

Reihe KLIMOPASS-Berichte

Projektnr.: 4500416391

Computeranwendung und Maßnahmenkatalog  
zur kommunalen Etablierungseinschätzung  
der Asiatischen Tigermücke in Bezug auf  
klimatische und infrastrukturelle Bedingungen  
in Baden-Württemberg.

Björn Pluskota, Wolfgang Fischer, Artur Jöst, Xenia Augsten, Norbert Becker

Finanziert mit Mitteln des Ministeriums für Umwelt, Klima und  
Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)

Dezember 2018

**KLIMOPASS**

**– Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg**



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

<b>HERAUSGEBER</b>	LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
<b>KONTAKT</b> <b>KLIMOPASS</b>	Dr. Kai Höpker, Dr. Ellinor von der Forst, Daniel Schulz-Engler Referat Medienübergreifende Umweltbeobachtung, Klimawandel; E-Mail: <a href="mailto:klimopass@lubw.bwl.de">klimopass@lubw.bwl.de</a>
<b>FINANZIERUNG</b>	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg - Programm Klimawandel und modellhafte Anpassung in Baden-Württemberg (KLI- MOPASS)
<b>BEARBEITUNG UND</b> <b>VERANTWORTLICH</b> <b>FÜR DEN INHALT</b>	Gesellschaft zur Förderung der Stechmückenbekämpfung (GFS) Georg-Peter-Süß-Straße 3 67346 Speyer Tel.: 06232/99095-0
<b>BEZUG</b>	<a href="http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/">http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/91063/</a> ID Umweltbeobachtung U50-W03-N15
<b>STAND</b>	Dezember 2018, Internetausgabe 2019

Verantwortlich für den Inhalt sind die Autorinnen und Autoren. Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Nachdruck für kommerzielle Zwecke - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>5</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>8</b>
1.1 Medizinische Relevanz und weitere Bedeutung der Asiatischen Tigermücke	8
1.2 Verbreitung der Asiatischen Tigermücke	8
1.3 Ziel des Projektes	10
<b>2 DARSTELLUNG DER VERSUCHSERGEBNISSE</b>	<b>12</b>
2.1 Laborzucht	12
2.1.1 Laborstämme	12
2.1.2 Umweltbedingungen	12
2.1.3 Aufzuchtbedingungen	12
2.2 Versuch E1 - Überlebensraten von Diapauseeiern zweier Laborstämme unter Freilandbedingungen während des Winters 2015/16	13
2.2.1 Fragestellung	13
2.2.2 Material und Methoden	13
2.2.3 Ergebnisse	16
2.2.4 Diskussion	21
2.3 Versuch E2 – Schlupfzeitpunkt der ersten Larvengeneration unter verschiedenen Freilandbedingungen im Frühjahr 2016	23
2.3.1 Fragestellung	23
2.3.2 Material und Methoden	23
2.3.3 Ergebnisse	25
2.3.4 Diskussion	30
2.4 Versuch E3 - Überlebensraten von Diapauseeiern zweier Laborstämme bei Langzeitlagerung	34
2.4.1 Fragestellung	34
2.4.2 Material und Methoden	34
2.4.3 Ergebnisse	35
2.4.4 Diskussion	35
2.5 Versuch L1, L2 - Vergleich der Entwicklungsraten und Sterberaten der Larven zweier Laborstämme bei verschiedenen Temperaturen	38
2.5.1 Fragestellung	38

2.5.2	Material und Methoden	38
2.5.3	Ergebnisse	40
2.5.4	Diskussion	42
<b>3</b>	<b>DARSTELLUNG DES PROGRAMMS</b>	<b>45</b>
3.1	Software und Programmiersprachen	45
3.2	Inhalt	45
3.3	Klimatische Etablierungseinschätzung	47
3.3.1	Allgemein	47
3.3.2	Berechnung der Populationsentwicklung	48
3.3.3	Einschätzung des Etablierungspotenzials aufgrund der aktuellen und zukünftigen klimatischen Bedingungen	51
3.4	Infrastrukturelle Etablierungseinschätzung	53
3.4.1	Einschleppungspotenzial	53
3.4.2	Brutstättenangebot	55
3.4.3	Räumlicher Bezug der Einschleppungsorte und Massenbrutstätten	55
3.4.4	Auswertung	56
3.4.5	Empfohlene Maßnahmen	58
3.5	Genauigkeit der Etablierungseinschätzungen	59
3.6	Testläufe und Verbreitung des Programmes	60
<b>4</b>	<b>SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSSICHTEN</b>	<b>63</b>
<b>5</b>	<b>ZITIERTE LITERATUR</b>	<b>64</b>

## Zusammenfassung

Die rasche weltweite Ausbreitung und die Vektorkompetenz der Asiatischen Tigermücke (*Aedes albopictus*) für zahlreiche humanmedizinisch relevante Viruserkrankungen führt zunehmend zu Sorge bei Verantwortlichen der Gesundheitsbehörden und Kommunen. Zwar stößt die Asiatische Tigermücke in Deutschland an den Rand ihrer nördlichsten Ausbreitungsgrenze, jedoch erfolgt mit voranschreitendem Klimawandel eine stetige Verbesserung der klimatischen Bedingungen für die ursprünglich tropische Art. Wie mehrere Nachweise von ersten selbstständig brütenden Populationen innerhalb der klimatisch begünstigten Oberrheinebene zeigen, ist Baden-Württemberg auch aufgrund der kurzen Einschleppungswege aus den Populationen im Mittelmeerraum das Bundesland mit dem größten Einschleppungs- und Etablierungspotenzial für die Asiatische Tigermücke in Deutschland.

Aufgrund des voranschreitenden Klimawandels kann langfristig gesehen eine dauerhafte Etablierung der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg nur durch eine Regulierung der einschleppungsrelevanten infrastrukturellen Bedingungen verhindert werden. Hierfür spielen vor allem aufgeklärte und handlungsfähige kommunale Behörden eine entscheidende Rolle. Durch die in diesem Projekt entwickelte Computeranwendung soll den verantwortlichen Gemeindebehörden eine grundlegende Etablierungseinschätzung und eine erste Handlungsgrundlage für prophylaktische Maßnahmen zur Verfügung gestellt werden. Dies ermöglicht, eigenständig und ökonomisch die Wahrscheinlichkeit einer Etablierung der Asiatischen Tigermücke innerhalb der eigenen Kommune deutlich zu reduzieren.

Die in diesem Projekt entwickelte Computeranwendung "Kommunale Etablierungseinschätzung - *Aedes albopictus*" kann von kommunalen Behörden zunächst herangezogen werden, um sich grundlegend über die Thematik Asiatische Tigermücke und die Möglichkeiten der Einschleppung und Etablierung dieser bedeutenden invasiven Stechmückenart innerhalb der eigenen Kommune zu informieren. Hierfür stehen im Informationsbereich der Computeranwendung fundierte Informationstexte zum Thema Asiatische Tigermücke, frei verfügbare Bildmaterialien, Bestimmungshilfen und Anleitungen als allgemeine Grundlageninformationen bereit. Eine weiterführende und tiefgreifende Information der kommunalen Mitarbeiter findet automatisch bei der Durchführung der beiden Etablierungseinschätzungen statt. In diesen erfolgt durch die Erörterung der abgefragten relevanten infrastrukturellen Faktoren innerhalb der eigenen Kommune eine grundlegende Auseinandersetzung mit den Mechanismen der Verschleppung und der Etablierung der Asiatischen Tigermücke.

Mit Hilfe der "Klimatischen Etablierungseinschätzung" ist es möglich, die aufgrund der klimatischen Bedingungen zu erwartende tendenzielle Populationsentwicklung der Asiatischen Tigermücke nach einer erfolgten Einschleppung an einem bestimmten Ort einzuschätzen. Die Berechnung der zu erwartenden Populationsentwicklung erfolgt auf der Basis von dynamischen Kohorten-Lebenstafeln unter Berücksichtigung der täglichen Maximum- und Minimumtemperaturen eines Zeitraumes von 25 Jahren. Als Ergebnis erfolgt die Einschätzung der zu erwartenden Populationsentwicklung für die aktuelle klimatische Situation und für die kli-

matische Situation, wie sie in etwa in 30 Jahren aufgrund des voranschreitenden Klimawandels zu erwarten ist.

Mit Hilfe der "Infrastrukturellen Etablierungseinschätzung" kann das Einschleppungs- und Etablierungspotenzial der Asiatischen Tigermücke für eine bestimmte Kommune auf der Basis der infrastrukturellen Gegebenheiten eingeschätzt werden. Hierfür werden vom Programm über eine Eingabemaske sequentiell die einschleppungsrelevanten Faktoren, wie zum Beispiel vorhandene Gewerbebetriebe oder die Anbindung an verschiedene Verkehrs- und Transportwege, abgefragt. Ebenfalls werden für die Auswertung Informationen zum Brutstättenangebot innerhalb der Kommune benötigt und vom Programm abgefragt. Auf der Basis des geschätzten Einschleppungspotenzials, des Brutstättenangebotes und des Ergebnisses der Etablierungseinschätzung werden vom Programm Vorschläge zur weiteren Vorgehensweise gemacht und passende Informationsmaterialien, wie z.B. Handzettel, Plakate, Kontaktanschriften und Broschüren zur Verringerung des jeweiligen gemeinderelevanten Einschleppungspotenzials und des Brutstättenangebots bereitgestellt.

Die innerhalb der klimatischen Etablierungseinschätzung zur Berechnung der Populationsentwicklung benötigten thermalen Populationsparameter wurden zum größten Teil schon zuvor in eigenen Forschungsarbeiten erhoben. Durch weitere Laborversuche innerhalb des Projektes wurden noch fehlende Populationsparameter gewonnen und weiterhin der hohen genetischen Plastizität der Asiatischen Tigermücke Rechnung getragen. Hierfür wurden aus Freilandfänge aus Italien (Kalabrien) und aus Süddeutschland (Freiburg) zwei Laborstämme von *Ae. albopictus* aufgebaut und durch weitere Laborversuche zur thermalen Ökologie eine mögliche Anpassung der Art an das mitteleuropäische Klima überprüft. Dabei zeigten die ermittelten Sterbe- und Entwicklungsraten der Larven bei verschiedenen Temperaturen keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Laborstämmen. Eine genetisch fixierte Adaption an die kühleren Umweltbedingungen in Deutschland scheint innerhalb der seit mindestens drei Jahren etablierten Population in Freiburg nicht stattgefunden zu haben.

In anderen Versuchen wurden fehlende Daten zur Überlebensrate und Schlupfneigung der Diapause-Eier der Asiatischen Tigermücke unter verschiedenen Bedingungen erhoben. So überlebten bei einer Langzeitlagerung von 404 Tagen nur 0,1 Prozent der verwendeten Diapauseeier. Dass durch menschliche Aktivität unabsichtlich in „Reserve gehaltene“ Eier eine Zeitspanne von mindestens 500 Tagen bzw. zwei hintereinanderliegende Überwinterungsphasen erfolgreich überdauern, kann zwar nicht vollständig ausgeschlossen werden, scheint jedoch äußerst unwahrscheinlich. Bei Freilandüberwinterungsversuchen konnte die hohe Widerstandsfähigkeit der Diapauseeier der Asiatischen Tigermücke gegenüber Temperaturen unter dem Gefrierpunkt aufgezeigt werden. So überlebten am kältesten Standort in St. Georgen (Schwarzwald) rund 80 % der verwendeten Eier eine Zeitspanne von 120 Tagen mit 13 Eistagen und einer absoluten Minimumtemperatur von  $-13,7\text{ °C}$ .

Durch Freilandversuche mit Diapauseeiern wurde für den ersten Larvenschlupf im Frühjahr eine mittlere Durchschnittstemperatur der letzten sieben Tage von  $10\text{ °C}$  und für den ersten Larvenmassenschlupf eine mittlere Durchschnittstemperatur der letzten sieben Tage von  $13\text{ °C}$  bestimmt. Mit Hilfe dieser Parameter

kann in der klimatischen Etablierungseinschätzung das Auftreten der ersten Larvengeneration des Jahres berechnet oder zukünftige Bekämpfungsmaßnahmen der Asiatischen Tigermücke zielgerichtet begonnen werden.

# 1 Einleitung

## 1.1 Medizinische Relevanz und weitere Bedeutung der Asiatischen Tigermücke

Die erstaunlich rasche weltweite Ausbreitung der Asiatischen Tigermücke (*Aedes albopictus*) innerhalb weniger Jahrzehnte und ihre Vektorkompetenz für zahlreiche humanmedizinisch relevante Viruserkrankungen führt zunehmend zu Sorge bei Verantwortlichen der Gesundheitsbehörden und Kommunen. So ist die Asiatische Tigermücke ein kompetenter Vektor zahlreicher humanpathogener Viren und Filarien (HAWLEY 1988) und gilt neben der Afrikanischen Tigermücke (*Aedes aegypti*) als wichtigster Überträger von Arboviren (HUANG 1968). Als opportunistischer Blutsauger mit einem breiten Wirtsspektrum gilt die Art auch als potenzieller Brückenvektor für Arboviren mit Vögeln als Zwischenwirt (SAVAGE et al. 1993; NIEBYLSKI et al. 1994).

Die Gesamtanzahl der möglichen von *Ae. albopictus* übertragenen Viren wird mit mindestens 23 angegeben. Darunter sind die Erreger von bedeutenden humanmedizinisch relevanten Erkrankungen wie das Dengue-Virus, das Chikungunya-Virus, das West-Nil-Virus, das St.-Louis-Enzephalitis-Virus, das Gelbfieber-Virus, das Rifttalfeber-Virus und das Zika-Virus (TAN et al. 1981; MITCHELL et al. 1987; TURELL et al. 1992; IBANEZ-BERNAL et al. 1997; HEITMANN et al. 2017). Dabei besitzt die Asiatische Tigermücke zusätzlich die Fähigkeit, einige Viren vertikal von Generation zu Generation über die abgelegten Eier zu übertragen (GRATZ 2004). Neben der Fähigkeit Arboviren zu übertragen, ist *Ae. albopictus* auch kompetenter Vektor der Herzwurmerkrankung und kutanen Dirofilariose von Hunden.

Neben der Gefahr einer Krankheitsübertragung durch *Ae. albopictus* kann die Einschleppung dieser Art noch weitere mögliche Folgen haben. Sie kann sich rasch ausbreiten und massiven Einfluss auf einheimische Arten, das Ökosystem oder menschliche Aktivität haben (JULIANO & LOUNIBOS 2005). Durch ihre Fähigkeit, alle möglichen künstlichen Brutgewässer zu besiedeln (HAWLEY 1988), ist die Asiatische Tigermücke besonders häufig in der Nähe menschlicher Siedlungen zu finden (SARDELLIS et al. 2002). Hier kann die Asiatische Tigermücke bei guten Bedingungen in hohen Populationsdichten auftreten (MEKURIA & HYATT 1995).

Dabei zeigt *Ae. albopictus* auch am hellen Tage ein sehr aggressives und ausdauerndes Stechverhalten (HAWLEY 1988) und kann bei höheren Populationsdichten zu starker Belästigung führen (NASCI et al. 1989). Schon wenige Jahre nach ihrer Einbürgerung galt die Asiatische Tigermücke als wichtigste plageerregernde Art in weiten Bereichen von Italien und im Südosten der USA (MOORE & MITCHELL 1997; GRATZ 2004).

## 1.2 Verbreitung der Asiatischen Tigermücke

Die Asiatische Tigermücke stammt ursprünglich aus Südostasien (HAWLEY 1988) und ist dort eine der häufigsten und am weitesten verbreiteten Stechmückenarten (HUANG 1968). Ende des 20. Jahrhunderts vollzog

die Art innerhalb weniger Jahrzehnte eine erstaunliche Expansion ihres Verbreitungsgebietes (HAWLEY 1988). Hauptsächlich mit Hilfe des internationalen Warenhandels schaffte es *Ae. albopictus*, selbst große Distanzen zwischen Kontinenten zu überbrücken. Hierbei spielen vor allem der Handel mit Gebrauchtreifen (REITER 1998) und Pflanzen (MADON et al. 2002) eine wichtige Rolle, jedoch ist generell eine Verschleppung der Art in Frachtcontainern möglich (REITER & DARSIE 1984). Durch ihre Fähigkeit, eine große Bandbreite an natürlichen und künstlichen Brutstätten zu nutzen, durch die Trockenresistenz ihrer Eier und den geringen Anspruch bei der Auswahl eines Blutwirtes konnte *Ae. albopictus* in neuen Gebieten schnell stabile Populationen aufbauen. Über kürzere Distanzen kann eine Verbreitung der Asiatischen Tigermücke über den Straßenverkehr durch Mittransport der Imagines in LKWs und PKWs erfolgen (FLACIO et al. 2006). So erfolgt nach der ersten Etablierung der Art eine Weiterverschleppung mit nationalem Verkehr und Warenhandel in umliegende Regionen oder benachbarte Länder.

