsmessungen

Unmittelbar im Anschluss an die Inkubation im Phytotron wurden von der 30% und der 80% - Variante die Holzfeuchten ermittelt (Tab. 13). Von der 50% - Variante liegen keine Messergebnisse vor. Wie schon beim Beregnungsversuch wird auch hier angenommen, dass die Versuchsstämme zu Beginn ähnliche Feuchtigkeitswerte aufwiesen. Nach Ablauf der Inkubation in der Klimakammer ergab die Messung der Holzfeuchte bei 30% r. F. einen geringeren Wert (62%) als jener des Stammes der 80% r. F. ausgesetzt war (>100%).

Tab. 13: Relative Holzfeuchte (%) der Stämme nach einmonatiger Inkubation im Phytotron bei 20°C

relative Luft-feuchte [%]	relative Holz-feuchte [%]
30	62
80	>100

4. Diskussion

4.1. Laborergebnisse

Anhand der Beregnungsexperimente konnte aufgezeigt werden, dass eine schnellere Entwicklung der Nachkommen von *I. typographus* in den Kontrollstämmen als in den beregneten Varianten mit 140 mm bzw. 354 mm Niederschlag/Monat stattgefunden hat. Auch wenn durch das verwendete kühle Leitungswasser ein zusätzlicher, abkühlender Effekt bei den beregneten Stämmen auftrat, so zeigen auch die Arbeiten von Wild (1953) und Boehm-Bezing (1998), dass Freiflächenniederschlag bzw. Umlauf-Berieselung eine Verzögerung bzw. Hemmung der Brutsystementwicklung nach sich zieht.

Zwischen den beiden beregneten Varianten mit unterschiedlicher Beregnungsdauer konnte diese Beobachtung zumindest trendmäßig gemacht werden: Die Ergebnisse der geprüften Parameter der schwach beregneten Versuchsstämme nahmen meist eine Zwischenstellung zwischen Kontrolle und starker Beregnung ein oder unterschieden sich bei den verschiedenen Startzeitpunkten abwechselnd einmal signifikant von der unberegneten oder der stark beregneten Variante. Bis auf die Anzahl Puppen/Muttergang lagen die Mittelwerte der schwachen Beregnung immer innerhalb des Bereichs der ermittelten Ergebnisse der Kontrolle und der starken Beregnung. Ein deutlich hemmender Einfluss der Niederschlagsdauer auf die Entwicklungsgeschwindigkeit der Käferbrut zeigte sich insofern, dass am Ende der Beregnungsperiode mehr frühe Entwicklungsstadien (Larven) bei den starken Beregnungsvarianten, dagegen mehr spätere Entwicklungsstadien (Jungkäfer) bei den Kontrollvarianten gefunden wurden. Ein weiteres Indiz für den schnelleren Entwicklungsfortschritt der Kontrollstämme ist der Grad der Verfärbung der Jungkäfer, indem in den beregneten Versuchsstämmen bis auf eine Ausnahme (Stamm 2 mit 16tägigem Käferansatz) keine Entwicklung dunkel gefärbter Jungkäfer erfolgte. Inwieweit der Abkühlungseffekt durch die Verwendung von Leitungswasser für die Beregnung einen Einfluss auf die Entwicklung der Käferbrut hatte, ist schwer abzuschätzen, da keine Rindentemperaturen während der Beregnung in diesen Stämmen gemessen wurden. Nimmt man an, dass durch die Beregnungsdauer die Rindentemperatur während dieser Zeit unterhalb des Entwicklungsnullpunktes der Larven gefallen wäre (< 8,2°C;

Wermelinger und Seifert, 1998), so hätte sich im Falle der schwachen Beregnungsvariante eine tägliche 48 minütige Abkühlung (4x12 Minuten) bei der Versuchsdauer von 30 Tagen in einer Entwicklungsverzögerung von einem Tag, bei der starken Beregnungsvariante in einer Verzögerung von knapp zwei Tagen (92 Minuten Beregnung/Tag über 30 Tage ≈ 1,9 Tage) gegenüber der Kontrollvariante auswirken können. Somit könnte der Entwicklungsrückstand der Tiere in den Beregnungsvarianten auch auf einen Abkühleffekt der Rindentemperatur zurückzuführen sein. Beim Vergleich der Mortalitätsraten der Larven konnte gezeigt werden, dass durch die starke Beregnung deutlich höhere Verluste eingetreten sind als bei den Kontrollstämmen (neuntägiger Käferansatz). Dies deckt sich auch mit Beobachtungen von Wild (1953) bei der die Mortalitätsrate nach einer Schlechtwetterperiode beim Larvenstadium am höchsten war und mit zunehmendem Reifungsgrad der Nachkommen abnahm. Durch die beiden Versuchsvarianten A und B mit neun- bzw. 16tägigem Käferansatz konnte auch gezeigt werden, dass später einsetzender Niederschlag (16tägiger Käferansatz) keinen Unterschied mehr bei der Larvenmortalität zwischen Kontrolle und beregneten Stämmen verursachte. Untersuchungen von Schimitschek (1932) an *P. chalcographus* bestätigen, dass durch höhere relative Luftfeuchtigkeit nach einer Schlechtwetterperiode die Entwicklung von Eiern und Junglarven verzögert wird oder diese absterben; ältere Larven und Puppen reagieren dagegen unempfindliche gegen langandauernde, hohe relative Luftfeuchtigkeit.

Die ermittelten Bastfeuchtigkeiten beim Beregnungsexperiment konnten keine Erklärungen für die oben getroffenen Aussagen liefern. Alle ermittelten Werte der unterschiedlichen Versuchsvarianten lagen dicht beieinander. Trendmäßig lässt sich eine leichte Zunahme der Bastfeuchte über den Beregnungszeitraum herauslesen. Interessanterweise ergab die schwache Beregnung jedoch höhere Bastfeuchtewerte als die mit ca. 2facher Dauer betriebene starke Beregnung. Die Ursache könnte in einer Sättigung des Bastes und einer messtechnisch nicht erfassbaren Ansammlung von Wasser in den Hohlräumen des Bastes (Brutanlagen) liegen. Der Vergleich der oberen und unteren Entnahmestelle bei den beregneten Versuchsstämmen ergab auch keinen Unterschied. Hier dürften die gleichmäßige Abschirmung der Stämme vor direkter Sonneneinstrahlung und die Lagerung auf Gittern, welche eine Belüftung der Stammunterseite zuließen, zu den ähnlichen Ergebnissen geführt haben.

Bei Untersuchungen mit verschiedener relativer Luftfeuchtigkeit ließen die Ergebnisse keine so deutlichen Aussagen wie beim Beregnungsexperiment zu. Wenn man sich bei den Resultaten auf die obere und untere Variante mit 30% bzw. 80% r. F. beschränkt, war einzig bei der Anzahl dunkler Jungkäfer/Muttergang ein Unterschied feststellbar: Die 80% - Variante wies deutlich mehr dunkle Jungkäfer auf als die 30% - Variante. Infolgedessen muss die Entwicklung der Jungkäfer bei hoher Luftfeuchtigkeit schneller vonstatten gegangen sein als bei geringer Luftfeuchtigkeit. Hennings (1907/08) konnte dagegen an *I. typographus* bei 50-60% r. F. die kürzeste Entwicklungsdauer beobachten. Aufgrund des zweitägigen Beleuchtungsausfalls bei der 50% - Variante ist aber ein genauerer Vergleich mit den von Hennings erzielten Ergebnissen nicht möglich. Nachdem es sich bei Jungkäfern um ein spätes, fressendes Entwicklungsstadium handelt (Wasserbilanz kann durch Nahrungsaufnahme ausgeglichen werden), könnte der unterschiedliche Ausfärbungsgrad in der zunehmenden Annäherung der Feuchtigkeit des Holzes an die Umgebungsfeuchtigkeit entstanden sein. Im Gegensatz zum Beregnungsversuch dürfte die Einflussnahme der Luftfeuchtigkeit auf die Holzfeuchte nämlich sehr viel langsamer erfolgt sein. Bei der Entwicklung der nahrungsaufnehmenden Larvenstadien traten noch keine Unterschiede hervor. Zu dieser frühen Phase dürfte das Nährmedium noch bei beiden Varianten ähnliche Feuchtigkeitsgehalte aufgewiesen haben. Die relativ hohe Holzfeuchte von 62% am Ende der einmonatigen Phytotroninkubation unter 30% r. F. bzw. einer Holzfeuchte von mehr als 100% bei Aussetzung unter 80% r. F. erklärt den geringen Einfluss auf die Insektenentwicklung.

Die bei verschiedenen Holzfeuchtigkeiten durchgeführten Untersuchungen von Führer (1981) an *P. chalcographus* ergaben, dass eine etwas längere Entwicklungsdauer bei 90% Holzfeuchte aufgetreten war als bei 72% bzw. 110%. Auch hier ist eine direkte Gegenüberstellung der erzielten Ergebnisse mit jenen von Führer aufgrund der Abweichungen bei den Holzfeuchtigkeiten und der anderen Käferart nicht möglich. Dennoch ist ersichtlich, dass auch bei *I. typographus* eine Holzfeuchte >100% eine schnellere Entwicklung der Jungkäfer ermöglicht und bei einer Holzfeuchte von 62% die Ausfärbung bei den Jungkäfern verzögert erfolgt.

4.2. Freilandbeobachtungen

Mit einem Niederschlagsaufkommen von 173 mm im Juli, 204 mm im August und 242 mm im September 2007 auf der Untersuchungsfläche Hirschgraben konnte eine stetige Zunahme der monatlichen Niederschlagssummen verzeichnet werden. Vergleiche der Temperaturverläufe eines beschatteten Stammabschnittes mit der Lufttemperatur nach Niederschlagsereignissen auf der Untersuchungsfläche konnten keinen zusätzlichen Abkühlungseffekt der Rindentemperatur durch Niederschlag nachweisen. Damit kann von einem ähnlich abkühlenden Effekt des Niederschlags auf die Rinden- wie auch auf die Lufttemperatur ausgegangen werden, womit keine weitere thermal bedingte Verzögerung bei der Brutenwicklung von *I. typographus* durch Niederschlag festzustellen war.

