

Anwendung von insektenpathogenen Nematoden gegen *Drosophila suzukii*

Mathias Matheis¹, Michael Krutzler^{1,2}, Günter Brader², Monika Riedle-Bauer¹

¹Bundesamt für Höhere Bundeslehranstalt für Wein- und Obstbau Klosterneuburg,
Wienerstraße 74
A-3400 Klosterneuburg,

²Austrian Institute of Technology
Konrad-Lorenz-Straße 24
A-3430 Tulln an der Donau,

E-Mail: monika.riedle-bauer@weinobst.at

Zusammenfassung

Die Kirschessigfliege, *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae), ist ein invasiver Schädling aus Asien, der seit 2008 in Europa auftritt und zu hohen Ertragsausfällen im Wein- und Obstbau führen kann. Die Eindämmung erweist sich aufgrund des enormen Reproduktionspotentials als schwierig. Zwar existieren Insektizide, ein Einsatz im Feld ist aufgrund des oft kurzen Zeitraums zwischen Befall und Ernte, gesetzlich vorgeschriebener Wartezeiten nach der Anwendung sowie Auswirkungen auf Nützlinge problematisch. Eine Bekämpfungsmöglichkeit könnte der Einsatz entomopathogener Nematoden sein, die sich gegen die Larvenentwicklung richten. Mittels Labor- und Freilandexperimenten wurde untersucht, ob Nematoden der Spezies *Heterorhabditis bacteriophora* und *Steinernema feltiae* sich dazu eignen, den Bestandsaufbau von *Drosophila suzukii* zu bremsen. In den Laborversuchen zeigte sich bei Einsatz von *H. bacteriophora* und *S. feltiae* eine signifikante Reduzierung der Anzahl geschlüpfter adulter Fliegen. Auch in einem Freilandversuch in Netzkäfigen reduzierten beide Nematodenspezies die Fliegenzahl, ein signifikanter Effekt ergab sich allerdings nur bei *H. bacteriophora*. Die Arbeit erweitert das Verständnis hinsichtlich möglicher eindämmender Maßnahmen gegen die Kirschessigfliege und dient als Grundlage weiterer Forschung zu möglichen Bekämpfungsstrategien.

Abstract

Spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae), originating from Asia and spreading in Europe since around 2008 has become a major pest of small and stone fruits as well as grapevines in Austria. Due to its enormous reproductive potential, control of this pest is difficult. So far, management is primarily achieved by application of insecticides. However, their application in the field is problematic due to the in many cases short period between infestation and harvest, legally required waiting times, potential residues and side effects on bees and beneficial organisms. Entomopathogenic nematodes have been used to successfully control a wide range of insect pests so far. Therefore, laboratory and field trials were conducted to determine whether nematodes of the species *Heterorhabditis bacteriophora* and *Steinernema feltiae* have the potential to interfere with fly development and thus to slow down population growth. In the laboratory experiments, both nematode species significantly reduced the number of hatched adult flies. In the field, adult eclosion was negatively affected by both nematode species, a statistically significant effect, however, was recorded for *H. bacteriophora* only. The work enlarges the understanding in respect to future management strategies.

Stichwörter: Kirschessigfliege, *Heterorhabditis bacteriophora*, *Steinernema feltiae*, biologische Bekämpfungsstrategien.

Keywords: Spotted wing drosophila, *Heterorhabditis bacteriophora*, *Steinernema feltiae*, biological control strategies.