Auf diese Weise wurde nach der Etablierung und Ausbreitung der Asiatischen Tigermücke in Italien (DALLA POZZA & MAJORI 1992) die Art in Deutschland das erste Mal im Jahr 2007 im Rahmen einer wissenschaftlichen Studie der KABS / IfD in Kooperation mit der Universität Heidelberg nachgewiesen (PLUSKOTA et al. 2008). Seitdem wurden mehrere Untersuchungen durchgeführt, welche wiederholte Einschleppungen der Art aus Südeuropa nachweisen konnten (WERNER et al. 2012, KAMPEN et al. 2013, BECKER et al. 2013). Dabei ist das Bundesland Baden-Württemberg aufgrund der kurzen Einschleppungswege hinsichtlich der bestehenden Populationen in Norditalien und dem stark wärmebegünstigten Oberrheingraben das Bundesland mit dem größten Etablierungspotenzial für die Asiatische Tigermücke in Deutschland. So wurden auch bisher in Deutschland alle größeren, selbstständig brütenden Populationen von *Ae. albopictus* in Freiburg (2014), Heidelberg (2015), Lörrach (2017), Karlsruhe (2017) nur innerhalb der aus klimatischer Sicht äußerst begünstigten Oberrheinebene festgestellt.

Dies ist darauf zurückzuführen, dass die wärmeliebende Art in Deutschland an ihre nördlichste Ausbreitungsgrenze stößt (MITCHELL 1995, PLUSKOTA 2011). Aufgrund der bisherigen weltweiten Verbreitung der Asiatischen Tigermücke kann man davon ausgehen, dass die Art aufgrund ihrer kältetoleranten Eier erfolgreich in weiten Teilen Deutschland überwintern kann (PLUSKOTA 2011). So wurden erfolgreiche Überwinterungen der Asiatischen Tigermücke in Deutschland schon für mehrere Gebiete nachgewiesen (PLUSKOTA et al. 2016, WALTHER et al. 2016). Da jedoch auch bei einer erfolgreichen Überwinterung unter verhältnismäßig milden Bedingungen ein nicht unerheblicher Anteil der Diapauseeier abstirbt (PLUSKOTA et al. 2018), benötigt die ursprünglich tropische Art für eine dauerhafte Etablierung auch ausreichend hohe Temperaturen während der Sommermonate, um die Populationsverluste während der Überwinterungsphase kompensieren zu können.

So wäre in Bezug auf die durchschnittlichen klimatischen Verhältnisse während der aktuellen internationalen klimatologischen Referenzperiode (Clino-Periode) von 1961 bis 1990 (MÜLLER-WESTERMEIER et al. 1999) davon auszugehen, dass eine dauerhafte Etablierung und großflächige Ausbreitung der Asiatischen Tigermücke in Deutschland nicht zu erwarten ist (PLUSKOTA 2011). Im langfristigen Mittel der aktuellen Clino-Periode besitzt kein Gebiet in Deutschland eine Durchschnittstemperatur von 19 °C während der drei wärms-

ten Sommermonate, was als Minimumvoraussetzung für eine ausreichende Reproduktion und dauerhafte Etablierung in Deutschland anzusehen ist (PLUSKOTA 2011).

Jedoch kommt es durch den Temperaturanstieg des anthropogen verursachten Klimawandels (SCHÖNWIESE 2003) vor allem während der Sommermonate in Deutschland zu einer Anpassung der klimatischen Bedingungen an die thermalen Ansprüche der ursprünglich tropischen Art. So kam es in den Jahren von 1981-2010 zu einer Temperaturabweichung von + 0,7 °C gegenüber des internationalen klimatologischen Referenzzeitraums (DWD 2016) und zu den ersten kleineren selbstständig brütenden Populationen der Asiatischen Tigermücke innerhalb der klimatisch begünstigten Oberrheinebene im Südwesten Deutschlands (BECKER et al. 2012). Vor allem der wiederum überdurchschnittlich starke Temperaturanstieg der durchschnittlichen Sommertemperaturen in den letzten Jahren begünstigte einen starken Populationszuwachs, was die ersten größeren Ansiedelungen von *Ae. albopictus* innerhalb der Oberrheinebene ermöglichte. So lag in Mannheim in den letzten 10 Jahren (2007-2017) die Durchschnittstemperatur der drei wärmsten Sommermonate bei 19,8 °C, wobei sie dabei nur einmal mit 18,9 °C geringfügig unter dem von PLUSKOTA (2011) postulierten Grenzwert von 19 °C lag (DWD/CDC).

Insgesamt müssen nach einer Einschleppung der Asiatischen Tigermücke in Deutschland für einen erfolgreichen Aufbau einer dauerhaft selbstständig brütenden Gründerpopulation folgende Voraussetzungen erfüllt sein (PLUSKOTA 2011):

- Hohe Einschleppungsrate einzelner Individuen (meist erwachsene Weibchen) oder hohe Anzahl gleichzeitig eingeschleppter Individuen (meist Eier) an einen bestimmten Einschleppungsort
- Einschleppungsort in Bereichen mit durchschnittlichen Hochsommertemperaturen von mindestens 19 °C
- Einschleppungsort im urbanen bis suburbanen Umfeld mit größerer Anzahl an künstlichen Brutstätten
- Kein unterdurchschnittlich kühler Witterungsverlauf während der Sommer- und Wintermonate in den ersten Jahren nach der Einschleppung

### 1.3 Ziel des Projektes

Aufgrund des voranschreitenden Klimawandels kann langfristig gesehen nur durch eine Regulierung der einschleppungsrelevanten infrastrukturellen Bedingungen eine Einschleppung und dauerhafte Etablierung der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg verhindert werden. Hierfür spielen vor allem aufgeklärte und handlungsfähige kommunale Behörden eine entscheidende Rolle. Durch die in diesem Projekt entwickelte Computeranwendung, soll den verantwortlichen Gemeindebehörden eine grundlegende Etablierungseinschätzung und eine erste Handlungsgrundlage für prophylaktische Maßnahmen zur Verfügung gestellt werden, welche es ihnen ermöglicht eigenständig und ökonomisch die Wahrscheinlichkeit einer Etablierung der Asiatischen Tigermücke innerhalb der eigenen Kommune deutlich zu reduzieren.



## 2 Darstellung der Versuchsergebnisse

### 2.1 Laborzucht

#### 2.1.1 Laborstämme

Anfang August 2015 wurden aus der ersten größeren, sich seit mindestens zwei Jahren selbstständig reproduzierenden Population der Asiatischen Tigermücke im Bereich einer Kleingartenanlage in Freiburg durch mehrere Sammelaktionen insgesamt 235 Larven in den Entomologischen Zuchtraum 2 des Instituts für Dipterologie überführt (Zuchtstamm FREIBURG). Dieser Zuchtstamm wurde bei den Laborversuchen zur klimatischen Anpassung als Referenz für eine sich an mitteleuropäische, gemäßigte Klimabedingungen angepasste Population von *Aedes albopictus* verwendet.

Als Referenzstamm für eine sich schon seit mindestens 20 Jahren im subtropischen Klimabereich etablierte Population der Asiatischen Tigermücke wurden Mitte August 2015 aus Freilandfängen in Mandatoriccio (Kalabrien/Italien) 280 Larven in die Zuchträumlichkeiten überführt (Zuchtstamm ITALIEN).

Für die Versuche erfolgte die erste Entnahme von Individuen aus den Laborstämmen nach einer Etablierungsphase von zwei Generationen.

#### 2.1.2 Umweltbedingungen

Als Standardzuchtbedingungen bzw. Nicht-Diapause-Bedingungen wurden für die Anzucht der Asiatischen Tigermücke eine Temperatur von 25 °C ( $\pm 1$  °C), eine relative Luftfeuchte von 80 % ( $\pm 10$  %) und eine Tageslichtphase von 16 Stunden eingestellt.

Für die Überwinterungs- und Schlupfzeitpunktversuche erfolgte eine Umstellung der Umweltbedingungen, um das Ablegen von Diapause-Eiern zu initiieren. Die Temperatur wurde hierfür auf 20 °C ( $\pm 1$  °C) verringert und die Gesamtlichtphase auf insgesamt zwölf Stunden gekürzt, was eine sichere Produktion von Diapause-Eiern gewährleistete (PUMPUNI et al. 1992, FOCKS et al. 1994). Die relative Luftfeuchte blieb unverändert bei 80 % ( $\pm 10$  %).

#### 2.1.3 Aufzuchtbedingungen

Die Hälterung der erwachsenen Tiere erfolgte in 30x30x30 cm großen Netzkäfigen (Bugdorm®-1 Insect Rearing Cage). Den Imagines stand ständig eine 10%ige Haushaltszuckerlösung über Filmdöschen mit Dochtsystem zur freien Verfügung. Die Wasserversorgung wurde ebenfalls permanent über die angebotenen Eiablagedosen bereitgestellt. Zur Produktion von Eiern wurde den Weibchen für die benötigte Blutmahlzeit ein menschlicher Arm angeboten. Für die Eiablage wurden handelsübliche Filmdöschen oder Ovitrapts mit hölzernen Eiablagesubstraten bereitgestellt.

Die Aufzucht der Larven erfolgte in halbtransparenten Plastikschaalen der Größe 30x23x6 cm. Die Schalen wurden mit 2000 ml Aufzuchtswasser befüllt, wodurch sich eine Wassertiefe von ca. 2,5 cm ergab. Durch den Besatz mit etwa 400-500 Larven betrug die Larvendichte zwischen 0,2 und 0,25 Larven/ml. Als Aufzucht-

wasser wurde mindestens drei Tage lang abgestandenes Leitungswasser verwendet. Regelmäßig wurden der Bodensatz samt den Futterresten des Vortages entfernt und etwa 20 % des Aufzuchtwassers eines Beckens ausgetauscht. Bildete sich trotz Wasserwechsels nach einiger Zeit aufgrund von übermäßigem Bakterienwachstum eine Kahmhaut an der Oberfläche, so wurde diese täglich mit einem Zellstofftuch entfernt.

Die Fütterung der Larven erfolgte einmal täglich. Hierbei wurde die Futtermenge der Fressaktivität so angepasst, dass immer ein kleiner Rest des Futters noch am folgenden Tag vorhanden war. Dadurch stand den Larven ständig ausreichend Nahrung zur freien Verfügung. Als Futtermittel wurde für das Erstlarvenstadium eine gemahlene Hefe-Fischfutter-Mischung im Verhältnis 60:40 und für das Zweitlarvenstadium im Verhältnis 20:80 verwendet. Ab dem dritten Larvenstadium erfolgte die Fütterung nur noch mit Fischfutter.

## 2.2 Versuch E1 - Überlebensraten von Diapauseeiern zweier Laborstämme unter Freilandbedingungen während des Winters 2015/16

### 2.2.1 Fragestellung

Für die Berechnung der langfristigen Populationsentwicklung auf der Basis von dynamischen Kohorten-Lebenstafeln werden thermale Populationsparameter der verschiedenen Lebensstadien von *Aedes albopictus* benötigt. Die für die Beurteilung der Reproduktionsperiode benötigten Parameter wurden umfangreich in der zuvor angefertigten Dissertation (PLUSKOTA 2011) erarbeitet und aus dieser entnommen. Auch wenn davon auszugehen ist, dass die hauptlimitierenden Faktoren für eine dauerhafte Etablierung der Asiatischen Tigermücke in Deutschland die Sommertemperaturen darstellen, ist den Temperaturen während der Wintermonate bzw. während der Überwinterung der Eier ein modifizierender Charakter zuzusprechen.

In der Vergangenheit beschäftigten sich zahlreiche Untersuchungen mit den Überlebensraten von Diapauseeiern bei verschiedenen Temperaturen. Diese Studien beziehen sich jedoch auf sehr unterschiedliche Laborstämme, wurden unter nicht mitteleuropäischen Freilandbedingungen durchgeführt oder generierten reine Labordaten. Aus dieser inhomogenen Datenlage wurden die benötigten Parameter für die Berechnung der Populationsentwicklung in der klimatischen Etablierungseinschätzung ausgearbeitet. Im Versuch E1 sollten Freilandüberwinterungen von für Deutschland relevanten Zuchtstämmen (*FREIBURG*, *ITALIEN*) an mehreren Orten in Baden-Württemberg durchgeführt werden. Dadurch sollte die Eignung der aus den externen Untersuchungen ausgearbeiteten Parameter für die Berechnung der Populationsentwicklung unter mitteleuropäischen Bedingungen verifiziert werden.

### 2.2.2 Material und Methoden

Die in Versuch E1 verwendeten Eier wurden bei Diapause-Bedingungen aus der Standardzucht entnommen. Für beide Zuchtstämme (*FREIBURG*, *ITALIEN*) erfolgten gleichzeitig eine Blutmahlzeit am 18.10. und eine Eiablage während eines Zeitfensters von acht Tagen, vom 23.10.2015 bis zum 31.10.2015. Für die Eiablage wurden bis zur Hälfte mit Aufzuchtwasser gefüllte handelsübliche Filmdöschen bereitgestellt, in welchen als Eiablagesubstrat unbehandelte Naturholzspatel mittels Heißkleber befestigt wurden.

Die Filmdöschen wurden täglich ausgetauscht und für mindestens 14 Tage bei Standardbedingungen gelagert. Dabei wurde darauf geachtet, dass immer etwas Wasser in den Filmdöschen vorhanden war, um ein Abtrocknen der Eiablagestäbchen zu verhindern und eine vollständige Embryonalentwicklung zu gewährleisten. Nach abgeschlossener Embryonalentwicklung wurden die Eiablagestäbchen vorsichtig aus den Filmdöschen herausgelöst und aussortiert. Für den Versuch E1 wurden nur Eiablagestäbchen verwendet, welche einerseits mindestens zehn anhaftende Eier und andererseits keine Eier in nicht auswertbaren Mehrfachlagen aufwiesen. Die entsprechenden Eiablagestäbchen wurden ausgezählt, beschriftet und in präparierte 50 ml Zentrifugenröhrchen überführt.



**Abbildung 1: Mehrere präparierte Zentrifugenröhrchen mit den darin fixierten Eiablagestäbchen.**

Zur besseren Durchlüftung und um eine Flüssigkeitsansammlung in den Zentrifugenröhrchen zu vermeiden, wurde die untere Spitze entfernt. Im Folgenden erfolgte eine lückenlose Abdichtung beider Öffnungen mit luftdurchlässigem Schaumstoff (Abb. 1). Die Röhrchen selbst wurden senkrecht in einer oben offenen Plastikbox fixiert und diese anschließend mit einem grobmaschigen Gittergewebe abgedeckt.

Zur Akklimatisierung der Diapause Eier wurden diese für sieben Tage bei 10°C gelagert und anschließend bei günstigen Witterungsbedingungen zwischen dem 01.12.2016 und dem 04.12.2016 an den jeweiligen Standorten ausgebracht. Um eine weitere langsame Konditionierung der Eier im Freiland zu ermöglichen, wurde der Zeitpunkt der Ausbringung so gewählt, dass innerhalb der ersten Tage kein Abfall der täglichen Minimumtemperaturen unter den Nullpunkt zu erwarten war.

Für die Überprüfung des Überwinterungserfolges von *Aedes albopictus* wurden drei unterschiedliche Standorte in Baden-Württemberg bestimmt (Tab. 1). Die beiden Standorte Freiburg und Heidelberg wurden aufgrund der damals dort bereits bestehenden selbstständig brütenden Populationen der Asiatischen Tigermücke ausgewählt. Der Standort St. Georgen diente als Referenzwert für eine Überwinterung mit zu erwartenden deutlich niedrigeren Wintertemperaturen.