Die mittels thermaler Kennwerte vom Zeitpunkt der Einbohrung prognostizierten Entwicklungsverläufe konnten bei zwei von drei Probebäumen bei den Kontrollen bestätigt werden. Einzig bei Probebaum 3 wurden Abweichungen bei zwei Außenaufnahmen festgestellt. Nachdem der Zeitpunkt der Einbohrung von *I. typographus* bei Probebaum 3 nicht bekannt war, sondern interpoliert werden musste, könnten die Abweichungen der Beobachtungen von der Prognose dadurch begründet sein.

Bei den Bastfeuchtigkeiten konnte eine gleich bleibende oder sogar zunehmende Tendenz aller Probebäume über den Versuchszeitraum beobachtet werden. Einzig an exponierten Stammbereichen konnte eine Abnahme der Feuchtigkeit nachgewiesen werden. Probebaum 3, welcher bis Mitte Juni mit der Wurzel verbunden war, lieferte die höchsten Feuchtigkeitsgehalte des Bastes.

Anhand wöchentlicher Fallenfänge aus der Region Scheibbs konnte gezeigt werden, dass die Flugaktivität während einer trockenen Phase angestiegen und mit wieder aufkommenden Niederschlag in der Folgewoche abgenommen hat. Eine genauere Analyse über das Flugverhalten bei Niederschlag erlaubt jedoch die Betrachtung täglich ermittelter Fangzahlen aus der Region Mühldorf, Niederösterreich im Jahr 2007 (Kritsch, 2007: unveröff. Daten) (Abb. 56). Bei günstigen Temperaturbedingungen und dem Vorhandensein flugfähiger Entwicklungsstadien konnte gezeigt werden, dass tagsüber gefallener Niederschlag

(7-19 Uhr) zu einer deutlichen Reduktion, nicht aber zu einem vollständigen Erliegen der Flugaktivität von *I. typographus* führt. Ein ähnliches Ergebnis förderte dazu auch schon die Untersuchung an *P. chalcographus* von Schimitschek (1932) zutage: Unter trockenen Bedingungen (55-65% r. F.) wurden die höchsten Schwärmaktivitäten registriert; bei höherer relativer Luftfeuchtigkeit konnte eine Reduktion der Flugaktivität beobachtet werden.

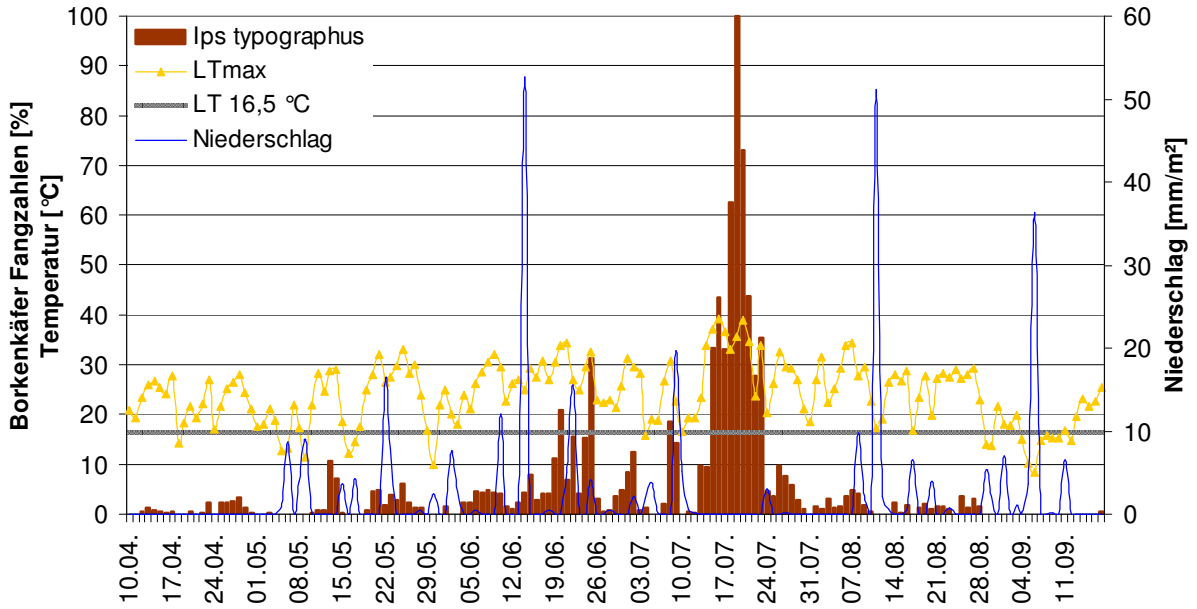

Abb. 56: Im Zeitraum 10.4.-17.9.2007 täglich erhobene Fangzahlen (%) von *I. typographus* und maximale Lufttemperaturen (LTmax) (°C) auf 500 m Seehöhe in Mühldorf/NÖ (Kritsch, 2007) sowie tagsüber (7-19 Uhr) gefallener Niederschlag (mm/m²) bei der Wetterstation Jauerling/ORF (952 m; ZAMG). Die Lufttemperatur von 16,5°C (LT 16,5°C) markiert jenen Schwellenwert ab der Flugaktivität auftreten kann (Wermelinger, 2004)

4.3. Folgerungen aus den Laborergebnissen für das Freiland

Niederschlag und veränderte Luftfeuchtigkeitsbedingungen benötigen unterschiedliche Vorlaufzeiten um eine Reaktion bei der Entwicklung von *I. typographus* hervorzurufen.

Der Einfluss von Niederschlag auf die Entwicklung der Nachkommen im stehenden Brutbaum im Bestand ist durch die seitliche Abdeckung und den Schirmtyp der Fichtenkrone geringer als auf liegendes Brutholz auf der Freifläche. Der Feuchtigkeitsgehalt der Rinde vom stehenden Holz wird primär durch die Wasseraufnahme der Wurzel geregelt und erreicht somit auch nicht jene Entwicklungsbedingungen für die Rindenbrüter, wie sie bei den in Laborversuchen liegenden Stammstücken auftraten. Beim Beregnungsexperiment wurden schon nach einer Woche Bastfeuchtigkeiten erreicht, welche sich nicht mehr signifikant von den Werten nach der 4. Beregnungswoche unterschieden. Nachdem bei den Bastfeuchten des Beregnungsexperiments aber nur geringfügige Abweichungen zwischen der verschiedenen Beregnungsdauer feststellbar waren, muss eine andere, messtechnisch nicht erfasste Größe für die unterschiedlichen Mortalitätsraten und Entwicklungsgeschwindigkeiten verantwortlich sein. Dabei könnte es sich um Ansammlungen von Niederschlagswasser in den Hohlräumen unter der Rinde handeln, welches zumindest für die Parentaltiere in dem Muttergangsystem sich auswirken könnte. Ab welchem Schwellenwert (zeitlich und mengenmäßig) sich Niederschlag auf die Entwicklung von Nachkommen negativ auswirkt, konnte bei den Versuchen nicht bestimmt werden. Doch führte die Variante mit täglich 4,5 mm Niederschlag (140 mm/Monat) schon zu einer teilweisen Verlangsamung bei der Entwicklung der Nachkommen. Dieser monatliche Niederschlagswert wurde auf der Untersuchungsfläche bei jedem der drei Monate mit vollständiger Niederschlagsaufzeichnung überschritten. Von den Aufzeichnungen beginnend mit Mitte Juni konnten immer wieder Überschreitungen von 4,5 und sogar 11,4 mm Niederschlag/Tag (Untersuchungswert der starken Beregnung mit 354 mm Niederschlag/Monat) festgestellt werden. Da zu diesem frühen Zeitpunkt die Larvalentwicklung teilweise noch nicht abgeschlossen war (15.6.: alle Probebäume mit Larven; 28.6.: 2 von 3 Probebäume mit Larvenstadien) könnten nach Wild (1953) dadurch bei den besonders empfindlichen frühen Entwicklungsstadien Verluste in der

Käferpopulation eingetreten sein, wie sie beispielsweise auch bei der starken Beregnung aufgezeigt wurden. Auf nachfolgende ältere Stadien wirkt sich Niederschlag dagegen eher hemmend auf den weiteren Entwicklungsfortschritt aus (Postner, 1974).

Geänderte Luftfeuchtigkeitsbedingungen können durch die vorherrschenden Feuchtigkeitsbedingungen unter der Rinde kompensiert werden. Halten die veränderten Luftfeuchtigkeitsbedingungen aber über einen längeren Zeitraum an, so konnte mit den Laborversuchen gezeigt werden, dass bei hohen Werten (80% r. F.) eine Beschleunigung der Entwicklung der Jungkäfer auftritt. Ähnlich verhält es sich bei Ei-, Larven- und Puppenstadien bei denen steigende Feuchtigkeit in der Umgebung die Entwicklungsdauer verkürzen kann (Schwerdtfeger, 1963). Dagegen könnten sich bei einer längeren Trockenperiode, wie es im Juli vorgekommen ist, die Bedingungen unter der Rinde nachteilig für die Entwicklung der Nachkommen verändert haben. Prinzipiell dürfte aber der Effekt der Luftfeuchtigkeit bei bereits länger liegendem Holz stärker ausfallen (beschleunigte/verzögerte Austrocknung des Brutsubstrats) als bei frisch entwurzelten Stämmen, womit die Aufmerksamkeit vor allem auf die Folgejahre gelenkt werden soll, bei denen in zunehmenden Ausmaß Befallstauglichkeit und Entwicklungsbedingung im Stamm durch das Witterungsgeschehen beeinflusst wird.

5. Zusammenfassung

Um die Wirkung von Niederschlag und relativer Luftfeuchte auf Entwicklung und Flugaktivität von *I. typographus* zu untersuchen, wurden Freilandbeobachtungen und Laborversuche durchgeführt.

Im Zeitraum Mai-Oktober 2007 erfolgten Freilandaufnahmen auf einer kürzlich gebildeten Windwurffläche in den östlichen Kalkalpen auf 1.400 m Seehöhe. Auf der Untersuchungsfläche wurde eine Messstation errichtet (Lufttemperatur, Globalstrahlung und Niederschlag) und bei vier Probebäumen (Lufttemperatur und Rindentemperatur) der Brutverlauf beobachtet. Aus den gewonnen Daten der Untersuchungsfläche konnten folgende Ergebnisse erzielt werden: Direkte Sonneneinstrahlung auf exponierten Rindenflächen führte zu einem beträchtlichen Erwärmungseffekt der Rindentemperatur, wobei für den Buchdrucker teilweise letale Temperaturen erreicht wurden. Im Gegensatz zur Einstrahlung konnte durch Niederschlag kein zusätzlicher Abkühlungseffekt der Rindentemperatur festgestellt werden. Durch Gegenüberstellung von Fallenfängen aus Scheibbs (BFW) und Mühldorf (Kritsch, 2007) (beide Niederösterreich) mit lokalen Niederschlags-ereignissen wurde der Einfluss von Niederschlag auf die Flugaktivität geprüft: Bei flugfähigen Entwicklungsstadien und günstigen Lufttemperaturen konnte einsetzender Niederschlag zwar eine deutliche Reduktion, nicht jedoch ein völliges Aussetzen der Flugaktivität bewirken.