Einleitung

In den vergangenen zehn Jahren hat sich die Kirschessigfliege (KEF), *Drosophila suzukii* Matsumura (Diptera: Drosophilidae), zu einem bedeutenden Schaderreger im europäischen Obst- und Weinanbau entwickelt (CABI 2022). Die ursprünglich aus Ostasien stammende Fliegenart ist in der Lage, nahezu alle weichschaligen Obstsorten und Weintrauben zu befallen, die Früchte zu schädigen und damit enorme Qualitäts- und Ertragseinbußen zu verursachen. Im Gegensatz zu heimischen Drosophiliden verfügen KEF Weibchen über einen starken, wie eine Säge ausgeformten Ovipositor. Dieser ermöglicht es ihnen, die Haut intakter Früchte aufzuschlitzen und ihre Eier unter der Fruchthaut abzulegen. Im Vergleich zu anderen *Drosophila*-Arten, welche für ihre Eiablage faule Früchte bevorzugen, legen *D. suzukii*-Weibchen ihre Eier vornehmlich in reife Früchte (Karageorgi et al. 2017). Die Entwicklung der Larven unter der Haut führt zu Saftaustritt an der Einstichstelle und umfangreicher Fäulnis bis hin zum Zusammenbruch der Früchte (Köppler 2019, Walsh et al. 2011). In umfassenden Untersuchungen an verschiedenen Standorten in Niederösterreich und der Steiermark zeigten sich Himbeeren, Brombeeren, Holunderbeeren und Kirschen als die gefährdetsten Kulturen in Österreich. In den Versuchsjahren 2019 und 2020 wiesen nicht eingenetzte Brombeeren an allen Standorten spätestens ab Mitte Juli einen Eibesatz an 100 % der untersuchten Früchte auf, im Jahr 2020 war das auch bei Himbeeren der Fall. An Süßkirschen wurde 2020 an den Versuchsstandorten ab Anfang Juli ein Totalbefall beobachtet, an Sauerkirschen etwa zwei Wochen später (Riedle-Bauer et al. 2022). Als ebenso hochanfällig erwies sich der Holunder. In dieser Kultur wurde zudem nachgewiesen, dass die Entwicklung der Larven zum Abfallen der Beeren von den Dolden führt (Krutzler et al. 2022). Etwas weniger anfällig waren Zwetschken und Marillen, dennoch wurden in Niederösterreich in manchen Jahren Eiablagen und Fäulnis beobachtet. Im Jahr 2022 etwa gab es zahlreiche Beschwerden von Konsumentinnen und Konsumenten über Maden in Marillen der Sorte ‚Klosterneuburger Marille‘ in der Wachau (Riedle-Bauer et al. 2022; Bachinger, persönliche Mitteilung). Auch manche Rebsorten werden von der Kirschessigfliege

befallen. In Österreich trifft das beispielsweise auf die eher früher reifenden Sorten ‚Blauer Portugieser‘, ‚Frühroter Veltliner‘, ‚St. Laurent‘, ‚Rotburger‘ („Zweigelt“) sowie ‚Roesler‘ zu (Riedle-Bauer et al. 2020).

Zur Eindämmung der KEF ist eine Reihe von Kulturmaßnahmen unerlässlich. Eine Reduktion der Luftfeuchte im Bestand verringert das Überleben der Fliegen und kann z. B. durch Erziehung möglichst luftiger Bestände und kurzes Mulchen der Begrünung erreicht werden. Eine strenge Pflücke und das konsequente Entfernen fauler Früchte reduziert den Aufbau von Fliegenpopulationen, allerdings sind diese Maßnahmen meist arbeitsintensiv. Das Einnetzen der Kulturen ist eine sehr effiziente Maßnahme, sie eignet sich aus Kostengründen aber nur für wenige Kulturen (Schetelig et al. 2018, Schöneberg et al. 2021). Die Bekämpfung der Fliege mit Insektiziden ist schwierig. Manche Kulturen sind bereits Wochen vor dem eigentlichen Erntedatum anfällig. In solchen Fällen muss eine Strategie gefunden werden, die eine effiziente Fliegenkontrolle über einen längeren Zeitraum ermöglicht. In anderen Kulturen erstreckt sich der Erntezeitraum über mehrere Wochen und es reifen laufend Früchte nach, die von den Fliegen befallen werden können. In manchen Kulturen tritt ein Befall erst ganz knapp vor der Ernte auf. Die derzeit in Österreich gegen die Kirschessigfliege registrierten oder per Notfallzulassung erlaubten Insektizide haben Wartezeiten von drei bis 14 Tagen und können dementsprechend nicht kurz vor der Ernte eingesetzt werden. Überdies ist die Wirkung der Insektizidmaßnahmen nicht in allen Fällen ausreichend. Versuche im Holunder 2020 zeigten beispielsweise, dass in Situationen mit hohem Befallsdruck die Schäden auch durch häufige Insektizidanwendung nicht ausreichend eingedämmt werden können (Krutzler et al. 2022). Einige insektizide Wirkstoffe gelten auch wegen der Gefahr von Resistenzbildungen sowie der negativen Auswirkungen auf Nützlinge als problematisch. Auch gesellschaftlich wird eine Anwendung von Insektiziden zunehmend kritisch gesehen, in der EU soll im Rahmen des ‚Green Deal‘ Pflanzenschutz in Richtung möglichst nachhaltiger Strategien weiterentwickelt werden (EU 2023).

Wie bereits erwähnt, haben Untersuchungen im Holunder ergeben, dass die Entwicklung der Larven in den Beeren dazu führt, dass diese zu