**Tabelle 1: Ausgewählte Überwinterungsstandorte, Höhe über dem Meeresspiegel und Januar-Mitteltemperatur 1961-1990 (Müller-Westermeier et al. 1999).**

Standort	Höhe	Mitteltemperatur Januar
Freiburg im Breisgau	278 m. ü. NHN	+1,0 bis +2,0 °C
Heidelberg	108 m. ü. NHN	+1,0 bis +2,0 °C
St. Georgen im Schwarzwald	862 m. ü. NHN	-2,0 bis -1,0 °C

Für die Überwinterung wurden die mit den Zentrifugenröhrchen bestückten Boxen in umfriedeten privaten Bereichen, überdacht im Freien gelagert. Zur Erfassung des Temperaturverlaufs wurde jeweils direkt neben jeder Box ein Klimamessgerät zur kontinuierlichen Aufzeichnung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit (Onset Computer Corporation, Hobo Pro v2) platziert. Anfang März 2016, nachdem keine extrem tiefen Nachttemperaturen mehr zu erwarten waren, wurde die Freilandüberwinterung beendet und die Boxen ins Labor überführt.

Im Labor wurden die nun 120 Tage ( $\pm 4$  Tage) alten Eier aus den Röhrchen entnommen, in Aufzuchtbecken eingebracht und unter Verwendung unterschiedlicher Reize zum Schlüpfen angeregt. Dabei wurden die Reize auf fünf aufeinander folgende Phasen aufgeteilt, wobei während jeder Schlupfphase die Eiablagestäbchen für sieben Tage komplett untergetaucht waren.

Die erste Schlupfphase erfolgte durch das einfache Fluten der Stäbchen mit Larvenaufzuchtswasser. Die folgenden drei Schlupfphasen wurden ergänzt durch Reize, wie beigefügte Nährstoffe (Fischfutter-Hefe-Mischung) und schlagartige Beimengung von kaltem Wasser. Die fünfte und letzte Schlupfphase wurde durch einen Heuaufguss als Reiz eingeleitet.

Nach jeder Phase wurden die Stäbchen aus den Aufzuchtbecken entnommen und die Larven in den Becken gezählt. Zwischen den Schlupfphasen wurden die Stäbchen auf feuchtem Zellstoff gelagert, um ein vollständiges Austrocknen der Eiablagestäbchen zu verhindern. Eier ohne Larvenschlupf am Ende der fünften Schlupfphase wurden als abgestorben gewertet.

### 2.2.3 Ergebnisse

Die Witterungsbedingungen der beiden Standorte Freiburg und Heidelberg unterschieden sich nur sehr geringfügig (Abb. 2 und Abb. 3). An beiden Standorten fiel die tägliche Minimumtemperatur insgesamt sechzehnmal unter den Gefrierpunkt, wobei sie in Freiburg siebenmal und in Heidelberg fünfmal unter  $-3\text{ °C}$  lag. Während am Standort Heidelberg eine absolute Tiefsttemperatur von  $-6,5\text{ °C}$  gemessen wurde, fielen die Temperaturen am Standort in Freiburg nicht unter  $-8,1\text{ °C}$ . Eistage, also Tage an denen die Maximaltemperatur unter  $0\text{ °C}$  blieb, kamen am Standort Heidelberg zweimal und am Standort Freiburg viermal vor.

Deutlich kälter zeigte sich der Winter am Standort St. Georgen (Abb. 4). An 48 Tagen fielen die täglichen Minimumtemperaturen unter  $0\text{ °C}$  und zwölfmal unter  $-3\text{ °C}$ . Als absolutes Tagesminimum konnte am 18.01.2016 eine Temperatur von  $-13,7\text{ °C}$  gemessen werden. Insgesamt waren am Standort St. Georgen 13 Eistage zu verzeichnen.

## Standort Heidelberg

(04.12.2015 - 02.02.2016)

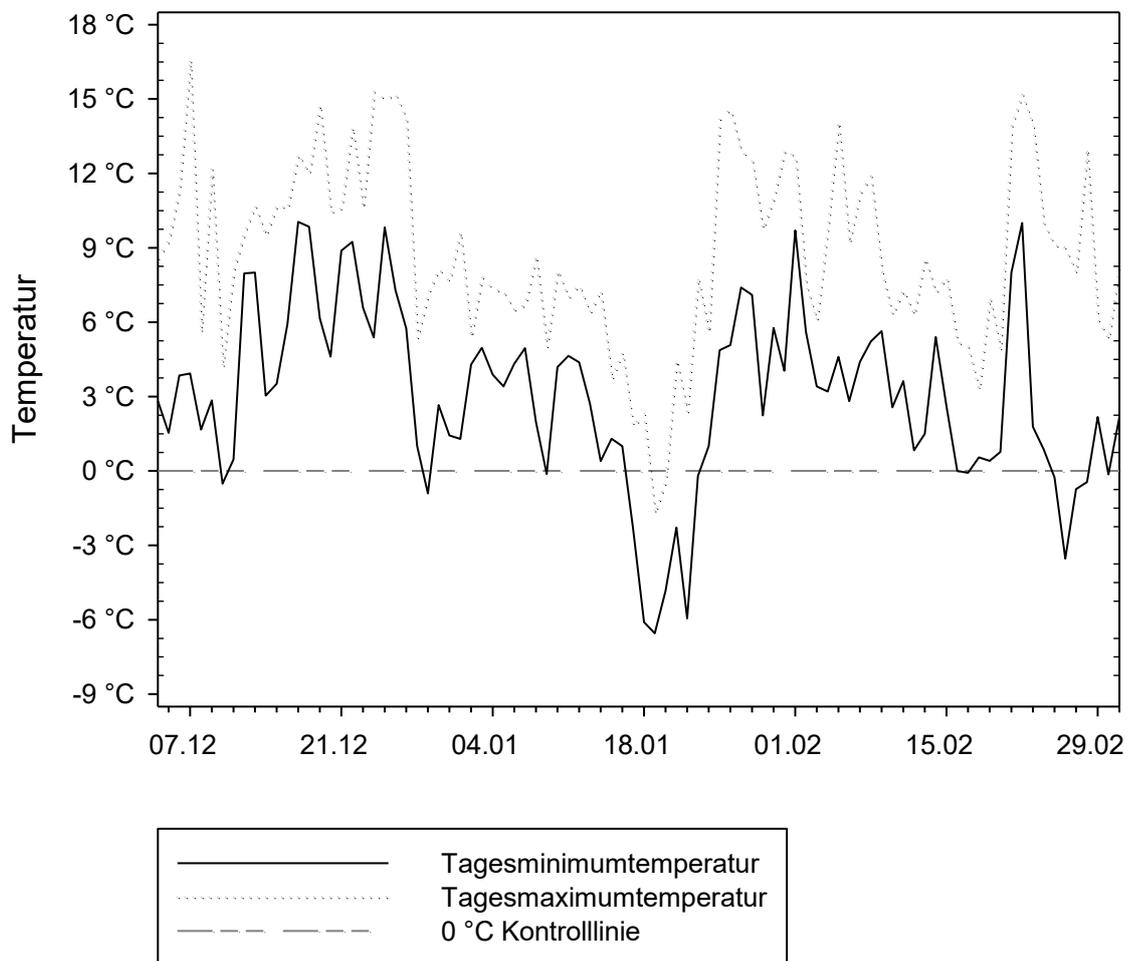


Abbildung 2: Verlauf der Minimum- und Maximum-Temperaturen am Standort Heidelberg.

# Standort Freiburg

(01.12.2015 - 02.02.2016)

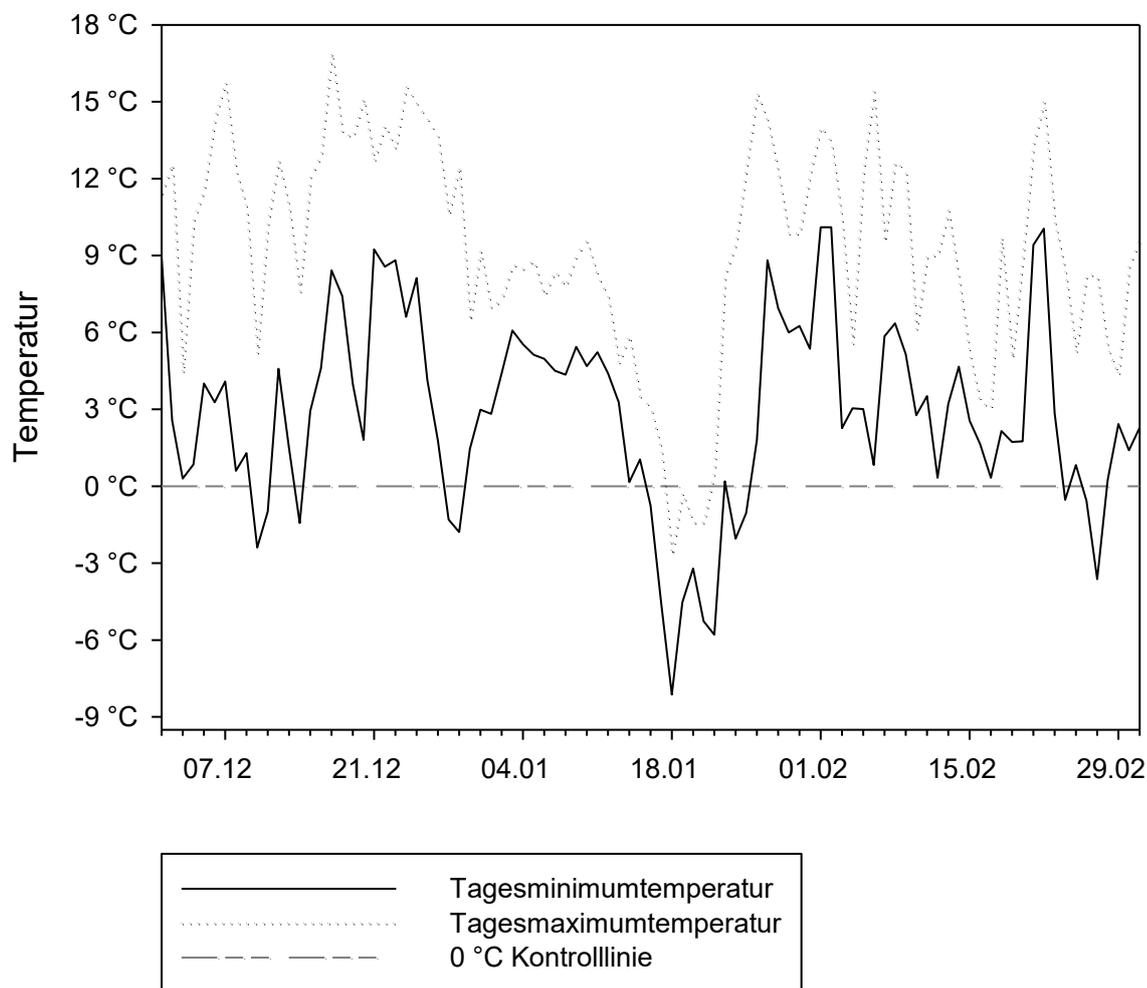
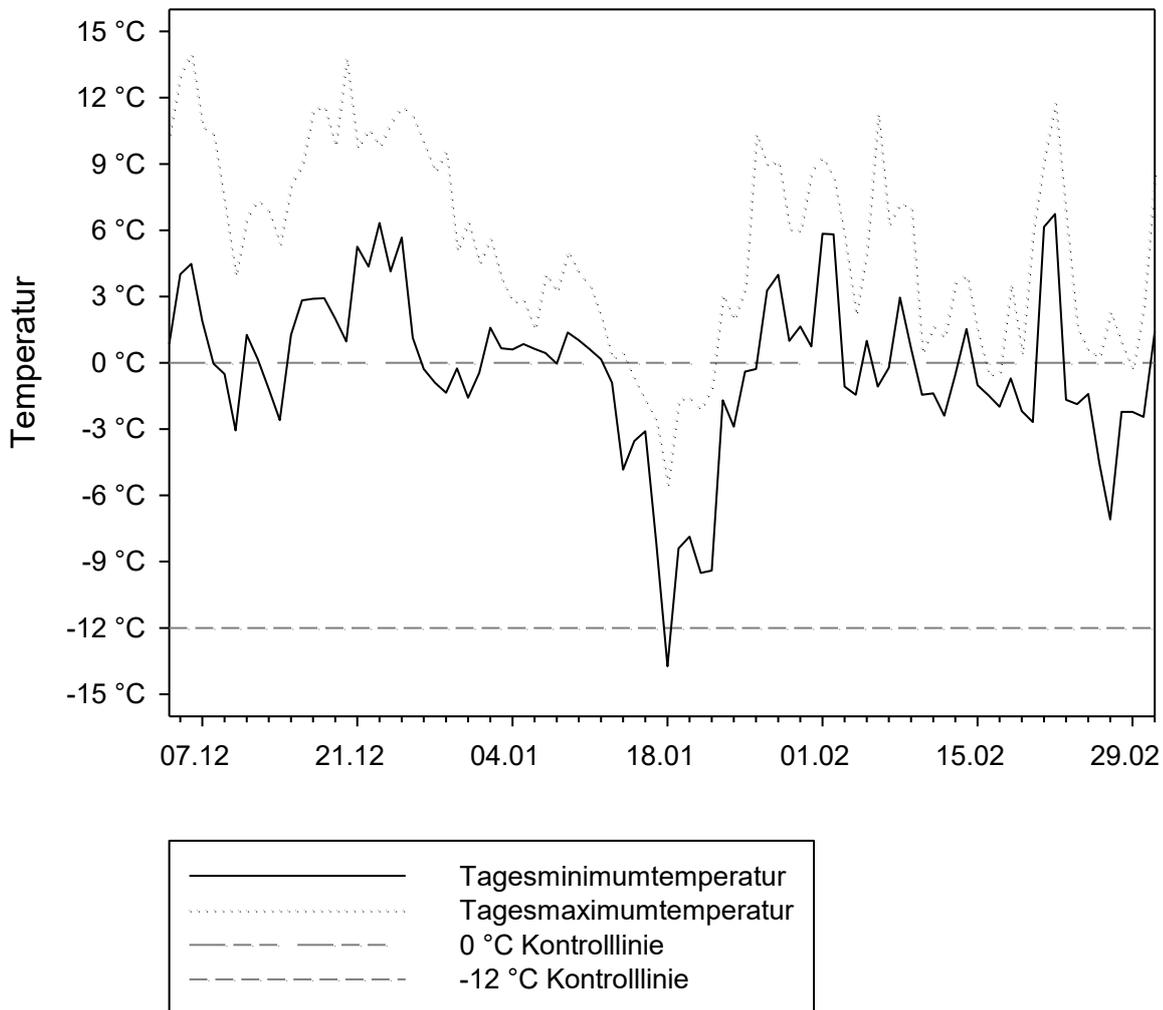


Abbildung 3: Verlauf der Minimum- und Maximum-Temperaturen am Standort Freiburg.