Der Einfluss von Niederschlag auf die Brutentwicklung wurde mit Beregnungsexperimenten untersucht. Dabei wurden Brutstämme eine bzw. zwei Woche(n) nach Brutbeginn für die Dauer von vier Wochen unterschiedlicher Beregnungsintensität ausgesetzt (0 mm, 140 mm/Monat, 350 mm/Monat). Nach Ablauf der Versuchsdauer konnte bei den beregneten Stämmen eine Entwicklungsverzögerung bei den Nachkommen im Gegensatz zu den Kontrollstämmen (0 mm) beobachtet werden. Zusätzlich konnte bei den Stämmen mit einwöchiger Brutdauer vor der Beregnung ein Anstieg in der Larvenmortalität mit zunehmender Beregnungsdauer verzeichnet werden. Wöchentlich gemessene Bastfeuchten ergaben nur geringfügige Unterschiede zwischen den drei Varianten.

Um den Einfluss unterschiedlicher relativer Luftfeuchtigkeit auf die Brutentwicklung zu überprüfen, wurden Brutstämme eine Woche nach Brutbeginn in eine Klimakammer gegeben. Bei 20°C und unter Langtagbedingungen erfolgte für vier Wochen eine Inkubation der Stämme mit 30-, 50- bzw. 80% r. F. Einzig bei der Anzahl dunkel ausgefärbter Jungkäfer ergab die 80% - Variante, dass gegenüber der anderen getesteten Varianten eine schneller Entwicklung aufgetreten war. Die nach Ablauf der Inkubation ermittelten Holzfeuchten lagen im Bereich von 62% (30% r. F.) und >100% (80% r. F.).

6. Anhang

Tab. 14: Beregnungsexperiment, Versuchsvariante A: Datenübersicht der Versuchsstämme mit 16tägigem Käferansatz (Versuchsstämme 1, 2 und 3)

Variante	Stamm	Brutbild	Brutbild	MG	Länge MG			LG/MG			La	Pu	JK	Färbung JK		La/MG	Pu/MG	JK/MG	helle JK	dunkle JK
	Nr.	Nr.	fortlaufend	#	1	2	3	1	2	3				hell	dunkel				[%]	[%]
Kontrolle	1	1	1	1	6,0			26			4	8	1	0	1	4,0	8,0	1,0	0,00	100,00
		2	2	2	3,0	2,0		3	3		1	0	2	2	0	0,5	0,0	1,0	100,00	0,00
		3	3	2	8,0	6,0		26	22		0	0	23	23	0	0,0	0,0	11,5	100,00	0,00
		4	4	3	5,0	4,5	3,5	7	14	6	0	0	16	16	0	0,0	0,0	5,3	100,00	0,00
		5	5	2	10,5	4,5		51	27		0	0	49	32	17	0,0	0,0	24,5	65,31	34,69
		6	6	1	7,0			21			0	0	7	4	3	0,0	0,0	7,0	57,14	42,86
		7	7	2	9,0	7,0		24	41		0	0	9	9	0	0,0	0,0	4,5	100,00	0,00
		8	8	1	5,5			37			12	0	0	0	0	12,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		9	9	2	7,0	5,0		36	28		3	10	8	4	4	1,5	5,0	4,0	50,00	50,00
		10	10	1	5,0			13			1	0	3	3	0	1,0	0,0	3,0	100,00	0,00
		11	11	1	3,0			17			0	0	5	3	2	0,0	0,0	5,0	60,00	40,00
		12	12	2	6,0	4,0		36	15		0	0	5	3	2	0,0	0,0	2,5	60,00	40,00
		13	13	2	7,5	5,5		29	35		0	0	5	3	2	0,0	0,0	2,5	60,00	40,00
		14	14	2	6,0	4,5		24	27		0	0	5	3	2	0,0	0,0	2,5	60,00	40,00
		15	15	2	5,0	4,5		11	36		0	0	5	3	2	0,0	0,0	2,5	60,00	40,00
		16	16	1	4,5			20			0	0	5	3	2	0,0	0,0	5,0	60,00	40,00
		17	17	3	9,0	8,0	3,5	30	51	17	0	0	6	6	0	0,0	0,0	2,0	100,00	0,00
		18	18	1	9,5			60			0	0	5	3	2	0,0	0,0	5,0	60,00	40,00
		19	19	2	7,0	6,0		41	9		0	0	18	13	5	0,0	0,0	9,0	72,22	27,78
		20	20	2	10,5	6,0		4	27		0	0	12	2	10	0,0	0,0	6,0	16,67	83,33
		21	21	2	7,0	6,0		7	29		0	0	21	12	9	0,0	0,0	10,5	57,14	42,86
		22	22	2	7,5	3,5		44	14		0	0	4	1	3	0,0	0,0	2,0	25,00	75,00
schwach	2	1	23	2	8,5	1,5		35	9		11	1	0	0	0	5,5	0,5	0,0	0,00	0,00
		2	24	1	6,5			19			5	1	0	0	0	5,0	1,0	0,0	0,00	0,00
		3	25	1	9,0			7			0	1	0	0	0	0,0	1,0	0,0	0,00	0,00
		4	26	2	9,5	7,5		38	40		6	2	10	10	0	3,0	1,0	5,0	100,00	0,00
		5	27	1	10,0			45			0	1	13	13	0	0,0	1,0	13,0	100,00	0,00
		6	28	1	6,5			29			11	5	0	0	0	11,0	5,0	0,0	0,00	0,00
		7	29	1	4,5			15			1	1	2	2	0	1,0	1,0	2,0	100,00	0,00
		8	30	2	6,5	3,5		2	0		0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		9	31	2	6,5	5,0		37	25		4	3	3	3	0	2,0	1,5	1,5	100,00	0,00
		10	32	2	10,0	3,5		3	4		2	0	0	0	0	1,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		11	33	1	5,0			19			0	10	0	0	0	0,0	10,0	0,0	0,00	0,00
		12	34	2	6,0	2,5		32	0		0	2	8	8	0	0,0	1,0	4,0	100,00	0,00
		13	35	1	5,5			24			0	1	3	3	0	0,0	1,0	3,0	100,00	0,00
		14	36	3	10,0	10,0	2,0	40	19	3	0	0	9	3	6	0,0	0,0	3,0	33,33	66,67
		15	37	2	8,5	6,5		35	29		0	13	3	3	0	0,0	6,5	1,5	100,00	0,00
		16	38	1	9,0			34			0	1	4	4	0	0,0	1,0	4,0	100,00	0,00
		17	39	2	3,5	3,0		13	17		0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		18	40	2	9,0	5,0		59	21		0	8	3	3	0	0,0	4,0	1,5	100,00	0,00
		19	41	1	5,0			20			0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
stark	3	1	42	2	3,5	1,5		17	0		7	3	1	1	0	3,5	1,5	0,5	100,00	0,00
		2	43	3	10,0	8,0	7,0	32	50	32	24	16	5	5	0	8,0	5,3	1,7	100,00	0,00
		3	44	2	3,5	2,0		27	9		10	9	1	1	0	5,0	4,5	0,5	100,00	0,00

Variante	Stamm Nr.	Brutbild Nr.	Brutbild fortlaufend	MG #	Länge MG 1	Länge MG 2	Länge MG 3	LG/MG 1	LG/MG 2	LG/MG 3	La	Pu	JK	Färbung JK hell	Färbung JK dunkel	La/MG	Pu/MG	JK/MG	helle JK [%]	dunkle JK [%]
stark	3	4	45	1	7,5			57			10	9	1	1	0	10,0	9,0	1,0	100,00	0,00
		5	46	1	6,5			19			10	9	1	1	0	10,0	9,0	1,0	100,00	0,00
		6	47	1	10,5			15			10	9	1	1	0	10,0	9,0	1,0	100,00	0,00
		7	48	2	5,5	2,0		39	0		10	9	1	1	0	5,0	4,5	0,5	100,00	0,00
		8	49	2	9,0	4,5		32	16		10	9	1	1	0	5,0	4,5	0,5	100,00	0,00
		9	50	2	12,0	7,0		56	23		10	9	1	1	0	5,0	4,5	0,5	100,00	0,00
		10	51	2	5,5	2,5		19	18		8	1	0	0	0	4,0	0,5	0,0	0,00	0,00
		11	52	2	4,0	2,5		23	13		8	1	0	0	0	4,0	0,5	0,0	0,00	0,00
		12	53	1	5,0			39			8	1	0	0	0	8,0	1,0	0,0	0,00	0,00
		13	54	1	3,5			3			8	1	0	0	0	8,0	1,0	0,0	0,00	0,00
		14	55	2	5,0	1,0		9	0		8	1	0	0	0	4,0	0,5	0,0	0,00	0,00
		15	56	2	5,0	2,0		25	0		8	1	0	0	0	4,0	0,5	0,0	0,00	0,00
		16	57	1	6,0			10			8	1	0	0	0	8,0	1,0	0,0	0,00	0,00
		17	58	2	8,0	6,0		30	18		8	1	0	0	0	4,0	0,5	0,0	0,00	0,00
		18	59	2	5,5	4,5		27	11		8	1	0	0	0	4,0	0,5	0,0	0,00	0,00
		19	60	1	4,5			14			8	1	0	0	0	8,0	1,0	0,0	0,00	0,00
		20	61	2	6,5	5,0		9	0		2	0	0	0	0	1,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		21	62	1	11,0			14			5	2	0	0	0	5,0	2,0	0,0	0,00	0,00
		22	63	1	5,0			25			6	2	0	0	0	6,0	2,0	0,0	0,00	0,00
		23	64	2	4,0	4,0		23	9		9	10	0	0	0	4,5	5,0	0,0	0,00	0,00
		24	65	3	5,0	2,5	1,5	8	4	0	5	2	0	0	0	1,7	0,7	0,0	0,00	0,00
		25	66	1	3,5			10			0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
Gesamt			66	111							269	176	285	213	72					

