

Auftragnehmer: Senckenberg Biodiversität und Klimaforschungszentrum (SBIK-F)

Titel: Populationsdynamische Erfassung der Schadinsekten Asiatische Buschmücke und Kirschessigfliege in Abhängigkeit der Temperaturvarianz (PEST)

- Abschlussbericht 2021, Version September 2022 -

Projektlaufzeit: 2017 bis 2021

Projektleitung: Prof. Dr. Markus Pfenninger, Prof. Dr. Ruth Müller

Berichterstellung: Dr. Friederike Reuß

Projektbeteiligte: Dr. Axel Magdeburg, Dr. Friederike Reuß

Auftraggeber

Fachzentrum Klimawandel und Anpassung Hessen (FZK)
im Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG)

Projektbetreuung

Fachzentrum Klimawandel und Anpassung Hessen

Frankfurt am Main, im September 2022

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
1. Stand der Forschung und Fragestellung	3
1.1. Die Kirschessigfliege	3
1.2. Die Asiatische Buschmücke	5
1.3. Fragestellung: Temperaturabhängigkeit der Lebenszyklen	6
2. Beteiligte Institutionen/Personen, Aufgabenverteilung	7
3. Durchgeführte Arbeiten nach Arbeitspaketen	8
3.1. Temperaturexperimente unter Laborbedingungen (Arbeitspaket 1)	8
3.1.1. Beschreibung der Tagesgänge	8
3.1.2. Kirschessigfliege	10
3.1.3. Asiatische Buschmücke	24
3.2. Erhebung von Freilanddaten für die Asiatische Buschmücke (Arbeitspaket 2)	26
3.2.1. Freilandstandorte und Beprobung	26
3.2.3. Larven der Asiatischen Buschmücke im Jahresverlauf	30
3.2.4. Eier der Asiatischen Buschmücke im Jahresverlauf	31
3.3. Zusammenstellung der Daten zur Thermotoleranz (Arbeitspaket 3)	32
3.3.1. Methodik	32
3.3.2. Kirschessigfliege	34
3.3.3. Asiatische Buschmücke	34
3.4. Verschneidung der PEST-Daten mit der MOST-Modellierung	35
3.5. Strukturelle Zusammenarbeit mit dem MOST-Projekt	36
3.6. Publikation der Projektergebnisse	37
3.7. Abweichungen gegenüber dem Projektantrag	37
4. Fazit	38
5. Referenzen	39
6. Danksagung	44
7. Anhang	45

Zusammenfassung

Der Klimawandel kann das Populationswachstum von Schadinsekten mit hoher gesellschaftlicher Relevanz in Hessen fördern (Klimaschutzkonzept Hessen 2012), in bestimmten Fällen aber auch hemmen. Eigene Vorarbeiten und Beobachtungen legen die Vermutung nahe, dass die Populationen von zwei Schadinsekten von hoher medizinischer und ökonomischer Relevanz, der Asiatischen Buschmücke (*Aedes japonicus japonicus*) und der Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*), unter zunehmend höheren Sommertemperaturen zusammenbrechen und es somit evtl. für Hessen unter bestimmten Bedingungen zu einer Entlastung kommen kann.

Das Projekt PEST hat die temperaturabhängige Populationsentwicklung des Obstbauschädling *Drosophila suzukii* (Kirschessigfliege) und des potentiellen Gesundheitsschädling *Aedes japonicus japonicus* (Asiatische Buschmücke) unter heterogenen Temperaturregimes untersucht. Da unter Freilandbedingungen, im Gegensatz zu den Laborbedingungen, saisonale und tageszeitliche Temperaturschwankungen herrschen, hat das Projekt PEST tageszeitliche Temperaturschwankungen in sogenannten Tagesgängen untersucht. Innerhalb eines Tagesganges steigt oder sinkt die Temperatur in vier Phasen mit den höchsten Temperaturen in der Mittagszeit und den niedrigsten Temperaturen während der Nacht.

Im Arbeitspaket 1 wurden experimentelle Studien mit der Kirschessigfliege und der Asiatischen Buschmücke durchgeführt, um Lebenszyklusparameter bei Exposition der Schadinsekten unter dynamischen, aus Klimamodellen abgeleiteten Temperaturregimes zu charakterisieren. Die Lebenszyklusparameter der beiden Schadinsekten wurden nach experimenteller Exposition gegenüber den Tagesgängen oder einer konstanten Mitteltemperatur (Kontrolle) erfasst. Die Datensätze wurden für das Verbundprojekt MOST zur Parametrisierung von phänologischen Modellen bereitgestellt.

Zusätzlich wurden für die Asiatische Buschmücke erste Zeitreihen für Freilandabundanzen der verschiedenen Stadien dieser Art an drei Standorten erhoben, um das entstehende MOST-Modell validieren zu können. Im Arbeitspaket 2 wurden Populationsdaten für die Asiatische Buschmücke in einem vollständigen Jahreszyklus (2018/2019) erhoben. Es wurden vier populationsdynamischen Kennwerte erfasst (Start Populationsaktivität in Kalenderwoche 22, Dauer der Populationsaktivität: 24 Wochen, Maximum der Populationsaktivität: in den Kalenderwochen 25-30, Ende der Populationsaktivität: Kalenderwoche 46).

Im Arbeitspaket 3 erfolgte eine Datenzusammenstellung von Literatur- und Experimentaldaten zur Thermotoleranz der beiden Schadinsekten. Insgesamt hat die systematische Recherche aufgezeigt, dass das Projekt PEST mit der Untersuchung der Effekte von täglich fluktuierenden Temperaturen auf die Kirschessigfliege und die Asiatische Buschmücke wichtige Forschungslücken schließt. Zudem zeigte die systematische Analyse klar auf, wie wichtig (und rar) das zeitliche Monitoring und speziell die Aufnahme der saisonalen Abundanzen für die Asiatische Buschmücke ist.

Als Ergebnis des PEST-MOST Verbundprojekts wurden vorhandene und neue Daten für die Kirschessigfliege zur phänologischen Modellierung zusammengeführt, hypothetische Populationsaktivitäten in klimatisch unterschiedlichen Jahren analysiert und eine Abschätzung der Populationsdynamik der Kirschessigfliege unter Klimawandelbedingungen inkl. Schwellenwertanalyse durchgeführt. Für die Asiatische Buschmücke wurde das MOST-Modell sowie ein weiteres mechanistisches Populationsmodell für invasive *Aedes*-Arten zur möglichen Validierung bei zukünftig verbesserter Datenlage bereitgestellt. Diese Modelle können als Entscheidungshilfen für die zeitliche und räumliche Festlegung von Monitoring- und Kontrollmethoden, die gegen beide Schädlingsarten gerichtet sind, dienen. Weiterhin können Risikogebiete (für Krankheitsausbrüche oder Ernteauffälle) definiert werden oder die Effizienz von Kontrollmethoden simuliert werden.

1. Stand der Forschung und Fragestellung

1.1. Die Kirschessigfliege

Die Kirschessigfliege (*Drosophila suzukii*) ist eine eingeführte Taufliegenart, die erstmals in Japan beschrieben wurde (Cini et al. 2012) und in weiteren asiatischen Ländern vorkommt; ob diese Länder ihr Ursprungsgebiet sind, ist unklar (Cini et al. 2012). Die Kirschessigfliege wurde in Nordamerika (Cini et al. 2012) und in Europa 2008 (Calabria et al. 2012) nachgewiesen. In Deutschland kommt die Kirschessigfliege seit 2011 vor (Vogt et al. 2012). Bis Dezember 2013 waren alle Bundesländer bis auf Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Thüringen und das Saarland betroffen (Vogt & Köppler 2014).

Die Kirschessigfliege hat einen Lebenszyklus (Abb. 1) mit einem Eistadium, drei Larvenstadien, einem Puppenstadium und einem Adultstadium.

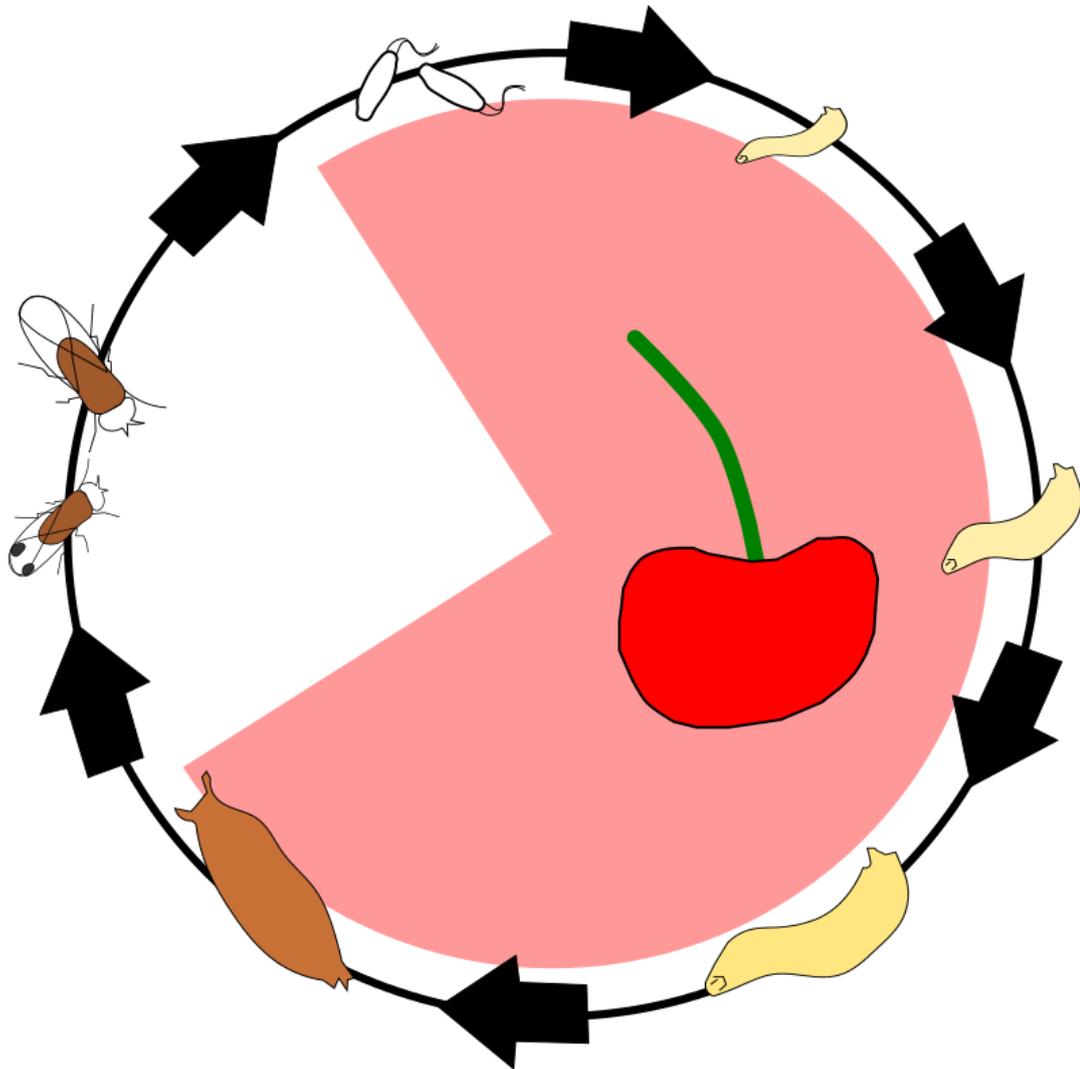


Abbildung 1: Lebenszyklus der Kirschessigfliege. Weibchen der Kirschessigfliege legen ihre Eier in reife Früchte. Dort schlüpfen die Larven, welche sich von den Früchten ernähren. Nach drei Larvenstadien verpuppt sich die Kirschessigfliege in der Frucht. Aus der Puppe schlüpft das fliegende, adulte Insekt.

Das Weibchen der Kirschessigfliege legt ihre Eier auf oder in verschiedene Früchte. Dabei nutzt sie viele landwirtschaftlich angebaute Wirtspflanzen wie Kirsche, Himbeere, Heidelbeere, Brombeere, Erdbeere, Weintraube und Tafeltraube (Vogt et al. 2012), aber auch die Früchte nicht kommerziell genutzter Pflanzen wie Hartriegel, Felsenbirne, Weißdorn, Geißblatt, Rose (Hagebutten) und Schneeball (Lee et al. 2015, Kenis et al. 2016). In Europa werden die Früchte von mehr als 80 verschiedenen Pflanzenarten genutzt (Kenis et al. 2016). Aus den Eiern schlüpfen Larven, die in und auf den Früchten leben und sich von den Früchten ernähren (Abb. 1). Nach vier Häutungen verpuppt sich das vierte Larvenstadium an der Oberfläche der Frucht. Aus der Puppe schlüpfen die adulten Fliegen. Bei der Kirschessigfliege sind Männchen und Weibchen morphologisch am besten durch die zwei schwarzen Punkte auf den Flügeln der Männchen zu unterscheiden, welche bei den Weibchen fehlen (Hauser 2011). Das Weibchen kann das männliche Spermium speichern

und befruchtete Eier produzieren.

Die Kirschessigfliege richtet große wirtschaftliche Schäden dadurch an, dass sie vor allem Früchte kurz vor der Ernte befällt. In diesem Zeitraum dürfen in der Erwerbslandwirtschaft keine Pflanzenschutzmittel mehr angewandt werden, um deren Rückstände im Endprodukt gering zu halten. Weitere Faktoren für den großen Ausbreitungserfolg und den wirtschaftlichen Schaden sind: die oben erwähnte polyphage Ernährung, eine hohe Anzahl von Eiern pro Weibchen (Walsh et al. 2011), zahlreiche Generationen pro Jahr (Tochen et al. 2014) sowie die Ausbildung einer an die Temperatur und Kurztagbedingungen angepasste adulten Winter- und einer Sommerform, wobei die Winterform das Überleben während Kälteperioden erhöht (Shearer et al. 2016).

Für die Kirschessigfliege gibt es zahlreiche Studien zur Länge der Stadien in Abhängigkeit von der Temperatur (z. B. Dalton et al. 2011, Walsh et al. 2011, Kinjo et al. 2014, Tochen et al. 2014) sowie daraus resultierende populationsdynamische Modelle (Wiman et al. 2014, Ryan et al. 2016) und weiterhin vereinzelt Daten zum Einfluss fluktuierender Temperaturen auf die Sterblichkeit und Eiablage (Eben et al. 2017). Daten zur temperaturabhängigen Entwicklung und Fortpflanzung sowie Daten von Fallenfängen werden genutzt, um Warnsysteme zu entwickeln, damit befallene Gebiete identifiziert werden können und der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und andere Bekämpfungsmaßnahmen zeitlich und räumlich optimiert werden können. Dies geschieht in Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren, zum Beispiel der Temperatur oder in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Wirtspflanzen.

1.2. Die Asiatische Buschmücke

Die Asiatische Buschmücke (*Aedes japonicus japonicus*) ist eine eingeführte Stechmückenart, deren Ursprungsgebiet Ostasien ist (Tanaka et al. 1979), die sich aber innerhalb der letzten Jahrzehnte weltweit verbreitet hat (Kaufman & Fonseca 2014). In Deutschland sind besonders die Bundesländer Rheinland-Pfalz (Kampen et al. 2012), Baden-Württemberg (Schaffner et al. 2009, Schneider 2011, Huber et al. 2014a), Nordrhein-Westfalen (Kampen et al. 2012) und Niedersachsen (Werner & Kampen 2013) betroffen, wo die Asiatische Buschmücke flächendeckend vorkommt. Weitere lokale Vorkommen gibt es in Hessen (Kampen et al. 2016) und Bayern (Zielke et al. 2016).

Die Asiatische Buschmücke kommt bevorzugt in oder am Rande menschlicher Siedlungsräume vor (Bartlett-Healy et al. 2012), es gibt aber erste Anzeichen, dass städtische Hitzeinseln das Auftreten der Asiatischen Buschmücke begrenzen (Mogi et al. 2019). Als Brutstätte der aquatischen Stadien (Larven und Puppen) dienen natürliche oder vom Menschen gemachte Kleinstgewässer (Tanaka et al. 1979), beispielsweise Regentonnen und Blumenvasen (Bartlett-Healy et al. 2012). Weiterhin kommt der Mensch als Wirt für die Blutmahlzeit der weiblichen Stechmücken in Frage (Molaei et al. 2009). Die Weibchen brauchen Proteine der Blutmahlzeit zur Ausbildung der Eier (Becker et al. 2010). Aufgrund der hämatophagen Lebensweise ist die Asiatische Buschmücke ein potentieller Überträger diverser Krankheitspathogene. Im Labor konnten sich die Viren der Japanischen Enzephalitis (Takashima & Rosen 1989) und des Westnilfiebers (Sardelis & Turell 2001)

erfolgreich in der Asiatischen Buschmücke vermehren. In Deutschland wurde bisher noch keines dieser Viren in Wildfängen der Asiatischen Buschmücke nachgewiesen. Allerdings konnte eine Population der Asiatischen Buschmücke erfolgreich mit dem Japanischen Enzephalitis-Virus infiziert werden, nicht aber mit dem Westnilvirus (Huber et al. 2014b). Niederländische Populationen der Asiatischen Buschmücke konnten im Labor Usutu- und Zika-Viren übertragen (Abbo et al. 2020). Weiterhin ist bekannt, dass fluktuierende Temperaturen (Tagesfluktuationen) die Verbreitung der Virenlast im Körper der Asiatischen Buschmücke befördern (Glavinic et al. 2020 preprint).

Neben den Folgen für die menschliche Gesundheit kann die Einführung dieser exotischen Art weitere Folgen haben. So wurde in den USA ein Rückgang der heimischen Stechmückenfauna nach der Einführung der Asiatischen Buschmücke beobachtet (Andreadis & Wolfe 2010) und in Ungarn dominierte die Asiatische Buschmücke bereits nach weniger als einem Jahr die lokale Stechmückenfauna (Saringer-Kenyeres & Kenyeres 2019). Weiterhin tritt die Asiatische Buschmücke lokal gehäuft auf, sodass sie in einigen Regionen als Lästling auffallen könnte (Medlock et al. 2012).

Für die Asiatische Buschmücke gibt es ein populationsdynamisches Modell (Wieser et al. 2019), das abhängig von der Temperatur zeitlich und räumlich das Vorkommen, die Möglichkeit zur Überwinterung der Larven sowie den Effekt von Kontrollmethoden berechnen kann. Dieses Modell wurde noch nicht durch den Vergleich mit im Feld aufgenommenen Abundanzdaten evaluiert. Weiterhin ist über den Lebenszyklus der Asiatischen Buschmücke bekannt, dass die Eier das Hauptüberwinterungsstadium sind. Die Eidiapause wird dabei von den Kurztages-Photoperioden, denen die Muttertiere ausgesetzt sind, eingeleitet (Bova et al. 2019). Weitere Modelle, die die Verbreitung der Asiatischen Buschmücke vorhersagen, beruhen auf Fundortkoordinaten und beziehen nicht die physiologischen Eigenschaften der Art ein (Cunze et al. 2020, Kerkow et al. 2020). Diese Modelle können auch nicht zeitlich aufgelöst werden.