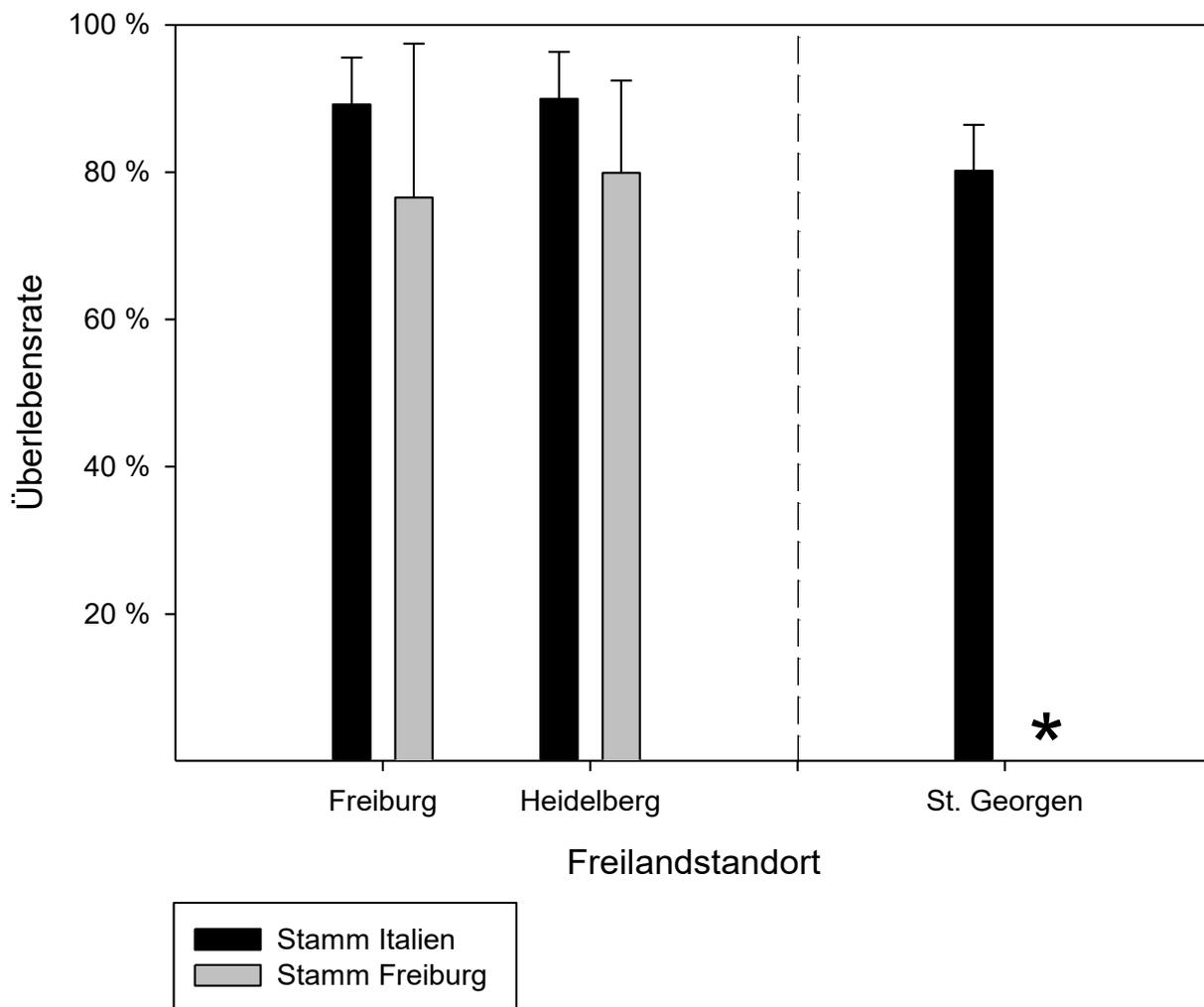
## Standort St. Georgen

(04.12.2015 - 02.02.2016)



**Abbildung 4: Verlauf der Minimum- und Maximum-Temperaturen am Standort St. Georgen.**

Die Überlebensraten des Stammes *FREIBURG* fielen an den beiden gemeinsamen Standorten jeweils geringer aus als bei den Diapauseeiern des Stammes *ITALIEN* (Abb. 5). So überlebten am Standort Freiburg mit 76,5 % ( $\pm 21,4$  %) der insgesamt 308 (16 Stäbchen) ausgebrachten Diapauseeier des Stammes *FREIBURG* rund 12,6 % weniger, als beim Stamm *ITALIEN*. Hier überlebten 89,2 % ( $\pm 6,4$  %) der insgesamt 288 ausgebrachten Eier (7 Stäbchen).



**Abbildung 5: Überlebensrate der Diapauseeier der beiden Zuchtstämme bei Freilandlagerung von Anfang Dezember 2015 bis Anfang März 2016 an den Standorten Freiburg und Heidelberg. \*Am Standort St. Georgen wurden keine Diapauseeier des Stammes Freiburg ausgebracht.**

Am Standort Heidelberg war die ermittelte Differenz mit 10 % nur etwas geringer. Hier überlebten 89,9 % ( $\pm 6,4$  %) der insgesamt 117 ausgebrachten Diapauseeier (5 Stäbchen) des Stammes *ITALIEN* und 79,9 % ( $\pm 12,5$  %) von 184 Diapauseeiern des Stammes *FREIBURG* (8 Stäbchen). Aufgrund der sehr hohen Standardabweichung der Sterberaten des *FREIBURGER* Stammes war dieser Unterschied jedoch statistisch nicht signifikant. Ein Vergleich der beiden Stämme für den Standort St. Georgen ist nicht möglich, da hier aufgrund der geringen verfügbaren Menge an Diapauseeiern keine Proben des Stammes Freiburg ausgebracht wurden.

Von den insgesamt 406 am Standort St. Georgen überwinterten Diapauseeiern (8 Stäbchen) des Stammes *ITALIEN* überlebten 80,2 % ( $\pm 6,2$  %). Dies waren rund 9 % bzw. 9,7 % weniger als an den Standorten Heidelberg und Freiburg. Dieser Unterschied war statistisch signifikant (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0,05$ ),

obwohl er im Gegensatz zu den Unterschieden der Überlebensrate der beiden Stämme an den jeweils selben Standorten Heidelberg und Freiburg geringer ausfiel.

#### 2.2.4 Diskussion

Es ist davon auszugehen, dass in Deutschland die Sommertemperaturen den entscheidenden Faktor bezüglich einer dauerhaften Etablierung der Asiatischen Tigermücke darstellen, und die Temperaturen während der Wintermonate bzw. während der Überwinterung der Diapauseeier lediglich einen modifizierenden Einfluss besitzen (PLUSKOTA 2011). So überlebten über 70 % der im Freiland ausgebrachten Diapauseeier Winterbedingungen im nördlichen Teil des Bundesstaates Indiana (USA) mit absoluten Tagestiefsttemperaturen von -19 °C (HANSON & CRAIG 1995<sup>a</sup>). Dies wird ebenso durch die in diesem vorliegenden Versuch ermittelte Überlebensrate von 80,2 % des italienischen Laborstammes trotz einer absoluten Minimumtemperatur von -13,7 °C am Standort St. Georgen verdeutlicht.

Trotzdem kommt es während der Wintermonate durch unterschiedlich tiefe und andauernde Temperaturen unter dem Gefrierpunkt zu einer unterschiedlichen Ausprägung der Überlebensrate der Diapauseeier (HAWLEY, W. A. 1988, HAWLEY et al. 1989, HANSON UND CRAIG 1995<sup>a</sup>, HANSON & CRAIG 1995<sup>b</sup>). Freiland- und Laborexperimente hierzu wurden in der Vergangenheit mehrfach durchgeführt, sind jedoch aufgrund der verschiedenen Versuchsbedingungen, Witterungsverhältnisse und verwendeten Laborstämme nicht immer direkt miteinander vergleichbar. Aus dieser inhomogenen Datenlage wurden die benötigten Parameter für die Berechnung der Populationsentwicklung in der klimatischen Etablierungseinschätzung ausgearbeitet. Im Versuch E1 wurden Freilandüberwinterungsversuche von für Deutschland relevanten Zuchtstämmen (*FREIBURG*, *ITALIEN*) an drei verschiedenen Orten in Baden-Württemberg durchgeführt. Dadurch sollte die Eignung der aus den externen Untersuchungen ausgearbeiteten Parameter für die Berechnung der Populationsentwicklung unter mitteleuropäischen Bedingungen verifiziert werden.

Ausgehend von einer durchschnittlichen Überwinterungszeit von Ende September bis Anfang Mai, müssen die in den Diapauseeiern fertig entwickelten und schlupfbereiten Larven eine Zeitspanne von ca. 200 Tagen überdauern. Auch ohne den negativen Einfluss von Tiefsttemperaturen unterhalb des Gefrierpunktes kommt es über diesen längeren Zeitraum zu einem Absterben von Larven, insbesondere innerhalb komplett trockengefallener Brutstätten (WASHBURN & HARTMANN 1992). Im vorliegenden Versuch wurde dieser nicht direkt von tiefen Temperaturen abhängige Einfluss auf die Sterberate der Diapauseeier durch die Begrenzung des Versuchszeitraums reduziert. So erfolgte eine Freilandlagerung der Versuchseier nur in den drei in Deutschland durchschnittlich kältesten Wintermonaten Dezember, Januar und Februar (MÜLLER-WESTERMEIER & ROCZNIK 2006). Die ermittelten Überlebensraten können daher nicht repräsentativ für den theoretischen kompletten Überwinterungszeitraum einer Freilandpopulation an den entsprechenden Standorten angesehen werden. Aufgrund der Literaturdaten wäre jedoch nur von einer 10-20 % geringeren Überlebensrate auszugehen (WASHBURN & HARTMANN 1992).

Diese zusätzlichen, nicht temperaturabhängige Sterberate eingerechnet, hätten 65,2 % ( $\pm 5$  %) der in diesem Versuch ausgebrachten Diapauseeier des Stammes *ITALIEN* am Standort St. Georgen bei einer absoluten

Minimumtemperatur von  $-13,7\text{ °C}$  überlebt. An den Standorten Freiburg und Heidelberg mit geringeren absoluten Minimumtemperaturen von  $-8,1\text{ °C}$  bzw.  $-6,5\text{ °C}$  hätten hingegen noch  $74,2\text{ \%}$  ( $\pm 5\text{ \%}$ ) bzw.  $74,9\text{ \%}$  ( $\pm 5\text{ \%}$ ) der Diapauseeier desselben Stammes überlebt.

Dass ein Temperaturunterschied von rund  $2\text{ °C}$  zwischen den beiden Standorten Heidelberg und Freiburg zu keinem relevanten Unterschied in der Sterberate geführt hat, verdeutlicht den insgesamt geringen schädlichen Einfluss von einstelligen Minustemperaturen auf die Diapauseeier von *Aedes albopictus*. So gehen HANSON & CRAIG 1995<sup>a</sup> aufgrund ihrer Freilandüberwinterungsversuche mit Diapauseeiern von verschiedenen Stämmen der Asiatischen Tigermücke davon aus, dass nicht absolute Minimumtemperaturen entscheidend für die Sterberate der Eier sind, sondern die Zeit, welche die Temperaturen unterhalb eines Schwellenwerts von  $-12\text{ °C}$  liegen. So wäre die höhere Sterberate am Standort St. Georgen durch den ca. 6-stündigen Abfall der Temperaturen unter  $-12\text{ °C}$  auf eine absolute Minimumtemperatur von  $-13,7\text{ °C}$  am 17.01.2016 zu erklären. An allen anderen Tagen fielen die Tagesminimumtemperaturen an diesem Standort nicht unter  $-7,1\text{ °C}$ , welche wiederum noch oberhalb der absoluten Minimumtemperatur des Standortes Freiburg lagen.

Insgesamt passen die innerhalb des vorliegenden Versuchs ermittelten Überlebensraten der Diapauseeier zu den in der Literatur gefundenen Ergebnissen anderer Freilandversuche mit anderen Laborstämmen. So konnten die in der klimatischen Etablierungseinschätzung angewandten Parameter aus den vorhandenen Literaturdaten zu Freilandversuchen und den Ergebnissen des hier vorliegenden Versuches ausgearbeitet werden. Letztendlich werden die mit diesen Parametern berechneten Überlebensraten jedoch nur eine mehr oder weniger genaue Annäherung an die tatsächlichen Überlebensraten der jeweiligen analysierten Wintermonate sein. Dies ergibt sich schon aufgrund der beschränkten Datenlage der Freilandüberwinterungsversuche. So kann prinzipiell in jedem Freilandversuch jährlich nur eine geringe Anzahl an Minimumtemperatur-Zeitdauer-Kombinationen gleichzeitig erfasst werden.

Zwar liegen auch einige Laborversuche zur Kältetoleranz von Diapauseeiern vor, diese wurden jedoch nur vorsichtig als grobe Anhaltspunkte und zur Interpretation der Freilandversuche herangezogen. So führten z.B. THOMAS ET AL. (2012) zwar ausführliche Laborversuche zur Überlebensrate von Nicht-Diapauseeiern und Diapauseeiern der Asiatischen Tigermücke bei verschiedenen Minimumtemperatur-Zeitdauer-Kombination durch. Dabei führte jedoch bei einer Temperatur von  $-12\text{ °C}$  eine 4-stündige Kühlphase zum vollständigen Absterben aller eingesetzten Diapauseeier. Hingegen überlebten im vorliegenden Versuch rund  $80\text{ \%}$  der Diapauseeier insgesamt drei Wintermonate inklusive eines ca. 6-stündigen Abfalls der Temperaturen unter  $-12\text{ °C}$  bzw. eines ca. 4-stündigen Abfalls der Temperaturen unter  $-13\text{ °C}$ .

Diese insgesamt schlechtere Überlebensrate des vermeintlich seit mehreren Jahren an die in Deutschland vorherrschenden gemäßigten Klimabedingungen angepassten Stammes FREIBURG gegenüber des „mediterranen“ Stammes ITALIEN könnte ein Anzeichen für eine starke genetische Verarmung des Stammes FREIBURG sein. So ist es sehr wahrscheinlich, dass der Aufbau der Freiburger Population lediglich über einzelne in LKW eingeschleppte Weibchen der Asiatischen Tigermücke erfolgte. Ein Aufbau einer Gründerpopulati-

on auf nur wenigen einzelnen Individuen kann jedoch zu Verlust der genetischen Variabilität und letztendlich zur Inzuchtdepression führen. Folgen einer solchen genetischen Verarmung können z.B. geringere Vitalität und Widerstandsfähigkeit gegen widrige Umweltbedingungen sein und somit zu geringeren Überlebensraten der Diapauseeier führen.

## 2.3 Versuch E2 – Schlupfzeitpunkt der ersten Larvengeneration unter verschiedenen Freilandbedingungen im Frühjahr 2016

### 2.3.1 Fragestellung

Für eine effektive Bekämpfung von Schädlingen und Vektoren ist es unerlässlich, den genauen Zeitpunkt des Auftretens von relevanten Entwicklungsstadien zu kennen. So ist im Lebenszyklus der Asiatischen Tigermücke vor allem der Schlupfzeitpunkt der ersten Larvengeneration im Frühjahr, sowohl für eine zielgerichtete effektive Bekämpfung als auch für die exakte Populationsberechnung mit Kohorten-Lebenstafeln, eines der wichtigsten Ereignisse. In der Literatur konnten nur grobe Anhaltspunkte für das erste Auftreten von *Aedes albopictus* im Frühjahr aus Freilandbeobachtungen gefunden werden, welche wiederum in klimatisch nicht mit Mitteleuropa vergleichbaren Bereichen gemacht wurden. Daher sollten mit Hilfe des Versuches E2 geeignete klimatische Parameter ermittelt werden, welche die Schlupfdynamik der ersten Larvengeneration im Frühjahr möglichst genau erfassen.

### 2.3.2 Material und Methoden

Die in Versuch E2 verwendeten Eier wurden bei Diapause-Bedingungen aus der Standardzucht entnommen. Für beide Zuchtstämme (FREIBURG, ITALIEN) erfolgten gleichzeitig eine Blutmahlzeit am 28.11.2015 und eine Eiablage während eines Zeitfensters von vier Tagen, vom 01.12.2015 bis zum 04.12.2015. Es wurden für beide Zuchtstämme (FREIBURG, ITALIEN) Eiablagestäbchen verwendet, welche in Versuch E3 aufgrund der sehr großen, nicht auszählbaren Anzahl an Eiern aussortiert wurden. Jedes dieser Eiablagestäbchen war mit ca. 2000 - 3000 Diapauseeiern besetzt. Um eine vollständige Embryonalentwicklung unter optimalen Bedingungen zu gewährleisten, wurden die Stäbchen innerhalb der stetig wasserführenden Eiablagedöschen stehend für 14 Tage gelagert. Nach abgeschlossener Embryonalentwicklung wurden die Eiablagestäbchen vorsichtig aus den Filmdöschen herausgelöst, beschriftet, in 50 ml Zentrifugenröhrchen überführt und bis zur Freilandausbringung auf 15 °C gelagert.

Ca. 90 Tage nach der Eiablage wurden am 08.03.2016 von beiden Stämmen Eiablagestäbchen in verschiedene im Freiland aufgestellte, wassergefüllte künstliche Brutstätten der Asiatischen Tigermücke überführt. Als typische große Brutstätte bzw. Larvenbrutstätte von *Aedes albopictus* im Siedlungsbereich wurden Regentonnen verwendet. Als charakteristische Larvenbrutstätten mit kleiner Wassermenge dienten Grabvasen. Je eine Regentonne und vier Grabvasen wurden in nahezu vollständig besonnten und vollständig beschatteten Bereichen aufgestellt.