Tab. 15: Beregnungsexperiment, Versuchsvariante B: Datenübersicht der Kontrollstämme mit neuntägigem Käferansatz (Versuchsstämme 4, 7 und 10)

Variante	Stamm	Brutbild	Brutbild	MG	Länge MG			LG/MG			La	Pu	JK	Färbung JK		La/MG	Pu/MG	JK/MG	helle JK	dunkle JK
	Nr.	Nr.	fortlaufend	#	1	2	3	1	2	3				hell	dunkel				[%]	[%]
Kontrolle	4	1	1	1	4,0			18			0	1	11	6	5	0,0	1,0	11,0	54,55	45,45
		2	2	2	8,5	4,5		32	9		0	2	25	14	11	0,0	1,0	12,5	56,00	44,00
		3	3	1	8,5			54			0	0	25	11	14	0,0	0,0	25,0	44,00	56,00
		4	4	1	7,0			19			0	0	13	6	7	0,0	0,0	13,0	46,15	53,85
		5	5	2	9,5	9,0		37	23		4	15	17	5	12	2,0	7,5	8,5	29,41	70,59
		6	6	1	5,0			34			20	4	1	1	0	20,0	4,0	1,0	100,00	0,00
		7	7	2	4,5	3,5		19	13		0	0	26	16	10	0,0	0,0	13,0	61,54	38,46
		8	8	1	10,0			26			0	0	14	4	10	0,0	0,0	14,0	28,57	71,43
		9	9	2	4,0	3,0		18	13		9	3	6	3	3	4,5	1,5	3,0	50,00	50,00
		10	10	2	10,0	9,0		4	23		2	3	20	9	11	1,0	1,5	10,0	45,00	55,00
		11	11	3	12,0	4,0	4,5	42	19	14	0	3	44	20	24	0,0	1,0	14,7	45,45	54,55
		12	12	2	7,0	5,5		21	11		1	4	27	9	18	0,5	2,0	13,5	33,33	66,67
		13	13	1	5,0			40			1	0	23	9	14	1,0	0,0	23,0	39,13	60,87
		14	14	1	7,5			43			1	4	16	9	7	1,0	4,0	16,0	56,25	43,75
		15	15	1	7,0			37			11	5	0	0	0	11,0	5,0	0,0	0,00	0,00
		16	16	2	8,5	4,0		23	30		0	2	11	8	3	0,0	1,0	5,5	72,73	27,27
		17	17	2	7,5	6,0		33	37		13	18	0	0	0	6,5	9,0	0,0	0,00	0,00
		18	18	1	7,0			28			0	0	14	6	8	0,0	0,0	14,0	42,86	57,14
		19	19	1	6,5			30			1	2	8	6	2	1,0	2,0	8,0	75,00	25,00
		20	20	1	5,5			20			1	0	3	0	3	1,0	0,0	3,0	0,00	100,00
Kontrolle	7	1	21	2	9,5	6,0		22	35		15	33	1	1	0	7,5	16,5	0,5	100,00	0,00
		2	22	1	5,0			22			7	5	0	0	0	7,0	5,0	0,0	0,00	0,00
		3	23	3	9,0	5,5	4,0	24	7	13	2	7	19	19	0	0,7	2,3	6,3	100,00	0,00
		4	24	3	11,0	7,0	6,0	7	11	24	2	6	38	36	2	0,7	2,0	12,7	94,74	5,26
		5	25	2	13,0	5,5		48	8		21	22	5	4	1	10,5	11,0	2,5	80,00	20,00
		6	26	1	5,5			34			2	23	7	7	0	2,0	23,0	7,0	100,00	0,00
		7	27	2	6,0	4,5		25	20		0	3	32	23	9	0,0	1,5	16,0	71,88	28,13
		8	28	3	4,5	2,0	1,5	15	5	4	1	3	21	14	7	0,3	1,0	7,0	66,67	33,33
		9	29	3	8,5	8,5	6,0	19	12	17	18	16	17	17	0	6,0	5,3	5,7	100,00	0,00
		10	30	1	7,5			42			32	6	3	3	0	32,0	6,0	3,0	100,00	0,00
		11	31	1	6,5			27			0	24	1	1	0	0,0	24,0	1,0	100,00	0,00
		12	32	1	3,0			8			7	1	0	0	0	7,0	1,0	0,0	0,00	0,00
		13	33	1	6,5			15			3	4	2	2	0	3,0	4,0	2,0	100,00	0,00
		14	34	2	9,5	3,5		16	10		1	2	17	16	1	0,5	1,0	8,5	94,12	5,88
Kontrolle	10	1	35	3	8,5	6,5	2,0	40	28	8	14	45	1	1	0	4,7	15,0	0,3	100,00	0,00
		2	36	1	9,0			41			32	3	0	0	0	32,0	3,0	0,0	0,00	0,00
		3	37	1	9,5			35			3	10	11	11	0	3,0	10,0	11,0	100,00	0,00
		4	38	1	5,5			24			3	4	16	16	0	3,0	4,0	16,0	100,00	0,00
		5	39	1	4,0			36			29	0	0	0	0	29,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		6	40	3	5,0	4,5	4,0	23	18	29	8	22	8	8	0	2,7	7,3	2,7	100,00	0,00
		7	41	2	7,5	6,0		55	5		20	33	3	3	0	10,0	16,5	1,5	100,00	0,00
		8	42	2	5,5	2,0		12	0		9	3	0	0	0	4,5	1,5	0,0	0,00	0,00
		9	43	2	8,0	6,0		46	30		6	9	21	21	0	3,0	4,5	10,5	100,00	0,00
		10	44	3	9,0	6,0	3,0	18	15	3	2	1	3	3	0	0,7	0,3	1,0	100,00	0,00
		11	45	1	8,5			37			2	11	6	4	2	2,0	11,0	6,0	66,67	33,33
		12	46	1	4,5			29			2	8	3	2	1	2,0	8,0	3,0	66,67	33,33
		13	47	2	5,0	2,0		12	0		4	3	5	5	0	2,0	1,5	2,5	100,00	0,00
		14	48	2	11,0	6,5		66	27		23	41	18	15	3	11,5	20,5	9,0	83,33	16,67
		15	49	1	7,0			32			17	3	4	2	2	17,0	3,0	4,0	50,00	50,00
		16	50	1	2,5			3			0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00

Variante	Stamm Nr.	Brutbild Nr.	Brutbild fortlaufend	MG #	Länge MG 1	Länge MG 2	Länge MG 3	LG/MG 1	LG/MG 2	LG/MG 3	La	Pu	JK	Färbung JK hell	Färbung JK dunkel	La/MG	Pu/MG	JK/MG	helle JK [%]	dunkle JK [%]
Kontrolle	7	17	51	3	10,0	5,0	4,5	30	2	16	4	9	1	0	1	1,3	3,0	0,3	0,00	100,00
Gesamt			51	86							353	426	567	376	191					

Tab. 16: Beregnungsexperiment, Versuchsvariante B: Datenübersicht der schwach beregneten Versuchsstämme mit neuntägigem Käferansatz (Versuchsstämme 5, 8 und 11)

Variante	Stamm	Brutbild	Brutbild	MG	Länge MG			LG/MG			La	Pu	JK	Färbung JK		La/MG	Pu/MG	JK/MG	helle JK	dunkle JK
	Nr.	Nr.	fortlaufend	#	1	2	3	1	2	3				hell	dunkel				[%]	[%]
schwach	5	1	52	1	3,5			13			1	1	6	6	0	1,0	1,0	6,0	100,00	0,00
		2	53	1	9,0			16			4	5	1	1	0	4,0	5,0	1,0	100,00	0,00
		3	54	3	7,5	7,0	4,5	32	0	19	19	7	0	0	0	6,3	2,3	0,0	0,00	0,00
		4	55	2	8,0	5,0		38	29		26	27	0	0	0	13,0	13,5	0,0	0,00	0,00
		5	56	3	7,5	6,0	6,0	1	17	16	4	4	1	1	0	1,3	1,3	0,3	100,00	0,00
		6	57	3	9,0	9,0	8,5	30	23	7	11	8	3	3	0	3,7	2,7	1,0	100,00	0,00
		7	58	2	5,5	5,0		38	23		7	13	4	4	0	3,5	6,5	2,0	100,00	0,00
		8	59	2	5,0	1,0		11	0		6	2	0	0	0	3,0	1,0	0,0	0,00	0,00
		9	60	1	11,0			32			0	7	5	5	0	0,0	7,0	5,0	100,00	0,00
		10	61	1	13,0			45			2	6	12	12	0	2,0	6,0	12,0	100,00	0,00
		11	62	2	12,0	5,5		68	4		14	37	16	16	0	7,0	18,5	8,0	100,00	0,00
		12	63	2	10,0	6,0		37	10		2	7	17	17	0	1,0	3,5	8,5	100,00	0,00
		13	64	1	13,0			31			12	2	0	0	0	12,0	2,0	0,0	0,00	0,00
		14	65	2	6,0	3,5		26	19		3	3	2	2	0	1,5	1,5	1,0	100,00	0,00
		15	66	1	8,0			20			1	11	5	5	0	1,0	11,0	5,0	100,00	0,00
		16	67	1	6,5			18			0	7	12	12	0	0,0	7,0	12,0	100,00	0,00
		17	68	1	4,5			6			1	0	0	0	0	1,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		18	69	1	4,0			10			2	0	0	0	0	2,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		19	70	1	4,0			17			3	2	0	0	0	3,0	2,0	0,0	0,00	0,00
schwach	8	1	71	1	3,0			10			3	6	0	0	0	3,0	6,0	0,0	0,00	0,00
		2	72	2	3,5	3,0		8	6		2	7	1	1	0	1,0	3,5	0,5	100,00	0,00
		3	73	2	7,5	7,0		12	9		10	0	0	0	0	5,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		4	74	1	7,5			4			4	0	0	0	0	4,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		5	75	2	4,5	3,0		28	8		14	32	2	2	0	7,0	16,0	1,0	100,00	0,00
		6	76	2	6,5	6,0		27	27		20	19	3	3	0	10,0	9,5	1,5	100,00	0,00
		7	77	1	5,5			11			2	8	0	0	0	2,0	8,0	0,0	0,00	0,00
		8	78	1	3,0			7			6	0	0	0	0	6,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		9	79	1	7,5			29			0	5	18	18	0	0,0	5,0	18,0	100,00	0,00
		10	80	1	5,5			29			0	14	11	11	0	0,0	14,0	11,0	100,00	0,00
		11	81	2	5,0	4,5		15	0		4	14	2	2	0	2,0	7,0	1,0	100,00	0,00
		12	82	2	3,0	2,0		9	8		1	4	0	0	0	0,5	2,0	0,0	0,00	0,00
		13	83	2	5,5	3,5		27	5		28	0	0	0	0	14,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		14	84	2	6,5	3,5		14	24		0	25	10	10	0	0,0	12,5	5,0	100,00	0,00
		15	85	2	11,0	4,5		41	20		33	25	0	0	0	16,5	12,5	0,0	0,00	0,00
		16	86	2	4,5	3,5		24	8		16	12	0	0	0	8,0	6,0	0,0	0,00	0,00
		17	87	1	5,0			15			17	6	0	0	0	17,0	6,0	0,0	0,00	0,00
		18	88	1	4,5			13			6	2	0	0	0	6,0	2,0	0,0	0,00	0,00
schwach	11	1	89	2	8,0	6,0		29	31		50	0	0	0	0	25,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		2	90	3	3,0	2,5	2,5	18	9	5	19	0	0	0	0	6,3	0,0	0,0	0,00	0,00
		3	91	3	10,5	7,0	4	50	22	11	37	11	0	0	0	12,3	3,7	0,0	0,00	0,00
		4	92	2	6,0	2,0		17	6		10	0	0	0	0	5,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		5	93	1	9,0			20			17	3	0	0	0	17,0	3,0	0,0	0,00	0,00
		6	94	1	7,0			41			34	1	0	0	0	34,0	1,0	0,0	0,00	0,00
		7	95	3	5,0	3,5	3	27	5	9	22	0	0	0	0	7,3	0,0	0,0	0,00	0,00
		8	96	2	3,5	2,0		33	0		17	0	0	0	0	8,5	0,0	0,0	0,00	0,00
		9	97	2	6,0	5,0		6	11		14	0	0	0	0	7,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		10	98	2	5,5	3,0		15	8		19	0	0	0	0	9,5	0,0	0,0	0,00	0,00
		11	99	1	4,0			13			8	4	0	0	0	8,0	4,0	0,0	0,00	0,00