Boden fallen und sich die Larven dort weiterentwickeln. Ähnliche Beobachtungen wurden auch für Ribiseln gemacht (Zelger, persönliche Mitteilung). In einem Feldversuch zum Verpuppungsverhalten an Heidelbeeren und Himbeeren wurde beobachtet, dass zwischen 82 % und 93 % der Puppen in der Erde unter den Pflanzen zu finden waren. Das war auch dann der Fall, wenn die Früchte nicht abfielen (Woltz und Lee 2017). Es stellt sich somit die Frage, ob im Rahmen künftiger Strategien des integrierten Pflanzenschutzes die Fliegenentwicklung am Boden bekämpft werden kann und soll. Hier könnte eine Möglichkeit des biologischen Pflanzenschutzes entstehen, indem man gezielt „Gegenspieler“ der *D. suzukii*-Larven einsetzt, welche in ihre Entwicklung eingreifen, sodass sie sich nicht zu adulten Fliegen entwickeln können. Studien haben gezeigt, dass insektenpathogene Nematoden gegen eine Reihe von Schadinsektenarten wirksam sein können, insbesondere dann, wenn eine Behandlung einer Bodenoberfläche erfolgt, die die Schadinsekten während ihrer Entwicklung durchqueren müssen (Lacey und Georgis 2012). Ziel der hier vorgestellten Arbeit war es, zu untersuchen, ob die Schlupfrate der Kirschessigfliege sowohl im Labor als auch im Freiland durch eine Applikation von insektenpathogenen Nematoden verringert wird und derartige Behandlungen geeignet sein können, den Bestandsaufbau der KEF am Boden zu bremsen.

Material und Methoden

Laborversuche

Um die Wirkung von insektenpathogenen Nematoden gegen Larven von *D. suzukii* zu testen, wurden zwölf Plastikbehälter mit Deckel mit einer Fläche von 400 cm² (20 cm x 20 cm) mit je 150 g Blumenerde (Produkt Profi-Substrat, Firma Gramoflor GmbH, Vechta, Deutschland) befüllt. Auf die Erde wurden je Box 13 Heidelbeeren aus biologischem Anbau aus dem Supermarkt gelegt. Die Heidelbeeren wurden zuvor der hauseigenen Fliegenzucht 24 Stunden zur Eiablage angeboten. Auf jeder Beere befanden sich rund zehn Eier von *D. suzukii*, was mit Hilfe eines Binokulars sichergestellt wurde. Die Versuche erfolgten mit zwei kommerziell erhältlichen Nematodenpräparaten. Zum einen wurden auf die Beeren die Nematoden der Spezies *Heterorhabditis bacteriophora*

(Handelsprodukt Nematop, Firma Biohelp GmbH, Wien, Österreich) appliziert, zum anderen Nematoden der Spezies *Steinernema feltiae* (Handelsprodukt Nema-help, Firma Biohelp GmbH). Die vom Hersteller empfohlene Aufwandmenge der Nematoden beträgt 0,5 Millionen Nematoden/m². Daher wurden, umgelegt auf die tatsächliche Fläche der Versuchsboxen, pro Box 0,02 Mio. Nematoden auf die Erde mit befallenen Früchten appliziert. Der Versuch wurde zweimal und in jeweils vierfacher Wiederholung (Versuch 1: 08.03.2021; Versuch 2: 15.03.2021; vier Boxen pro Nematodenspezies + vier Boxen unbehandelte Kontrolle = zwölf Boxen) durchgeführt. Die Nematodenpräparate wurden mit 40 ml Wasser versetzt ausgebracht, bei der unbehandelten Kontrolle wurden 40 ml Wasser ohne Nematodenzugabe auf die Beeren aufgetragen. Alle Anwendungen erfolgten mithilfe einer kleinen Gießkanne gleichmäßig auf das Beeren-Erde-Gemisch. Nach der Behandlung wurden die Boxen bei 22° C unter Langtagbedingungen inkubiert. Die Versuchsauswertung erfolgte durch das Auszählen der geschlüpften Fliegen. Die erste Bonitur erfolgte 14 Tage nach der Applikation, die letzte Bonitur nach 21 Tagen. Die geschlüpften Fliegen wurden pro Variante und Wiederholung (Box) addiert.

Freilandversuch

Im Obstbauversuchsgut „Haschhof“ der Höheren Bundeslehranstalt und Bundesamt für Wein- und Obstbau Klosterneuburg wurden am 28. Juli 2021 insgesamt neun Heidelbeersträucher mit Gaze zur Gänze eingenetzt. Die Grundfläche jedes Käfigs betrug rund einen Quadratmeter. Zu diesem Zeitpunkt wurde bei der mikroskopischen Untersuchung der Heidelbeeren noch kein Befall festgestellt. Um das Vorhandensein von Kirschessigfliegen sicherzustellen, wurden am selben Termin in jeden Käfig jeweils zehn Brombeeren gelegt. Diese stammten aus einer Freilandanlage am Haschhof und waren im Schnitt mit zehn Eiern pro Beere belegt. Im Anschluss wurden die eingenetzten Flächen unter je drei Pflanzen mit Nematoden der Spezies *H. bacteriophora* (Nematop) bzw. *S. feltiae* (Nema-help) behandelt, drei weitere Sträucher galten als Kontrollvariante.

Die Applikation der Nematoden erfolgte durch Gießbehandlung in der vom Hersteller empfohlenen Aufwandmenge wie oben genannt.