Um mehrere Laborstämme gleichzeitig unter gleichen Bedingungen platzieren zu können und um die Kontrolle der geschlüpften Larven zu vereinfachen, wurden feinmaschige Kompartimente im oberen Bereich der Regentonnen eingebaut. (Abb. 6). Diese 26 x 15 x 16 cm großen Kompartimente werden in der Aquaristik zur Aufzucht von Jungfischen im Gesellschaftsbecken verwendet und ermöglichen durch das komplett umseitige Netz einen Wasserdurchfluss von allen Seiten, sind jedoch selbst für Erstlarven von *Aedes albopictus* nicht passierbar. Am Boden der Kompartimente wurden die Eiablagestäbchen, mit den Eiern nach oben, mit Hilfe von Nähgarn fixiert. Durch die Anbringung der Kompartimente im oberen Bereich der Regentonnen befanden sich die Eier in einer Wassertiefe von mindestens fünf bis maximal zwölf Zentimetern.

Für die Fixierung der Eiablagestäbchen in den Grabvasen wurden Schlauchstücke über einen waagrechten Draht im oberen Bereich der Vasen befestigt. Die Eiablagestäbchen wurden mit einem Ende in das untere Ende der Schlauchstücke gesteckt, sodass der mit Eiern belegte Teil der Stäbchen sich mittig in der Grabvase, ca. fünf Zentimeter unter der Wasseroberfläche, befand.

Zur Kontrolle der Wassertemperatur wurden sowohl im schattigen als auch im sonnigen Bereich je eine Grabvase und die jeweilige Regentonne mit einem Außentemperaturmeßfühler versehen. Dieser befand sich dabei in einer Wassertiefe, in welcher sich auch die platzierten Eier des jeweiligen Gefäßes befanden.

Da ab ca. sechs Wochen nach Versuchsbeginn eine zunehmende Algenbildung zu beobachten war, wurden die einzelnen Gefäße durch Auflage von lichtdichter Abdeckung vollständig abgedunkelt.

Täglich wurden die Maximal- und Minimalwassertemperaturen notiert und die einzelnen Gefäße und Kompartimente auf frisch geschlüpfte Larven untersucht. Da trotz der kleinen Kompartimente eine exakte Auszählung der Larven nicht möglich war und aufgrund der sehr großen, jedoch ungenauen Anzahl an Diapauseeiern, wurde die Anzahl der täglich geschlüpften Erstlarven überschlagen. Hierfür wurde die relevante Anzahl an Larven in folgende vier Kategorien eingeteilt:

- einzelne (max. 5),
- wenige (< 15),
- mehrere (< 50),
- viele (< 100),
- sehr viele (> 100).

Um die weitere Entwicklung der Larven bzw. das erste Auftreten von Puppen zu bestimmen, wurden die geschlüpften Larven in den jeweiligen Kompartimenten belassen.



**Abbildung 6: Übersicht und Nahaufnahmen von verschiedenen in Versuch E2 eingesetzten Larvenbrutstätten.**

### 2.3.3 Ergebnisse

Da bezüglich des Schlupfverhaltens der Erstlarven während des gesamten Versuches keine Unterschiede zwischen den beiden verwendeten Laborstämmen festzustellen waren, wurden diese zur übersichtlichen Gestaltung der Ergebnisse für jeden Brutstättentyp bzw. Beschattungsgrad zusammengefasst (Abb. 7, 8, 9 und 10).

Die gemessenen Wassertemperaturen in den verschiedenen Brutstätten wurden durch die Größe der Brutstätte und den Beschattungsgrad des Standortes stark beeinflusst. Dies zeigte sich deutlich durch die durchschnittliche tägliche Temperaturamplitude über den gesamten Untersuchungszeitraum. Während innerhalb der Regentonne des schattigen Standortes die täglichen Tagesmaxima und Tagesminima im Durchschnitt lediglich um 5,4 °C voneinander abwichen, war dieser tägliche Temperaturunterschied innerhalb der Grabvase des sonnigen Standortes mit durchschnittlich 16,5 °C am größten bei allen Brutstätten. Diesbezüglich nahmen der große Wasserkörper der Regentonne am sonnigen Standort und der kleine Wasserkörper der

Grabvase am schattigen Standort mit einer durchschnittlichen Tagestemperaturamplitude von 8,5 °C bzw. 9,3 °C mittlere Stellungen ein.

Die großen täglichen Temperaturunterschiede innerhalb der sonnigen Grabvase spiegeln sich vor allem in einem Temperaturhöchstwert von 36,1 °C wieder, welcher bei der sonnigen Regentonne mit 28,7 °C, bei der schattigen Grabvase mit 25,6 °C und bei der schattigen Regentonne mit nur 22,4 °C deutlich niedriger ausfiel.

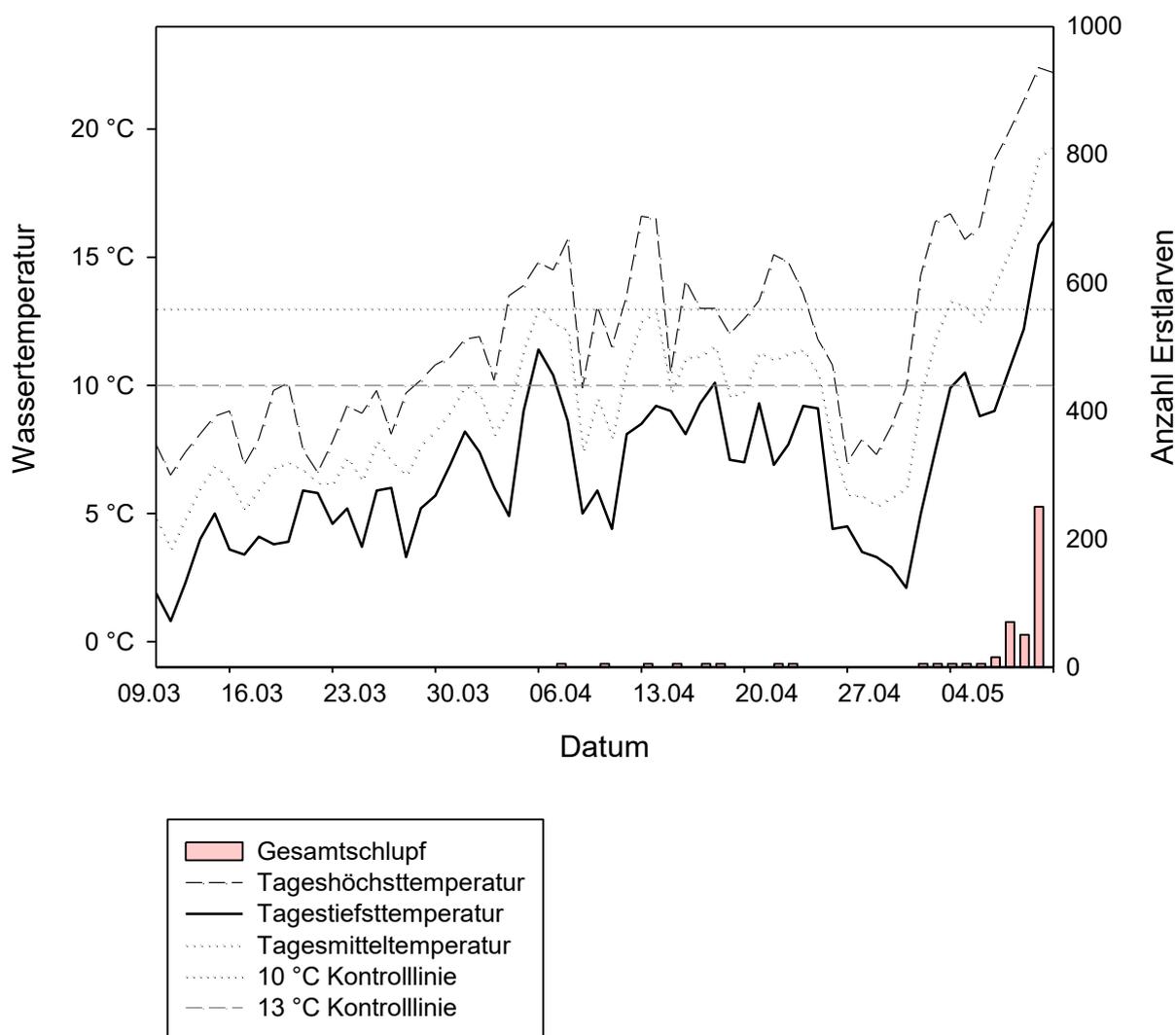
Trotzdem hatten diese unterschiedlichen Temperaturprofile keinen größeren Einfluss auf das Schlupfverhalten der Larven innerhalb der verschiedenen Brutstätten und Standorte. So erfolgte der erste Schlupf von „einzelnen“ Larven am 4. April zwar zuerst in den Grabvasen und der Regentonne des sonnigen Standortes, jedoch konnten schon einen Tag später in den Grabvasen und zwei Tage später in der Regentonne des schattigen Standortes „einzelne“ geschlüpfte Erstlarven gefunden werden.

Innerhalb der nächsten 17 Tage kam es in allen Brutstätten zu einem regelmäßigen Schlupf von „einzelnen“ bis „wenigen“ Larven. Dieser fiel in der Regentonne des schattigen Standortes, in welcher nicht täglich und jeweils nur „einzelne“ Larven zu verzeichnen waren, im Vergleich zu den restlichen Brutstätten am geringsten aus. So erfolgte in den beiden Brutstättentypen des sonnigen Standortes und den Grabvasen des schattigen Bereichs nahezu täglich ein Schlupf von mindestens „einzelnen“ oder „wenigen“ Larven. Dieser Unterschied ist jedoch in Anbetracht der sehr großen und nicht genau ausgezählten Anzahl an Diapauseeiern (ca. 3000 - 4000) auf den jeweiligen Eiablagestäbchen als sehr gering einzustufen. Hervorzuheben ist jedoch der Schlupf von „mehreren bis vielen“ Erstlarven am 15. März lediglich in den Vasen des sonnigen Standortes.

Aufgrund eines starken Temperaturrückganges mit Tagestieftemperaturen im Bereich des Gefrierpunktes und nur knapp zweistelligen Maximaltemperaturen konnte vom 23. April bis 30. April in keiner Brutstätte ein Schlupf von Erstlarven festgestellt werden. Bis zu diesem Zeitpunkt hatten schon einige der verbliebenen Larven in den Brutstätten des sonnigen Standortes das späte Drittlarvenstadium erreicht. In den Brutstätten des schattigen Standortes waren lediglich Zweitlarvenstadien festzustellen.

Am Ende der Phase des Temperaturrückganges war ein mehr oder weniger großer Anteil der bisherigen Larven abgestorben. Dies war vor allem in den Brutstätten des schattigen Standortes und der Grabvase des sonnigen Standortes mit einer geschätzten Sterberate von ca. 70 - 90 % festzustellen. Innerhalb der Regentonne des sonnigen Standortes betrug die Sterberate geschätzt ca. 50 - 60 %.

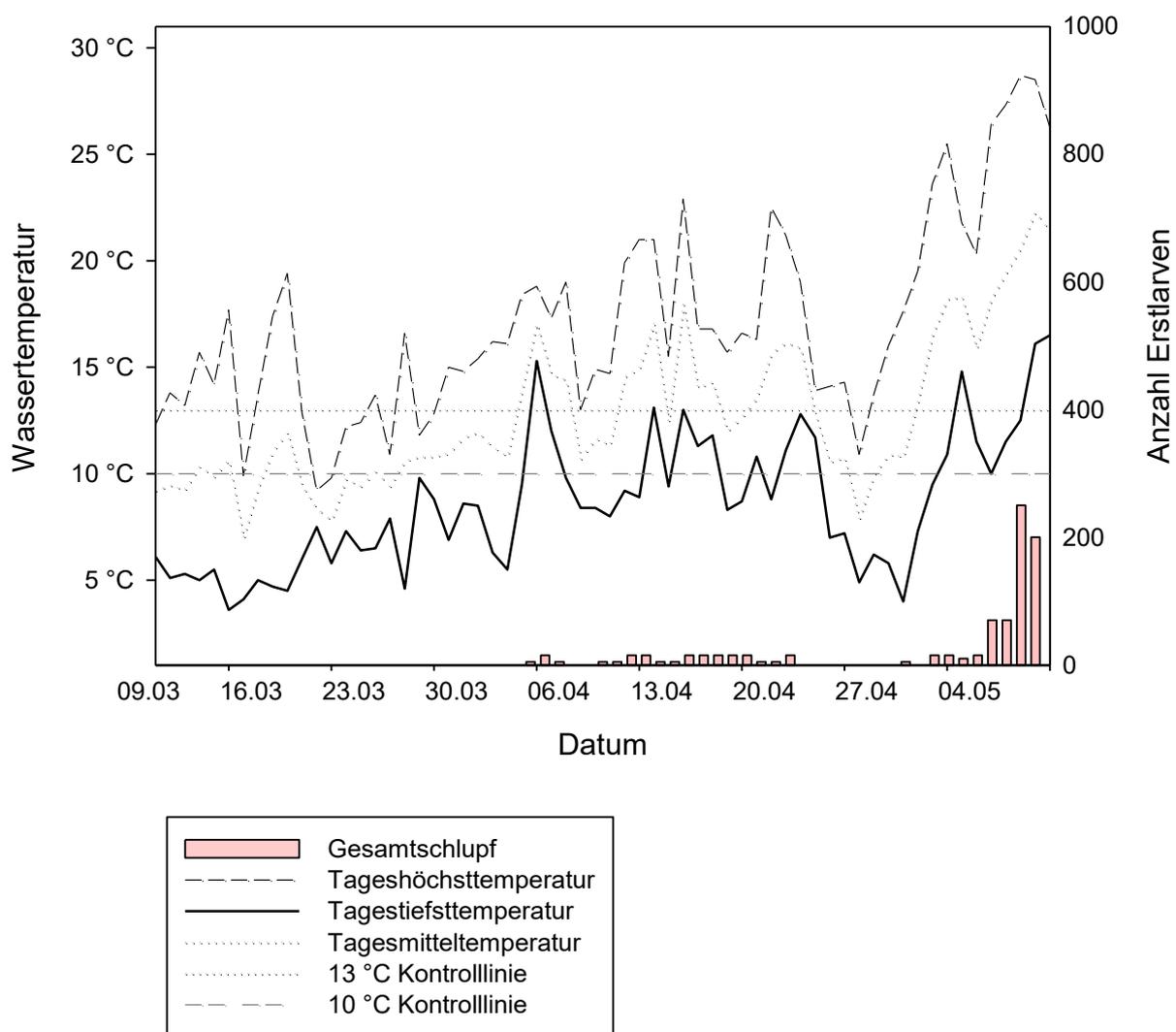
## Regentonne (Schatten)



**Abbildung 7: Überschlagene Anzahl der in der Regentonne im schattigen Bereich täglich geschlüpften Erstarven im Bezug zu verschiedenen Lufttemperatur-Parametern.**