1.3. Fragestellung: Temperaturabhängigkeit der Lebenszyklen

Sowohl für die Asiatische Buschmücke, als auch für die Kirschessigfliege ist die Abhängigkeit der Länge des Lebenszyklus von konstanten Umgebungstemperaturen bekannt (Reuss et al. 2018, Tochen et al. 2014). Diese *thermal performance*-Kurven werden bei beiden Insektenarten am besten durch Briere-Modelle beschrieben (Briere et al. 1999). Diese zeichnen sich durch einen logistischen Anstieg der Entwicklungsrate bei Temperaturen unterhalb des Optimums und einem rapiden Abfall oberhalb aus. Allerdings wird die Entwicklung von Insekten in der Natur durch tageszeitliche (Paaijmans et al. 2013) oder jahreszeitliche Temperaturschwankungen beeinflusst. Durch den Klimawandel soll nicht nur die globale Mitteltemperatur zunehmen (IPCC 2014), sondern auch Änderungen in der Temperaturvarianz erfolgen (Easterling et al. 1997). Diese Änderungen können auf die Entwicklungs- und Reproduktionsleistung von Arten wirken und z. B. deren Anzahl von Generationen pro Zeit, deren Fortpflanzungsperiode oder deren Verbreitung ändern, wie für ektotherme Invertebraten gezeigt wurde (Vasseur et al. 2014). Daher wurden in den PEST/MOST-Projekten die Entwicklung und der Fortpflanzungserfolg beider Arten in

Abhängigkeit von fluktuierenden Temperaturen untersucht, um populationsdynamische Modelle zu optimieren und die Populationsentwicklungen unter zukünftigen Temperaturänderungen vorherzusagen. Dazu wurden im MOST-Projekt Tagesgänge der Lufttemperatur berechnet (mehr Details finden sich im MOST-Endbericht). Die Tagesgänge repräsentieren sowohl derzeitige als auch zukünftige Tagesgänge, die häufig vorkommen (werden). Verschiedene Temperaturvarianzen, Mitteltemperaturen und Photoperioden werden dabei repräsentiert.

2. Beteiligte Institutionen/Personen, Aufgabenverteilung

Senckenberg Biodiversität und Klimaforschungszentrum (SBIK-F)

Das SBIK-F führt die Temperaturexperimente im Labor (Arbeitspaket 1) sowie die Freilandhebungen der Abundanzen der Asiatischen Buschmücke (Arbeitspaket 2) durch. Weiterhin stellt das SBIK-F mit Prof. Dr. Markus Pfenninger einen der beiden Projektleiter dieses Projektes. Weitere beteiligte SBIK-F-Mitarbeiter sind Dr. Axel Magdeburg, der die Freilandarbeiten durchführt, sowie Dr. Friederike Reuß, die die Laborexperimente durchführt, die Projektkoordination und Berichterstattung übernimmt und die Freilandarbeiten unterstützt.

Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Umweltmedizin der Goethe Universität (ASU)

Prof. Dr. Ruth Müller vom ASU (seit Oktober 2018 auch am Tropenmedizinischen Institut Antwerpen, Belgien) ist als Antragstellerin und Projektleiterin am Projekt PEST beteiligt. Dr. Axel Magdeburg und Friederike Reuß (seit Mai 2021) sind ebenfalls am ASU angestellt.

Hochschule Geisenheim University (HGU)

Prof. Dr. Peter Braun und Markus Müller von der Abteilung Obstbau der HGU sind mit dem Partnerprojekt MOST direkte Kooperationspartner des PEST-Projekts. Sie verwenden die Daten der Laborexperimente für beide Insekten und die Freilandergebnisse für die Asiatische Buschmücke für die Parametrisierung und Validierungen eines phänologischen Modells für beide Organismen und haben die typischen Tagesgänge berechnet und dem PEST-Projekt zur Verfügung gestellt. Prof. Dr. Peter Braun übernimmt dabei die MOST-Projektleitung und Markus Müller die Projektbearbeitung.

Bearbeiter der Arbeitspakete

Arbeitspaket 1: Die Temperaturexperimente wurden von Friederike Reuß durchgeführt. Es bestanden gemeinsamen Planungen und der Austausch mit dem MOST-Projekt. Prof. Dr. Markus Pfenninger hat die Bachelorarbeit von Teresa Werner im Studiengang Biologie an der Universität Mainz betreut. Während dieser Arbeit wurde der Effekt von Hitzeereignissen während des Eistadiums untersucht. Es wurden zwei Experimente in Absprache mit dem Verbundpartner MOST (Markus Müller) geplant. Die Bachelorarbeit wurde im September 2021 erfolgreich abgeschlossen.

Arbeitspaket 2: Die Freilandarbeiten wurden von Dr. Axel Magdeburg und Friederike Reuß durchgeführt, ebenso die morphologische Bestimmung der *Aedes japonicus japonicus*. Dr. Isra Deblauwe (Institute of Tropical Medicine, Antwerpen, Belgien) hat die Adultfänge nachbestimmt. Innerhalb seiner Bachelorarbeit an der Universität Mainz im Fach Biologie (betreut durch Prof. Dr. Markus Pfenninger) hat Dominik Wappner einen Teil der *Aedes japonicus japonicus*-Larven molekularbiologisch bestimmt.

Arbeitspaket 3: Das Arbeitspaket wurde von Friederike Reuß, Dr. Axel Magdeburg und Prof. Dr. Ruth Müller bearbeitet. Es erfolgte eine enge Abstimmung mit dem MOST-Projekt.

3. Durchgeführte Arbeiten nach Arbeitspaketen

Das Projekt PEST ist laut Projektantrag in drei Arbeitspakete unterteilt: In das Arbeitspaket 1 „Experimentelle Erhebungen zur Auswirkung der Temperaturvarianz auf die Phänologie unter Laborbedingungen“, das Arbeitspaket 2 „Erhebung von Freilanddaten für die Asiatische Buschmücke“ und das Arbeitspaket 3 „Sammlung der verfügbaren phänologischen Daten für beide Insekten“. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die gemeinsame Nutzung und Synthese der PEST Daten mit dem Projekt MOST und umgekehrt (Verbundaspekt).

3.1. Temperaturexperimente unter Laborbedingungen (Arbeitspaket 1)

Im Arbeitspaket 1 wurden experimentelle Studien mit der Kirschessigfliege und der Asiatischen Buschmücke durchgeführt, um Lebenszyklusparameter bei Exposition der Schadinsekten unter dynamischen, aus Klimamodellen abgeleiteten Temperaturregimes zu charakterisieren und für das Verbundprojekt MOST zur Parametrisierung von phänologischen Modellen bereitzustellen.

3.1.1. Beschreibung der Tagesgänge

Die im Verbundprojekt MOST berechneten Tagesgänge (TG) haben unterschiedliche Temperaturamplituden und Mittelwerte. Allen gemeinsam ist, dass sie in vier Phasen unterschieden werden können und um 13 Uhr UTC (koordinierte Weltzeit) die höchste Temperatur erreicht wird. Diese vierphasige Temperaturschwankung wird während der ganzen Experimentalzeit wiederholt. Neben den Temperaturen (Abb. 2) sind auch die Photoperioden festgelegt (Tabelle 1). Es gibt keine Dämmerungsübergänge, sondern nur hell oder dunkel, wobei die Lichtintensität in Lux zwischen Klimaschränken unterschiedlich sein kann. Die vier Phasen entsprechen dabei 24 Stunden, bei denen die niedrigsten Temperaturen in der dunklen Photoperiode vorkommen („Nacht“). Nachts ist auch der Temperaturanstieg geringer als vormittags. Sowohl Temperaturanstieg als auch -abfall sind jeweils zweiphasig.

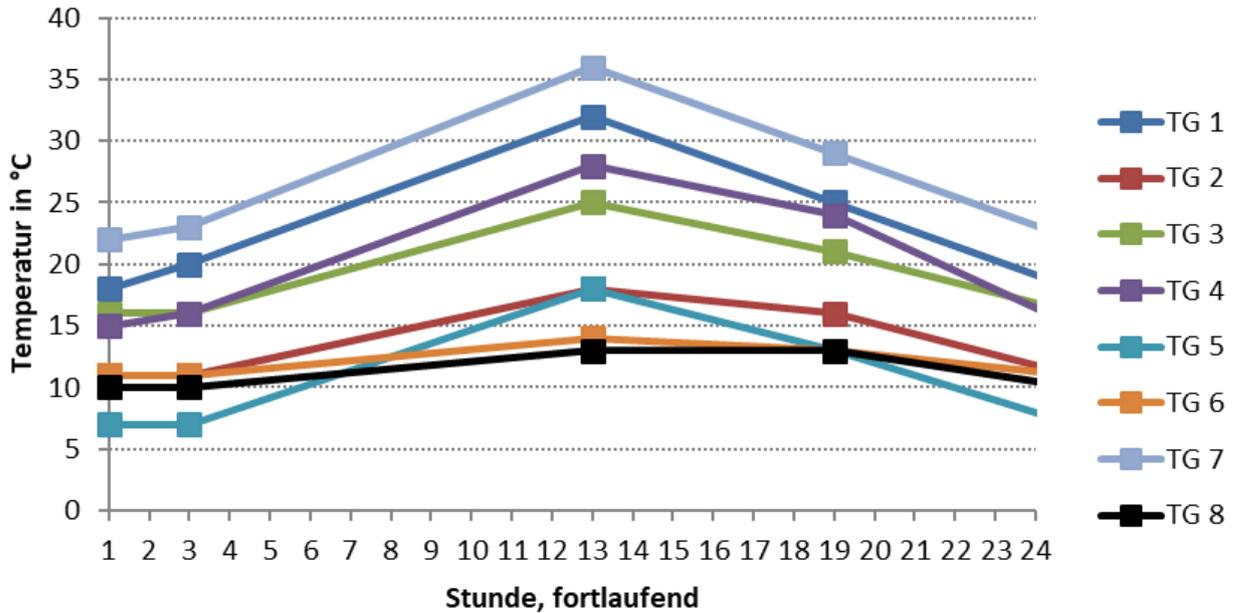


Abbildung 2: Tagesgänge für die Temperaturexperimente. TG: Tagesgang.

Der TG mit den höchsten Temperaturen ist der TG 7, die niedrigste Durchschnittstemperatur hat der TG 8, während die niedrigste Temperatur von 7°C im TG 5 erreicht wird (Tabelle 1; Abb. 2).

Tabelle 1: Charakterisierung der Tagesgänge.

Uhrzeit UTC	Temperatur in °C							
	TG 1	TG 2	TG 3	TG 4	TG 5	TG 6	TG 7	TG 8
1	18	11	16	15	7	11	22	10
3	20	11	16	16	7	11	23	10
13	32	18	25	28	18	14	36	13
19	25	16	21	24	13	13	29	13
Mittel	25	15	20	22	12	13	29	11
=Kontrolle								
Temperatur- differenz	14	7	9	9	11	3	14	3
	Photoperiode in Stunden							
	14,5	14,5	15,0	14,5	11,0	15,5	14,0	8,5

TG: Tagesgang. UTC: Koordinierte Weltzeit (*coordinated universal time*)

3.1.2. Kirschessigfliege

Die Zucht der Kirschessigfliege

Puppen und Larven einer bestehenden Kirschessigfliegenzucht wurden von der Hochschule Geisenheim University, Institut für Phytomedizin, an das SBiK-F gebracht und dort ebenfalls eine Zucht aufgebaut.

Die adulten Tiere werden dabei in einem Terrarium (Abb. 3), im folgenden Zuchtkäfig genannt, gehalten. Dieser hat eine transparente Plastikplatte als Deckel sowie zwei seitliche Öffnungen. Davon dient eine der Belüftung und ist mit einer Drosophila-dichten Gaze beklebt, in die andere ist ein Plastikring mit einer schlauchförmigen Gaze als Eingriff eingelassen. Über letztere Öffnung findet das Handling im Zuchtkäfig statt. Innerhalb des Zuchtkäfigs befinden sich vier rechteckige Verpackungsbecher (250 ml), die Apfelnährmedium (Rezept im Anhang I) enthalten, welches als Futter und Eiablagesubstrat dient. Über einen 10 ml-Plastikbecher mit Wattestopfen wird Leitungswasser zur Verfügung gestellt. Insgesamt zwei solcher Zuchtkäfige werden am SBiK-F als Zucht aufrechterhalten. Die Zucht wird bei 23°C und einem Licht-Dunkel-Rhythmus von 16 zu 8 Stunden in einem Klimaschrank gehalten. Dreimal pro Woche (Montag, Mittwoch und Freitag) werden die Futterschalen, die auch als Eiablagesubstrat dienen, erneuert sowie geschlüpfte Adulte aus älteren Futterschalen in den Zuchtkäfig entlassen. Einmal pro Woche wird das Leitungswasser erneuert.

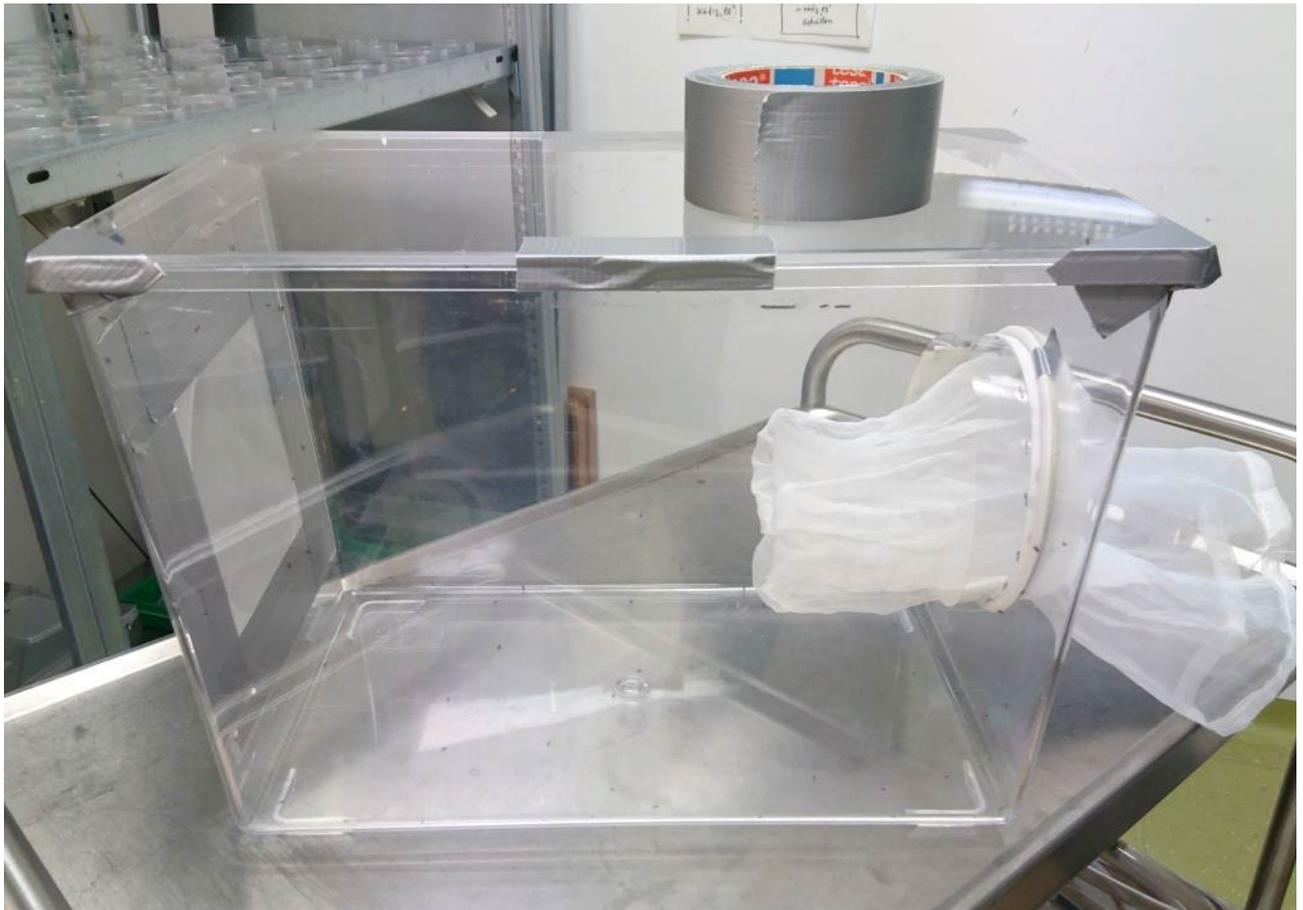


Abbildung 3: Zuchtkäfig der Kirschessigfliegenzucht ohne Einrichtung.

Experimenteller Aufbau

Pro TG und dazugehöriger konstanter Mitteltemperatur werden Eier der Kirschessigfliege aus den Zuchtkäfigen (Abb. 3) gewonnen. Dazu wird ein nahezu transparentes Eiablagemedium verwendet (Anhang II), um die Eier besser sehen und abzählen zu können. Pro Experiment werden 200 Eier verwendet, die in Glaspetrischalen, welche ebenfalls das Eiablagemedium enthalten, überführt werden. Täglich werden die Petrischalen auf Larven hin untersucht, die Anzahl der Larven pro Tag wird notiert und Larven pro Tag in mit Apfelnährmedium gefüllte 250 ml-Verpackungsbecher transferiert. Verpackungsbecher werden ebenfalls täglich auf Puppen hin untersucht. Puppen werden in mit Apfelnährmedium gefüllte 5 ml-Gläser mit Schnappdeckel vereinzelt. Täglich werden Puppen auf adulte Emergenz hin untersucht. Das Eistadium wurde unabhängig von den anderen Stadien der Kirschessigfliege untersucht, da es sehr empfindlich reagierte. Aufgrund der kurzen Dauer der Experimente mit dem Eistadium der Kirschessigfliege wurden mindestens zwei Wiederholungen (TG 2/2K bis TG 8/8K) bzw. drei Wiederholungen (TG 1/1K) durchgeführt.

Um den Fortpflanzungserfolg pro Tagesgang und Kontrolle aufzunehmen, werden am Tag, ab dem mindestens 20 Adulte geschlüpft sind, jeweils 13 bis 16 Paare bestehend aus einem

Weibchen und einem Männchen in Verpaarungskammern gesetzt. Diese bestehen aus 50 ml-Zentrifugenröhren, in die ein Wattepfropf zur Bereitstellung von Wasser sowie ein mit Gaze abgedichteter Belüftungsschlitz eingelassen sind. Im Deckel wird circa 2 ml Apfelnährmedium (Anhang I) als Futter und Eiablagemedium bereitgestellt. Die Fortpflanzung wurde für jeweils 24 Stunden zu unterschiedlichen Zeitpunkten untersucht.

Adulte Kirschessigfliegen wurden täglich auf tote Individuen überprüft (sowohl in den 5 ml-Gläsern als auch in den Verpaarungskammern) und der Todestag aufgenommen. Aufgrund der langen Dauern der Experimente mit niedrigen Temperaturen wurde die adulte Lebensspanne am Tag 70 nach Beginn des Adultschlupfs abgebrochen.

Für die Kirschessigfliege wurden alle acht TG mit den acht Kontrollen durchgeführt. Die genauen Daten der Durchführung sind in Tabelle 2 zu finden. Der gesamte Experimentaufbau ist bildlich im Anhang III dargestellt.

Tabelle 2: Zeiträume der Durchführung der Experimente mit der Kirschessigfliege. Die jeweilige Kontrolle wurde zeitgleich mit den Tagesgängen durchgeführt.

Tagesgang/Kontrolle	Startdatum	Enddatum
TG 1/1K	22.04.2020	05.07.2020
TG 2/2K	09.07.2020	16.09.2020
TG 3/3K	09.10.2020	18.12.2020
TG 4/4K	22.10.2020	19.12.2020
TG 5/5K	04.06.2020	12.10.2020
TG 6/6K	21.07.2020	29.09.2020
TG 7/7K	13.10.2020	21.12.2020
TG 8/8K	02.08.2019	15.04.2020

Während dieser Experimente wurden folgende Lebenszyklusparameter pro Individuum erfasst: Schlupftag der Larve, Tag der Verpuppung, Tag der adulten Emergenz, Todestag der adulten Fliege und das Geschlecht. Daraus konnten die Mortalität und durchschnittliche Entwicklungsdauer pro Stadium bei Ei, Larve und Puppe und außerdem die adulte Lebensspanne berechnet werden.