Pro Käfig wurde ein Liter Nematodensuspension ausgebracht, die Kontrollkäfige wurden nur mit Wasser behandelt. Zur Erfolgskontrolle dienten Köderflaschen gefüllt mit jeweils 200 ml Köderflüssigkeit. Die Köderflaschen, wurden aus 1,5 l Kunststoff-Mineralwasserflaschen selbst hergestellt, indem in das obere Fünftel mit einem heißen Nagel zehn 2-3 mm große Löcher gebohrt wurden. Die Köderflüssigkeit bestand aus 750 ml Apfelessig, 250 ml Rotwein, 20 g Haushaltszucker/l – auch bekannt als „Droski Drink“ (Grassi et al., 2015). Die Flaschen wurden unter den Netzen positioniert (eine Falle/Heidelbeerpflanze). Durch eine wöchentliche Bonitur der Fangzahlen in den Flaschen konnte ermittelt werden, ob der Populationsaufbau der KEF durch den Nematodeneinsatz gebremst werden konnte. Insgesamt dauerte der Versuch bis 25. August 2021 mit einer einmaligen Nematodenausbringung und insgesamt vier wöchentlichen Bonituren (Boniturtermine: 4.8.21, 11.08.21, 18.08.21, 25.08.21) der Fangzahlen. Die Klimabedingungen (Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchte) im Versuchszeitraum wurden mittels einer Wetterstation erfasst (Adcon, Wien, Österreich).

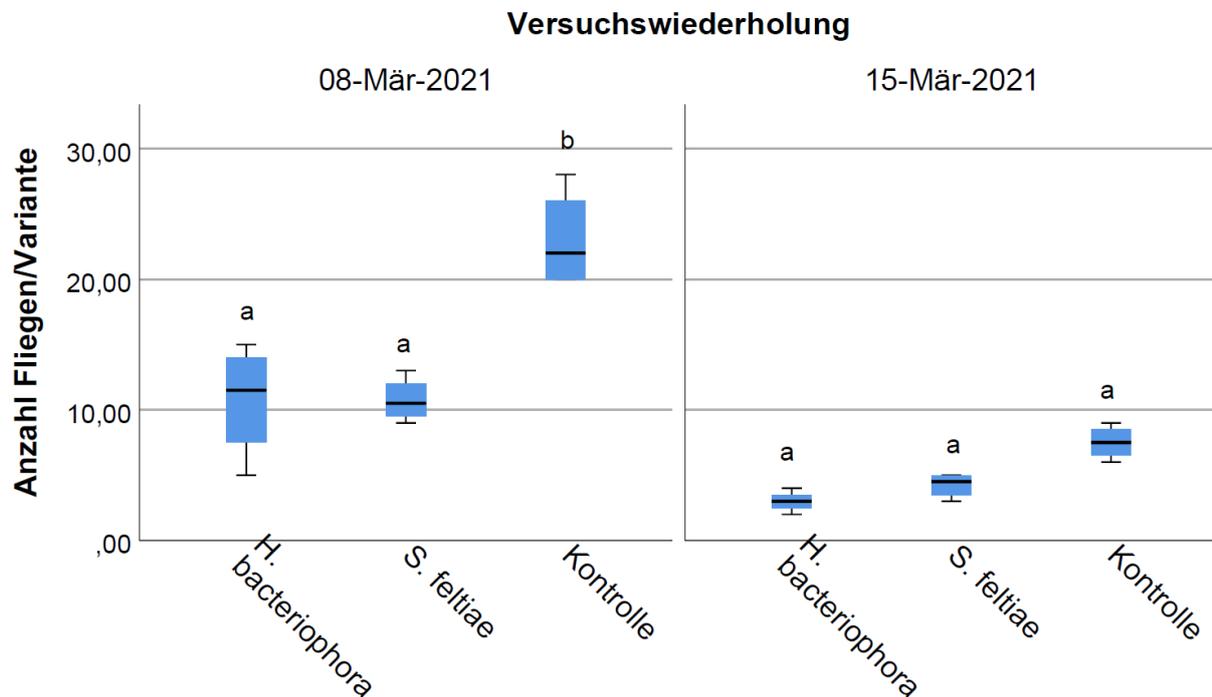
Die statistische Auswertung sowie die Erstellung aller Grafiken erfolgte mit dem Softwareprogramm SPSS Statistics 26 (IBM, Armonk, USA). Nach Prüfung auf Normalverteilung (Shapiro-Wilk-Test) und Varianzhomogenität (Levene-Test) wurden die Fliegenzahlen in den einzelnen Versuchsvarianten mittels ANOVA verrechnet. Ergaben sich signifikante Unterschiede, wurden die Versuchsglieder mittels Tukey-HSD Test paarweise verglichen (Signifikanzniveau $p \leq 0,05$). Beim Freilandversuch wurde für jede