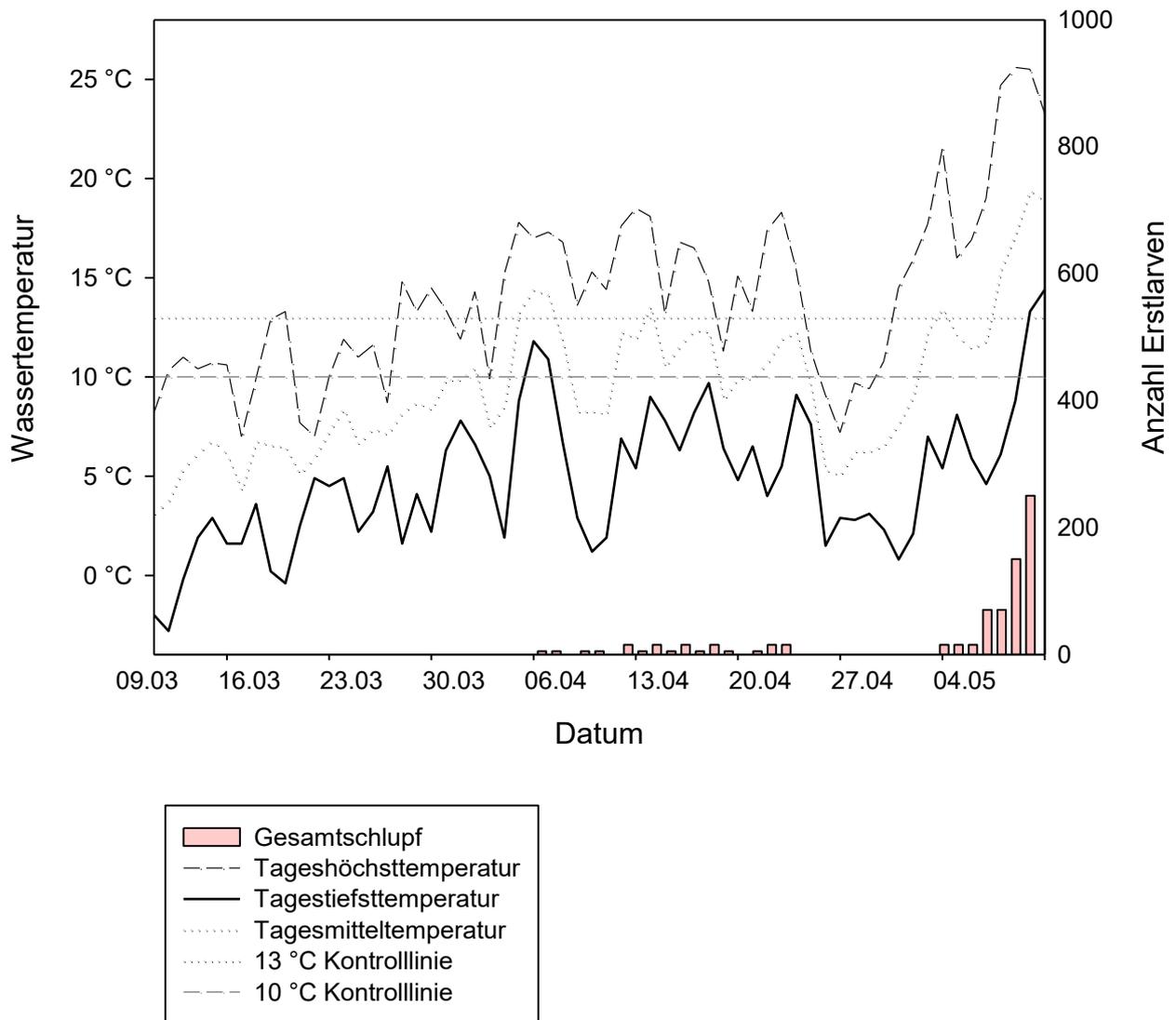
Mit wieder ansteigenden Temperaturen setzte wiederum innerhalb von drei Tagen in allen Brutstätten der täglich Schlupf von „einzelnen“ oder „wenigen“ Erstarven ein. Ab dem 6. Mai stieg der Anteil an frisch geschlüpften Larven deutlich an, sodass außer in den Regentonnen des schattigen Standortes „mehrere“ Erstarven registriert werden konnten. Innerhalb der nächsten drei Tage kam es zu einem allgemein sehr starken Anstieg des Erstarvenschlupfs, sodass innerhalb von drei Tagen, bis zum 9. Mai, in allen Brutstätten mehrere Hundert Erstarven geschlüpft waren. Hierbei kam es zuerst in den Vasen des sonnigen Standortes und zuletzt in der Regentonne des schattigen Standortes zum Massenschlupf von Erstarven, welcher jedoch geschätzt nur 10-20 % der jeweils vorhandenen Diapauseeier entsprach. Am 9. Mai wurde der Versuch beendet, da zusätzlich zum ersten Massenschlupf die ebenfalls erste Puppe in der Tonne des sonnigen Standortes zu verzeichnen war.

## Regentonne (Sonne)



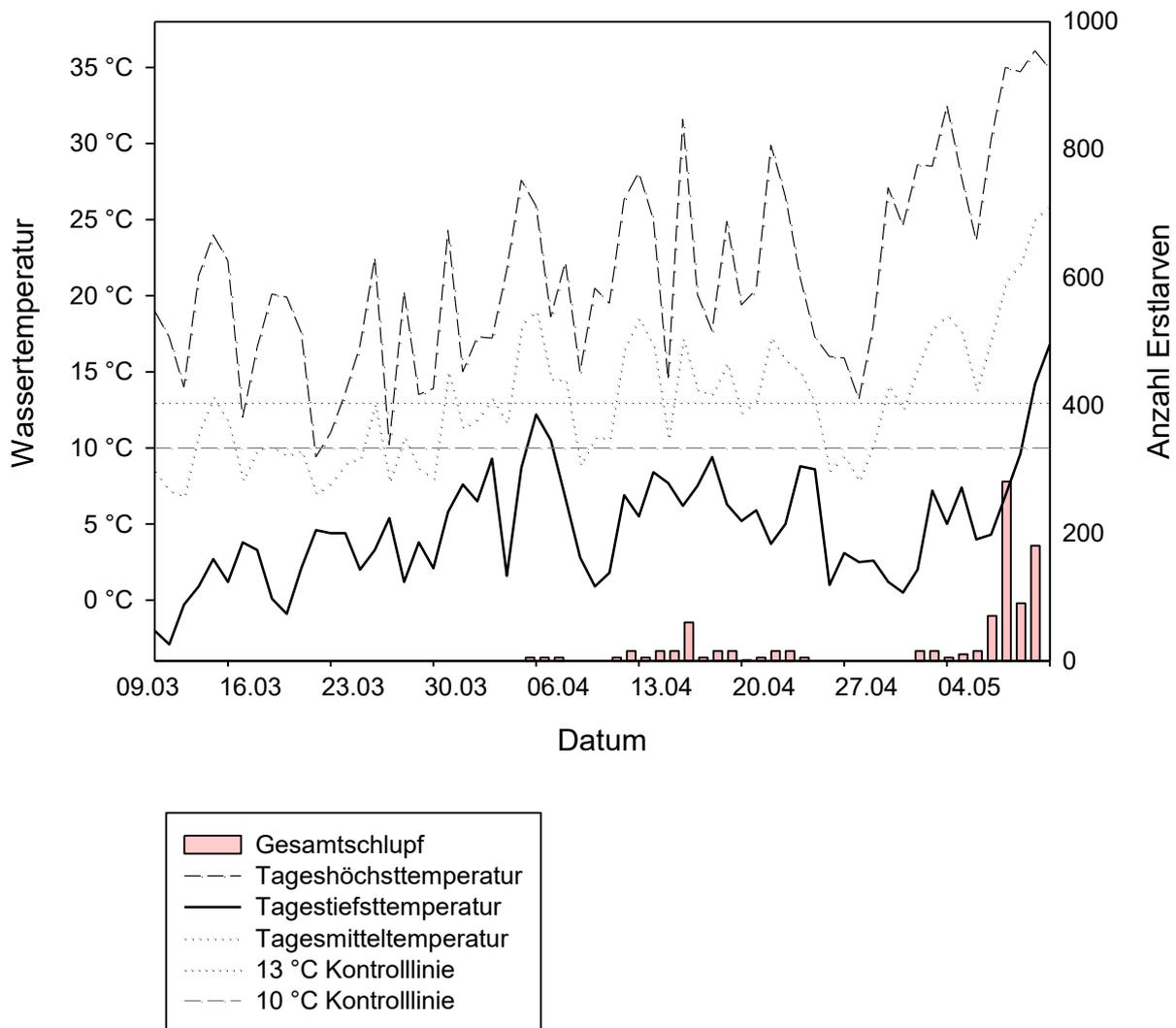
**Abbildung 8: Überschlagene Anzahl der in der Regentonne im sonnigen Bereich täglich geschlüpften Erstarven in Bezug zu verschiedenen Lufttemperatur-Parametern.**

## Grabvase (Schatten)



**Abbildung 9: Überschlagene Anzahl der in den Grabvasen im schattigen Bereich täglich geschlüpften Erstlarven in Bezug zu verschiedenen Lufttemperatur-Parametern.**

## Grabvase (Sonne)



**Abbildung 10: Überslagene Anzahl der in den Grabvasen im sonnigen Bereich täglich geschlüpften Erstarven in Bezug zu verschiedenen Lufttemperatur-Parametern.**

### 2.3.4 Diskussion

Für eine effektive Bekämpfung von Schädlingen und Vektoren ist es unerlässlich, den genauen Zeitpunkt des Auftretens von relevanten Entwicklungsstadien zu kennen. So ist im Lebenszyklus der Asiatischen Tigermücke vor allem der Schlupfzeitpunkt der ersten Larvengeneration im Frühjahr, sowohl für eine zielgerichtete effektive Bekämpfung als auch für die exakte Populationsberechnung mit Kohorten-Lebenstafeln, eines der wichtigsten Ereignisse. Im vorliegenden Versuch sollten geeignete klimatische Parameter ermittelt werden, welche die Schlupfdynamik der ersten Larvengeneration im Frühjahr möglichst genau erfassen.

In Norditalien erfolgt der Erstschlupf von Larven der Asiatischen Tigermücke im Frühjahr, sobald die Minimumtemperaturen nicht mehr unter 10 °C liegen (ROMI 1995). Auf der Basis der ersten im Frühjahr in Eiab-

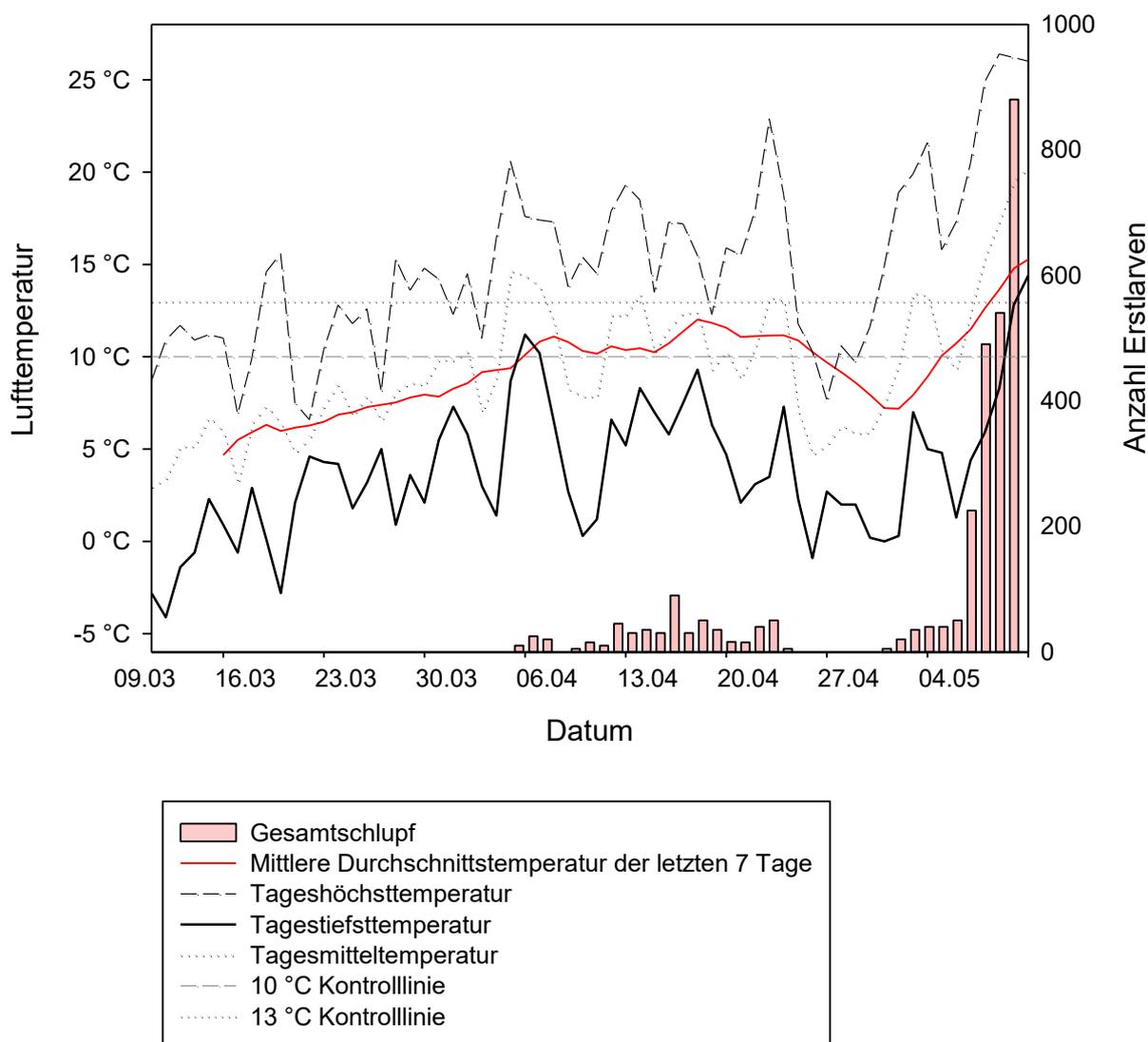
lagefallen abgelegten Eier in Rom (Italien) berechnete TOMA (2003) einen Schlupftermin der Erstlarven für einen Zeitpunkt, an welchem die Tagesdurchschnittstemperaturen etwa 10-11 °C betragen.

Diese Literaturdaten decken sich erstaunlich genau mit den im vorliegenden Versuch ermittelten ersten Schlupfereignissen des Freilandversuches. So erfolgte der erste Larvenschlupf in den sonnigen Brutstätten exakt an dem Tag, an dem die täglichen Lufttemperaturminima das erste Mal über 10 °C und einen Tag nachdem die Tagesmitteltemperatur das erste Mal über 11 °C stiegen. Natürlich ist diese nahezu 100%-ige Übereinstimmung mit den postulierten Grenzwerten eher als Zufall zu betrachten. Trotzdem dürfte mit diesen beiden Grenzwerten auch in Baden-Württemberg in Hinblick auf Monitoring- und Bekämpfungsmaßnahmen der ungefähre Termin des Erstschlupfes ausreichend genau zu bestimmen sein.

Eine Festlegung des Erstlarvenschlupfes bei der Populationsberechnung mit Kohorten-Lebenstafeln lediglich auf der Basis eines einmaligen Erreichens eines Tagestemperaturparameters könnte jedoch zu größeren Fehlberechnungen führen. So kam es im vorliegenden Versuch trotz wieder unter den geforderten Grenzwert absinkende Tagestemperaturminima weiterhin zu einem Erstschlupf von Larven, selbst in den schattigen Brutstätten. Das einmalige Überschreiten eines bestimmten Tagestemperaturparameters scheint lediglich als Initialgrenzwert nützlich zu sein, ab welchem ein Schlupf von Larven prinzipiell erfolgen kann, sobald andere Anforderungen bzw. Grenzwerte erfüllt sind.

Nach Analyse der Ergebnisse des vorliegenden Versuches wird innerhalb der Populationsberechnung der klimatischen Etablierungseinschätzung für die Einschätzung des Erstschlupfes lediglich ein einziger Temperaturparameter verwendet, welcher jedoch einen längeren Zeitraum einschließt. Hierdurch sollen vor allem Fehlkalkulationen durch frühzeitig auftretende Extremwetterereignisse vermieden werden. In Abbildung 11 ist die mittlere Durchschnittstemperatur der letzten sieben Tage als rote Linie in Bezug zu der überschlagenen Gesamtanzahl der in allen Versuchsbehältnissen täglich geschlüpften Erstlarven dargestellt. Als Grenzwert für den Erstschlupf der Larven von *Aedes albopictus* im Frühjahr wird eine Temperatur von 10 °C für diesen Parameter gefordert.

## Alle Brutstätten



**Abbildung 11: Überschlagene Gesamtanzahl der in allen Versuchsbehältnissen täglich geschlüpften Erstarven in Bezug zu verschiedenen Lufttemperatur-Parametern.**

Weiterhin wird mit Hilfe dieses Parameters, also der mittleren Durchschnittstemperatur der letzten sieben Tage, die gesamte Schlupfdynamik der Erstarven beschrieben. So erfolgt zwar nach dem Überschreiten des 10 °C Grenzwertes der erste Schlupf von Larven, die Ergebnisse des vorliegenden Versuches zeigen jedoch deutlich, dass dies nur einen sehr geringen Bruchteil der Gesamtpopulation betreffen wird. So schlüpften bis zum großen Massenschlupf Anfang Mai täglich nur einige Promille der insgesamt in allen Brutstätten vorhandenen Diapauseeier.