Ergebnisse des Lebenszyklus der Kirschessigfliege

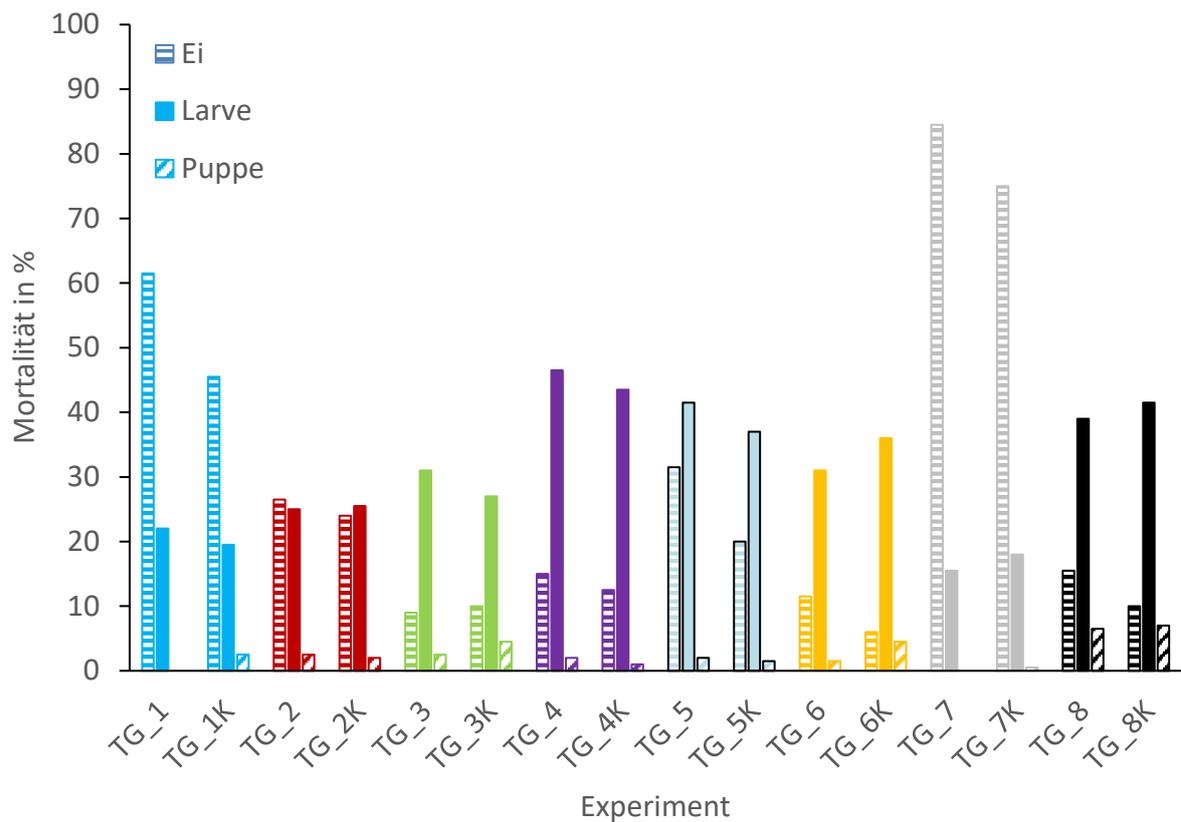


Abbildung 4: Mortalität pro Stadium (Ei, Larve, Puppe). Jedes Experiment wurde einmalig mit jeweils 200 Individuen durchgeführt. TG: Tagesgang. K: Kontrolle.

Bei den TG 1, TG 2 und TG 7 war die Mortalität des Eistadiums höher als das der Larven oder Puppen, dies gilt ebenfalls für die Kontrollen 1K und 7K (Abb. 4). Bei den TG 3 bis TG 6 und 8 sowie der Kontrolle 2K starben die meisten Individuen als Larven. Verglichen mit den anderen beiden Stadien (Ei, Larve) weist das Puppenstadium die geringste Mortalität auf (Abb. 4).

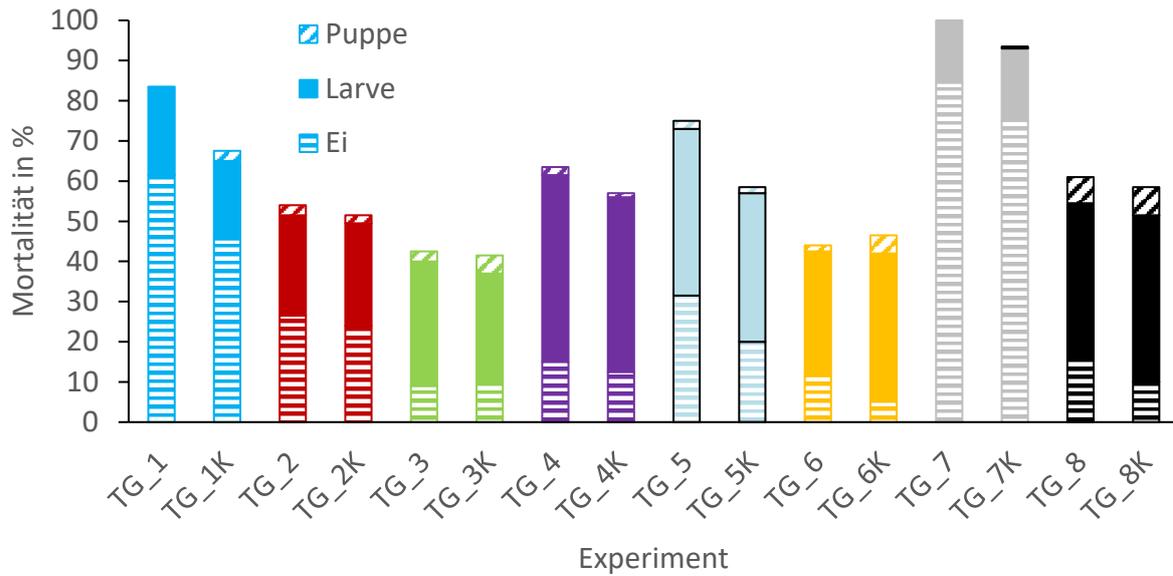


Abbildung 5: Kumulative Mortalität von Ei, Larve und Puppe. Jedes Experiment wurde einmalig mit jeweils 200 Individuen durchgeführt. TG: Tagesgang. K: Kontrolle.

Die höchste Sterblichkeit wurde bei TG 7 und der Kontrolle 7K festgestellt (Abb. 5), dies war auch der heißeste Tagesgang bezüglich der Mitteltemperatur und Temperaturvarianz (Tabelle 1, Abb. 2). Die geringste Mortalität wurde bei TG 3 und der entsprechenden Kontrolle aufgenommen (Abb. 5).

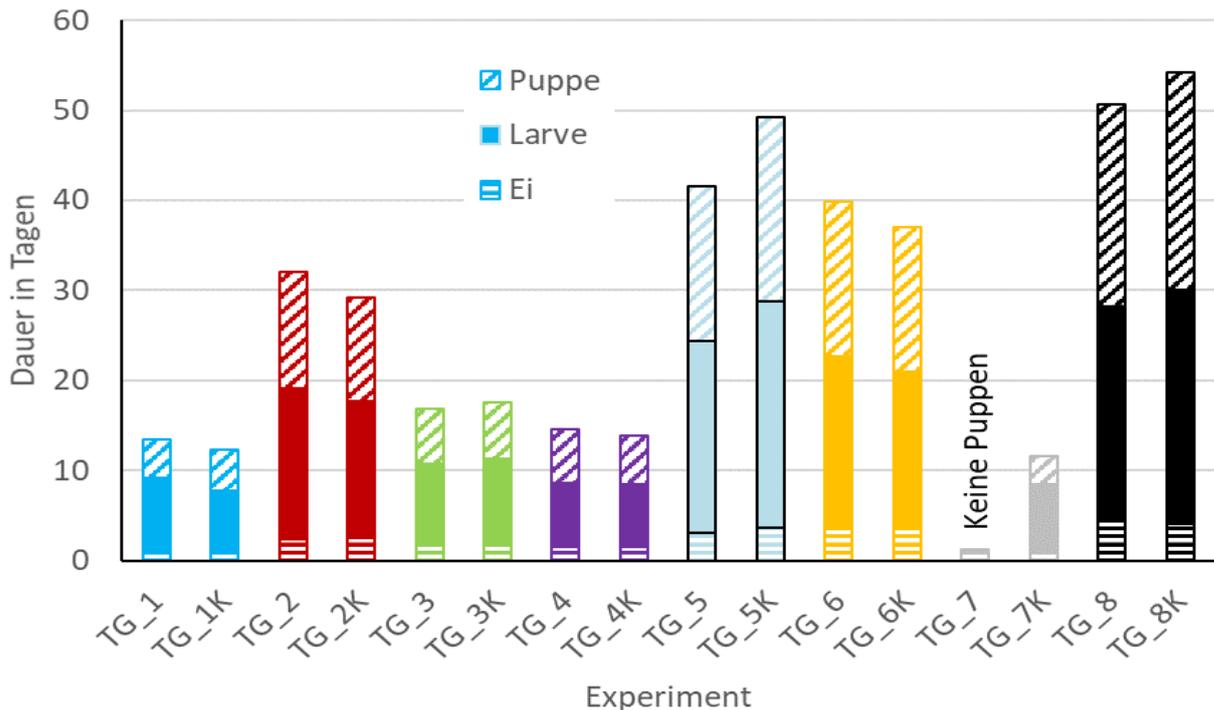


Abbildung 6: Dauer der Stadien Ei, Larve und Puppe. TG: Tagesgang. K: Kontrolle.

Die kürzeste Entwicklungsdauer von Ei zu Adultstadium wurde in der Kontrolle 7K aufgenommen. Dort schlüpfen Adulte nach 11,6 Tagen (Abb. 6), allerdings überlebten in diesem Experiment insgesamt nur 13 von 200 Individuen bis zum Adultstadium (Abb. 5, Anhang IV, V). In dem zugehörigen TG 7 starben alle Larven (n=31). Die Entwicklung vom Ei zur adulten Fliege war am langsamsten in der Kontrolle 8K mit 54,2 Tagen, gefolgt vom TG 8 mit 50,7 Tagen (Abb. 6).

- Beim TG 1 entwickelten sich insgesamt 30 Individuen bis zum Adultstadium, darunter 16 Männchen und 14 Weibchen (Anhang IV, V). Bei der dazugehörigen Kontrolle 1K schlüpfen 55 adulte Kirschessigfliegen, davon 21 Männchen und 24 Weibchen (Anhang IV, V). Am Tag 70 lebten noch 13% der Männchen (Abb. 7) sowie 7% der Weibchen (Abb. 8) im TG 1. In der Kontrolle 1K überlebten geringfügig mehr Individuen (19% Männchen und 12% Weibchen) (Abb. 7, 8). Die stärkste Reduktion erfolgte sowohl bei Männchen, als auch bei Weibchen am Tag 44 im TG 1 und am Tag 30 in der Kontrolle (Abb. 7, 8).
- Im TG 2 entwickelten sich 90 Individuen zu adulten Tieren, davon 40 Männchen (Anhang IV) und 50 Weibchen (Anhang V). Bei der Kontrolle 2K waren es vergleichbar 93 Individuen, 40 Männchen (Anhang IV) und 53 Weibchen (Anhang V). Im TG 2 starben bis zum Tag 70 nur 2% der Männchen (Abb. 7) und 4% der Weibchen (Abb. 8). Die höchste Mortalität bis zum Tag 70 wurde bei den Männchen in der Kontrolle 2K aufgenommen (12%; Abb. 7), während bei den Weibchen nur 8% starben (Abb. 8).

- in TG 3 entwickelten sich 115 Adulte, dies waren 50 Männchen (Anhang IV) und 65 Weibchen (Anhang V), während sich in der Kontrolle 3K 104 Adulte entwickelten (je 52 Männchen und Weibchen, Anhang IV, V). Im TG 3 überlebten 56% der Männchen (Abb. 7) und 72% der Weibchen den Tag 70 (Abb. 8). Das Überleben bis zum Tag 70 war in der Kontrolle höher für beide Geschlechter, 72% der Männchen überlebten (Abb. 7) und 83% der Weibchen (Abb. 8).
- In TG 4 konnten sich 34 Männchen (Anhang IV) und 35 Weibchen (Anhang V) entwickeln, insgesamt 69 Individuen. In der Kontrolle 4K waren 83 adulte Kirschessigfliegen, darunter 50 Männchen und 33 Weibchen (Anhang IV, V). Nach etwa 14 Tagen starben die ersten Adulten, sowohl im TG4 als auch in 4K (Abb. 7, 8). Am Tag 70 lebten noch 21% der Männchen (Abb. 7) und 11% der Weibchen (Abb. 8) im TG 4, während nur noch 11% Männchen (Abb. 7) aber noch 15% Weibchen (Abb. 8) in der Kontrolle 4K lebten.
- Im TG 5 bzw. der Kontrolle 5K starben nahezu keine adulten Kirschessigfliegen bis zum Tag 70 (Abb. 7, 8). Von den jeweils 25 geschlüpften Männchen und Weibchen (Anhang IV, V) im TG 5 überlebten 96% bzw. 100% bis zum Tag 70 (Abb. 7, 8), während von den 82 in der Kontrolle vorhandenen Adulten (30 Männchen, 52 Weibchen; Anhang IV, V) 100% der Männchen überlebten (Abb. 7) und 96% der Weibchen (Abb. 8).
- Im TG 6 und der Kontrolle 6K begannen von den geschlüpften Adulten (23 Männchen und 42 Weibchen im TG bzw. 30 Männchen und 38 Weibchen in 6K; Anhang IV, V) nach rund 40 Tagen die ersten zu sterben (Abb. 7, 8). Am Tag 70 lebten noch 78% der Männchen und 79% der Weibchen im TG6 (Abb. 7, 8) und 90% (Männchen; Abb. 7) bzw. 82% (Weibchen; Abb. 8) in der Kontrolle 6K.
- Im TG 7 entwickelten sich keine Puppen (Abb. 6), während in der Kontrolle 7K 6 Männchen und 7 Weibchen schlüpfen (Anhang IV, V), also insgesamt 13 Individuen. Alle Männchen waren am Tag 39 tot, während das letzte Weibchen am Tag 50 starb (Abb. 7, 8).
- Im TG 8 starben von den 77 entwickelten Adulten (43 Männchen, 34 Weibchen; Anhang IV, V) nur wenige bis zu Tag 70. 95% der Männchen (Abb. 7) und 91% der Weibchen lebten zu diesem Zeitpunkt noch. In der dazugehörigen Kontrolle 8K gab es 82 adulte Kirschessigfliegen, davon waren 33 Männchen (Anhang IV) und 49 Weibchen (Anhang V). Die ersten Männchen in der Kontrolle 8K starben am Tag 65 (Abb. 7), die ersten Weibchen am Tag 68 (Abb. 8).

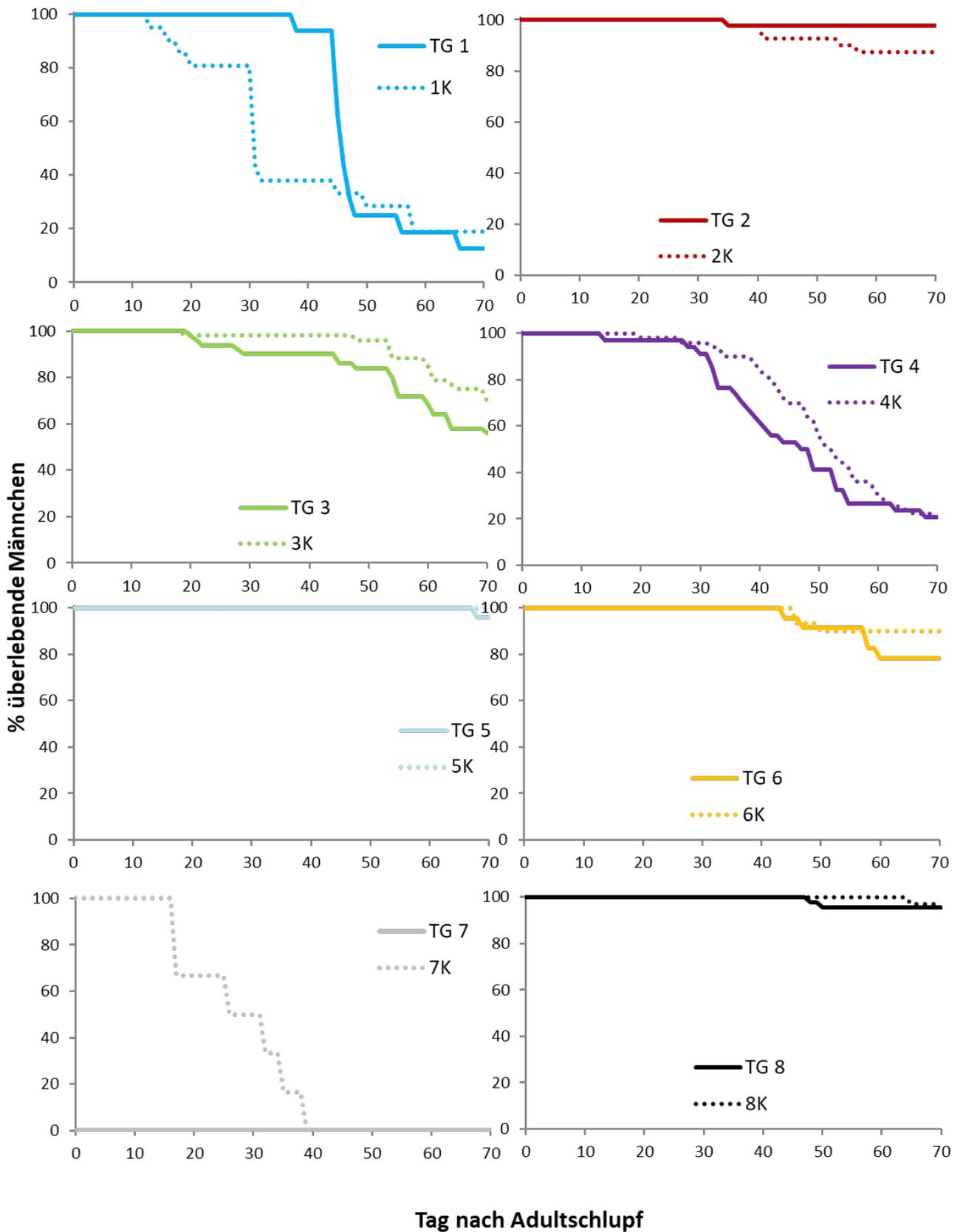


Abbildung 7: Überlebende adulte Männchen in %. Weiterhin wurden diese Daten auch als absolute Lebensspanne dargestellt, um zu zeigen, wie viele Individuen sich zu adulten Kirschessigfliegen entwickelten (Anhang IV). TG: Tagesgang. K: Kontrolle.

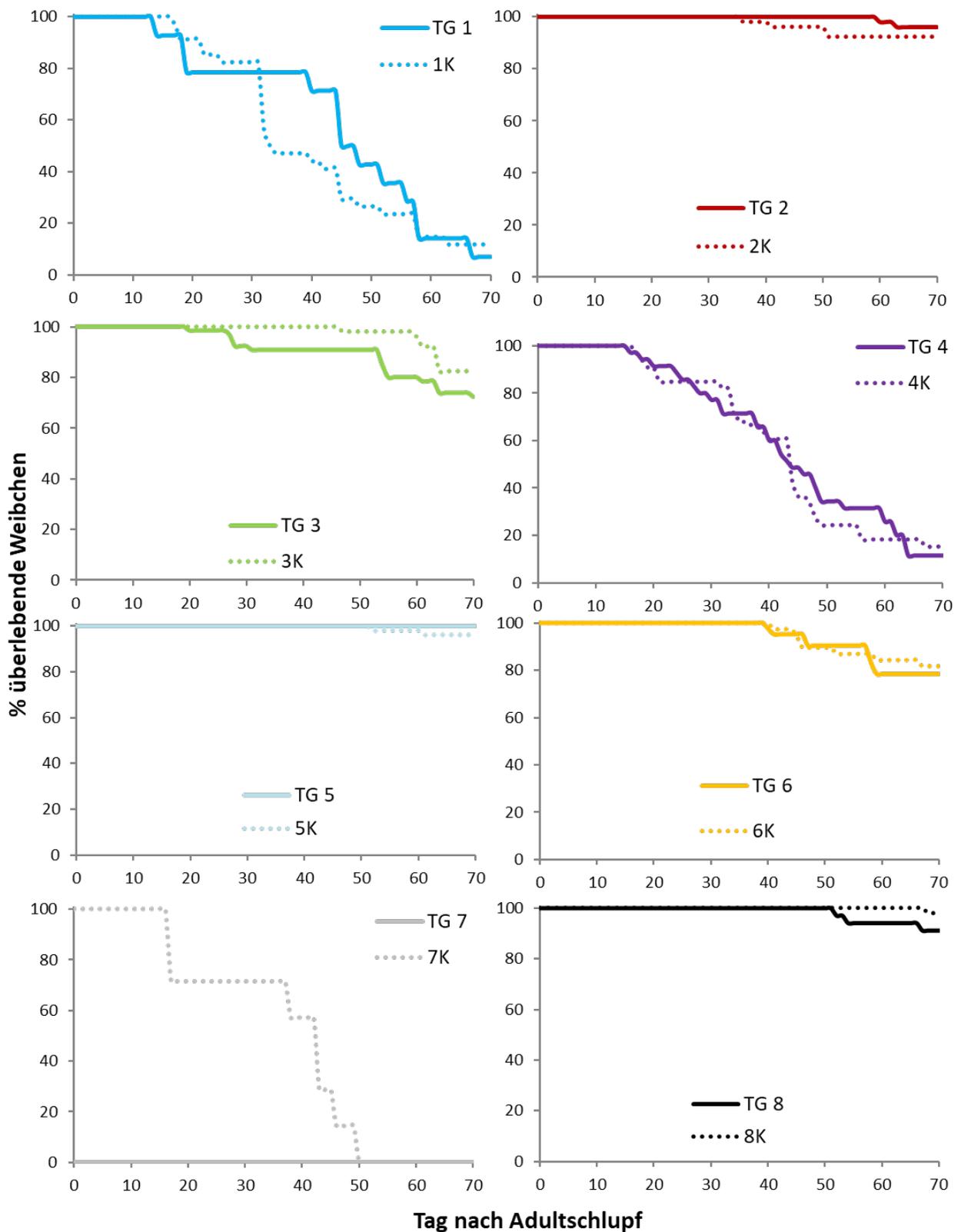


Abbildung 8: Überlebende adulte Weibchen in %. Weiterhin wurden diese Daten auch als absolute Lebensspanne dargestellt, um zu zeigen, wie viele Individuen sich zu Weibchen entwickelten (Anhang V). TG: Tagesgang. K: Kontrolle.