Variante	Stamm Nr.	Brutbild Nr.	Brutbild fortlaufend	MG #	Länge MG 1	Länge MG 2	Länge MG 3	LG/MG 1	LG/MG 2	LG/MG 3	La	Pu	JK	Färbung JK hell	Färbung JK dunkel	La/MG	Pu/MG	JK/MG	helle JK [%]	dunkle JK [%]
schwach	11	12	100	2	4,5	3,5		15	15		10	8	0	0	0	5,0	4,0	0,0	0,00	0,00
		13	101	1	5,5			17			10	0	0	0	0	10,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		14	102	2	10,0	9,5		34	29		51	0	0	0	0	25,5	0,0	0,0	0,00	0,00
		15	103	1	3,5			1			1	0	0	0	0	1,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		16	104	1	5,0			33			23	0	0	0	0	23,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		17	105	1	4,0			17			16	0	0	0	0	16,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		18	106	1	4,5			15			7	8	0	0	0	7,0	8,0	0,0	0,00	0,00
		19	107	2	11,0	5,5		9	13		12	9	2	2	0	6,0	4,5	1,0	100,00	0,00
		20	108	2	7,0	4,5		0	0		0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
Gesamt			57	94							661	372	133	133	0					

Tab. 17: Beregnungsexperiment, Versuchsvariante B: Datenübersicht der stark beregneten Versuchsstämme mit neuntägigem Käferansatz (Versuchsstämme 6, 9 und 12)

Variante	Stamm	Brutbild	Brutbild	MG	Länge MG			LG/MG			La	Pu	JK	Färbung JK		La/MG	Pu/MG	JK/MG	helle JK	dunkle JK
	Nr.	Nr.	fortlaufend	#	1	2	3	1	2	3				hell	dunkel				[%]	[%]
stark	6	1	109	1	8,0			21			7	6	0	0	0	7,0	6,0	0,0	0,00	0,00
		2	110	1	2,0			14			1	11	6	6	0	1,0	11,0	6,0	100,00	0,00
		3	111	3	8,5	8,0	7,0	39	21	19	14	9	2	2	0	4,7	3,0	0,7	100,00	0,00
		4	112	3	10,0	6,0	5,0	27	9	21	24	4	1	1	0	8,0	1,3	0,3	100,00	0,00
		5	113	1	9,5			32			4	0	0	0	0	4,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		6	114	3	14,0	8,5	5,5	88	36	23	34	2	0	0	0	11,3	0,7	0,0	0,00	0,00
		7	115	2	7,5	4,5		32	31		16	1	0	0	0	8,0	0,5	0,0	0,00	0,00
		8	116	3	6,0	2,5	2,0	14	11	0	10	1	0	0	0	3,3	0,3	0,0	0,00	0,00
		9	117	1	6,5			20			8	0	0	0	0	8,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		10	118	2	6,0	3,5		27	16		3	0	0	0	0	1,5	0,0	0,0	0,00	0,00
		11	119	2	7,0	5,0		16	0		1	3	2	2	0	0,5	1,5	1,0	100,00	0,00
		12	120	2	5,0	2,0		23	3		0	15	8	8	0	0,0	7,5	4,0	100,00	0,00
		13	121	1	3,0			17			0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		14	122	1	8,0			35			2	0	0	0	0	2,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		15	123	2	7,0	6,0		17	22		3	0	0	0	0	1,5	0,0	0,0	0,00	0,00
		16	124	2	8,0	2,5		17	4		4	4	0	0	0	2,0	2,0	0,0	0,00	0,00
stark	9	1	125	2	4,5	2,0		20	0		14	0	0	0	0	7,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		2	126	2	3,5	1,0		1	0		1	0	0	0	0	0,5	0,0	0,0	0,00	0,00
		3	127	1	6,0			21			20	0	0	0	0	20,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		4	128	3	3,0	2,0	1,0	9	0	0	7	1	0	0	0	2,3	0,3	0,0	0,00	0,00
		5	129	2	3,5	3,5		14	10		15	2	0	0	0	7,5	1,0	0,0	0,00	0,00
		6	130	3	9,0	8,5	7,5	9	43	18	38	14	0	0	0	12,7	4,7	0,0	0,00	0,00
		7	131	2	6,5	3,0		12	7		22	0	0	0	0	11,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		8	132	3	3,0	2,5	0,5	9	0	0	5	0	0	0	0	1,7	0,0	0,0	0,00	0,00
		9	133	2	11,0	7,5		16	27		54	0	0	0	0	27,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		10	134	3	7,5	7,0	3,5	11	13	16	27	0	0	0	0	9,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		11	135	2	7,5	2,5		13	1		3	0	0	0	0	1,5	0,0	0,0	0,00	0,00
		12	136	2	9,5	8,0		42	14		33	18	0	0	0	16,5	9,0	0,0	0,00	0,00
stark	12	1	137	2	2,0	1,0		9	3		11	0	0	0	0	5,5	0,0	0,0	0,00	0,00
		2	138	2	11,0	1,5		16	0		11	5	0	0	0	5,5	2,5	0,0	0,00	0,00
		3	139	1	6,0			19			10	0	0	0	0	10,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		4	140	3	5,0	4,0	2,0	31	8	0	37	0	0	0	0	12,3	0,0	0,0	0,00	0,00
		5	141	3	5,0	4,5	2,0	7	19	12	34	4	0	0	0	11,3	1,3	0,0	0,00	0,00
		6	142	1	7,5			27			25	2	0	0	0	25,0	2,0	0,0	0,00	0,00
		7	143	2	5,0	3,5		32	12		22	2	0	0	0	11,0	1,0	0,0	0,00	0,00
		8	144	1	2,5			10			5	5	0	0	0	5,0	5,0	0,0	0,00	0,00
		9	145	2	4,0	3,5		17	0		14	1	0	0	0	7,0	0,5	0,0	0,00	0,00
		10	146	2	13,0	8,0		89	23		85	16	0	0	0	42,5	8,0	0,0	0,00	0,00
		11	147	1	3,5			12			5	0	0	0	0	5,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		12	148	1	4,0			16			9	7	0	0	0	9,0	7,0	0,0	0,00	0,00
		13	149	1	4,5			10			7	0	0	0	0	7,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		14	150	3	10,0	9,5	6,0	51	23	10	60	0	0	0	0	20,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		15	151	2	4,5	2,0		0	13		12	0	0	0	0	6,0	0,0	0,0	0,00	0,00
		16	152	2	8,0	5,0		14	3		11	6	0	0	0	5,5	3,0	0,0	0,00	0,00
		17	153	2	4,5	4,0		12	24		25	8	0	0	0	12,5	4,0	0,0	0,00	0,00
Gesamt				45	88						753	147	19	19	0					