Versuchswoche eine eigene ANOVA durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 1 zeigt die Anzahl an Fliegen, die im Laborversuch in den einzelnen Behandlungsvarianten geschlüpft waren. Im Versuch 1 reduzierte die Anwendung von *H. bacteriophora* sowie *S. feltiae* die Anzahl geschlüpfter Fliegen um 53 % im Vergleich zur Wasserkontrolle. Im zweiten Versuch reduzierte die Nematodenanwendung die Fliegenzahl um 60 % bei *H. bacteriophora* und um 43 % bei *S. feltiae*. In der statistischen Auswertung (ANOVA) wurden signifikante Unterschiede hinsichtlich der Schlupfzahlen der drei Varianten für beide Versuchswiederholungen (Versuch 1: $F(2,9) = 16,44$, $df=2$, $p = 0,001$; Versuch 2: $F(2,9) = 19,923$, $df=2$, $p = 0,001$) errechnet. Der paarweise Vergleich ergab eine signifikante Reduktion der Fliegenzahl im Vergleich zur Kontrolle für beide Nematodenarten. Wie aus Abbildung 1 hervorgeht, war die Anzahl der geschlüpften Fliegen zwischen den Versuchen trotz des identischen Versuchsdesigns sehr unterschiedlich, was auch durch die statistische Analyse bestätigt wurde. Beide Versuche wurden daher getrennt verrechnet und dargestellt. Als Gründe für diesen Unterschied trotz identischen Versuchsdesigns kommen Unterschiede hinsichtlich Qualität und Reifefortschritt der Heidelbeeren aus dem Handel in Frage. An sich war die Eizahl pro Beere in beiden Versuchen in etwa gleich (rund 10 pro Beere), es hatte jedoch den Anschein, dass die Larven sich im zweiten Versuch weniger gut in den Früchten entwickeln konnten. Ein Einfluss des Reifegrads wurde z. B. bei Versuchen zur Durchentwicklung von *D. suzukii* an Weinbeeren beobachtet (Riedle-Bauer, unveröffentlicht).

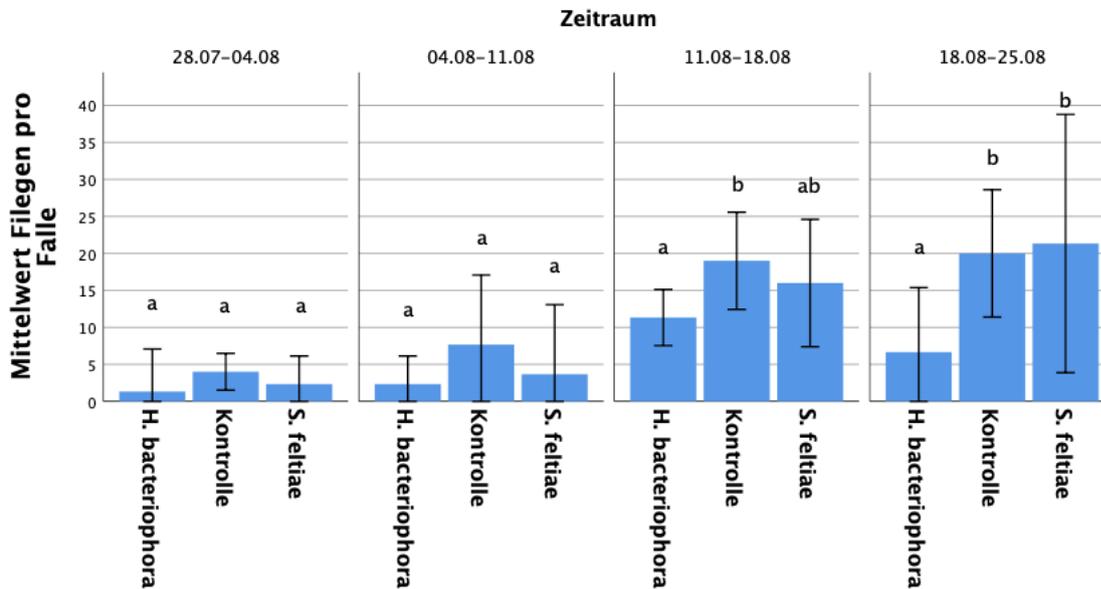
Abbildung 1: Anzahl von geschlüpften *D. suzukii* pro Versuchsvariante nach insgesamt 21 Tagen (n = 4). Die Boxplots zeigen das Minimum, das untere Quartil, den Median, das obere Quartil und das Maximum. Die Varianten mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($p \leq 0,05$).