Das Eistadium der Kirschessigfliege

Bei der Erfassung der Entwicklungszeiten und Mortalitäten des Eistadiums gab es erhebliche Abweichungen zwischen den Experimenten (Abb. 9).

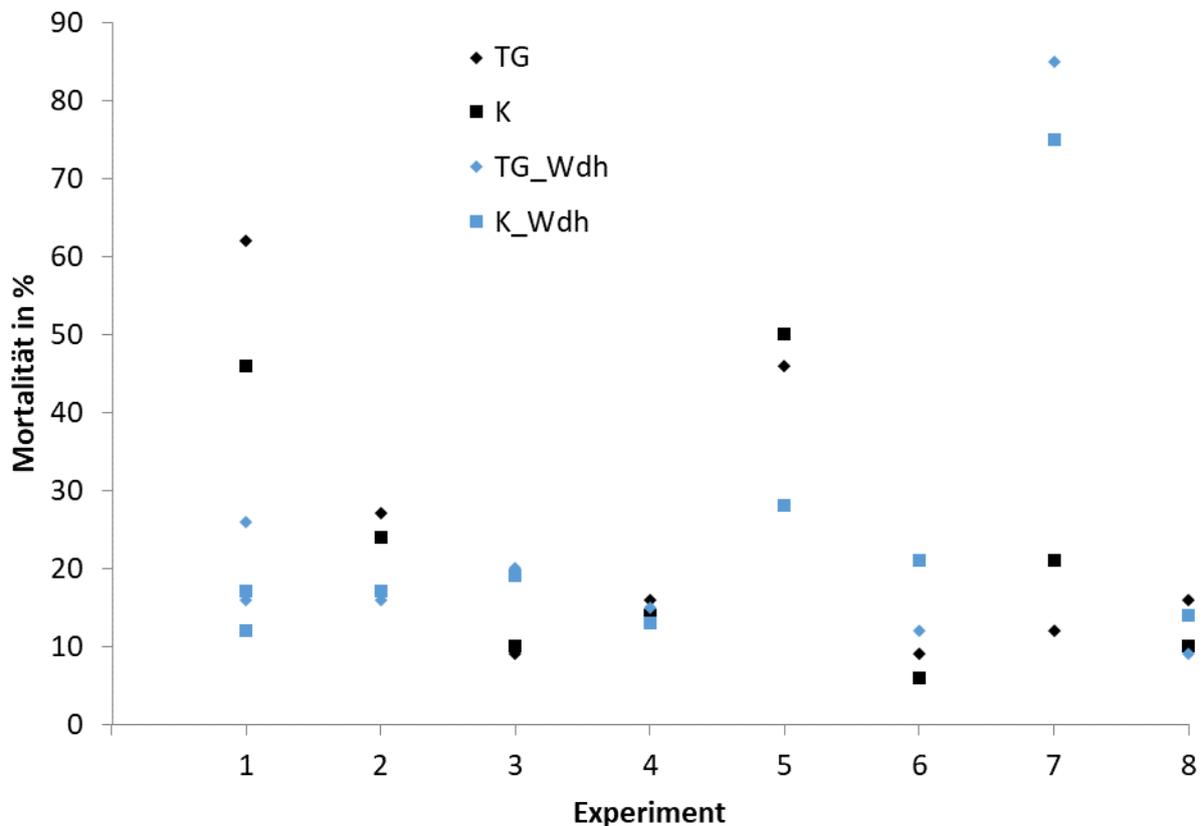


Abbildung 9: Vergleich der aufgenommenen Eimortalitäten pro Experiment und Wiederholung. TG: Tagesgang. K: Kontrolle. Wdh: Wiederholung.

Bei den Eimortalitäten gibt es besonders große Unterschiede bei den TG1, TG5 und TG7 sowie den jeweiligen Kontrollen (Abb. 9, 10). Es gibt kein systematisches Schema zwischen Versuch und Wiederholung, so liegen die Mortalitäten der TG1, TG2 und TG5 Versuche über denen der Wiederholungen, während bei TG3 und TG7 die jeweilige Mortalität des Versuchs geringer ist als die der Wiederholung (Abb. 9).

Die Unterschiede lassen sich eventuell mit dem unterschiedlichen Alter der Laborzucht erklären, mit einem erfahreneren Handling (allerdings sind die Mortalitäten der Wiederholungen nicht systematisch niedriger) oder der generellen Empfindlichkeit dieses Stadiums. Im Projekt MOST wird das Eistadium nichtsdestotrotz in das Modell aufgenommen, da das Modell so aufgebaut ist, dass die Funktionen für die einzelnen Stadien auch selektiv ausgeschaltet werden können.

Hier wurden der Vollständigkeit halber die Mittelwerte der Eimortalitäten berechnet (Abb. 10), wobei weitere zeitliche Wiederholungen der Experimente geboten wären und die hier gezeigten Daten des Eistadiums entsprechend vorsichtig interpretiert werden müssen.

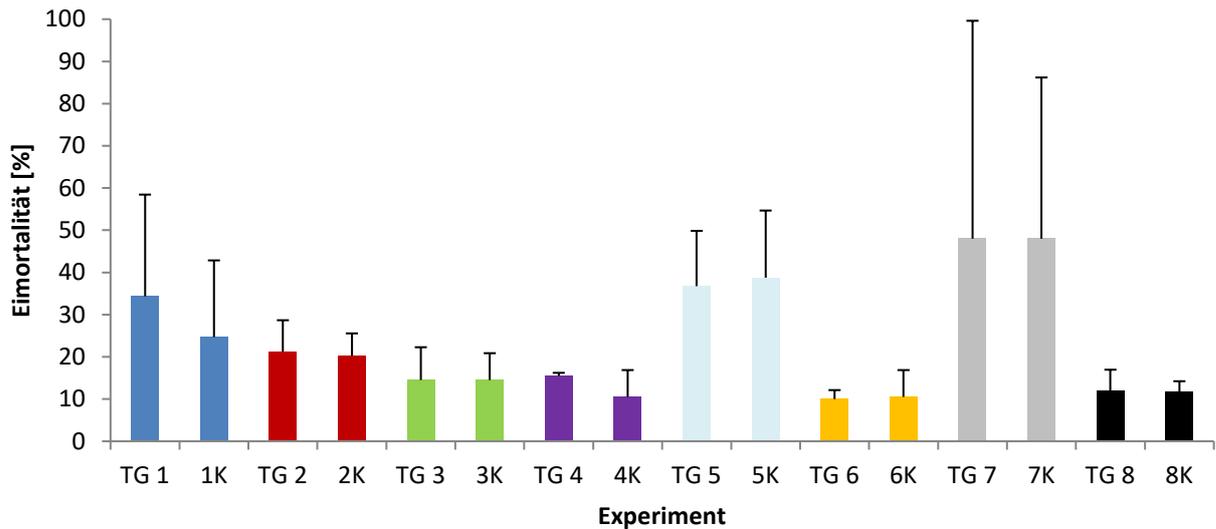


Abbildung 10: Eimortalität. Pro Experiment wurden drei (TG 1/1K) bzw. zwei (TG 2/2K-TG 8/8K) zeitliche Replikate durchgeführt. TG: Tagesgang. K: Kontrolle. Es sind Mittelwerte und Standardabweichungen dargestellt.

Die Erfassung der Länge des Eistadiums war schwierig, da die Eientwicklung bei hohen Temperaturen nach wenigen Stunden abgeschlossen ist, beispielweise bei TG 7 und der Kontrolle 7K (Abb. 11). Der Schlupf der meisten Larven erfolgte bei den TG1, TG4 und TG7 daher direkt am ersten Tag und der Larvenschlupf war bei diesen drei TG nach vier Tagen abgeschlossen (Abb. 11). Am längsten brauchten die Larven in den Kontrollen 5K und 8K, dort schlüpfen die letzten Larven an Tag 10 bzw. 9 (Abb. 11).

Generell unterscheiden sich die Entwicklungsdauern zwischen TG und zugehöriger Kontrolle nicht. Ausschließlich beim TG 5 und der dazugehörigen Kontrolle 5K gibt es am ersten Tag einen geringen Unterschied, so sind dort in der Kontrolle 5K am ersten Tag mehr Larven aus den Eiern geschlüpft als im TG 5.

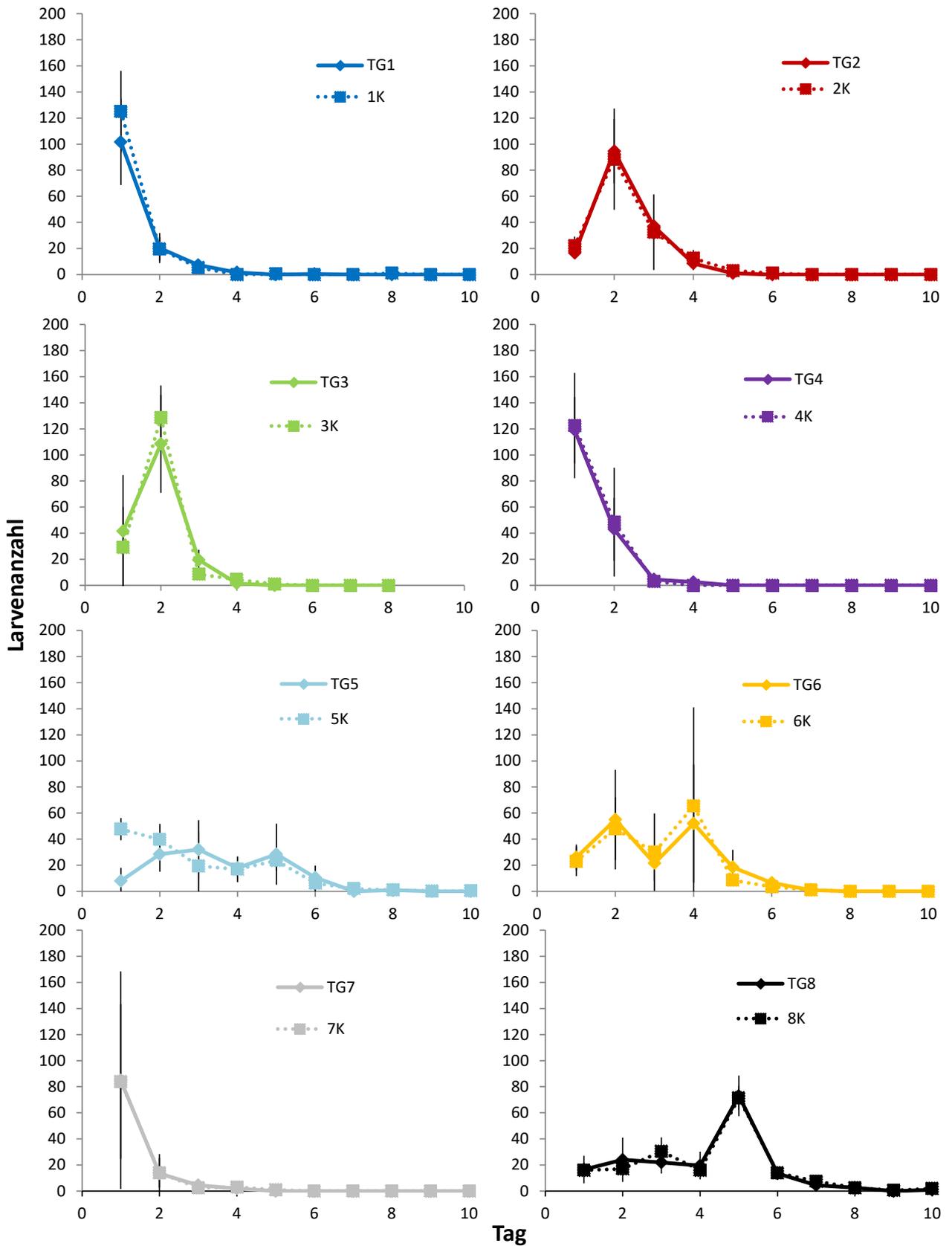


Abbildung 11: Dauer des Eistadiums. TG: Tagesgang. K: Kontrolle. Farbcodierung wie in Abb. 2, Tabelle 1. Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichungen.

Die Fortpflanzung der Kirschessigfliege

Für die Untersuchung der Fortpflanzung der Kirschessigfliege wurden aus den Lebenszyklusexperimenten Paare bestehend aus einem Männchen und einem Weibchen in die oben beschriebenen Paarungskammern überführt. Dies geschah an dem Tag des jeweiligen Experiments, an dem mindestens 10 Adulte geschlüpft waren. Die genaue Anzahl der Paare ist in Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Anzahl der Paare und Zeitpunkte, zu denen die Fortpflanzung aufgenommen wurde.

TG / Kontrolle	Anzahl Paare	Tag nach Schlupf > 20 Individuen, entspricht dem Tag X des Experiments	Tage nach dem Adultschlupf > 20 Individuen, an denen die Fortpflanzung untersucht wurde
TG 1	13	X=13	2, 4, 24, 32, 41, 50
1K	16	X=12	2, 4, 7, 18, 24, 32, 41, 50
TG 2	16	X=31	2, 4, 8, 16, 25, 32
2K	16	X=28	2, 4, 8, 16, 25, 32
TG 3	16	X=16	1, 2, 6, 22, 33, 63
3K	16	X=17	0, 1, 7, 33, 63
TG 4	16	X=14	2, 4, 8, 16, 32, 59
4K	16	X=13	2, 4, 8, 16, 32, 59
TG 5	16	X=41	2, 4, 8, 16, 25
5K	16	X=47	2, 4, 8, 16, 24
TG 6	NA	NA	NA
6K	NA	NA	NA
TG 7	NA	NA	NA
7K	NA	NA	NA
TG 8	16	X=39	2, 4, 16, 32, 59, 99
8K	16	X=36	2, 3, 16, 32, 59, 100

NA: Die Fortpflanzung wurde nicht untersucht (TG 6/6K: zu lange Generationsdauer; TG 7/7K: ungenügender Schlupf der Adulten); siehe Anhang IV und V.

Allgemein wurde davon ausgegangen, dass eine systematische, d.h. an gleichen Tagen aufgenommene, Fortpflanzung nicht notwendig ist, da in die Modellparametrisierung entweder das Einsetzen bzw. das Ende der Fortpflanzung aufgenommen wird oder eine nichtlineare Regression. Insbesondere das Ende der Fortpflanzung konnte nicht aufgenommen werden, da insbesondere die Niedrigtemperaturexperimente extrem lange dauerten.

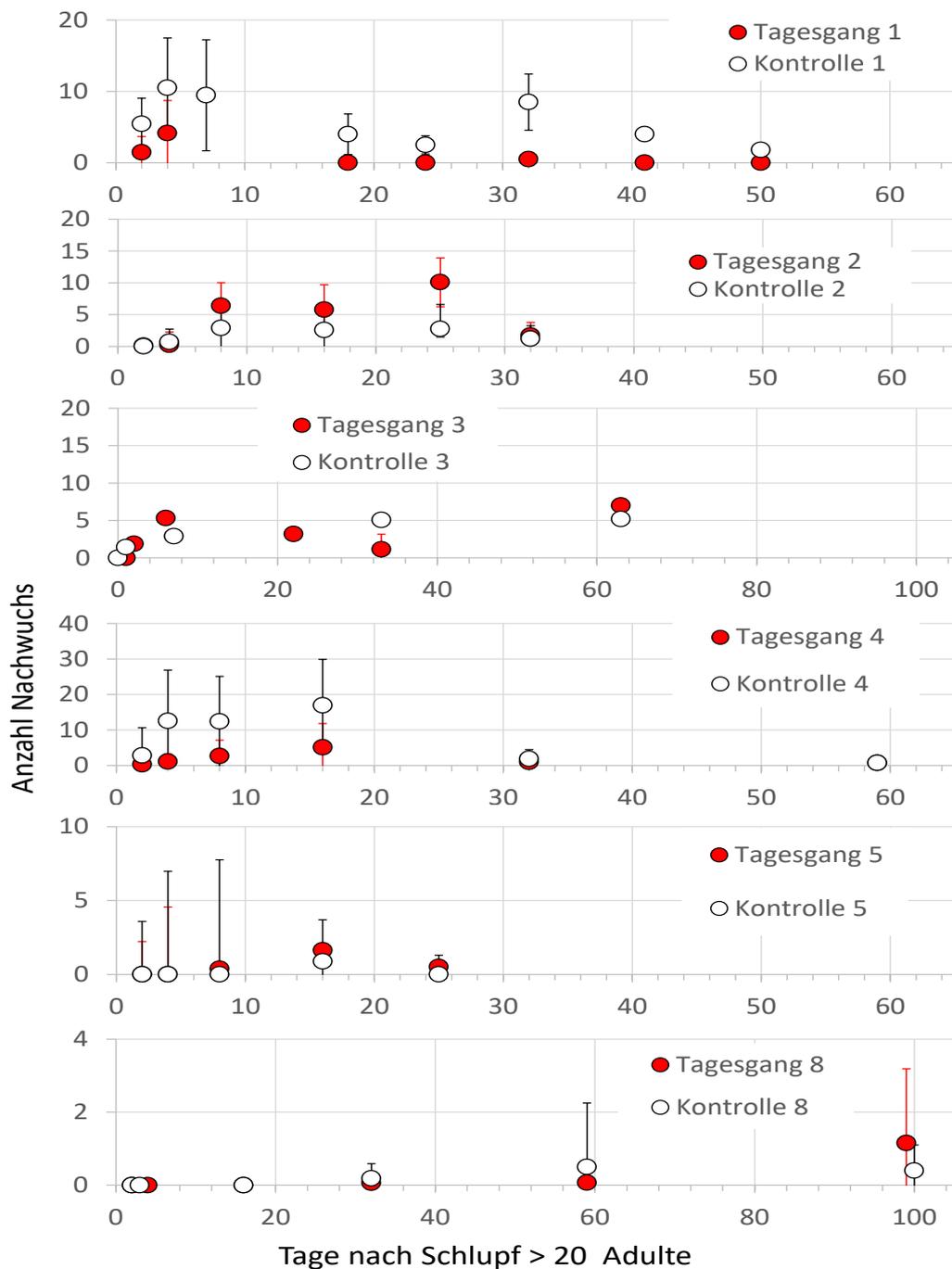


Abbildung 12: Fortpflanzung der Kirschessigfliege.