So erfolgt innerhalb der klimatischen Etablierungseinschätzung die Bildung einer Tageskohorte in der Größenordnung von nur 0,5 % der verbliebenen Diapauseeier, sobald an einem Tag die mittlere Durchschnittstemperatur der letzten sieben Tage den 10 °C Grenzwert überschreitet.

Um den ersten Massenschlupf von Erstarven einzuschätzen, wird aufgrund der vorliegenden Ergebnisse innerhalb der klimatischen Etablierungseinschätzung ein Grenzwert von 13 °C der mittleren Durchschnitts-

temperatur der letzten sieben Tage gefordert. Wird der Grenzwert überschritten, erfolgt die Bildung einer Tageskohorte in der Größenordnung von 20 % der verbliebenen Diapauseeier.

Der Versuch wurde so gestaltet, dass die Schlupfdynamik der Asiatischen Tigermücke innerhalb von sehr unterschiedlich großen Brutstätten an wiederum äußerst unterschiedlich stark besonnten Standorten gleichzeitig untersucht werden konnte. Dabei war insgesamt eine erstaunlich homogene Schlupfdynamik trotz der teilweise deutlich abweichenden Wassertemperaturmaxima und -minima festzustellen. So scheint der Erstschlupf mehr von Durchschnittstemperaturen als von Temperaturspitzen abzuhängen. Dies bekräftigt die Verwendung eines Temperaturparameters innerhalb der Etablierungseinschätzung, welcher Tagesdurchschnittstemperaturen über mehrere Tage berücksichtigt. Dass jedoch Temperaturspitzen einen zusätzlichen Schlupfreiz ausüben können, zeigt Mitte April das alleinige Auftreten von Larven in den stark erwärmten kleinen Wasserkörpern der Grabvasen am sonnigen Standort. Die sichere Erfassung solcher Temperaturspitzen in der klimatischen Etablierungseinschätzung ist aufgrund der geringen Datenlage nicht möglich und erscheint auch in Anbetracht der trotzdem recht geringen Anzahl der einmalig geschlüpften Larven als vernachlässigbar.

Trotz der verschiedenen untersuchten Varianten an möglichen Brutstätten und Beschattungssituationen wurde nicht die gesamte mögliche Bandbreite erfasst. So war der sonnige Standort aufgrund seiner offenen Lage nicht windgeschützt, was teilweise eine deutlich stärkere nächtliche Abkühlung der Brutstätten am sonnigen Standort gegenüber den Brutstätten am mehr geschützten schattigen Standort zur Folge hatte. Dies war insbesondere bei dem kleinen Wasserkörper der Grabvase zu bemerken. Es ist nicht auszuschließen, dass es an einem mehr windgeschützten, jedoch trotzdem sonnigen Standort, zu einem noch früheren oder stärkeren Schlupf gekommen wäre.

Diese Fehlerquelle wird jedoch wieder durch einen anderen nicht berücksichtigten Aspekt kompensiert. So ist vermutlich ein deutlich späterer oder geringerer Schlupf zu erwarten, wenn sich innerhalb von größeren Brutstätten Diapauseeier in größerer Wassertiefe befinden. Durch die Verwendung von Netzkompartmenten, bei welchen eine Anbringung nur im oberen Teil der Regentonnen möglich war, konnte dieser Einfluss leider nicht erfasst werden. Aufgrund des größeren Wasserkörpers kann es zwischen warmem Oberflächenwasser und den tieferen Bereichen der Brutstätte zu deutlichen Temperaturunterschieden, nicht nur bei den Temperaturextremen, sondern auch bei den relevanten Mitteltemperaturen, kommen. Betrachtet man jedoch die erstaunlich homogene Schlupfdynamik trotz der teilweise sehr deutlich abweichenden Wasserdurchschnittstemperaturen der verschiedenen Brutstätten, ist von keiner größeren Abweichung von den erfassten Werten auszugehen.

## 2.4 Versuch E3 - Überlebensraten von Diapauseeiern zweier Laborstämme bei Langzeitlagerung

### 2.4.1 Fragestellung

*Aedes albopictus* ist eine containerbrütende Stechmückenart, welche temporäre Wasseransammlungen als Brutstätten nutzt. Die Eier werden hierbei nahe der Wasseroberfläche an die Wandung der Brutstätte gelegt. Die Eier von *Aedes albopictus* besitzen eine Hautschicht (Serosahaut), welche mit einer Art Wachsschicht imprägniert ist, die einen zu starken Wasserverlust der Eier beim Trockenfallen der temporären Brutstätten verhindert. So können die Eier mehrere Monate überleben und auf ein erneutes Überfluten innerhalb der Brutstätte warten.

Die maximale Überlebensdauer von Eiern der Asiatischen Tigermücke ist nicht nur in Hinblick auf eine erfolgreiche Bekämpfung der Art, sondern auch für die Populationsberechnung mit Kohorten-Lebenstafeln wichtig. So ist vor allem im Bereich von Siedlungen davon auszugehen, dass regelmäßig bei einem Teil der künstlichen Brutstätten (z.B. Grabvasen, Blumentöpfe, Tonnen, Altreifen, Unrat) ein erneutes Überfluten durch menschliche Aktivität vorübergehend unterbrochen wird. Werden diese Brutstätten nach bestimmter Zeit wieder, z.B. im Freiland gelagert, umgedreht oder geöffnet, können sie erneut Niederschläge aufsammeln und einen Schlupf der noch überlebenden Larven ermöglichen.

Würden die Eier der Asiatischen Tigermücke es schaffen, lange genug zu überleben, um zwei Überwintungsphasen hintereinander zu überdauern, müsste dies in der Berechnungsmatrix des Populationsentwicklungsmodelles berücksichtigt werden. So könnten solche, durch menschliche Aktivität unabsichtlich in „Reserve gehaltene“ Eier, nach längerer Zeit eine durch ungünstige Witterungsbedingungen zuvor verminderte Freilandpopulation wieder auffrischen.

### 2.4.2 Material und Methoden

Die in Versuch E3 verwendeten Eier wurden bei Diapause-Bedingungen aus der Standardzucht entnommen. Für beide Zuchtstämme (*FREIBURG*, *ITALIEN*) erfolgten gleichzeitig eine Blutmahlzeit am 28.11.2015 und eine Eiablage während eines Zeitfensters von vier Tagen, vom 01.12.2015 bis zum 04.12.2015. Für die Eiablage wurden bis zur Hälfte mit Aufzuchtwasser gefüllte handelsübliche Filmdöschen bereitgestellt, in welchen als Eiablagesubstrat unbehandelte Naturholzspatel mittels Heißkleber befestigt wurden.

Die weitere Behandlung der verwendeten Eier, wie Embryonalentwicklung, Auszählung und Einlagerung in Zentrifugenröhrchen und Überwinterung (Standort Heidelberg) erfolgte nach der zuvor in Versuch E1 beschriebenen Weise (Kapitel 3.2.2.2). Insgesamt standen von jedem Stamm fünf Eiablagestäbchen für den Versuch zur Verfügung (Tab. 2).

**Tabelle 2: Eiablagedatum und Anzahl der Eier je Eiablagestäbchen der beiden Laborstämme.**

Stamm <i>FREIBURG</i>			Stamm <i>ITALIEN</i>		
ID Nr.	Datum der Eiablage	Anzahl der Eier	ID Nr.	Datum der Eiablage	Anzahl der Eier
FR-1	04.12.2015	172	IT-1	04.12.2015	107
FR-2	04.12.2015	126	IT-2	04.12.2015	169
FR-3	04.12.2015	77	IT-3	04.12.2015	148
FR-4	04.12.2015	192	IT-4	04.12.2015	290
FR-5	04.12.2015	184	IT-5	04.12.2015	399

Im Gegensatz zu Versuch E1 verblieben am Ende der Überwinterungsphase die Eier in den Zentrifugenröhrchen und wurden zusammen in der Sammelbox für weitere neun Monate gelagert. Als Lagerstandort diente die untere Etage eines unbeheizten, gut belüfteten Hofnebengebäudes mit Lehm Boden, welcher eine ausreichende Luftfeuchtigkeit und ein Abschwächen von möglichen Tagestemperaturextremen garantierte.

Ende Dezember 2016 wurde die Sammelbox in das Labor überführt und für zwei Wochen bei einer Temperatur von 25 °C und einer relativen Luftfeuchte von > 90 % gelagert. Anschließend wurde im Zeitraum vom 10.01- 22.02.2017 die Überlebensrate der Larven in den Eiern, wie in Versuch E1 beschrieben, anhand der erfolgreichen Schlupfrate ermittelt.

### 2.4.3 Ergebnisse

Von den insgesamt 1864 eingesetzten Diapauseeiern beider Stämme überlebten nur zwei Eier bzw. fertig entwickelte schlupfbereite Larven innerhalb der Eier die Langzeitlagerung von 404 Tagen (Tab. 3). Beide Larven waren dem Stamm Italien zuzuordnen.

**Tabelle 3: Anzahl der Eier und Überlebensrate nach Langzeitlagerung von 404 Tagen**

Stamm	Anzahl Eier	geschlüpfte Larven	Überlebensrate
<i>Italien</i>	1113	2	0,2%
<i>Freiburg</i>	751	0	0%

### 2.4.4 Diskussion

Für die Populationsberechnung mit Kohorten-Lebenstafeln der in Kapitel 3.3.1 beschriebenen klimatischen Etablierungseinschätzung ist es wichtig zu wissen, ob in langfristig trocken gefallen Brutstätten, Diapause-

eier oder Nicht-Diapauseeier der Asiatischen Tigermücke erfolgreich bis in die nächste bzw. in die übernächste Reproduktionsperiode überleben können.

So wird innerhalb der klimatischen Etablierungseinschätzung davon ausgegangen, dass bei ausreichenden Temperaturen und kompletter Überflutung es innerhalb von einigen Tagen zu einem vollständigen Schlupf der Nicht-Diapauseeier im Sommer der gleichen Reproduktionsperiode und der Diapauseeier im Frühjahr der folgenden Reproduktionsperiode kommt. So erfolgt die Berechnung der im Frühjahr für den Erstlarvenschlupf zur Verfügung stehenden Eier lediglich über die berechnete Anzahl der am Ende der Reproduktionsperiode des Vorjahres abgelegten Diapauseeier.

Jedoch ist vor allem im Bereich von Siedlungen davon auszugehen, dass regelmäßig bei einem Teil der künstlichen Brutstätten (z.B. Gießkannen, Grabvasen, Blumentöpfe, Tonnen, Altreifen, Unrat) ein Überfluten der schon vorhandenen Eier durch menschliche Aktivität vorübergehend unterbrochen wird. Werden diese Brutstätten nach bestimmter Zeit wieder, z.B. im Freiland, gelagert, umgedreht oder geöffnet, können sie erneut Niederschläge aufsammeln und einen Schlupf der noch überlebenden Larven ermöglichen.

Würde dies noch innerhalb derselben Reproduktionsperiode geschehen, wäre die Anzahl an verspätet geschlüpften Larven wiederum innerhalb des Berechnungsmodelles durch den zuvor angenommen vollständigen Schlupf aller gefluteten Eier erfasst. Hier würde es lediglich zu einer Überschätzung der Populationsentwicklung durch den vorzeitigen Schlupf der eigentlich trockengefallenen Eier kommen. Dies entspricht jedoch dem Grundansatz des Berechnungsmodelles, bei welchem die Populationsentwicklung unter den bestmöglichen Bedingungen berechnet wird, um eine Unterschätzung des Etablierungspotenzials zu vermeiden.

Zu einer Unterschätzung des Etablierungspotenzials könnte jedoch das erfolgreiche Überdauern von trockengefallenen Nicht-Diapauseeiern in die nächste und von Diapauseeiern in die übernächste Reproduktionsperiode führen. So könnten solche durch menschliche Aktivität unabsichtlich bis in spätere Reproduktionsperioden in „Reserve gehaltene“ Eier eine durch ungünstige Witterungsbedingungen zuvor verminderte Freilandpopulation wieder auffrischen.

In der Literatur konnten keine Daten über die Überlebensraten von Diapauseeiern der Asiatischen Tigermücke bei langfristiger Trockenlagerung gefunden werden. Aufgrund der extrem geringen Überlebensrate im vorliegenden Versuch, kann jedoch nahezu ausgeschlossen werden, dass Diapauseeier einen verzögerten Effekt auf die Populationsentwicklung in der übernächsten Reproduktionsperiode haben könnten. So überlebten nur 0,1 Prozent der verwendeten Diapauseeier die Trockenlagerung von exakt 404 Tagen. Hingegen müssten, selbst bei einem äußerst späten Eiablagetermin gegen Ende Oktober und einem sehr frühen Schlupftermin der Erstlarven Anfang April im Frühjahr der übernächsten Reproduktionsperiode, die Larven in den Eiern einen Zeitraum von mindestens 500 Tagen überleben. Dies kann zwar nicht vollständig ausgeschlossen werden, ist jedoch sehr unwahrscheinlich und höchstens in einer zu vernachlässigenden Größenordnung zu erwarten.

Im Allgemeinen werden Diapauseeier als das Lebensstadium angesehen, mit welchem die ursprünglich tropische Art *Aedes albopictus* erfolgreich in den gemäßigten Klimaten überwintert. So weisen bei gleichen Überwinterungsbedingungen Diapauseeier zwar signifikant höhere Überlebensraten als Nicht-Diapauseeier auf (HAWLEY ET AL. 1989), jedoch überleben auch Nicht-Diapauseeier z.B. mehrstündige Temperaturabfälle bis  $-7\text{ °C}$  in größerer Anzahl (THOMAS ET AL. 2012), sodass wohl ein nicht unerheblicher Teil vor allem milde Winter in Deutschland erfolgreich überleben dürfte.

Entscheidend beeinflusst durch die Tageslänge und modifiziert durch die Temperaturen (Focks et al. 1994) ist etwa Anfang September in Deutschland mit einer beginnenden Ablage von Diapause-Eiern zu rechnen (PLUSKOTA 2011). Geht man wieder von einem sehr frühen Schlupftermin der Erstlarven Anfang April im Frühjahr der nächsten Reproduktionsperiode aus, wäre die geringste Zeitspanne, welche Nicht-Diapauseeier überdauern müssten, etwas mehr als 200 Tage. Am längsten, jedoch maximal ca. 330 Tage, müssten trockengefallene Nicht-Diapauseeier erfolgreich überleben, welche gleich zu Beginn der Reproduktionsperiode ca. Anfang Mai abgelegt wurden.

Versuche zur Überlebensrate bei Langzeittrockenlagerung von Nicht-Diapauseeiern wurden innerhalb der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt, verwertbare Hinweise finden sich jedoch in der Literatur. So überlebten noch rund 50 % der Nicht-Diapauseeier der Asiatischen Tigermücke in einem Laborexperiment eine 90 Tage lange Trockenlagerung bei einer Temperatur von  $24\text{-}25\text{ °C}$  und einer relativen Luftfeuchte von 70-75 % (GUBLER 1970). Bei einer fast doppelt so langen Trockenlagerung von 168 Tagen lag die Überlebensrate der Eier bei einer Temperatur von  $21\text{ °C}$  und unabhängig von verschiedenen relativen Luftfeuchten nur noch bei  $< 12\%$  (WASHBURN UND HARTMANN 1992). Jedoch scheint die Überlebensrate stark von der Temperatur abhängig zu sein, da im gleichen Versuch bei gleich langer Trockenlagerung die Überlebensrate der Larven in den Eiern bei einer Temperatur von  $11\text{ °C}$  und höheren relativen Luftfeuchtigkeiten durchschnittlich noch bei  $> 50\%$  lag.

Im Sommer, in der ersten Phase der theoretischen Langzeittrockenphase von Nicht-Diapauseeiern, ist daher mit zunächst höheren Sterberaten zu rechnen, welche sich während der späteren Phase der Langzeittrockenphase durch die kühleren Wintertemperaturen verringern. Doch auch wenn Nicht-Diapauseeier eine nicht zu unterschätzende Kältetoleranz aufweisen, kommt es durch Temperaturen unter dem Gefrierpunkt sicher zu einer zusätzlichen Erhöhung der Sterberate.

Auch wenn es aufgrund der Datenlage nicht auszuschließen ist, dass trockengefallene Nicht-Diapauseeier erfolgreich bis in die nächste Reproduktionsperiode überleben, so dürfte der Anteil ein für die Populationsberechnung nicht relevantes Maß erreichen und sich vor allem auf am Ende der Nicht-Diapause-Eiablagephase abgelegte Eier beschränken.