Die Ergebnisse des Freilandversuches, getrennt nach Versuchswochen, sind in Abbildung 2 dargestellt. In allen vier Versuchswochen wurden unter mit *H. bacteriophora* behandelten Versuchspflanzen weniger Fliegen gefangen, die Reduktion lag zwischen 41 und 70 %. Im Fall von *S. feltiae* wurde ein derartiger Effekt nur für die ersten drei Wochen beobachtet, die Anzahl der Fliegen war in dieser Variante zwischen 42 % in Versuchswoche 1 und 16 % in Versuchswoche 3 geringer. Während in den ersten beiden Versuchswochen noch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt wurden, zeigte die ANOVA ab der dritten Versuchswoche signifikante Unterschiede bezüglich der Fangzahlen in den Fällen (Woche 3: $F(2,6) = 6,297$; $p = 0,034$); Woche 4: ($F(2,6) = 8,036$; $p = 0,02$). Ein paarweiser Vergleich ergab einen signifikanten Einfluss der Behandlungen mit *H. bacteriophora* im Vergleich zur Kontrolle. Die gefangenen Fliegen pro Strauch stammten zu Versuchsbeginn vermutlich überwiegend von den befallenen Brombeeren, welche unter die eingesetzten Heidelbeersträucher gelegt wurden, weil die Heidelbeeren am Strauch zum

Startpunkt des Versuchs Ende Juli 2021 noch nicht befallen waren bzw. sich auch noch keine abgefallenen Heidelbeeren am Boden befanden. Da die Anzahl an gefangenen Fliegen in allen Varianten von Versuchswoche zu Versuchswoche anstieg, kann aber davon ausgegangen werden, dass sich die Fliegen im Lauf der vier Versuchswochen auch in den Heidelbeeren vermehrten.

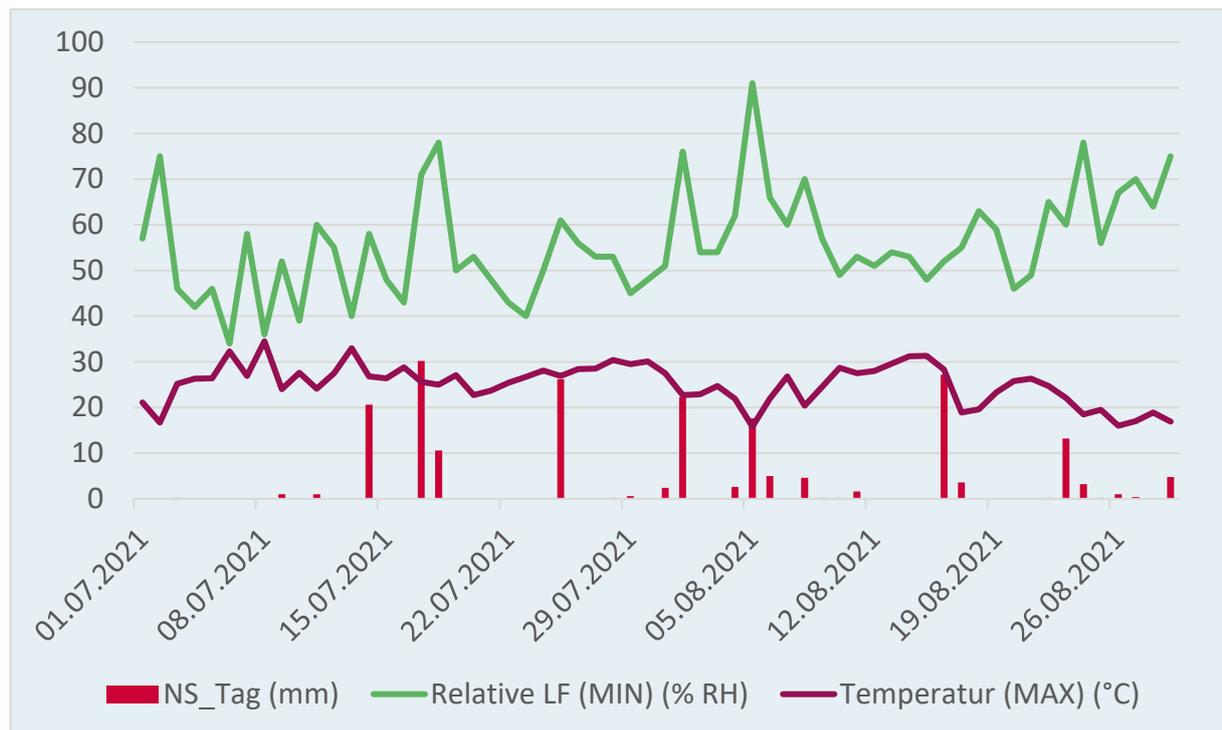
Abbildung 2: Durchschnittliche Anzahl von *D. suzukii*, die in den Köderfallen in den einzelnen Versuchswiederholungen (Käfigen) in jeder Versuchswoche gefangen wurden ($n = 3$). Varianten mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($p \leq 0,05$).