Es wurden in allen untersuchten TG und allen untersuchten Kontrollen Eier gelegt. Im TG 5, der Kontrolle 5K, dem TG 8 und der Kontrolle 8K wurden die wenigsten Eier gelegt (Abb. 12), dies waren die TG mit niedrigeren Temperaturen (Abb. 2, Tabelle 1).

Zusätzliche Versuche zur Hitzeverträglichkeit der Kirschessigfliege

Die Effekte von Hitzeereignissen auf das Eistadium und die Fortpflanzung der Kirschessigfliege wurden in zwei Experimenten untersucht.

In Versuch 1 wurde untersucht, wie hitzeempfindlich das Eistadium der Kirschessigfliege ist. Die Eier der Kirschessigfliege wurden gegenüber unterschiedlich hohen Temperaturen (25, 30, 35, 40, 45°C) für verschieden lange Zeiträume (0, 20, 40, 80, 160, 240, 360 und 640 Minuten) exponiert. Jede experimentelle Behandlung beinhaltete 20 Eier und wurde fünffach repliziert. Als Parameter wurde die Anzahl der Puppen herangezogen und die daraus resultierende kumulative Ei- und Larvenmortalität berechnet.

In Versuch 2 wurde untersucht, wie lange adulte Weibchen nach einer Hitzeperiode benötigen, um wieder mit der Eiablage zu beginnen. Dazu wurden Paare der Kirschessigfliege, bestehend aus jeweils einem Männchen und einem Weibchen, zusammen in einer Verpaarungskammer gehalten (3.1.2.; Anhang III). Jeweils 16 Paare wurden dabei (A) dauerhaft auf 23°C (Optimaltemperatur), (B) für 80 Minuten bei 35°C oder (C) für 240 Minuten auf 35°C gehalten. Die Behandlungen B und C wurden nach der Hitzeexposition wieder bei 23°C inkubiert. Anschließend wurden die abgelegten Eier alle 2 bis 3 Tage isoliert und bei 23°C zu Puppen aufgezogen. Die resultierende Anzahl von Puppen wurde pro Paar und pro Zeiteinheit gezählt und dann auf einen Tag normiert.

Generell nimmt die Mortalität bei höheren Temperaturen zu und es ist eine geringere Zeit der Hitzeeinwirkung nötig, um das Eistadium zu schädigen. Die Experimente haben gezeigt, dass sowohl die Faktoren Temperatur als auch Dauer der Hitzeeinwirkung einen signifikanten Einfluss auf die Anzahl verpuppter Individuen haben (*two way ANOVA* $F=12,8$, $p<0.0001$ (Temperatur), $F=18,2$, $p<0.0001$ (Dauer)). Die Puppenanzahl wird dabei zu 30% von der Dauer und zu 12% von der Höhe der Temperatur bestimmt. Weiterhin wurden während der gesamten Untersuchungszeit (bis zu 14 Tage nach Hitzeeinwirkung auf das Elternpaar) von den Weibchen Eier gelegt. Es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen dem kurz (80 Minuten) und dem lang (240 Minuten) andauernden Hitzestress bei 35°C (*two way ANOVA* $F=1$, $p=0,35$).

3.1.3. Asiatische Buschmücke

Für die Asiatische Buschmücke zeigen sich nur geringe Unterschiede bei den Entwicklungsdauern zu Larve, Puppe und bei der Lebensdauer der Adulte zwischen dem jeweiligen Tagesgang verglichen mit der entsprechenden mittleren Temperatur. Bei der Mortalität der Larven, Puppen und Adulten waren bei den Experimenten TG 1/1K, TG 2/2K und TG 3/3K in den jeweiligen Kontrollen eine höhere Mortalität als bei den Tagesgängen.

Bei TG 4/4K war die Mortalität im Tagesgang höher als bei der konstanten Mitteltemperatur. Die Temperaturexperimente mit der Asiatischen Buschmücke wurden anhand der Protokolle von Bock et al. (2015) und Reuss et al. (2018) durchgeführt, sie wurden den gleichen TG und Kontrollen (3.1.1.) ausgesetzt wie die Kirschessigfliege. Aufgrund der saisonal limitierten Verfügbarkeit von Eimaterial der Asiatischen Buschmücke aus dem Freiland wurden ausschließlich die Tagesgänge TG 1/1K, TG 2/2K, TG 3/3K und TG 4/4K getestet. In den Lebenszyklusexperimenten wurden die Entwicklungsdauer vom Ei zu Larve, Puppe und Adulttier sowie die adulte Lebensspanne untersucht. Die Mortalität und Entwicklungsdauer der *Aedes japonicus* Lebensstadien unter fluktuierenden (TG) und konstanten (K) Temperaturen wurde zwischen den experimentellen Gruppen bei konstanter Mitteltemperatur und dynamischen Tagesgang verglichen (Abb. 13). Insbesondere die Larvenmortalität von *Aedes japonicus* ist bei TG-Exposition und den Kontrollgruppen unterschiedlich (Abb. 14). Im TG1-3 ist die Mortalität etwas geringer als in den entsprechenden Kontrollen 1K, 2K bzw. 3K. Konträr dazu ist die Mortalität wesentlich höher im TG4 als in der entsprechenden Kontrollgruppe 4K.

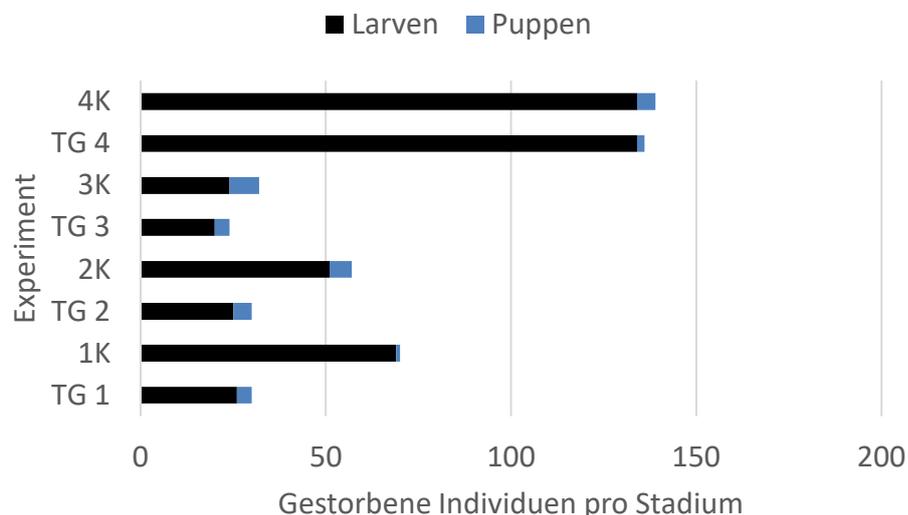


Abbildung 13: Die Anzahl der im jeweiligen Stadium gestorbenen Individuen der *Aedes japonicus japonicus*. Am Anfang wurden 200 Larven in das Experiment eingesetzt.

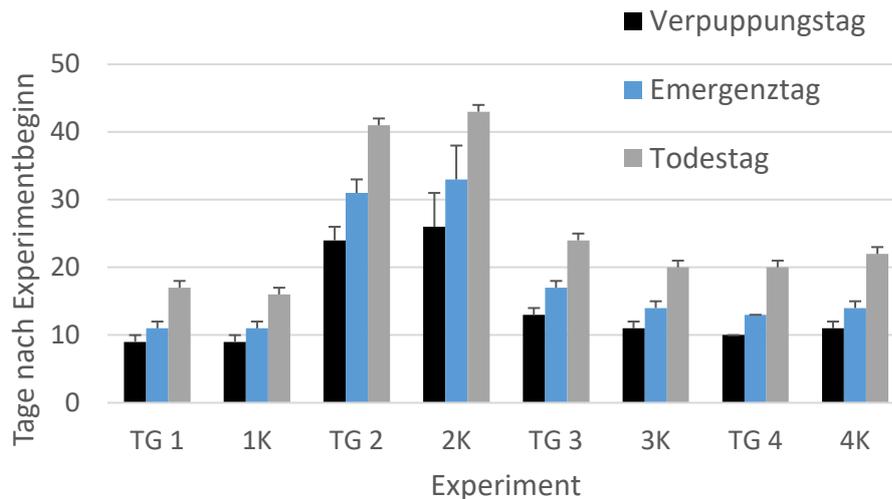


Abbildung 14: Entwicklungsdauern von *Aedes japonicus japonicus* unter fluktuierenden (TG) und konstanten (K) Temperaturen.

3.2. Erhebung von Freilanddaten für die Asiatische Buschmücke (Arbeitspaket 2)

Im Arbeitspaket 2 wurden Populationsdaten für die Asiatische Buschmücke in einem vollständigen Jahreszyklus erhoben. Es wurden folgende populationsdynamischen Kennwerte erfasst:

- (Kennwert 1) Start Populationsaktivität: Kalenderwoche 22
- (Kennwert 2) Dauer der Populationsaktivität: 24 Wochen
- (Kennwert 3) Maximum der Populationsaktivität: Kalenderwochen 25-30
- (Kennwert 4) Ende der Populationsaktivität: Kalenderwoche 46

3.2.1. Freilandstandorte und Beprobung

Die Standorte zur Erhebung von Freilanddaten für die Asiatische Buschmücke sind Parzellen auf Friedhöfen. Bei den Friedhöfen handelt es sich um den Friedhof Lorch am Rhein, den Südfriedhof Wiesbaden, den Friedhof Wiesbaden-Bierstadt, den Friedhof Dornburg-Dorndorf sowie den neuen Friedhof Hadamar. Für die Arbeiten auf den Friedhöfen wurden von allen zuständigen Friedhofs- bzw. Grünflächenämtern eine Erlaubnis eingeholt. Genaue Standortbeschreibungen der Fallen innerhalb der Friedhöfe sind im Abschlussbericht des Projektes „Integriertes Vektormanagement zur umweltfreundlichen und nachhaltigen Bekämpfung der Asiatischen Buschmücke (AJAPII)“ zu finden.

Für die Sammlung der verschiedenen Lebensstadien der Asiatischen Buschmücke wurden die folgenden Fallentypen verwendet. Die Adulten wurden mit BG Sentinel 2 Fallen (Biogents, Regensburg). Die Larven und Puppen wurden in schwarzen Plastikeimern (gefüllt mit 2 Litern Wasser) sowie durch Leerung bzw. Pipettieren der auf den Friedhöfen

vorhandenen Kleinstgewässer gefangen. Die Eier wurden mithilfe von Eiablagestäbchen in den Larven/Puppen-Fallen gesammelt. Die Feldbeprobung geschah während der Stechmückensaison (April bis Oktober) wöchentlich und außerhalb der Saison alle zwei Wochen.

3.2.2. Adulte der Asiatischen Buschmücke im Jahresverlauf

Die gefangenen adulten Stechmücken wurden bei -20°C in einem Gefrierschrank abgetötet, danach wurde der Beifang entfernt und verworfen und die Proben getrennt nach Sammlungszeitpunkt und Falle bei -20°C bis zu morphologischen Bestimmung gelagert. Zu diesem Zeitpunkt wurden die Stechmücken gezählt, sodass eine ungefähre Anzahl zu bestimmender Individuen bekannt war. Zur morphologischen Bestimmung der Adulten wurden die folgenden Bestimmungsschlüssel verwendet: Becker et al. (2010) und die Software *MediLabSecure MosKeyTool* vom Institut Pasteur (<https://www.medilabsecure.com/moskeytool.html>). Zur Unterscheidung von *Aedes koreicus* und *Aedes japonicus japonicus* wurde weiterhin Pfitzner et al. (2018) verwendet. Bei den Gattungen *Culex*, *Coquillettidia* und *Culiseta* wurden Gattung und Geschlecht aufgenommen, bei *Anopheles* die Gattung. Die Gattungen *Ochlerotatus* und *Aedes* wurden nicht unterschieden, sondern nur die Arten *Aedes japonicus japonicus* und *Aedes koreicus* aussortiert und auf Artniveau bestimmt. Bei *Ochlerotatus/Aedes* wurde zusätzlich das Geschlecht bestimmt. Die morphologische Bestimmung von *Aedes japonicus japonicus* und *Aedes koreicus* wurde durch die taxonomische Expertin Dr. Isra Deblauwe (ITM, Antwerpen, Belgien) verifiziert (Positivrate 91%).

Insgesamt wurden auf den PEST-Standorten etwa 5.500 adulte Stechmücken gefangen. Es wurden insgesamt nur 263 adulte *Aedes* Individuen in den Adultfallen aufgefunden (Tabelle 4). Die exotischen Arten *Aedes albopictus* und *Aedes aegypti* wurden nicht festgestellt. Es wurden nur 38 Individuen der Asiatischen Buschmücke festgestellt, was die im Antrag geplante saisonale Validierung des MOST-Modells für die Asiatische Buschmücke verhinderte.

Die Felddaten lassen dennoch einige Aussagen zu den exotischen Stechmücken *Aedes koreicus* und *Aedes japonicus* zu. *Aedes koreicus* wurde generell häufiger gefangen als *Aedes japonicus japonicus*. Auf den beiden Wiesbadener Friedhöfen wurden vornehmlich *Aedes koreicus* gefangen, allerdings auch einzelne *Aedes japonicus*. Die anderen drei Friedhöfe waren hauptsächlich von *Aedes japonicus japonicus* besiedelt, in Lorch wurde eine einzelne *Aedes koreicus* gefunden. Weiterhin scheint *Aedes japonicus japonicus* eine längere Flugsaison als *Aedes koreicus* zu haben. Die letzten Individuen der Asiatischen Buschmücke wurden im Jahr 2018 in der 46. Kalenderwoche gefunden, nach dem Winter wurden die ersten Individuen in der 22. KW 2019 gefangen. *Aedes koreicus* wurde das letzte Mal in der 42. Kalenderwoche 2018 und das erste Mal nach dem Winter ebenfalls in der 22. KW 2019 gefangen.

Tabelle 4: Anzahl der adulten Stechmücken der Fokusart *Aedes japonicus japonicus* und weiteren *Aedes*-Individuen pro Freilandstandort.

Standort	<i>Ajap</i> ♀	<i>Ajap</i> ♂	<i>Akor</i> ♀	<i>Akor</i> ♂	<i>Aedes/Och.</i>
Wiesbaden Südfriedhof	2	0	67	3	100♀, 2♂
Wiesbaden Bierstadt	0	0	41	3	1♀
Lorch	18	1	1	0	3♂, 1♀
Dorndorf	8	0	0	0	3♀
Hadamar	8	1	0	0	0
Summe	36	2	109	6	110

Ajap: *Aedes japonicus japonicus*, *Akor*: *Aedes koreicus*, ♀: Weibchen, ♂: Männchen. *Och.*: *Ochlerotatus*.

Auf dem Dorndorfer Friedhof wurden insgesamt acht adulte Weibchen, aber keine Männchen gefangen (Tabelle 4). Die acht Exemplare von *Aedes japonicus japonicus* wurden in der 25. Kalenderwoche (KW) 2018 (ein Weibchen), in der 30. KW 2018 (zwei Weibchen), in der 22., 26. und 27. KW 2019 (je ein Weibchen) und in der 29. KW 2019 (zwei Weibchen) gefangen. Weiterhin wurden drei *Aedes geniculatus* Weibchen gefangen (eines in der 24. Kalenderwoche 2019 und zwei in der 29. Kalenderwoche 2019). Es wurden keine *Aedes koreicus* gefunden (Tabelle 4).

Auf dem Neuen Friedhof Hadamar wurden insgesamt neun adulte *Aedes japonicus japonicus* gefangen, darunter ein Männchen in der 26. KW 2018. Jeweils ein Weibchen wurde in der 25., 26., 28., 29., 31. und 37. KW 2018 gefangen und nochmals zwei Weibchen in der 30. KW 2019. Es wurden keine *Aedes koreicus* oder andere *Aedes/Ochlerotatus*-Arten gefunden (Tabelle 4).

In Lorch wurden insgesamt 19 *Aedes japonicus japonicus* gefangen, darunter ein Männchen. Das Männchen wurde während der 31. KW 2018 gefangen, ebenso fünf Weibchen. Die weiteren *Aedes japonicus japonicus*-Weibchen wurden in der 25. (ein Weibchen), 28. (zwei Weibchen), 29. (zwei Weibchen), 30. (drei Weibchen), 31. (fünf Weibchen), 32., 33., 37. und 46. (jeweils ein Weibchen) Kalenderwoche 2018 sowie in der 27. Kalenderwoche 2019 (ein Weibchen) gefangen. Ein *Aedes koreicus* Weibchen stammt aus der 26. Kalenderwoche 2018. Es gab vier weitere *Aedes/Ochlerotatus*-Individuen (Tabelle 4): Ein Weibchen von *Aedes pulcritarsis* aus der 28. Kalenderwoche 2018, sowie drei nicht weiter bestimmbare *Aedes*-Männchen (eines aus der 30. Kalenderwoche 2018 und zwei aus der 36. Kalenderwoche 2018).

Auf dem Südfriedhof Wiesbaden wurden die meisten *Aedes*-Individuen gefangen (Tabelle 4). Der saisonale Abundanzverlauf für *Aedes koreicus* ist in Abb. 15 zu sehen. Neben den 70 *Aedes koreicus* kamen noch 102 Individuen *Aedes/Ochlerotatus* vor. Diese wurden insbesondere im Zeitraum der 22. bis 28. Kalenderwoche 2019 gefangen. Auf dem Friedhof kam *Aedes japonicus japonicus* mit zwei adulten Weibchen in der 31. Kalenderwoche 2018

vor (Tabelle 4). Von den 102 *Aedes/Ochlerotatus* waren zwei Männchen von *Aedes geniculatus* und 100 Weibchen. Letztere verteilten sich auf die Arten *Aedes geniculatus* (84 Weibchen) und *Aedes vexans* (drei Weibchen), der Rest (13 Weibchen) konnte nicht bis zur Art bestimmt werden.

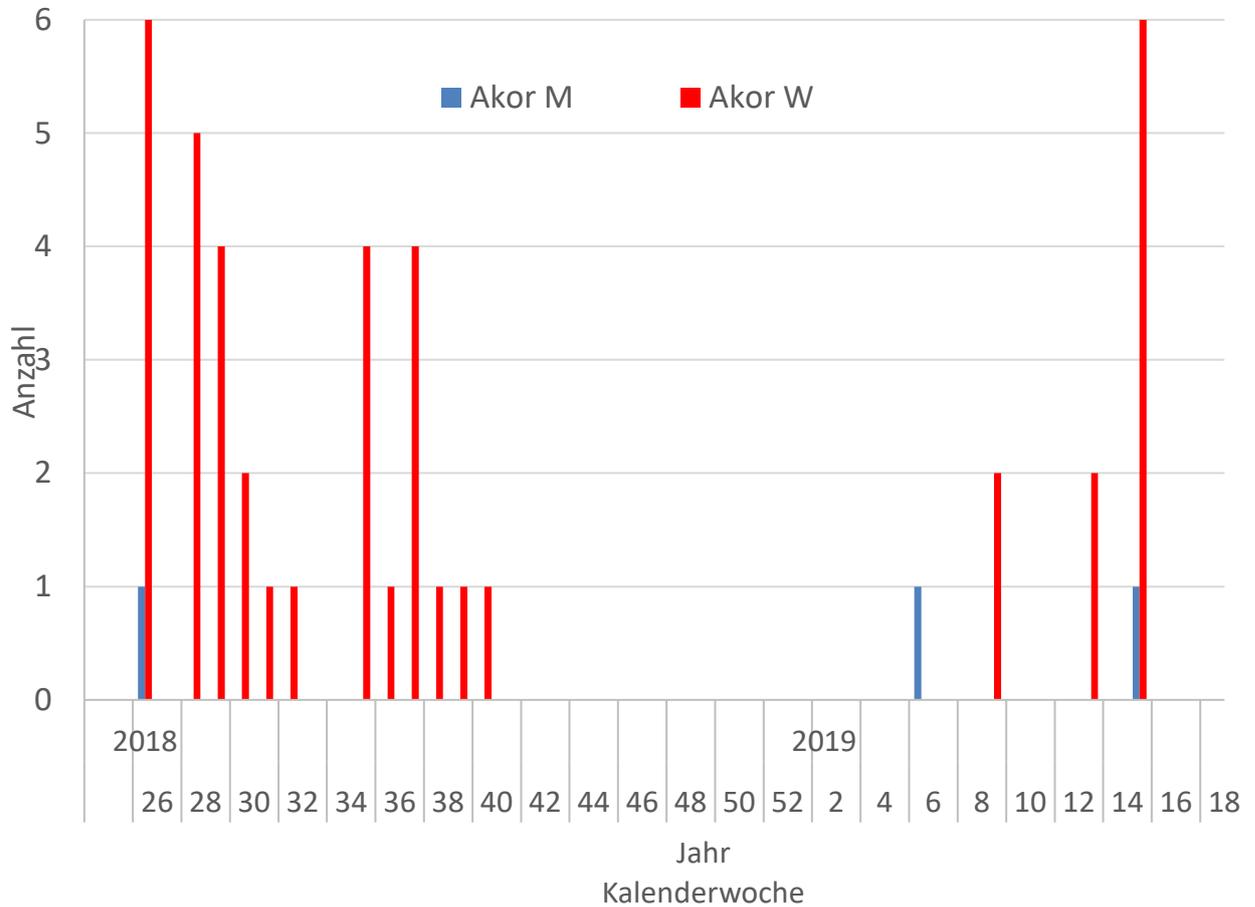


Abbildung 15: Saisonale Abundanz von adulten *Aedes koreicus* auf dem Südfriedhof Wiesbaden.