Tab. 18: Klimakammern: Datenübersicht der Versuchsstämme für 30% relative Luftfeuchtigkeit (Versuchsstämme 7-9)

relative Luft-	Stamm	Brutbild	Brutbild	MG	Länge MG			LG/MG			La	Pu	JK	Färbung		La/MG	Pu/MG	JK/MG	helle JK	dunkle JK
feuchtet [%]	Nr.	Nr.	fortlaufend	#	1	2	3	1	2	3				hell	dunkel				[%]	[%]
30	7	1	1	2	15,5	14,0		63	52		19	31	37	37	0	9,50	15,50	18,50	100,00	0,00
		2	2	1	7,5			33			33	0	0	0	0	33,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		3	3	1	9,5			57			9	22	23	23	0	9,00	22,00	23,00	100,00	0,00
		4	4	2	8,5	3,0		47	7		16	23	10	10	0	8,00	11,50	5,00	100,00	0,00
		5	5	1	6,0			20			0	4	16	14	2	0,00	4,00	16,00	87,50	12,50
		6	6	2	5,5	2,0		0	6		1	3	1	1	0	0,50	1,50	0,50	100,00	0,00
		7	7	3	8,5	4,0	3,5	16	4	16	2	14	18	18	0	0,67	4,67	6,00	100,00	0,00
		8	8	1	12,5			74			17	28	44	44	0	17,00	28,00	44,00	100,00	0,00
		9	9	1	15,0			40			6	12	22	22	0	6,00	12,00	22,00	100,00	0,00
		10	10	3	13,0	9,0	7,0	59	36	26	10	24	47	46	1	3,33	8,00	15,67	97,87	2,13
		11	11	3	14,5	8,0	4,0	61	16	19	3	7	34	34	0	1,00	2,33	11,33	100,00	0,00
		12	12	3	10,5	3,5	3,0	49	6	17	2	6	40	40	0	0,67	2,00	13,33	100,00	0,00
		13	13	1	10,0			23			0	2	9	9	0	0,00	2,00	9,00	100,00	0,00
		14	14	1	7,0			39			0	5	18	18	0	0,00	5,00	18,00	100,00	0,00
		15	15	2	14,0	6,0		57	11		14	7	17	17	0	7,00	3,50	8,50	100,00	0,00
		16	16	2	17,0	3,0		64	8		10	20	56	56	0	5,00	10,00	28,00	100,00	0,00
30	8	1	17	3	9,5	9,0	8,0	19	23	24	1	1	64	58	6	0,33	0,33	21,33	90,63	9,38
		2	18	3	14,5	14,0	8,5	70	48	29	12	12	89	80	9	4,00	4,00	29,67	89,89	10,11
		3	19	3	12,0	8,5	8,0	34	5	23	5	12	17	17	0	1,67	4,00	5,67	100,00	0,00
		4	20	2	13,0	7,5		69	20		3	10	52	49	3	1,50	5,00	26,00	94,23	5,77
		5	21	2	16,0	7,5		87	19		15	18	64	59	5	7,50	9,00	32,00	92,19	7,81
		6	22	1	3,5			15			12	2	0	0	0	12,00	2,00	0,00	0,00	0,00
		7	23	3	11,0	10,0	4,5	53	39	0	0	5	46	41	5	0,00	1,67	15,33	89,13	10,87
		8	24	2	10,0	4,5		30	7		0	4	31	28	3	0,00	2,00	15,50	90,32	9,68
		9	25	1	11,5			52			2	1	36	35	1	2,00	1,00	36,00	97,22	2,78
		10	26	2	15,0	4,0		64	12		6	16	57	57	0	3,00	8,00	28,50	100,00	0,00
		11	27	1	12,5			72			23	18	26	26	0	23,00	18,00	26,00	100,00	0,00
30	9	1	28	1	8,0			51			5	15	30	30	0	5,00	15,00	30,00	100,00	0,00
		2	29	1	2,0			6			0	2	2	2	0	0,00	2,00	2,00	100,00	0,00
		3	30	3	11,5	8,5	5,5	23	30		0	4	37	17	20	0,00	1,33	12,33	45,95	54,05
		4	31	1	6,5			14			4	2	7	4	3	4,00	2,00	7,00	57,14	42,86
		5	32	1	5,5			28			3	3	6	4	2	3,00	3,00	6,00	66,67	33,33
		6	33	2	7,5	6,0		18	27		2	1	17	9	8	1,00	0,50	8,50	52,94	47,06
		7	34	2	13,0	12,5		51	49		4	3	62	22	40	2,00	1,50	31,00	35,48	64,52
Gesamt			34	63							239	337	1035	927	108					

Tab. 19: Klimakammern: Datenübersicht der Versuchsstämme für 50% relative Luftfeuchtigkeit (Versuchsstämme 1-3)

relative Luft-	Stamm	Brutbild	Brutbild	MG	Länge MG			LG/MG			La	Pu	JK	Färbung		La/MG	Pu/MG	JK/MG	helle JK	dunkle JK
feuchte [%]	Nr.	Nr.	fortlaufend	#	1	2	3	1	2	3				hell	dunkel				[%]	[%]
50	1	1	35	1	4,5			15			6	3	7	5	2	6,00	3,00	7,00	71,43	28,57
		2	36	1	5,0			13			0	0	12	5	7	0,00	0,00	12,00	41,67	58,33
		3	37	1	8,5			20			0	0	14	8	6	0,00	0,00	14,00	57,14	42,86
		4	38	1	9,0			17			2	2	11	11	0	2,00	2,00	11,00	100,00	0,00
		5	39	1	8,5			42			0	0	35	18	17	0,00	0,00	35,00	51,43	48,57
		6	40	1	9,5			21			4	3	13	7	6	4,00	3,00	13,00	53,85	46,15
		7	41	1	12,5			57			17	13	11	10	1	17,00	13,00	11,00	90,91	9,09
		8	42	2	9,0	1,0		24	0		0	0	15	13	2	0,00	0,00	7,50	86,67	13,33
		9	43	2	10,0	9,0		38	23		0	0	21	18	3	0,00	0,00	10,50	85,71	14,29
		10	44	1	8,5			23			1	2	20	15	5	1,00	2,00	20,00	75,00	25,00
		11	45	1	14,5			60			3	10	11	10	1	3,00	10,00	11,00	90,91	9,09
		12	46	1	6,0			24			0	0	16	15	1	0,00	0,00	16,00	93,75	6,25
		13	47	1	5,0			21			16	3	0	0	0	16,00	3,00	0,00	0,00	0,00
		14	48	1	11,5			16			0	0	7	7	0	0,00	0,00	7,00	100,00	0,00
		15	49	3	15,0	8,5	2,5	37	18	13	0	1	31	24	7	0,00	0,33	10,33	77,42	22,58
		16	50	2	11,5	2,0		36	6		2	1	28	18	10	1,00	0,50	14,00	64,29	35,71
		17	51	1	10,0			19			6	10	2	2	0	6,00	10,00	2,00	100,00	0,00
		18	52	1	3,5			16			0	7	3	3	0	0,00	7,00	3,00	100,00	0,00
		19	53	1	10,0			51			6	6	26	19	7	6,00	6,00	26,00	73,08	26,92
		20	54	1	9,0			33			31	0	0	0	0	31,00	0,00	0,00	0,00	0,00
50	2	1	55	2	9,0	8,0		41	9		5	8	17	9	8	2,50	4,00	8,50	52,94	47,06
		2	56	1	5,0			25			0	7	16	13	3	0,00	7,00	16,00	81,25	18,75
		3	57	1	9,0			33			0	0	20	7	13	0,00	0,00	20,00	35,00	65,00
		4	58	1	5,0			20			0	0	6	4	2	0,00	0,00	6,00	66,67	33,33
		5	59	1	10,0			25			0	2	21	15	6	0,00	2,00	21,00	71,43	28,57
		6	60	1	6,5			15			0	0	6	6	0	0,00	0,00	6,00	100,00	0,00
		7	61	1	10,0			43			6	6	22	22	0	6,00	6,00	22,00	100,00	0,00
		8	62	2	10,0	7,0		44	25		14	15	7	6	1	7,00	7,50	3,50	85,71	14,29
		9	63	1	11,0			35			17	0	0	0	0	17,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		10	64	1	10,5			34			2	5	28	22	6	2,00	5,00	28,00	78,57	21,43
		11	65	1	6,5			3			0	1	2	2	0	0,00	1,00	2,00	100,00	0,00
		12	66	2	11,5	8,5		51	29		0	4	31	12	19	0,00	2,00	15,50	38,71	61,29
		13	67	1	10,0			47			6	27	6	6	0	6,00	27,00	6,00	100,00	0,00
		14	68	2	12,0	10,0		70	45		3	31	47	39	8	1,50	15,50	23,50	82,98	17,02
		15	69	1	10,0			14			1	0	15	11	4	1,00	0,00	15,00	73,33	26,67
		16	70	2	7,0	2,5		31	14		1	9	10	5	5	0,50	4,50	5,00	50,00	50,00
		17	71	2	9,0	3,0		33	18		0	2	30	15	15	0,00	1,00	15,00	50,00	50,00
		18	72	1	13,0			39			1	1	21	10	11	1,00	1,00	21,00	47,62	52,38
		19	73	1	7,0			36			3	14	14	13	1	3,00	14,00	14,00	92,86	7,14
		20	74	1	8,0			11			0	0	5	4	1	0,00	0,00	5,00	80,00	20,00
		21	75	2	10,0	9,5		36	37		5	8	40	19	23	2,50	4,00	20,00	47,50	57,50
50	3	1	76	3	13,0	11,0	8,0	16	22	15	0	0	58	6	52	0,00	0,00	19,33	10,34	89,66
		2	77	3	13,0	8,0	4,0	23	20	4	0	0	58	6	52	0,00	0,00	19,33	10,34	89,66
		3	78	1	2,5			3			0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		4	79	1	5,0			15			7	6	0	0	0	7,00	6,00	0,00	0,00	0,00
		5	80	1	7,0			32			3	4	16	11	5	3,00	4,00	16,00	68,75	31,25
Gesamt				46	62						168	211	779	471	310					

Tab. 20: Klimakammern: Datenübersicht der Versuchsstämme für 80% relative Luftfeuchtigkeit (Versuchsstämme 4-6)