Nach Barth (2018) sind Nematoden der Spezies *H. bacteriophora* ab 32° C nicht mehr überlebensfähig, Fadenwürmer der Spezies *S. feltiae* sterben bereits ab 28° C ab. Im hier dargestellten Freilandversuch betrug die Tageshöchsttemperatur in den ersten drei Tagen der ersten Versuchswoche um die 30° C, des Weiteren wurden in der dritten Versuchswoche am 14. August (Tageshöchsttemperatur 31,2° C) und 15. August (Tageshöchsttemperatur 31,3° C) erneut Tageshöchsttemperaturen über 30° C gemessen. Jedoch blieben die Temperaturen über den gesamten Versuchszeitraum unter 32° C (Abbildung 3). Es scheint möglich, dass aufgrund der verschiedenen Grenzen des Temperaturmaximums die Wirksamkeit von *H. bacteriophora* höher als die von *S. feltiae* war. Neben der Temperatur ist für insektenpathogene Nematoden auch die Feuchte von Bedeutung, da Nematoden zur Fortbewegung einen Wasserfilm benötigen (Koppenhöfer und Fuzy 2006). Während der Versuchsperiode konnten signifikante Niederschlagsmengen am 5. Tag (22,2 mm), am 9. Tag (17,6 mm) am 20. Tag (27,2 mm) sowie am 27. Tag 13,2 mm) verzeichnet werden (Abbildung 3). Außerdem könnte das Netz die Verdunstung reduziert haben. Insgesamt schien eine ausreichende Befeuchtung des Bodens gewährleistet.

Die hier vorgestellten Laborergebnisse bestätigen die Annahme, dass die Nematoden die Larven der Kirschessigfliege infizieren und eine vollständige Entwicklung der Larven zum adulten Insekt verhindern können. Dieses Ergebnis bestätigt frühere Laborversuche, in denen ebenfalls eine Wirkung von insektenpathogenen Nematoden, insbesondere von *H. bacteriophora* gegen Larven von *D. suzukii* nachgewiesen wurde (Cuthbertson und Audsley 2016, Garriga et al. 2018). Nach unserem Kenntnisstand wurden jedoch bisher keine Freilandexperimente zum Nematodeneinsatz gegen die Kirschessigfliege veröffentlicht. Die Neuheit der hier dargestellten Versuche liegt daher darin, dass eine Nematodenwirkung in einer bestehenden Heidelbeeranlage unter praxisüblichen Bodenverhältnissen und Witterungsbedingungen nachgewiesen werden konnte. Die Versuche ergaben auch, dass eine Anwendung von *H. bacteriophora* für einen Kontrolleffekt im Freiland über mindestens vier Wochen ausreichte.

Abbildung 3: Niederschlagsmenge, relative Luftfeuchte und Temperaturmaximum am Versuchsstandort „Haschhof“ (01.07.2021–29.08.21).



Allerdings sind weitere Versuche in der Praxis in größerem Umfang notwendig, um die Wirksamkeit der Nematoden unter unterschiedlichen Anwendungsbedingungen zu ermitteln und festzulegen, in welcher Form Nematoden in eine Bekämpfungsstrategie gegen *D. suzukii* einbezogen werden können. Die Witterungsbedingungen im hier dargestellten Freilandversuch waren für *H. bacteriophora* vermutlich günstig, inwieweit die Wirkung auch in heißeren, trockeneren Sommern gegeben ist, müssen weitere Tests klären. Des Weiteren stellen sich beim Nematodeneinsatz auch die Fragen der Applikationsmethode sowie die Kosten, da der kommerzielle Einkauf von Nematoden zur Schädlingsbekämpfung auf großen Flächen einen beträchtlichen Kostenfaktor darstellt. Denkbar wäre beispielsweise eine Gießbehandlung in Heidelbeerkulturen. Die empfohlene Aufwandmenge von 0,5 Mio. Nematoden pro m² ist an sich an die Bekämpfung der Larven des Dickmaulrüsslers angepasst. Welche Aufwandmenge gegen die Larven der Kirschessigfliege notwendig ist, um eine maximale Wirkung zu erreichen, sollte Gegenstand weiterer Untersuchungen sein. Künftige Forschungen sollten sich zudem mit der Frage beschäftigen, inwieweit eine Applikation

von Nematoden auch einen Eingriff in das Bodenleben darstellt und gegebenenfalls auch die Larven von Nützlingen durch die Fadenwürmer befallen werden können.

Danksagung

Die Forschungsarbeit wurde von der Europäischen Union und dem österreichischen Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus im Rahmen der Europäischen Innovationspartnerschaft für die Landwirtschaft (EIP- AGRI) gefördert: LE 14-20 Antragsnummern: 16.1.1-S2-20/18 und 16.2.1-S2-20/18; "KEFStrat".