Auf dem Friedhof Wiesbaden-Bierstadt wurden 44 *Aedes koreicus* gefangen, ein *Aedes/Ochlerotatus*-Weibchen (*Aedes vexans* in der 26. Kalenderwoche 2019) und keine *Aedes japonicus japonicus* (Tabelle 4). Die letzten *Aedes koreicus* wurden im Jahr 2018 in der 42. Kalenderwoche und die ersten 2019 in der 19. Kalenderwoche gefangen (Abb.16).

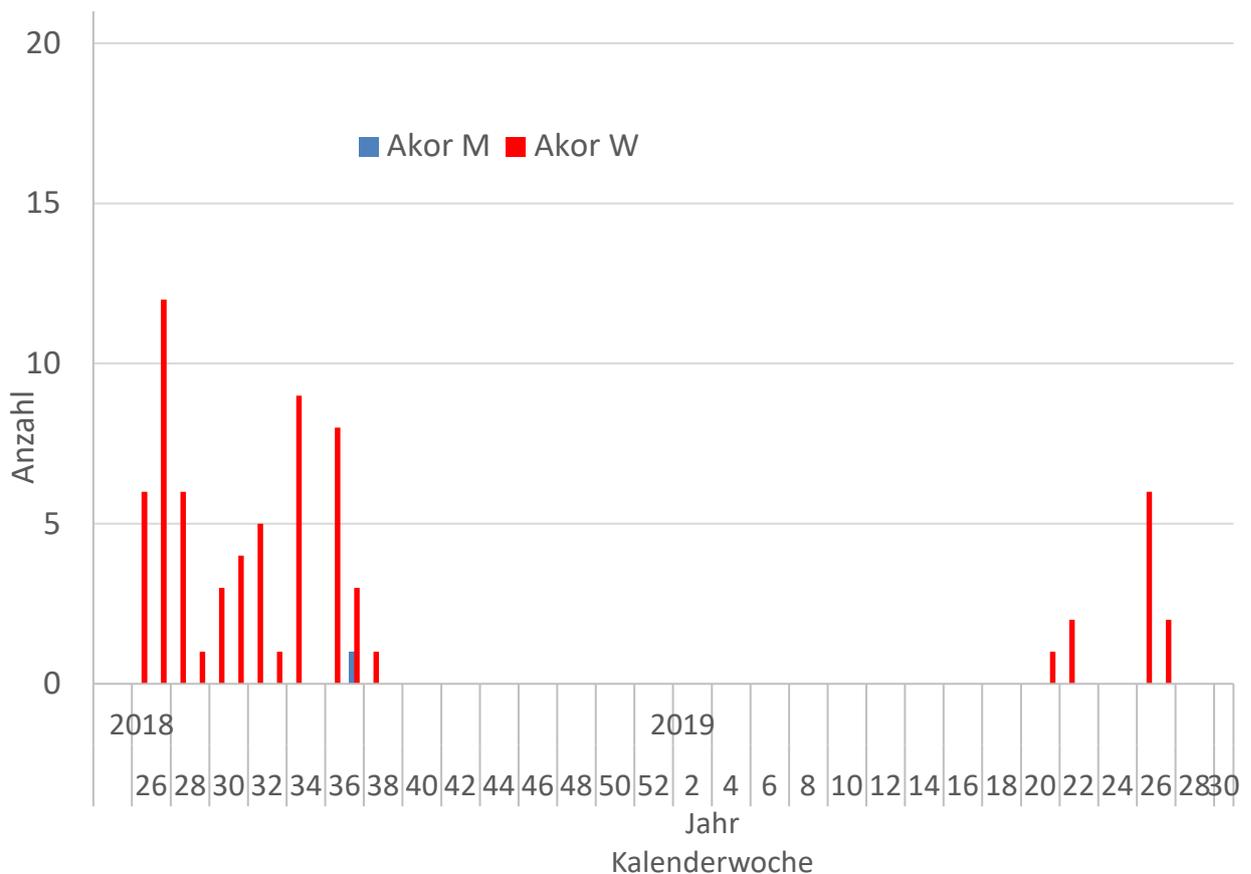


Abbildung 16: Saisonale Abundanz von adulten *Aedes koreicus* auf dem Friedhof Bierstadt in Wiesbaden.

3.2.3. Larven der Asiatischen Buschmücke im Jahresverlauf

Bei der Larvenbestimmung haben wir uns auf die drei Standorte Lorch, Hadamar und Dorndorf fokussiert, weil an ihnen die Fokusart *Aedes japonicus japonicus* laut Adultbestimmung vorkommt (Tabelle 4). Die Larven und Puppen wurden in 70% Ethanol gelagert, der Beifang wurde erst bei der morphologischen Bestimmung entfernt. Zur morphologischen Bestimmung der Larven wurden die folgenden Bestimmungsschlüssel verwendet: Becker et al. (2010) und die Software MediLabSecure MosKeyTool vom Institut Pasteur (<https://www.medilabsecure.com/moskeytool.html>). Zur Unterscheidung von *Aedes koreicus* und *Aedes japonicus japonicus* wurde weiterhin Pfitzner et al. (2018) verwendet. Es wurden 301 Larven und Puppen durch Internal Transcribed Spacer 2-(ITS2)-Sanger-Sequenzierung bestimmt, von insgesamt 355 untersuchten Proben (54 ohne PCR-Produkt). Bei den Larven und Puppen wurde die Abwesenheit von *Aedes koreicus* in Hadamar und Dorndorf bestätigt: Bei 105 untersuchten Proben wurde kein Individuum von *Aedes koreicus* gefunden. Auch in Lorch wurde kein *Aedes koreicus* bei den Puppen/Larven identifiziert. *Aedes japonicus* (188 untersuchte Proben) wurde auf den Friedhöfen in Lorch, Hadamar,

Dorndorf und Wiesbaden-Bierstadt bestätigt. Acht der Proben waren keine *Aedes*-Stechmücken, sondern dem *Culex pipens*-Artenkomplex zugehörig. Die Larven und Puppen stehen als Referenzsammlung für zukünftige Vergleichsstudien am SBIK-F zur Verfügung.

3.2.4. Eier der Asiatischen Buschmücke im Jahresverlauf

Die Eier auf den Eiablagestäbchen wurden von Dr. Axel Magdeburg gezählt. Dabei war es möglich, die Eier von *Aedes geniculatus* von den Eiern von *Aedes koreicus* und *Aedes japonicus japonicus* visuell zu unterscheiden. Generell waren die Eier von *Aedes geniculatus* dicker als die Eier von *Aedes koreicus* und *Aedes japonicus japonicus*.

Die morphologische Bestimmung wurde in zufällig ausgewählten Eikohorten molekular überprüft. Jeweils 10 Eier pro Falle wurden zufällig ausgewählt, auf -20°C gelagert, und mittels DNA-Barcodings die morphologische Bestimmung verifiziert. Des Weiteren wurde in 28 Eikohorten (von 192) die An- bzw. Abwesenheit von *Aedes geniculatus*, *Aedes japonicus* und *Aedes koreicus* durch eine Nanoporen-Sequenzierung und eine Sanger-Sequenzierung des COI (Cytochrom Oxidase c Untereinheit I)-Abschnitts verifiziert (Hartke et al. 2022). Die molekulare Bestimmung von Eipools mittels zweier Methoden schließt allerdings die Anwesenheit weiterer Arten nicht aus.

In Abbildung 17 ist die Anzahl der Eier auf den drei Friedhöfen mit Vorkommen von *Aedes japonicus japonicus* dargestellt. Insgesamt wurden auf dem Friedhof Dorndorf innerhalb dieses Jahres 4.947 Eier gezählt, in Lorch waren es 2.513 Eier und in Hadamar 6.134 Eier (Abb. 15). Wir gehen davon aus, dass die in Abb. 17 dargestellten morphologisch bestimmten Eifunde hauptsächlich *Aedes japonicus japonicus* zuzuordnen sind, allerdings können geringe Anteile anderer *Aedes*-Arten, aber nicht *Aedes koreicus*, nicht ausgeschlossen werden.

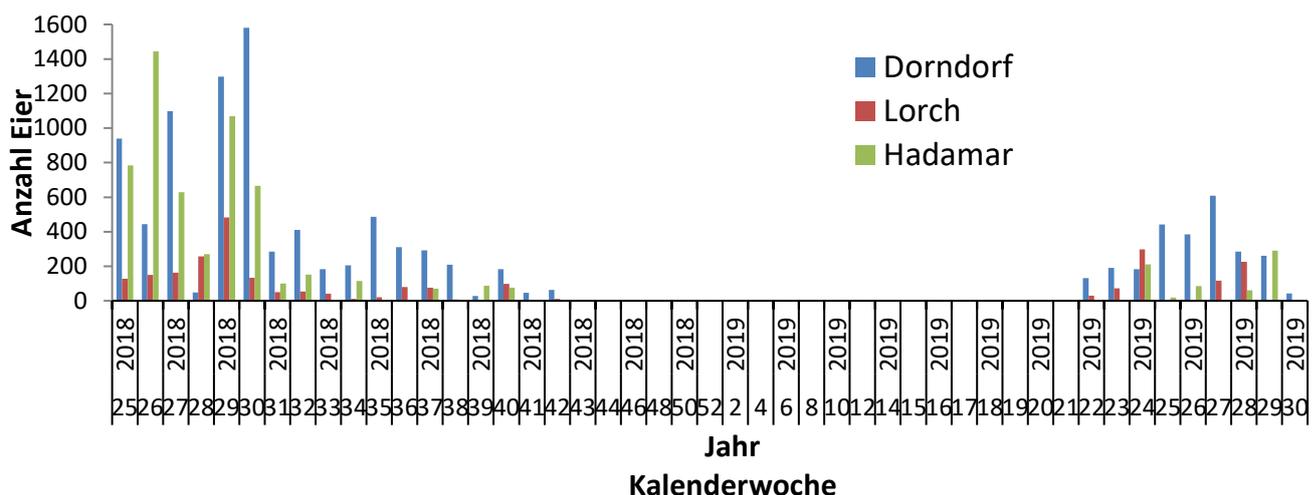


Abbildung 17: Saisonale Abundanz von *Aedes*-Eiern.

3.3. Zusammenstellung der Daten zur Thermotoleranz (Arbeitspaket 3)

Im Arbeitspaket 3 erfolgte eine Datenzusammenstellung von Literatur- und Experimentaldaten zur Thermotoleranz der beiden Schadinsekten. Insgesamt hat die systematische Recherche aufgezeigt, dass das Projekt PEST bei der Untersuchung der Effekte von täglich fluktuierenden Temperaturen auf die Kirschessigfliege und die Asiatische Buschmücke wichtige Forschungslücken schließt. Zudem zeigt die systematische Analyse klar auf, wie wichtig (und rar) das zeitliche Monitoring und speziell die Aufnahme der saisonalen Abundanzen für die Asiatische Buschmücke ist.

3.3.1. Methodik

Für beide Schadinsekten wurde eine Datenbanksuche im *Web of Science* mit den folgenden beiden Suchbegriffen durchgeführt:

Suchbegriff 1:

((aedes japonicus OR "Asian bush mosquito*" OR ochlerotatus japonicus OR hulecoeteomyia japonica) AND (temperature OR thermal OR climate OR heat OR cold))

Suchbegriff 2:

((drosophila suzukii OR "spotted wing drosophila" OR kirschessigfliege OR kef) AND (temperature OR thermal OR climate OR heat OR cold))

Danach wurden die Titel und Abstracts durchgelesen und unzutreffende Datenbanktreffer verworfen. Die verbleibenden Publikationen wurden nun kodiert. Dafür wurde das in Tabelle 5 aufgeführte System verwendet.

Tabelle 5: Kodierschema für die Literaturrecherche. x: Bei den Kodierungen mit einem x werden nach Bedarf neue Codes zugefügt.

Thema	Code	Bedeutung des Codes
Versuchsart	V1	Beobachtende Feldstudie
	V2	Experimentelle Feldstudie
	V3	Laborexperiment
	V4	Gewächshausversuch (<i>semi field</i>)
Temperatur	T1	Echte Außentemperatur
	T2	Künstliche statische Temperatur
	T3	Künstliche fluktuierende Temperatur
Temperaturbereich	B1	Kleiner als 10°C
	B2	10°C bis 20°C
	B3	Über 20°C
Verwendetes Stadium	S1	Ei
	S2	Larve
	S3	Puppe
	S4	Adulte
	S5	Kompletter Lebenszyklus
	S6	Kompletter Lebenszyklus und Fortpflanzung
Dauer der Temperaturbehandlung	D1	Stunden, weniger als ein Tag
	D2	Tage, weniger als eine Woche
	D3	Wochen, weniger als ein Monat
	D4	Monate, mehr als ein Monat
Analysierte Endpunkte	E1	Überlebensrate, Mortalität
	E2	Entwicklungszeiten
	E3	Häufigkeiten
	E4	Andere (genetisch, molekular, Stressmarker etc.)
Geografische Region	G1-x	Auf Länderebene
Verwendete Laborkultur	K1-x	Bezogen auf geografische Herkunft
Monitoring	M1	Adulte
	M2	Larven
	M3	Eier
Dauer des Monitorings	D1-x	Ein bis x Jahre

3.3.2. Kirschessigfliege

Für die Kirschessigfliege wurden insgesamt 243 Treffer in der Literatursuche erzielt. Beim anschließenden Durchgehen der Titel und *Abstracts* wurden 106 Publikationen aussortiert, sodass 137 Publikationen in die weiteren Analysen einbezogen wurden. Die Kriterien für den Ausschluss waren wie folgt: Falscher Organismus (anders als Kirschessigfliege) oder falsches Themengebiet („kef“ ist zum Beispiel auch der Name eines Berges).

Von den ins Coding aufgenommenen Studien wurden nur drei (Enriquez et al. 2020, Grumiaux et al. 2019 und Eben et al. 2017) mit der Kombination „fluktuierende Temperatur“ „im Labor“ codiert. Eine der Studien untersuchte den Einfluss von vier Tagen simulierter Hitzewelle auf adulte Kirschessigfliegen (Eben et al. 2017), eine Studie untersuchte den Effekt von fluktuierenden Temperaturen auf adulte Weibchen und zeigte, dass diese im Vergleich zu bei konstanten Temperaturen gehaltenen Weibchen geringere Mortalitäten aufweisen und weniger schnell altern (Grumiaux et al. 2019). Enriquez et al. (2020) haben Adulte und Puppen ebenfalls fluktuierenden Temperaturen ausgesetzt und haben gezeigt, dass fluktuierende Temperaturen die Toleranz gegenüber kalten Temperaturen erhöhen.

3.3.3. Asiatische Buschmücke

Bei der Datenbanksuche wurden 64 Treffer erzielt. Während des Titel- und *Abstract*-Screenings wurden zehn Publikationen ausgeschlossen. Von den verbliebenen 54 Publikationen beschrieben nur elf Studien ein über einen längeren Zeitraum durchgeführtes Monitoring und davon nur vier ein Monitoring in Europa (Wagner et al. 2018, Montarsi et al. 2019, Früh et al. 2020, Krupa et al., 2021). Wagner et al. (2018) haben Adulte per Fallen gefangen, Montarsi et al. (2019) haben Larven untersucht und zwei Studien haben das Eistadium (Früh et al. 2020, Krupa et al. 2021) untersucht. Die Dauer der Monitorings war maximal vier Jahre (Montarsi et al. 2019).

Es ist festzuhalten, dass in Europa vornehmlich räumliche Monitorings zur Verbreitung invasiver und heimischer Stechmücken stattfinden. Zeitliche Monitoringstudien sind selten (siehe oben), es gibt wenig mehrjährige Daten und die Abundanzen/Anzahl der Individuen wird nicht immer aufgenommen, sondern beispielsweise die Anzahl positiver Habitate (Früh et al. 2020).

Zusätzlich wurde für die Schwellenwertanalyse für Populationszusammenbrüche auf vorhandene experimentelle Daten und Experteneinschätzungen zurückgegriffen. Folgende Temperaturkurven können nun für die Modellierung der Asiatische Buschmücke herangezogen werden (Da Re et al. 2022):

Ae. japonicus temperature-dependent functions

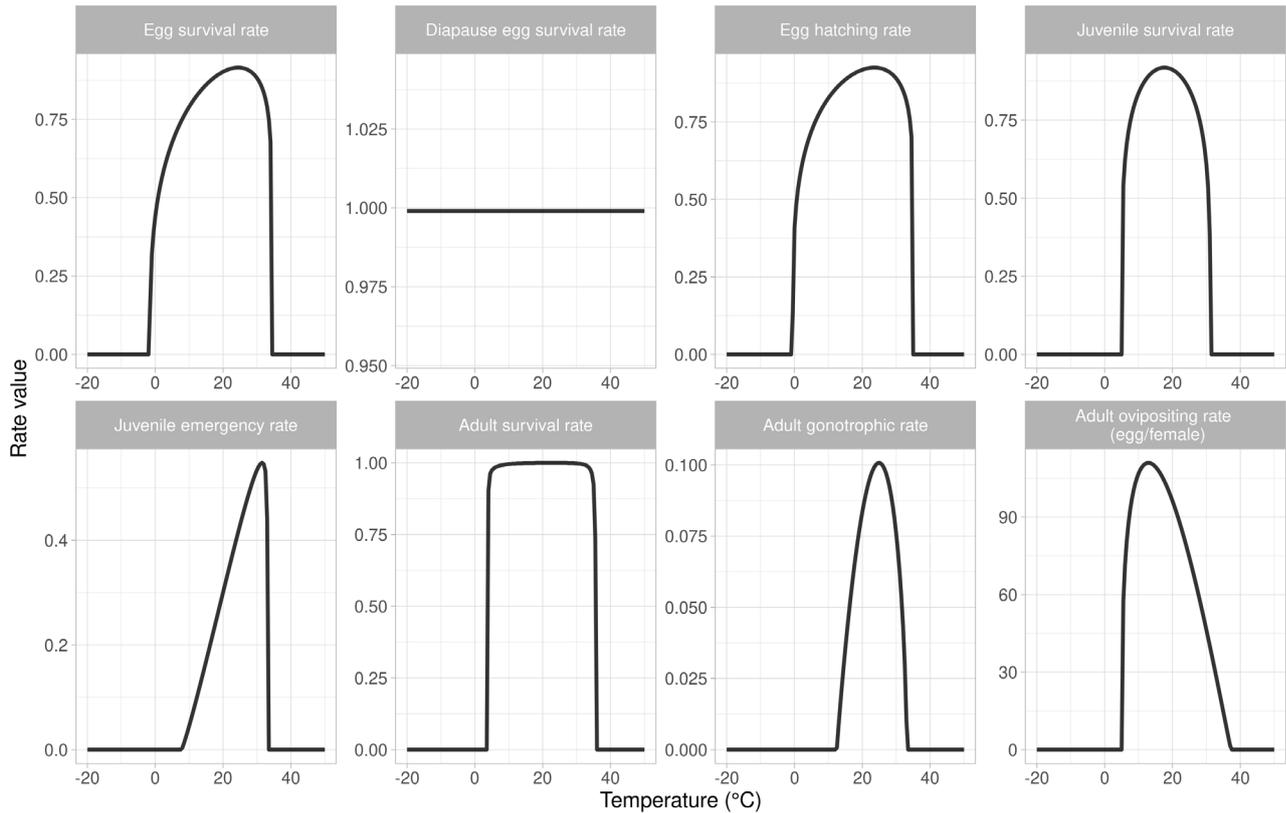


Abbildung 18: Temperaturabhängige Funktionen für *Aedes japonicus* (aus: Da Re et al. 2022)

3.4 Verschneidung der PEST-Daten mit der MOST-Modellierung

Als **Ergebnis des PEST-MOST Verbunds** wurden vorhandene und neue Daten für die Kirschessigfliege zur phänologischen Modellierung zusammengeführt, hypothetische Populationsaktivitäten in klimatisch unterschiedlichen Jahren analysiert und eine Abschätzung der Populationsdynamik der Kirschessigfliege unter Klimawandelbedingungen inkl. Schwellenwertanalyse durchgeführt. Für die Asiatische Buschmücke wurde das MOST-Modell zur möglichen Validierung bei zukünftig verbesserter Datenlage bereitgestellt.