relative Luft-	Stamm	Brutbild	Brutbild	MG	Länge MG			LG/MG			La	Pu	JK	Färbung		La/MG	Pu/MG	JK/MG	helle JK	dunkle JK
feuchte [%]	Nr.	Nr.	fortlaufend	#	1	2	3	1	2	3				hell	dunkel				[%]	[%]
80	4	1	81	2	12,0	10,0		32	24		5	9	42	14	28	2,50	4,50	21,00	33,33	66,67
		2	82	2	20,0	7,5		64	22		0	10	66	61	5	0,00	5,00	33,00	92,42	7,58
		3	83	2	6,5	3,5		11	5		4	11	2	2	0	2,00	5,50	1,00	100,00	0,00
		4	84	3	13,0	12,0	8,0	17	29	41	3	6	67	48	19	1,00	2,00	22,33	71,64	28,36
		5	85	3	12,5	9,5	8,0	54	61	21	17	12	55	43	12	5,67	4,00	18,33	78,18	21,82
		6	86	2	11,0	10,5		43	24		2	14	25	19	6	1,00	7,00	12,50	76,00	24,00
		7	87	1	5,5			28			2	8	9	7	2	2,00	8,00	9,00	77,78	22,22
		8	88	1	5,0			16			2	5	5	5	0	2,00	5,00	5,00	100,00	0,00
		9	89	2	7,5	1,5		21	0		0	0	13	10	3	0,00	0,00	6,50	76,92	23,08
		10	90	1	5,5			18			0	0	11	9	2	0,00	0,00	11,00	81,82	18,18
		11	91	2	12,0	3,0		60	13		0	0	17	8	9	0,00	0,00	8,50	47,06	52,94
		12	92	1	10,0			43			0	3	13	8	5	0,00	3,00	13,00	61,54	38,46
		13	93	1	10,5			38			4	4	22	16	6	4,00	4,00	22,00	72,73	27,27
		14	94	2	14,0	9,5		67	31		4	4	45	15	30	2,00	2,00	22,50	33,33	66,67
		15	95	1	4,5			34			3	3	20	12	8	3,00	3,00	20,00	60,00	40,00
		16	96	1	12,5			63			0	3	59	32	27	0,00	3,00	59,00	54,24	45,76
80	5	1	97	1	8,5			55			12	9	21	20	1	12,00	9,00	21,00	95,24	4,76
		2	98	3	18,5	14,0	8,0	68	50	39	9	11	137	55	82	3,00	3,67	45,67	40,15	59,85
		3	99	2	4,5	3,0		17	13		1	0	27	3	24	0,50	0,00	13,50	11,11	88,89
		4	100	2	18,5	3,5		79	15		18	11	65	39	26	9,00	5,50	32,50	60,00	40,00
		5	101	1	9,0			34			0	0	19	13	6	0,00	0,00	19,00	68,42	31,58
		6	102	2	6,0	5,5		17	20		0	0	18	14	4	0,00	0,00	9,00	77,78	22,22
		7	103	2	14,5	8,0		35	18		2	6	36	11	25	1,00	3,00	18,00	30,56	69,44
		8	104	1	7,5			28			0	4	24	14	10	0,00	4,00	24,00	58,33	41,67
		9	105	1	8,5			19			0	5	14	8	6	0,00	5,00	14,00	57,14	42,86
		10	106	1	5,5			8			0	5	3	3	0	0,00	5,00	3,00	100,00	0,00
		11	107	1	6,0			23			5	0	18	10	8	5,00	0,00	18,00	55,56	44,44
80	6	1	108	1	7,5			44			0	0	32	25	7	0,00	0,00	32,00	78,13	21,88
		2	109	1	17,0			23			6	1	13	8	5	6,00	1,00	13,00	61,54	38,46
		3	110	2	8,0	6,5		42	9		3	3	15	11	4	1,50	1,50	7,50	73,33	26,67
		4	111	1	8,5			50			0	0	16	11	5	0,00	0,00	16,00	68,75	31,25
		5	112	1	8,0			17			0	0	17	12	6	0,00	0,00	17,00	70,59	35,29
		6	113	1	10,5			34			2	4	26	13	13	2,00	4,00	26,00	50,00	50,00
		7	114	1	11,0			40			1	3	33	26	7	1,00	3,00	33,00	78,79	21,21
		8	115	1	10,5			51			1	1	28	13	15	1,00	1,00	28,00	46,43	53,57
Gesamt				35	53						106	155	1033	618	416					

7. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Luftbildaufnahme vom Schadgebiet Hirschgraben im Revier Schreier der Forstverwaltung Wildalpen im April 2007 9

Abb. 2: ÖK500 Übersichtskarte: Untersuchungsgebiet, Wetterstationen 10

Abb. 3: Klimadiagramme von Hieflau und Mariazell (Daten: ZAMG, 2001) 11

Abb. 4: Mittlere Temperaturverläufe Hieflau und Mariazell (Daten: ZAMG, 2001) 11

Abb. 5: Messstation am südlichen, oberen Rand der Windwurffläche Hirschgraben 12

Abb. 6: ÖK50 Übersichtskarte Windwurffläche Hirschgraben 13

Abb. 7: Linkes Bild: Probebaum 3 mit Lufttemperaturmesser. Rechtes Bild: Probebaum 4 mit Datenlogger 14

Abb. 8: Käfige mit den Kontrollstämmen und Aufbau der Beregnungsstation »stark« im Garten des Institutes 16

Abb. 9: Anordnung der Versuchsstämme und der Niederschlagsmesser während des Beregnungsexperiments im Institutsgarten (ohne Kontrollstämme) 18

Abb. 10: Glasgefäß 3 (92% r. F.) mit drei modifizierten Sandwichplatten 22

Abb. 11: Mittlere Lufttemperatur und Tagesniederschläge von der Wetterstation auf der Untersuchungsfläche Hirschgraben während des Untersuchungszeitraums 26

Abb. 12: Mittlere Lufttemperaturen (°C) bei den einzelnen Probebäumen während der Monate Mai-Oktober 2007 27

Abb. 13: Mittlere Rindentemperaturen (°C) der einzelnen Probebäume während der Monate Mai-Oktober 2007 28

Abb. 14: Tägliche maximale Rindentemperaturen (°C) der Probebäume während der Monate Mai-Oktober 2007 29

Abb. 15: Mittlere Lufttemperatur und maximale Rindentemperatur am südexponierten Probebaum 2 in 1.487 m Seehöhe während der Monate Mai-Oktober 2007 30

Abb. 16: Stündliche Rinden- und Lufttemperaturen (°C) von Probebaum 1 sowie Niederschlagswerte der Messstation Anfang August auf der Untersuchungsfläche. 30

Abb. 17: Wöchentliche Fangzahlen (%) von *I. typographus* auf 993 m Seehöhe in Scheibbs (BFW) sowie mittlere Wochentemperaturen (°C) und wöchentliche Niederschlagssummen (mm/m²) von der Untersuchungsfläche 2007 32

Abb. 18: Relative mittlere Rindentemperatursumme von Probebaum 1 und mögliche Entwicklungsabfolge von *Ips typographus* 34

Abb. 19: Relative mittlere Rindentemperatursumme von Probebaum 2 und mögliche Entwicklungs- und Generationsabfolge von *Ips typographus* 35

Abb. 20: Relative mittlere Rindentemperatursumme von Probebaum 3 und mögliche Entwicklungs- und Generationsabfolge von *Ips typographus* 36

Abb. 21: Relative mittlere Rindentemperatursumme vom stehenden Probebaum 4 und mögliche Entwicklungsabfolge von *Ips typographus* 37

Abb. 22: Zeitlicher Verlauf der Bastfeuchten (%) der Probebäume von der Untersuchungsfläche Hirschgraben im Sommer 2007 39

Abb. 23: Anzahl Larven/Muttergang (links) und Puppen/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 41

Abb. 24: Anzahl der Jungkäfer/Muttergang (links) und der insgesamt sich entwickelnden Nachkommen/Muttergang (Larven, Puppen, Jungkäfer; rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 42

Abb. 25: Anzahl von hellen Jungkäfern/Muttergang (links) und dunklen Jungkäfern/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 43

Abb. 26: Larvengänge/cm Muttergang (links) und Mortalität der Larven/Brutbild (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 43

Abb. 27: Mittlerer Tagestemperaturverlauf (°C) im Garten des IFFF und Aufenthaltsdauer der Versuchsstämme in der Beregnungsanlage 44

Abb. 28: Kontrollstämme 4, 7 und 10: Anzahl Larven-, Puppen- und Jungkäfer/Muttergang 45

Abb. 29: Schwach beregnete Versuchsstämme 5, 8 und 11: Anzahl Larven-, Puppen- und Jungkäfer/Muttergang 46

Abb. 30: Stark beregnete Versuchsstämme 6, 9 und 12: Anzahl Larven-, Puppen- und Jungkäfer/Muttergang 47

Abb. 31: Anzahl Larven/Muttergang (links) und Puppen/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 49

Abb. 32: Anzahl der Jungkäfer/Muttergang (links) und der insgesamt sich entwickelnden Nachkommen/Muttergang (Larven, Puppen, Jungkäfer; rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 50

Abb. 33: Anzahl von hellen Jungkäfern/Muttergang (links) und dunklen Jungkäfern/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 51

Abb. 34: Larvengänge/cm Muttergang (links) und Mortalität der Larven/Brutbild (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 52

Abb. 35: Anzahl Larven/Muttergang (links) und Puppen/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 53

Abb. 36: Anzahl der Jungkäfer/Muttergang (links) und der insgesamt sich entwickelnden Nachkommen/Muttergang (Larven, Puppen, Jungkäfer; rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 54

Abb. 37: Anzahl von hellen Jungkäfern/Muttergang (links) und dunklen Jungkäfern/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 55

Abb. 38: Larvengänge/cm Muttergang (links) und Mortalität der Larven/Brutbild (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 56

Abb. 39: Anzahl Larven/Muttergang (links) und Puppen/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 57

Abb. 40: Anzahl der Jungkäfer/Muttergang (links) und der insgesamt sich entwickelnden Nachkommen/Muttergang (Larven, Puppen, Jungkäfer; rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 58

Abb. 41: Anzahl von hellen Jungkäfern/Muttergang (links) und dunklen Jungkäfern/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 59

Abb. 42: Larvengänge/cm Muttergang (links) und Mortalität der Larven/Brutbild (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 60

Abb. 43: Prozentuelle Verteilung von Larven-, Puppen- und Jungkäfern/Muttergang gegliedert nach den Beregnungsvarianten und dem Start der Beregnung 62

Abb. 44: Bastfeuchten (%) der Varianten während des Beregnungsexperiments 63

Abb. 45: Verlauf der Bastfeuchten (%) von den beregneten Varianten gegliedert nach der Entnahmestelle während des Beregnungsexperiments..... 64

Abb. 46: Entwicklungsstand der Stämme 3, 6 und 9 zum Zeitpunkt der Überführung von der Erhaltungszucht in die Klimakammer..... 66

Abb. 47: Der Entwicklungsstand der Tiere in den Versuchsstämmen 7-9 unterschied sich nach einmonatiger Inkubation im Phytotron bei 20°C und 30% r. F. nicht signifikant..... 67

Abb. 48: Der Entwicklungsstand der Tiere in den Versuchsstämmen 1-3 unterschied sich nach einmonatiger Inkubation im Phytotron bei 20°C und 50% r. F. nicht signifikant..... 68

Abb. 49: Der Entwicklungsstand der Tiere in den Versuchsstämmen 4-6 unterschied sich nach einmonatiger Inkubation im Phytotron bei 20°C und 80% r. F. nicht signifikant..... 69

Abb. 50: Zusammenhang zwischen Muttergangländge und der Anzahl Larvengänge/Muttergang..... 71

Abb. 51: Brutbild von *Ips typographus* mit einer Muttergangländge von 16 cm und 87 Larvengängen, angelegt unter Bedingungen von 30% r. F. und 20°C..... 71