Barth, M. 2018: *Nützliche Nematoden – Nützliche Nematoden – Was sie können, was sie brauchen*. https://www.naturimgarten.at/files/content/3.VERANSTALTUNGEN/DIV/8_ÖPFL/02.pdf

CABI 2022: *Drosophila suzukii (spotted wing drosophila)*. Invasive Species Compendium. Wallingford, UK: CAB International. <https://www.cabi.org/isc>

Cuthbertson, A., Audsley, N. 2016: Further Screening of Entomopathogenic Fungi and Nematodes as Control Agents for *Drosophila suzukii*. *Insects*, 7(2): 24. <https://doi.org/10.3390/insects7020024>

EU 2023: *Die Neue Gemeine Agrarpolitik: 2023–2027*. <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/cap-introduction/cap-future-2020-common-agricultural-policy-2023-2027/>

Garriga, A., Morton, A., Garcia-del-Pino, F. 2018: Is *Drosophila suzukii* as susceptible to entomopathogenic nematodes as *Drosophila melanogaster*? *Journal of Pest Science*, 91(2): 789–798. <https://doi.org/10.1007/s10340-017-0920-6>

Grassi, A., Anfora, G., Maistri, S., Maddalena, G., De Gristofaro, A., Savini, G., Ioriatti, C. 2015: Development and efficacy of Droskidrink, a food bait for trapping *Drosophila suzukii*. *IOBC VIII Workshop on Integrated Soft Fruit Production*, 109: 26–28.

Karageorgi, M., Bräcker, L. B., Lebreton, S., Minervino, C., Cavey, M., Siju, K. P., Grunwald Kadow, I. C., Gompel, N., Prud'homme, B. 2017: Evolution of Multiple Sensory Systems Drives Novel Egg-Laying Behavior in the Fruit Pest *Drosophila suzukii*. *Current Biology*, 27(6): 847–853. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.01.055>

Koppenhöfer, A., Fuzy, E. 2006: Effect of soil type on infectivity and persistence of the entomopathogenic nematodes *Steinernema scarabaei*, *Steinernema glaseri*, *Heterorhabditis zealandica*, and *Heterorhabditis bacteriophora*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 92(1): 11–22. <https://doi.org/10.1016/J.JIP.2006.02.003>

Köppler, K. 2019: *Maßnahmenplan Kirschesigfliege : Steinobst*.

Krutzler, M., Brader, G., Madercic, M., Riedle-Bauer, M. 2022: Efficacy evaluation of alternative pest control products against *Drosophila suzukii* in Austrian elderberry orchards. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 129(4): 939–954. <https://doi.org/10.1007/s41348-022-00598-4>

Lacey, L. A., Georgis, R. 2012: Entomopathogenic nematodes for control of insect pests above and below ground with comments on commercial production. *Journal of Nematology*, 44(2): 218–225.

Riedle-Bauer, M., Madercic, M., Hanak, K., Tiefenbrunner, W. 2020: Susceptibility of wine grapes to *drosophila suzukii* - a three year field and laboratory study in Austria. *Mitteilungen Klosterneuburg*, 70(3): 219–232.

Riedle-Bauer, M., Schwanzer, J., Bachinger, K., Brader, G., Lampl, S. 2022: Beobachtungen zum Befall verschiedener Obstarten durch die Kirschesigfliege. In *Entwicklung von nachhaltigen Maßnahmen zur Bekämpfung der Kirschesigfliege im österreichischen Obst- und Weinbau*, 8–15).

Schetelig, M. F., Lee, K.-Z., Otto, S., Talmann, L., Stökl, J., Degenkolb, T., Vilcinskas, A., Halitschke, R. 2018: Environmentally sustainable pest control options for *Drosophila suzukii*. *Journal of Applied Entomology*, 142(1–2): 3–17. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jen.12469>

Schöneberg, T., Lewis, M. T., Burrack, H. J., Grieshop, M., Isaacs, R., Rendon, D., Rogers, M., Rothwell, N., Sial, A. A., Walton, V. M., Hamby, K. A. 2021: Cultural Control of *Drosophila suzukii* in Small Fruit—Current and Pending Tactics in the U.S. *Insects*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/insects12020172>

Walsh, D. B., Bolda, M. P., Goodhue, R. E., Dreves, A. J., Lee, J., Bruck, D. J., Walton, V. M., O'Neal, S. D., Zalom, F. G. 2011: *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): Invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. *Journal of Integrated Pest Management*, 2(1): 3–9. <https://doi.org/10.1603/IPM10010>

Woltz, J. M., Lee, J. C. 2017: Pupation behavior and larval and pupal biocontrol of *Drosophila suzukii* in the field. *Biological Control*, 110 (March): 62–69.
<https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2017.04.007>