Die im Projekt PEST erhobenen Experimentaldaten wurden im Projekt MOST für die Parametrisierung eines phänologischen Modells für die Kirschessigfliege verwendet, um Kennwerte der Populationsaktivität heute und in Zukunft zu ermitteln. Das MOST-Modell ist so programmiert, dass es sowohl mit Mitteltemperaturen als auch mit den vier Temperaturstützpunkten betrieben werden kann. Da Freiland-Beobachtungen zur Kirschessigfliege ausschließlich in einer zeitlichen Auflösung von ein bis zwei Wochen zur Verfügung standen, ließ sich der Informationsgewinn durch die höhere zeitliche Auflösung im Modell nicht validieren. Auf eine Anwendung des Modells für das gesamte Untersuchungsgebiet und den gesamten Untersuchungszeitraum wurde deshalb in MOST verzichtet. Dies zeigt auch die hohe zeitliche Auflösung von einem Tag der hier

durchgeführten Experimente verglichen mit Falldata aus dem Freiland, bei denen alle ein bis zwei Wochen die Fallen kontrolliert werden.

Der Start der **Populationsaktivität der Kirschessigfliege** verfrüht sich laut MOST-Modell (siehe MOST-Abschlussbericht) in hessischen Tieflandregionen auch gegen Ende des Untersuchungszeitraums (2011 bis 2070) im Mittel (diese und alle folgenden Angaben beziehen sich auf ein Mittel über mindestens 10 Jahre und alle Ensemble-Member) nur wenig und nicht signifikant (→ **Kennwert 1**: Start Populationsaktivität). Dabei ist zu sagen, dass als relevante Populationsaktivität das Auftreten von mehr als 1000 adulten Weibchen definiert wurde. Dagegen verlängert sich die Populationsaktivität im Tiefland bis 2070 signifikant um im Mittel 8 Tage und endet oft erst im November (→ **Kennwert 2**: Dauer der Populationsaktivität/Dauer der Belastung; → **Kennwert 4**: Ende Populationsaktivität). Die Dauer der Belastung durch die Kirschessigfliege verlängert sich somit. Weiterhin nimmt die interannuelle Variabilität der Populationsaktivität deutlich zu. Gegen Ende des Untersuchungszeitraums treten zunehmend Jahre auf, in denen ein Populationsaufbau aufgrund von Hitzeereignissen im Sommer erst im Herbst gelingt (→ **Kennwert 3**: Maximum der Populationsaktivität). In den ersten beiden Jahrzehnten der Untersuchung gibt es solche langanhaltenden Populationseinbrüche nur sehr selten. Nach 2050 sind es dagegen etwa 1 bis 2 Jahre pro Jahrzehnt. In den übrigen Jahren erreicht die (potentielle) Population allerdings schon im Sommer ein deutlich höheres Niveau.

In den Bergregionen oberhalb 500m NHN verfrüht sich der Beginn der Populationsaktivität im Frühjahr um bis zu fünf Tage und verlängert sich im Herbst um ca. 13 Tage (→ **Kennwerte 1, 2, 4**: Ende, Anfang, Dauer Populationsaktivität). Auch hier nimmt somit die Dauer der Belastung bis 2070 zu. Die Variabilität zwischen Jahren nimmt allerdings ab, da zu Beginn des Untersuchungszeitraums noch häufig Jahre ohne nachhaltigen Populationsaufbau auftreten. Dies ist nach 2050 kaum noch der Fall, so dass erwartet werden kann, dass sich die Kirschessigfliege auch im hessischen Bergland etabliert. Im Bergland wird gegen Ende des Untersuchungszeitraums im Mittel ein Populationsniveau erreicht, wie es derzeit im Tiefland typisch ist (→ **Kennwert 5**: Potentielle Verbreitung).

Das bedeutet, dass im modellierten Zeitraum bis 2070 selbst im Tiefland noch nicht regelmäßig von Temperaturverläufen auszugehen ist, die die Populationsentwicklung der Kirschessigfliege limitieren (→ **Kennwert 6**: Belastungsregionen/Hot Spots). Schutzmaßnahmen und Anpassungen werden weiterhin notwendig sein.

3.5. Strukturelle Zusammenarbeit mit dem MOST-Projekt

Die Zusammenarbeit im Verbundprojekt PEST und MOST generierte einen regelmäßigen wissenschaftlichen Austausch zwischen den Fachgebieten Medizinische Entomologie, Agrarökologie, Mathematische Modellierung und Klimawissenschaften. In 2017 bis 2019 fanden jährliche Treffen des Verbundteams statt, um die experimentellen Studien (TGs). Datenformate zur Nutzung für die Modellierung und Datenaustausche zu planen, die Modellergebnisse zu diskutieren und wichtige weiterführende Datensätze wie zum Beispiel die Lebensparameter der Kirschessigfliege bei Hitzeereignissen zu identifizieren. Aufgrund der Restriktionen durch die globale Covid-19 Pandemie fanden in den Jahren 2020 und

2021 keine PEST-MOST-Treffen statt. Es fanden Datenaustausche im Dezember 2020 und erneut im April 2021 zwischen Friederike Reuß (Arbeitspaket 1) und Markus Müller (MOST) statt. Ebenso besuchte das PEST-MOST Verbundteam den HLNUG-Miniprojektworkshop im Februar 2021, in dessen Vorfeld ebenfalls ein PEST-MOST-Onlinetreffen stattfand.

3.6. Publikation der Projektergebnisse

Projektleiter und -bearbeiter sind fett markiert.

Reuss F, Kreß A, Braun M, Magdeburg A, Pfenninger M, Müller R, Mehring M (2020) Knowledge on exotic mosquitoes in Germany, and public acceptance and effectiveness of Bti and two self-prepared insecticides against *Aedes japonicus japonicus*. Scientific Reports 10: 18901.

Mehring M, Müller R, Magdeburg A, Pfenninger M, Reuss F (2020) Gut vorbereitet: Wie Senckenberg und Partner umweltfreundliche Bekämpfungsmethoden gegen Stechmücken testen. Senckenberg-Wissenschaftsmagazin „Natur-Forschung-Museum“ Band 150, Heft 1-3 2020.

Reuss F (2020) Die Asiatische Buschmücke: Die Lebenszyklusbiologie als Grundlage für Kontrollmaßnahmen. Dissertation, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Frankfurt am Main.

Da Re D, Van Bortel W, **Reuss F, Müller R**, Boyer S, Montarsi F, Ciocchetta S, Arnoldi D, Marini G, Rizzoli A, L'Ambert G, Labour G, Koenraadt CJM, Vanwambeke SO, Marcantonio M (2021) dynamAedes: a unified modelling framework for invasive *Aedes* mosquitoes. – biorxiv <https://doi.org/10.1101/2021.12.21.473628>. Akzeptiert in Parasites & Vectors (2022).

Hartke J, **Reuss F**, Kramer IM, **Magdeburg A**, Deblauwe I, Tuladhar R, Gautam I, Dhimal M, **Müller R** (2022) A barcoding pipeline for mosquito surveillance in Nepal, a biodiverse dengue-endemic country. Parasites & Vectors 15, 145.

3.7. Abweichungen gegenüber dem Projektantrag

Im Laufe des Projektes wurde deutlich, dass es zu wenig ökophysiologische Daten für geringe Temperaturen und zu gering aufgelöste populationsdynamische Freilanddaten für *Aedes japonicus japonicus* und die Kirschessigfliege gibt, sodass wir uns gemeinsam mit den Verbundpartner MOST für eine Abweichung vom Projektantrag entschieden.

Arbeitspaket 1: Abweichend vom Projektantrag wurden die ökophysiologischen Versuche mit der Kirschessigfliege und der Asiatischen Buschmücke nicht nur bei Tagesgängen mit hohen mittleren Temperaturen durchgeführt, sondern auch bei in Zukunft häufigen Tagesgängen mit relativ niedrigen Temperaturen. Diese Abweichung zum Projektantrag war einerseits für die MOST Modellierung unabdingbar, andererseits waren dadurch einige der ökophysiologischen Experimente unplanmäßig lang, sodass nicht alle ökophysiologischen Experimente gemäß Antrag durchgeführt bzw. repliziert werden konnten. Zumindest für die Kirschessigfliege konnten alle Tagesgänge einmalig wiederholt werden.

Arbeitspaket 2: Die Abundanz der Asiatischen Buschmücke wurde an nur drei Standorten

aufgenommen. An den beiden anderen Standorten wurde die Abundanz der schwer zu differenzierenden Geschwisterart *Aedes koreicus* aufgenommen. Der im Arbeitspaket 2 erhobene Datensatz der Abundanzen der Asiatischen Buschmücke über ein Jahr (3.2.) reichte leider nicht aus, um das im MOST-Projekt entwickelte Modell zu validieren. Zudem stellte sich während des Projektes heraus, dass die Literatur zu Abundanzdaten aus dem Freiland für die Asiatische Buschmücke sehr spärlich ist (3.3.). Um dennoch zu dem übergreifenden Projektziel (Vorhersagen über die zukünftige Populationsdynamik in möglichen Verbreitungsgebieten) beisteuern zu können, haben wir zusammen mit belgischen Kollegen ein Populationsmodell für invasive *Aedes* Stechmücken parametrisiert (Da Re et al. 2022: *dynamAedes: a unified modelling framework for invasive Aedes mosquitoes*). Dieses Modell zusammen mit dem lebensstadium-spezifischen MOST-Modell ermöglichen nun einen Methodenvergleich sowie weitere Fallstudien zur Asiatischen Buschmücke.

4. Fazit

In PEST wurden **drei neue Versuchsprotokolle für die Kirschessigfliege** in Absprache mit den Datennutzern (MOST-Verbundprojekt, Modellierung) entwickelt und unter konstanten und dynamischen Temperaturbedingungen durchgeführt: (A) ein Eiexperiment, welches ausschließlich die Entwicklungsdauer vom Ei zur Larve aufnimmt sowie die Eimortalität (berechnet aus der Anzahl der geschlüpften Larven), (B) ein Lebenszyklusexperiment, um die Entwicklungsdauern und Mortalitäten pro Stadium bis zum Adultschlupf aufzunehmen, sowie (C) ein Fortpflanzungsexperiment, welches die abgelegte Eianzahl pro Weibchen (bzw. Paar) und pro Zeiteinheit aufnimmt.

Für die **Kirschessigfliege** konnte ein **experimentelles Standardprotokoll** entwickelt werden, das zielgerichtet und replizierbar die für die **Parametrisierung für das MOST-Modell** benötigten Daten erfassen konnte. Die hier entwickelte experimentelle Standardprozedur für das Lebenszyklusexperiment ist für eine standardisierte Aufnahme der temperaturabhängigen Entwicklung der Kirschessigfliege unter konstanten oder fluktuierenden Temperaturen und für die Bestimmung der unteren und der oberen Temperaturgrenzen hervorragend geeignet. Mit den Experimenten konnte gezeigt werden, dass sich die Lebenszyklusparameter *Mortalität* und *Entwicklungsdauer im Larven- und Puppenstadium* der Kirschessigfliege nach Exposition gegenüber fluktuierender und konstanter Temperatur unterscheiden. Das Versuchsdesign eignet sich zudem für ökophysiologische Studien zur Futtermittelveariabilität (z.B. unterschiedliche Fruchtqualitäten) und für ökotoxikologische Studien (z.B. zur Exposition gegenüber Pestizid-behandelten Früchten). Die Lebenszyklusparameter im Eiexperiment und im Fortpflanzungsexperiment unterlagen allerdings einer hohen Varianz. Um zuverlässigere Aussagen auch beim Eistadium und der Eiproduktion zu gewährleisten, empfehlen wir eine Durchführung dieser Experimente mit hoher Replikation (Mortalität/Dauer im Eistadium: $n \geq 5$; Eiproduktion: $n \geq 15$). Die im Projekt PEST erhobenen Experimentaldaten wurden im Projekt MOST für die Parametrisierung eines phänologischen Modells verwendet, um **Kennwerte der Populationsaktivität der Kirschessigfliege für heutige und zukünftige**

Klimabedingungen zu ermitteln. Im Verbund von PEST und MOST konnten Daten und Karten zur Verfügung gestellt werden, die insbesondere für die viel diskutierte Einführung von RNAi-Methoden zur Kontrolle der Kirschessigfliege notwendig sind, da diese eine Temperaturabhängigkeit aufweisen und für die Zulassung eine Bewertung hinsichtlich der Anwendung bei unterschiedlichen Temperaturen nötig sein könnte.

Die Datenlage zur Thermoökologie der **Asiatischen Buschmücke** konnte durch das **zeitlich hochaufgelöste Monitoring** der Populationsdynamik im Jahresverlauf, **Lebenszyklusexperimente** unter Berücksichtigung von **heterogener Temperaturvarianz** sowie eine Literaturrecherche zur **Schwellenwertanalyse der Populationsaktivität** stark verbessert werden. Damit generierte PEST einen sehr wertvollen Datensatz für Modellierer, denn es gibt generell wenig datenbasierte *thermal performance*-Kurven für die Asiatische Buschmücke. Für die Asiatische Buschmücke sollte dringend ein flächendeckendes, saisonales Monitoring erfolgen, welches vorzugsweise wöchentlich an unterschiedlichen Standorten und mehrjährig zu betreiben ist, um lokale/regionale Varianz und interannuelle Variationen besser einschätzen zu können. Aus Zeit- und Kostengründen kann eine Fokussierung auf das Adultstadium, als potentiell krankheitsübertragenes Stadium erfolgen, jedoch sind Datensätze mit geringen Fangquoten schwer interpretierbar. Die Aufsammlung von Eiern kann schneller Auskunft über die Populationsdynamik in klimatisch unterschiedlichen Jahren geben. Die in PEST generierten grundlegenden Datensätze für die Asiatische Buschmücke und die Verfügbarkeit von zwei neuen phänologischen Modellen (welche bei verbesserter Datenlage nochmals validiert werden müssen) werden die Vorhersagen zur potentiellen Verbreitung der Asiatischen Buschmücke unter Klimawandelbedingungen verbessern und ermöglichen bereits heute eine zeitlich verbesserte Planung von Vektorkontrollmaßnahmen.

5. Referenzen

Abbo SR, Visser TM, Wang H, Göertz GP, Fros JJ, Abma-Henkens MH, Geertsema C, Vogels CB, Koopmas MP, Reusken CB, Hall-Medelin S, Hall RA, van Oers MM, Koenraadt CJ, Pijlman GP (2020) The invasive Asian bush mosquito *Aedes japonicus* found in the Netherlands can experimentally transmit Zika virus and Usutu virus. – Plos Neglected Tropical Diseases doi: 10.1371/journal.pntd.0008217.

Andreadis TG, Wolfe RJ (2010) Evidence for reduction of native mosquitoes with increased expansion of invasive *Ochlerotatus japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae) in the northeastern United States. – Journal of Medical Entomology 47(1): 43-52.

Bartlett-Healy K, Unlu I, Obenauer P, Hughes T, Healy S, Crepeau T, Farajollahi A, Kesavaraju B, Fonseca D, Schoeler G, Gaugler R, Strickman D (2012) Larval mosquito habitat utilization and community dynamics of *Aedes albopictus* and *Aedes japonicus* (Diptera: Culicidae). – Journal of Medical Entomology 49(4): 813-824.

Becker N, Petric D, Zgomba M, Boase C, Madon M, Dahl C, Kaiser A (2010) Mosquitoes and their control. – Springer Verlag, Heidelberg, 577 Seiten.

- Bock F, Kuch U, Pfenninger M, Müller R (2015) Standardized laboratory feeding of larval *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae). – Journal of Insect Science 15(1): 144.
- Briere JF, Pracros P, Le Roux AY, Pierre JS (1999) A novel rate model of temperature-dependent development for arthropods. – Environmental Ecology 29(1): 22-29.
- Bova J, Soghigian J, Paulson S (2019) The predipause stage of *Aedes japonicus japonicus* and the evolution of embryonic diapause in Aedini. - Insects 10(8): 222.
- Calabria G, Maca J, Bächli G, Serra L, Pascual M (2012) First records of the potential pest species *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Europe. – Journal of Applied Entomology 136: 139-147.
- Cini A, Ioriatti C, Anfora G (2012) A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. – Bulletin of Insectology 65(1): 149-160.
- Cunze S, Kochmann J, Klimpel S (2020) Global occurrence data improve potential distribution models for *Aedes japonicus japonicus* in non-native regions. – Pest Management Science 76(5): 1814-1822.
- Dalton DT, Walton VM, Shearer PW, Walsh DB, Caprile J, Isaacs R (2011) Laboratory survival of *Drosophila suzukii* under simulated winter conditions of the Pacific Northwest and seasonal field trapping in five primary regions of small and stone fruit production in the United States. – Pest Management Science 67: 1368-1374.
- Da Re D, Van Bortel W, Reuss F, Müller R, Boyer S, Montarsi F, Ciocchetta S, Arnoldi D, Marini G, Rizzoli A, L'Ambert G, Labour G, Koenraadt CJM, Vanwambeke SO, Marcantonio M (2021) dynamAedes: a unified modelling framework for invasive *Aedes* mosquitoes. – biorxiv <https://doi.org/10.1101/2021.12.21.473628>. Akzeptiert in Parasites & Vectors (2022)
- Easterling DR, Horton B, Jones PD, Peterson TC, Karl TR, Parker DE, Salinger MT, Razuvayev V, Plummer N, Jamason P, Folland CK (1997) Maximum and minimum temperature trends for the globe. – Science 277(5324): 364-367.
- Eben A, Reifenrath M, Briem F, Pink S, Vogt H (2017) Response of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) to extreme heat and dryness. – Agricultural and Forest Entomology DOI: 10.1111/afe.12235.
- Enriquez T, Ruel D, Charrier M, Colinet H (2020) Effects of fluctuating thermal regimes on cold survival and life history traits of spotted wing Drosophila (*Drosophila suzukii*) – Insect Science doi: 10.1111/1744-7917.12649.
- Früh L, Kampen H, Koban MB et al. (2020) Oviposition of *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae) and associated native species in relation to season, temperature and land use in western Germany. – Parasites & Vectors doi:10.1186/s13071-020-04461-z.
- Glavinic U, Varga J, Paslaru AI, Hauri J, Torgerson P, Schaffner F, Veronesi E (2020) Assessing the role of two populations of *Aedes japonicus japonicus* for Zika virus transmission under a constant and a fluctuating temperature regime. – ResearchSquare doi:

10.21203/rs.3.rs-17049/v4.