Abb. 52: Anzahl Larven/Muttergang (links) und Puppen/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Luftfeuchten (r.h.) und 20°C..... 72

Abb. 53: Anzahl der Jungkäfer/Muttergang (links) und der insgesamt sich entwickelnden Nachkommen/Muttergang (Larven, Puppen, Jungkäfer; rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Luftfeuchten (r.h.) und 20°C..... 73

Abb. 54: Anzahl von hellen Jungkäfern/Muttergang (links) und dunklen Jungkäfern/Muttergang (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Luftfeuchten (r.h.) und 20°C..... 74

Abb. 55: Larvengänge/cm Muttergang (links) und Mortalität der Larven/Brutbild (rechts) bei Entwicklung unter verschiedenen Luftfeuchten (r.h.) und 20°C..... 75

Abb. 56: Im Zeitraum 10.4.-17.9.2007 täglich erhobene Fangzahlen (%) von *I. typographus* und maximale Lufttemperaturen (°C) auf 500 m Seehöhe in Mühldorf/NÖ (Kritsch, 2007) sowie tagsüber gefallener Niederschlag (mm/m²) bei der Wetterstation Jauerling/ORF (952 m; ZAMG, 2008)..... 80

8. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Lagedaten und Beschreibung der Probebäume auf der Windwurffläche Hirschgraben 13

Tab. 2: Zeitpunkte und Dauer von Käferansatz und Beregnung der Versuchsstämme 20

Tab. 3: Zeitpunkte und Dauer von Käferansatz und Inkubation der Versuchsstämme 24

Tab. 4: Übersicht über Temperaturschwellenwerte, thermale Kennwerte der einzelnen Entwicklungsstadien und unterer und oberer Entwicklungsnullpunkte von *Ips typographus* (nach Wermelinger und Seifert, 1998; Baier, 2007) 27

Tab. 5: Mittelwert und Standardabweichung der Luft- und Rindentemperaturen (10.5.-2.10.2007) 33

Tab. 6: Beobachtete maximale und prognostizierte Brutentwicklung auf der Untersuchungsfläche 2007 33

Tab. 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bastfeuchten (%) der einzelnen Probebäume von den fünf Außenaufnahmen (Juni-Oktober 2007) 38

Tab. 8: Summen und Mittelwerte der Entwicklungsparameter von *Ips typographus* in den einzelnen Versuchsstämmen der Versuchsvariante A nach einmonatigem Aufenthalt unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 40

Tab. 9: Summen und Mittelwerte der Entwicklungsparameter von *Ips typographus* in den einzelnen Versuchsstämmen der Versuchsvariante B nach einmonatigem Aufenthalt unter verschiedenen Beregnungsintensitäten 48

Tab. 10: Übersicht der Mittelwerte und Standardabweichungen der statistischen Überprüfungen nach dem Start der Beregnung 61

Tab. 11: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bastfeuchte (%) gegliedert nach Entnahmestelle und Zeitpunkt der Probenahme 62

Tab. 12: Summen und Mittelwerte der Entwicklungsparameter von *Ips typographus* in den einzelnen Versuchsstämme nach einem einmonatigen Aufenthalt unter verschiedenen r. F.-Bedingungen, Langtag-Photoperioden von 16L/8D und 20°C .. 70

Tab. 13: Relative Holzfeuchte (%) der Stämme nach einmonatiger Inkubation im Phytotron bei 20°C 75

Tab. 14: Beregnungsexperiment, Versuchsvariante A: Datenübersicht der Versuchsstämme mit 16tägigem Käferansatz (Versuchsstämme 1, 2 und 3)..... 85

Tab. 15: Beregnungsexperiment, Versuchsvariante B: Datenübersicht der Kontrollstämme mit neuntägigem Käferansatz (Versuchsstämme 4, 7 und 10) 87

Tab. 16: Beregnungsexperiment, Versuchsvariante B: Datenübersicht der schwach beregneten Versuchsstämme mit neuntägigem Käferansatz (Versuchsstämme 5, 8 und 11) 89

Tab. 17: Beregnungsexperiment, Versuchsvariante B: Datenübersicht der stark beregneten Versuchsstämme mit neuntägigem Käferansatz (Versuchsstämme 6, 9 und 12) 91

Tab. 18: Klimakammern: Datenübersicht der Versuchsstämme für 30% relative Luftfeuchtigkeit (Versuchsstämme 7-9) 92

Tab. 19: Klimakammern: Datenübersicht der Versuchsstämme für 50% relative Luftfeuchtigkeit (Versuchsstämme 1-3) 93

Tab. 20: Klimakammern: Datenübersicht der Versuchsstämme für 80% relative Luftfeuchtigkeit (Versuchsstämme 4-6) 94

9. Literaturverzeichnis

BAIER, P., PENNERSTORFER, J., SCHOPF, A. 2007: PHENIPS – A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. Forest Ecologgy and Management 249. 171-186.

BOEHM-BEZING, A. 1998: Untersuchungen über die Auswirkungen einer Berieselung von Fichtenrundholz (*Picea abies* Karst.) befallen mit Buchdrucker (*Ips typographus* L.): eine kurative Maßnahme? Diplomarbeit, Boku-Wien, 85.

BOUGET, C., DUELLI, P. 2004: The effects of windthrow on forest insect communities: a lieterature review. Biological Conservation 118: 281-299.

BYERS, J. A., LÖFQVIST, J., 1989: Flight initiation and survival in the bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) during the spring dispersal. Holarctic Ecology 12: 432-440.

CHRISTIANSEN, E., BAKKE, A. 1988: The spruce bark beetle of Eurasia. Dynamic of Forest Insect Populations. Patterns, Causes, Implications. Plenum Press, New York: 479-503.

DOLEZAL, P., SEHNAL, F. 2007: Effects of photoperiod and temperature on the development and daipause of the bark beetle *Ips typographus*. J. Appl. Entomol. 131 (3): 165-173.

FÜHRER, E. 1977: Studien über intraspezifische Inkompatibilität bei *Pityogenes chalcographus* L. (Col., Scolytidae). Z. ang. Ent. 83. 286-297.

FÜHRER, E., 1981: Jahreszeitliche Qualitätsschwankungen des Fichtenbastes (*Picea excelsa* Link) als Brutsubstart für den Borkenkäfer *Pityogenes chalcographus* L. (Col,. Scolytidae). Zeitschrift angew. Ent. 91: 74-83.

GREEN, S. B., SALKIND, N. T., AKEY, T. M. 2000: Using SPSS for Windows. Analyzing and understanding data. Second edition. Prentice-Hall Verlag. Upper Saddle River. 430 S.

HÄCKEL, H. 1999: Meteorologie. Ulmer, Stuttgart. 448.

HENNINGS, C., 1907/08: Experimentell-biologische Studien an Borkenkäfern. Nat. Zeitschrift f. Land- u. Forstwirtschaft.

KRITSCH, P. 2007: Tägliche Fallenfänge von *Ips typographus* in Mühldorf, Niederösterreich 2007. unveröffentlicht.

LOBINGER, G., 1994: Die Lufttemperatur als limitierender Faktor für die Schwärmaktivität zweier rindenbrütender Fichtenborkenkäferarten, *Ips typographus* L. und *Pityogenes chalcographus* L. (Co., Scolytidae). Anz. Schädl.kd. Pflanzenschutz Umweltschutz 67: 14-17.

MA 49 – Forstamt und Landwirtschaftsbetriebe der Stadt Wien: Forstoperat der FV Wildalpen, Revier Schreier, 2007-2016. Technischer Bericht.

MERKER, E., 1952: Das Wetter der Jahre 1939 bis 1950 und sein Einfluss auf die Massenvermehrung des großen Fichtenborkenkäfers in Südbaden. Allg. Forst- u. Jagdzeitung H. 8/9.

POSTNER, M., 1974: Scolytidae (=Ipidae) Borkenkäfer. In: Die Forstschädlinge Europas. Hrsg. SCHWENKE, W., Bd. 2, Paul Harey, Hamburg und Berlin, 334-482.

SCHIMITSCHEK, E. 1932: Forstentomologische und forstschutzliche Untersuchungen aus dem Gebiete von Lunz II. Bestand und Kahlfläche. Verhältnisse an verschieden exponierten Bestandesrändern. Centralblatt für das gesamte Forstwesen. Julius Springer, Wien. 225-267.

SCHLYTER, F., CEDERHOLM, I. 1981: Seperation of the sex of living spruce bark beetles, *Ips typographus* (L.), (Coleoptera: Scolytidae). Z. ang. Ent. 92. 42-47.

SCHOPF, A., 1989: Die Wirkung der Photoperiode auf die Induktion der Imaginaldiapause von *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). J. Appl. Ent. 107, 275-288.

SCHWENKE, W., 1996: Grundzüge des Massenwechsels und der Bekämpfung des Großen Fichtenborkenkäfers, *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 69: 11-15.

SCHWERDTFEGER, F., 1963: Autökologie. Die Beziehungen zwischen Tier und Umwelt. Bd. 1: Autökologie. Paul Harey, Hamburg und Berlin. 461.

UVAROV, B. P., 1929: Weather and Climate in their relation to Insects. Conference of Empire meteorologists. Agr, Sect, London.

WERMELINGER, B., SEIFERT, M. 1998: Analysis of the temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). J. Appl. Ent. 112: 185-191.

WERMELINGER, B., SEIFERT, M. 1999: Temperature-dependet reproduction of the spruce bark beetle *Ips typographus*, and analysis of the potential population growth. Ecological Entomology 24: 103-110.

WERMELINGER, B. 2004: Ecology and Management of the spruce bark beetle Ips typographus – a review of recent research. Forest Ecology and Management 202: 67-82.

WILD, M., 1953: Die Entwicklung des großen Fichtenborkenkäfers *Ips typographus* L. im Hochschwarzwald (1000-1200 m ü. M.) und ihre Abhängigkeit vom Klima 1947-1950. Bericht Naturforschende Gesellschaft Freiburg i. Br. 43: 121-176.

ZAMG, 2001: Öklim 2001.

ZAMG, 2008: Täglicher Temperatur- und Niederschlagsverlauf der Station Jauerling/ORF für das Jahr 2007.

ZASLAVSKI, V. A., 1988: Insect development: photoperiodic and temperature control. Springer, Berlin.

ZWÖLFER, W. 1932: Methoden zur Regulierung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit. Z. ang. Ent. Bd. XIX, Heft 4. 497-513.