Grumiaux C, Kuhlmann Andersen M, Colinet H, Overgaard J (2019) Fluctuating thermal regime preserves physiological homeostasis and reproductive capacity in *Drosophila suzukii*. – Journal of Insect Physiology doi: 10.1016/j.jinsphys.2019.01.001.

Hauser M (2011) A historic account of the invasion of *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) in the continental United States, with remarks on their identification. – Pest Management Science 67: 1352-1357.

Huber K, Jansen S, Leggewie M, Badusche M, Schmidt-Chanasit J, Becker N, Tannich E, Becker SC (2014b) *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae) from Germany have vector competence for Japan encephalitis virus but are refractory with infection with West Nile virus. – Parasitology Research 113: 3195-3199.

Huber K, Schuldt K, Rudolf M, Marklewitz M, Fonseca DM, Kaufmann C, Tsuda Y, Junglen S, Krüger A, Becker N, Tannich E, Becker SC (2014a) Distribution and genetic structure of *Aedes japonicus japonicus* populations (Diptera: Culicidae) in Germany. – Parasitology Research 113: 3201-3210.

IPCC [Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen] (2014) Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Hauptautoren, Pachauri RK, Meyer LA (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016.

Kampen H, Kuhlisch C, Fröhlich A, Scheuch DE, Walther D (2016) Occurrence and spread of the invasive Asian bush mosquito *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae) in west and north Germany since detection in 2012 and 2013, respectively. – Plos one 11(12): e0167948.

Kampen H, Zielke D, Werner D (2012) A new focus of *Aedes japonicus japonicus* (Theobald, 1901) (Diptera, Culicidae) distribution in western Germany: rapid spread or a further introduction event? – Parasites & Vectors 5: 284.

Kaufman MG, Fonseca DM (2014) Invasion biology of *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae). – Annual Review of Entomology 59: 31-49.

Kenis M, Tonina L, Eschen R, van der Sluis B, Sancassani M, Mori N, Haye T, Helsen H (2016) Non-crop plants used as hosts by *Drosophila suzukii* in Europe. – Journal of Pest Science 89(3): 735-748.

Kerkow A, Wieland R, Früh L, Höller F, Jeschke JM, Werner D, Kampen H (2020) Can data from native mosquitoes support determining invasive species habitats? Modelling the climatic niche of *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae) in Germany. – Parasitology Research 119(1): 31-42.

Kinjo H, Kunimi Y, Nakai M (2014) Effect of temperature on the reproduction and development of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). – Applied Entomology and Zoology 49(2): 297-304.

- Krupa E, Henon N, Mathieu B. (2021) Diapause characterisation and seasonality of *Aedes japonicus japonicus* (Diptera, Culicidae) in the northeast of France. Caractérisation de la diapause et saisonnalité d'*Aedes japonicus japonicus* (Diptera, Culicidae) dans le nord-est de la France. – Parasite doi:10.1051/parasite/2021045.
- Lee JC, Dreves AJ, CAce AM, Kawai S, Isaacs R, Miller JC, Van Timmeren S, Bruck DJ (2015) Infestation of wild and ornamental noncrop fruits by *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). – Annals of the Entomological Society of America 108(2): 117-129.
- Medlock JM, Hansford KM, Schaffner F, Versteirt V, Hendrickx G, Zeller H, Van Bortel W (2012) A review of the invasive mosquitoes in Europe: ecology, public health risks, and control options. – Vector-Borne and Zoonotic Diseases 12(6): 435-447.
- Mogi M, Armbruster PA, Tuno N (2019) Differences in responses to urbanization between invasive mosquitoes, *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae) and *Aedes albopictus*, in their native range, Japan. – Journal of Medical Entomology 57(1): 104-112.
- Molaei G, Farajollahi A, Scott JJ, Gaugler R, Andreadis TG (2009) Human bloodfeeding by the recently introduced mosquito, *Aedes japonicus japonicus*, and public health implications. – Journal of the American Mosquito Control Association 25(2): 210-214.
- Montarsi F, Martini S, Michelutti A et al. (2019) The invasive mosquito *Aedes japonicus japonicus* is spreading in northeastern Italy. – Parasites & Vectors doi: 10.1186/s13071-019-3387-x.
- Paaijmans KP, Heinig RL, Seliga RA, Blanford JI, Blanford S, Murdock CC, Thomas MB (2013) Temperature variation makes ectotherms more sensitive to climate change. – Global Change Biology 19: 2373-2380.
- Pfitzner WP, Lehner A, Hoffmann D, Czajka C, Becker N (2018) First record and morphological characterization of an established population of *Aedes (Hulecoeteomyia) koreicus* (Diptera: Culicidae) in Germany. – Parasites & Vectors 11: 662.
- Reuss F, Wieser A, Niamir A, Balint M, Kuch U, Pfenninger M, Müller R (2018) Thermal experiments with the Asian bush mosquito (*Aedes japonicus japonicus*) (Diptera: Culicidae) and implications for its distribution in Germany. – Parasites & Vectors 11: 81.
- Ryan GD, Emiljanowicz L, Wilkinson F, Kornya M, Newman JA (2016) Thermal tolerances of the spotted-wing *Drosophila Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) – Journal of Economic Entomology doi: 10.1093/jee/tow006.
- Sardelis MR, Turell MJ (2001) *Ochlerotatus j. japonicus* in Frederick County, Maryland: discovery, distribution, and vector competence for West Nile virus. – Journal of the American Mosquito Control Association 17(2): 137-141.
- Saringer-Keyeres M, Keyeres Z (2019) A case study on phenology and colonisation of *Aedes japonicus japonicus* (Theobald, 1901) (Diptera: Culicidae). - Natura Somogyiensis 33: 81-86.
- Schaffner F, Kaufmann C, Heggelin D, Mathis A (2009) The invasive mosquito *Aedes*

- japonicus* in Central Europe – Medical and Veterinary Entomology 23: 448-451.
- Schneider K (2011) Breeding of *Ochlerotatus japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae) 80 km north of its known range in southern Germany. – European Mosquito Bulletin 29: 129-132.
- Shearer PW, West JD, Walton VM, Brown PH, Svetec N, Chiu JC (2016) Seasonal cues induce phenotypic plasticity of *Drosophila sukuzii* to enhance winter survival. – BMC Ecology 16: 11.
- Takashima I, Rosen L (1989) Horizontal and vertical transmission of Japanese encephalitis virus by *Aedes japonicus* (Diptera: Culicidae). – Journal of Medical Entomology 26(5): 454-458.
- Tanaka K, Mizusawa K, Saugstad ES (1979) A revision of the adult and larval mosquitoes of Japan (including the Ryukyu Archipelago and the Ogasawara Islands) and Korea (Diptera: Culicidae). – Contributions of the American Entomological Institute 16:1-987.
- Tochen S, Dalton DT, Wiman N, Hamm C, Shearer PW, Walton VM (2014) Temperature-related development and populations parameters for *Drosophila sukuzii* (Diptera: Drosophilidae) on cherry and blueberry. – Environmental Entomology 43(2): 501-510.
- Vasseur DA, DeLong JP, Gilbert B, Greig HS, Harley CD, McCann KS, Savage V, Tunney TD, O'Connor MI (2014) Increased temperature variation poses a greater risk to species than climate warming. – Proceedings of the Royal Society B doi: 10.1098/rspb.2013.2612.
- Vogt H, Baufeld P, Gross J, Köppler K, Hoffmann C (2012) *Drosophila sukuzii*: eine neue Bedrohung für den europäischen Obst- und Weinbau. – Journal für Kulturpflanzen 64: 68-71.
- Vogt H, Köppler K (2014) Bericht über das 2. Treffen der Arbeitsgruppe Kirschessigfliege. – Journal für Kulturpflanzen 66: 110-112.
- Walsh DB, Bolda MP, Goodhue RE, Dreves AJ, Lee J, Bruck DJ, Walton VM, O'Neal SD, Zalom FG (2011) *Drosophila sukuzii* (Diptera: Drosophilidae): invasive pest of ripening soft fruit expanding its geographic range and damage potential. – Journal of Integrated Pest Management 2(1): G1-G7.
- Wagner S, Guidi V, Torgerson PR, Mathis A, Schaffner F (2018) Diversity and seasonal abundances of mosquitoes at potential arboviral transmission sites in two different climate zones in Switzerland. – Medical and Veterinary Entomology doi: 10.1111/mve.12292.
- Werner D, Kampen H (2013) The further spread of *Aedes japonicus japonicus* (Diptera, Culicidae) towards northern Germany. – Parasitology Research 112: 3665-3668.
- Wieser A, Reuss F, Niamir A, Müller R, O'Hara RB, Pfenninger M (2019) Modelling seasonal dynamics, population stability, and pest control in *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae). - Parasites & Vectors 12: 142.
- Wiman NG, Walton VM, Dalton DT, Anfora G, Burrack HJ, Chiu JC, Daane KM, Grassi A, Miller B, Tochen S, Wang X, Ioriatti C (2014) Integrating temperature-dependent life table

data into a matrix projection model for *Drosophila suzukii* population estimation. – Plos one 9(9): e106909.

Zielke DE, Walther D, Kampen H (2016) Newly discovered populations of *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae) in Upper Bavaria, Germany, and Salzburg, Austria, is closely related to the Austrian/Slovenian bush mosquito population. – Parasites & Vectors 9: 163.

6. Danksagung

Wir danken allen Projektbearbeitern für Ihre Arbeit in diesem Projekt sowie im MOST-Projekt. Unser besonderer Dank gilt den Friedhofsverwaltungen, Grünflächenämtern bzw. Gärtnern der Stadt Wiesbaden, der Stadt Lorch am Rhein, der Gemeinde Dornburg und der Stadt Hadamar für die erteilten Genehmigungen zum Aufstellen von Fallen und für die technische Unterstützung. Wir danken dem Institut für Phytomedizin, HGU, für die Bereitstellung von Larven und Puppen der Kirschessigfliege zum Aufbau einer Zucht. Wir danken Dr. Isra Deblauwe für die Nachbestimmung der adulten Stechmücken. Wir danken Dr. Daniele Da Re für die Modellierung der Temperatur-Performance-Kurven. Wir danken Christoph Sinai für die IT-Unterstützung und Dr. Tilmann Schell, Dr. Barbara Feldmeyer, Dr. Halina Binde-Doria, Isabelle Kramer und Sonja Bewersdorff für die Unterstützung bei der experimentellen Durchführung.

7. Anhang

Anhang I: Rezept des Apfelnährmediums für die Zucht der Kirschessigfliege und Kurzanleitung zur Herstellung

Dieses Rezept wurde an der Hochschule Geisenheim University, Institut für Phytomedizin, entwickelt und am SBIK-F übernommen. Unser Dank gilt Melanie Dahlmann und Mirjam Hauck.

Zutatenliste:

Menge	Zutat
2 Liter	Naturtrüber Apfelsaft
40 g	Agar-Agar Pulver (Insula Gustav Essig, Mannheim)
100 g	Equolyt Hefe [Ergänzungsfuttermittel für Pferde] (Canina, Hamm)
40 g	Raffinadezucker
40 g	Weizenmehl
710 g	Apfelmus
8 g	Nipagin [4-Hydroxybenzoesäure-methylester] (Car Roth, Karlsruhe)
20 ml	70% Ethanol

Kurzanleitung:

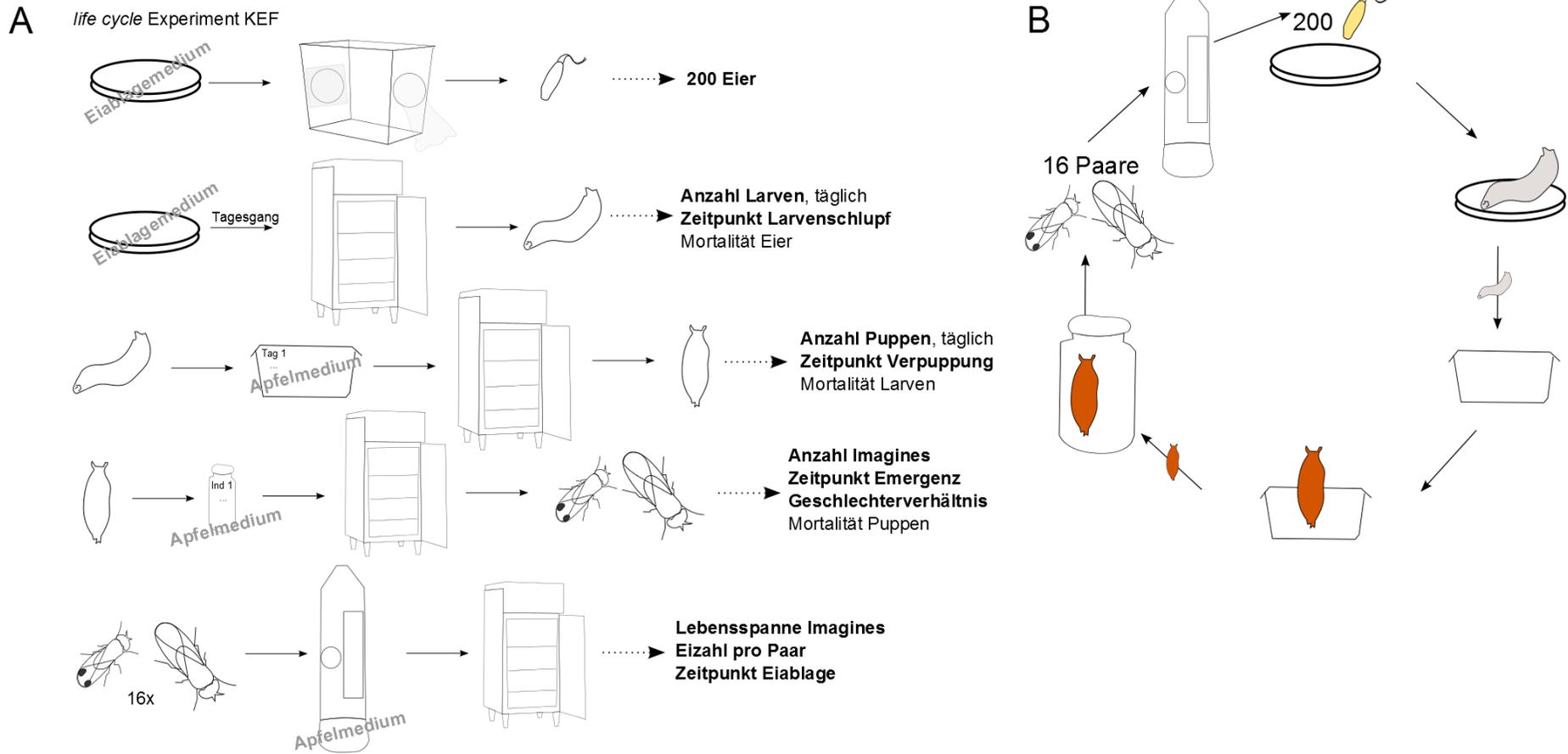
Die trockenen Zutaten (Hefe, Zucker und Mehl) werden abgewogen und vermischt, dann wird der Apfelmus und nach erneutem Mischen, die Hälfte des Apfelsaftes zugegeben. Das Nipagin wird im Ethanol vorgelöst und zugefügt. Die Mischung wird gut vermengt. Die zweite Hälfte des Apfelsaftes wird mit dem Agar-Agar aufgekocht und noch Warm der Apfelmus-Hefe-Mischung beigefügt.

Je nach Bedarf kann das Apfelnährmedium dann in Verpackungsbecher, 5 ml-Gläser oder Deckel der Verpaarungskammern abgefüllt werden. Das Apfelnährmedium kann austrocknungsgeschützt bis zu drei Wochen im Kühlschrank gelagert werden.

Anhang II: Rezept und Herstellung des Eiablagemediums für die Kirschessigfliege

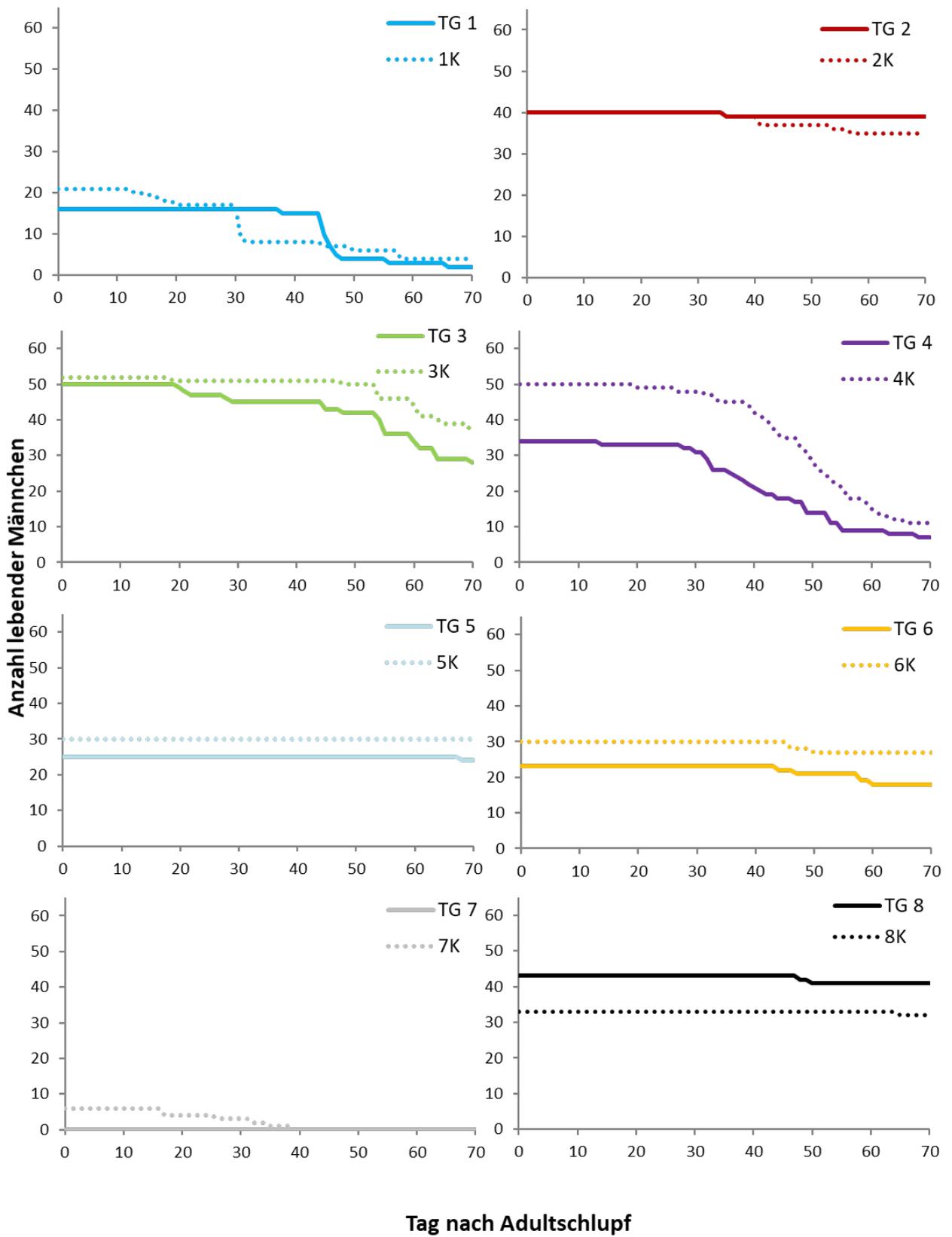
Für 1 Liter Eiablagemedium werden 200 ml klarer Apfelsaft mit 800 ml vollentsalztem Wasser und 30 g Agar-Agar (3%) gemischt und aufgekocht. Ist der Agar-Agar gelöst, wird das Eiablagemedium in Glaspetrischalen mit 10 cm Durchmesser gegossen (circa 20 ml pro Petrischale). Das Eiablagemedium kann einige Tage im Kühlschrank gelagert werden.

Anhang III: Aufbau des Lebenszyklusexperiments mit der Kirschessigfliege



A: Detailliertes Vorgehen bei der Durchführung der Lebenszyklusexperimente mit der Kirschessigfliege. B: Gefäße pro Stadium.

Anhang IV: Adulte Lebensspanne der Männchen.



Anhang V: Adulte Lebensspanne der Weibchen.