Für die in Kapitel 3.3.1 beschriebene klimatische Etablierungseinschätzung erfolgt daher die Berechnung der im Frühjahr für den Erstlarvenschlupf zur Verfügung stehenden Eier weiterhin nur über die berechnete Anzahl der am Ende der Reproduktionsperiode des Vorjahres abgelegten Diapauseeier.

## 2.5 Versuch L1, L2 - Vergleich der Entwicklungsraten und Sterberaten der Larven zweier Laborstämme bei verschiedenen Temperaturen

### 2.5.1 Fragestellung

Für die Berechnung der Populationsentwicklung in der klimatischen Etablierungseinschätzung (Kapitel 3.3.3) wurden die benötigten thermalen Populationsparameter von *Aedes albopictus* aus einer zuvor angefertigten Dissertation (PLUSKOTA 2011) entnommen. Die Versuche in besagter Arbeit wurden jedoch an einem Zuchtstamm durchgeführt, welcher aus Freilandfängen in mediterranen Bereichen (Italien) aufgebaut wurde, die noch im klimatisch subtropischen Einflussbereich liegen.

Im vorliegenden Versuch sollte überprüft werden, inwieweit die Asiatische Tigermücke aufgrund ihrer hohen genetischen Plastizität das Potenzial besitzt, sich nach einer Einschleppung in Deutschland an die kühleren Bedingungen der gemäßigten Klimazone anzupassen. Dies würde eine Korrektur der vorhandenen thermalen Populationsparameter erfordern, um eine Fehlberechnung der klimatischen Etablierungseinschätzung zu verhindern.

Im Jahr 2015 wurde in Freiburg die erste größere Population der Asiatischen Tigermücke in Deutschland entdeckt, welche seit mindestens zwei, eventuell drei oder mehr Jahren, erfolgreich unter klimatisch gemäßigten Bedingungen brütet (KAMPEN ET AL. 2013, JÖST 2015 mdl. Mitt.). Anhand eines aus dieser Population aufgebauten Laborzuchtstammes sollte eine mögliche, genetisch fixierte Adaption an die kühleren Umweltbedingungen untersucht werden. Zum Vergleich diente ein zweiter, aus Freilandfängen in subtropischen Bereichen aufgebauter Laborstamm.

### 2.5.2 Material und Methoden

Um eine größeren Anzahl an Larven gleichzeitig zum Schlüpfen zu bringen, wurden mehrere dicht mit Eiern besetzte Eiablagestäbchen in eine Larvenaufzuchtsschale mit 2000 ml Standardaufzuchtswasser überführt. Als Schlupfreiz wurden einige Spatelspitzen einer Fischfutter-Bäckerhefemischung dem Wasser beigefügt. Nach einer Stunde wurde als zusätzlicher Schlupfreiz ca. 500 ml Standardaufzuchtswasser zügig beigemischt, welches zuvor auf etwa 10 °C abgekühlt wurde.

Nach insgesamt zwei Stunden erfolgte die Entnahme der Larven aus den Schlupfbeckern für die verschiedenen Versuchsreihen.

#### Versuch L1

Pro Temperaturstufe und Zuchtstamm wurden je sechs Larvenbecken mit 250 ml auf 25 °C vortemperiertem Standardaufzuchtswasser gefüllt, wodurch sich eine Wassertiefe von ca. 2,5 cm ergab. Aus den Schlupfbeckern wurde unter einer Lichtlupe mit Hilfe einer Plastikpipette von jedem Zuchtstamm für die Versuchsreihe „L1-25 °C“ jeweils 24 Larven (Larvendichte 0,096 Larve/ml) und für die Versuchsreihe „L1-20 °C“ jeweils 25 Larven pro Larvenbecken (Larvendichte 0,1 Larve/ml) überführt. Für die Versuchstemperatur 15 °C wurde die eingesetzte Larvenmenge auf 50 Larven pro Larvenbecken (Larvendichte 0,2 Larven/ml) erhöht. Dadurch sollte gewährleistet werden, dass trotz der zu erwartenden temperaturbedingten erhöhten Letalitäts-

rate eine für die Auswertung ausreichend hohe Anzahl an Individuen mit erfolgreich abgeschlossener Entwicklung zu Verfügung stehen.

Um größere Temperaturschwankungen während der Versuchsphase zu vermeiden, wurden die Versuchsbecken zum Schutz vor der Umluft der Klimaschränke in Sechsergruppen in großen Boxen platziert, welche mit einem Deckel verschlossen wurden. Die Belegung der Boxen mit den beiden Versuchsstämmen *ITALIEN* und *FREIBURG* erfolgte alternierend, sodass in jeder Box drei Versuchsbecken eines jeden Stammes vorhanden waren.

Die Boxen wurden zu Beginn der Temperaturphasen in entsprechend vortemperierte Klimaschränke überführt und bis zum Zeitpunkt der ersten Verpuppung in einem 24-Stunden-Rhythmus nach Standardzuchtbedingungen (s. Kapitel 3.2.1.3) gepflegt.

Mit dem Auftreten der ersten Puppen erfolgte die weitere Kontrolle der Versuchsbecken in einem 6-Stunden-Rhythmus, wobei die gewohnte Pflege weiterhin in einem 24-Stunden-Rhythmus durchgeführt wurde. Die Puppen wurden bei den Kontrollen aus den Aufzuchtbecken entnommen und in zur Hälfte mit Standardaufzuchtwasser gefüllte Schlupfdosen überführt. Als Schlupfhilfe wurden jeder Dose zwei Styroporstückchen beigefügt. Die Lagerung der Schlupfdosen erfolgte für alle Temperaturstufen bei Standardbedingungen (25 °C). Eine Überprüfung auf erfolgreich geschlüpfte Imagines erfolgte im 12-Stunden-Rhythmus.

## Versuch L2

Für den Versuch L2 erfolgte eine Aufzucht der Larven aus den Schlupfbecke bis zum zweiten Larvenstadium unter Standardbedingungen (s. Kapitel 3.2.1.3). Die Entnahme der Larven für den Versuch erfolgte, sobald sich mindestens die Hälfte der Larven in den Aufzuchtbecken im gewünschten Larvenstadium befand.

Pro Zuchtstamm wurden je sechs Larvenbecken mit 250 ml auf 25 °C vortemperiertem Standardaufzuchtwasser gefüllt, wodurch sich eine Wassertiefe von ca. 2,5 cm ergab. Aus den Schlupfbecke wurden unter einer Lichtlupe mit Hilfe einer Plastikpipette von jedem Zuchtstamm jeweils 30 Larven in die vorbereiteten Larvenbecken überführt. Nachdem eine Spatelspitze einer Futtermischung (s. Kapitel 3.2.1.3) jedem Larvenbecken beigefügt wurde, wurden diese in den schon bei Versuch L1 beschriebenen Boxen in gleicher Anordnung platziert.

Mit dem Beginn der Kühlphase wurden die Boxen in einen auf 5 °C vortemperierten Klimaschrank für 66 Stunden gestellt. Dies entsprach der Zeit, nach welcher eine etwa 40 – 70 %ige Sterberate auf entsprechender Temperaturstufe zu erwarten war (PLUSKOTA 2011).

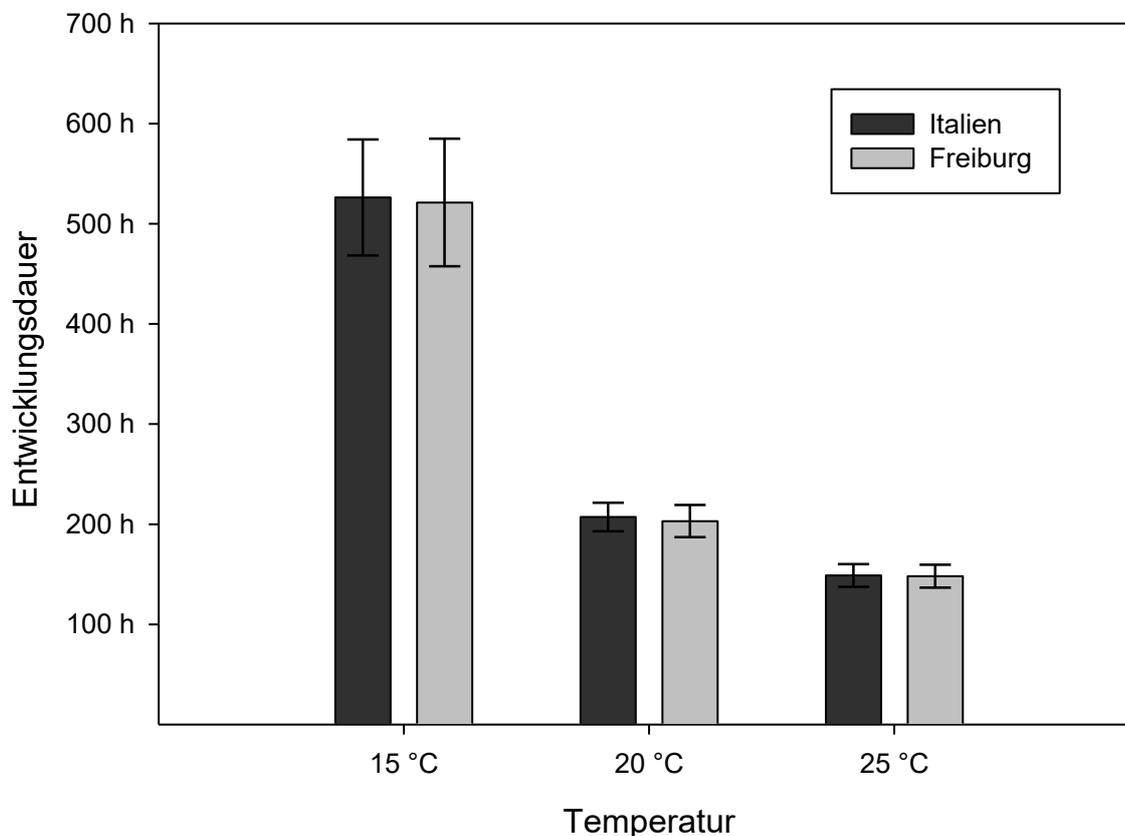
Nach dem Ende der Temperaturphase wurden die Larvenbecken samt Boxen zur weiteren Aufzucht auf 25 °C gestellt. Im 24-Stunden-Rhythmus erfolgten die Pflege nach Standardzuchtbedingungen und die Kontrolle auf Puppen.

Die Puppen wurden bei den Kontrollen aus den Aufzuchtbecken entnommen und in zur Hälfte mit Standardaufzuchtwasser gefüllte Schlupfdosen überführt. Als Schlupfhilfe wurden jeder Dose zwei Styroporstückchen beigefügt. Die Lagerung der Schlupfdosen erfolgte für alle Temperaturstufen bei Standardbedingungen (25 °C). Eine Überprüfung auf erfolgreich geschlüpfte Imagines erfolgte im 12-Stunden-Rhythmus.

### 2.5.3 Ergebnisse

#### Versuch L1

Die gemessenen durchschnittlichen Entwicklungszeiten der Larven bei kompletter Entwicklung bei verschiedenen Temperaturen zeigten lediglich einen signifikanten Unterschied ( $P < 0,001$ ) zwischen den verschiedenen Versuchstemperaturen. Dieser statistische Unterschied war jedoch unabhängig vom Laborstamm. Hingegen konnten bei den Entwicklungsgeschwindigkeiten der Larven beider Laborstämme bei allen Temperaturen keine statistischen Unterschiede festgestellt werden. So betrug selbst der größte gemessene Unterschied in der Entwicklungsdauer der Larven beider Stämme nur fünf Stunden, bei einer durchschnittlichen Entwicklungsdauer bei 15 °C von 526 h beim Stamm ITALIEN und 521 h beim Stamm FREIBURG (Abb. 12).

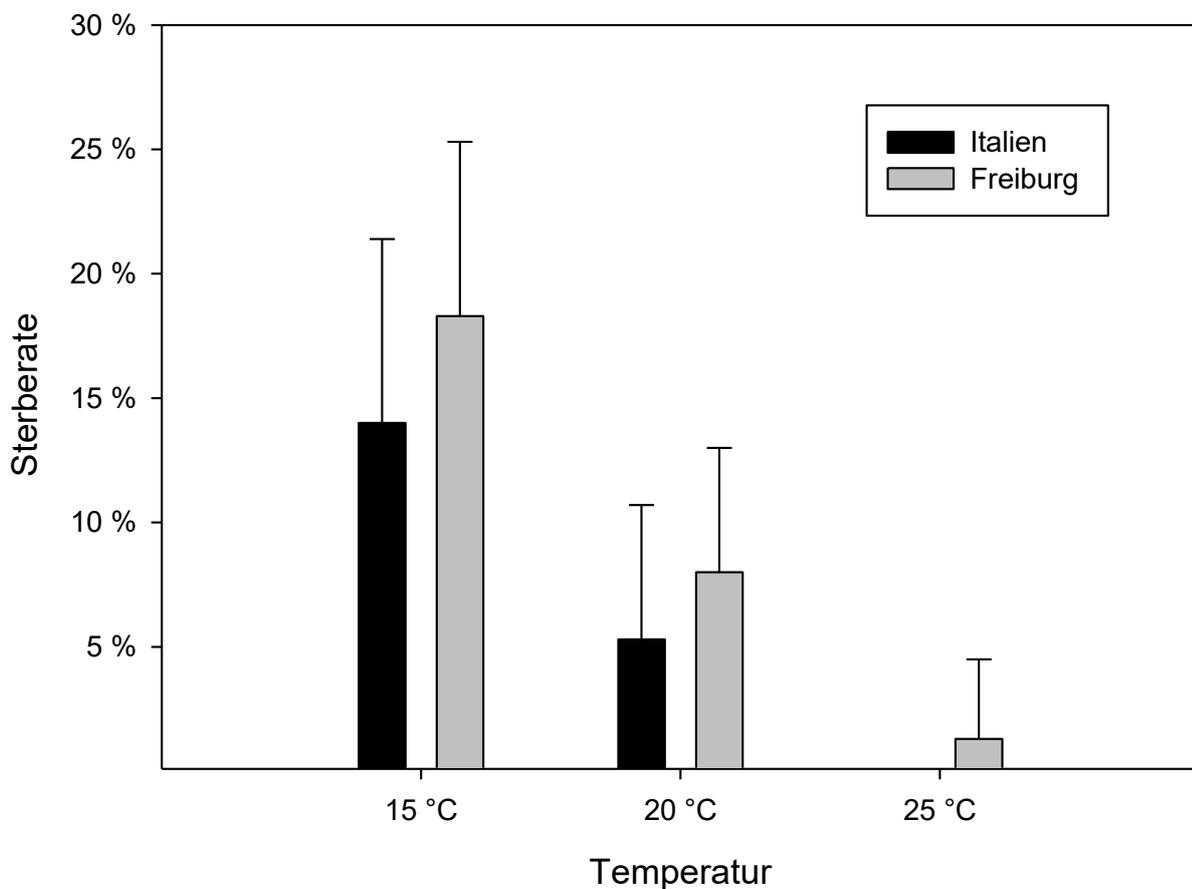


**Abbildung 12: Durchschnittliche Entwicklungsdauer der kompletten Larvenentwicklung beider Stämme bei verschiedenen Temperaturen.**

Auch bei den ermittelten durchschnittlichen Überlebens- bzw. Sterberaten bei kompletter Larvenentwicklung auf verschiedenen Temperaturen konnte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Laborstämmen festgestellt werden.

So starben bei einer kompletten Entwicklung von Erstlarve bis zur Verpuppung bei einer Temperatur von 15 °C rund 18,3 % ( $\pm 7$  %) der Individuen des Stammes FREIBURG und 14 % ( $\pm 7,4$  %) des Stammes ITALIEN. Auch bei einer kompletten Entwicklung bei einer Temperatur von 20 °C und 25 °C lag die Sterberate der Larven des FREIBURGER Stammes mit 2,7 % bzw. 1,3 % nur leicht über der des Stammes ITALIEN (Abb. 13).

Hingegen war, wie auch bei den ermittelten Entwicklungszeiten, ein statistischer Unterschied zwischen den Sterberaten der verschiedenen Temperaturstufen festzustellen. Dieser statistische Unterschied war jedoch wiederum unabhängig vom verwendeten Laborstamm.

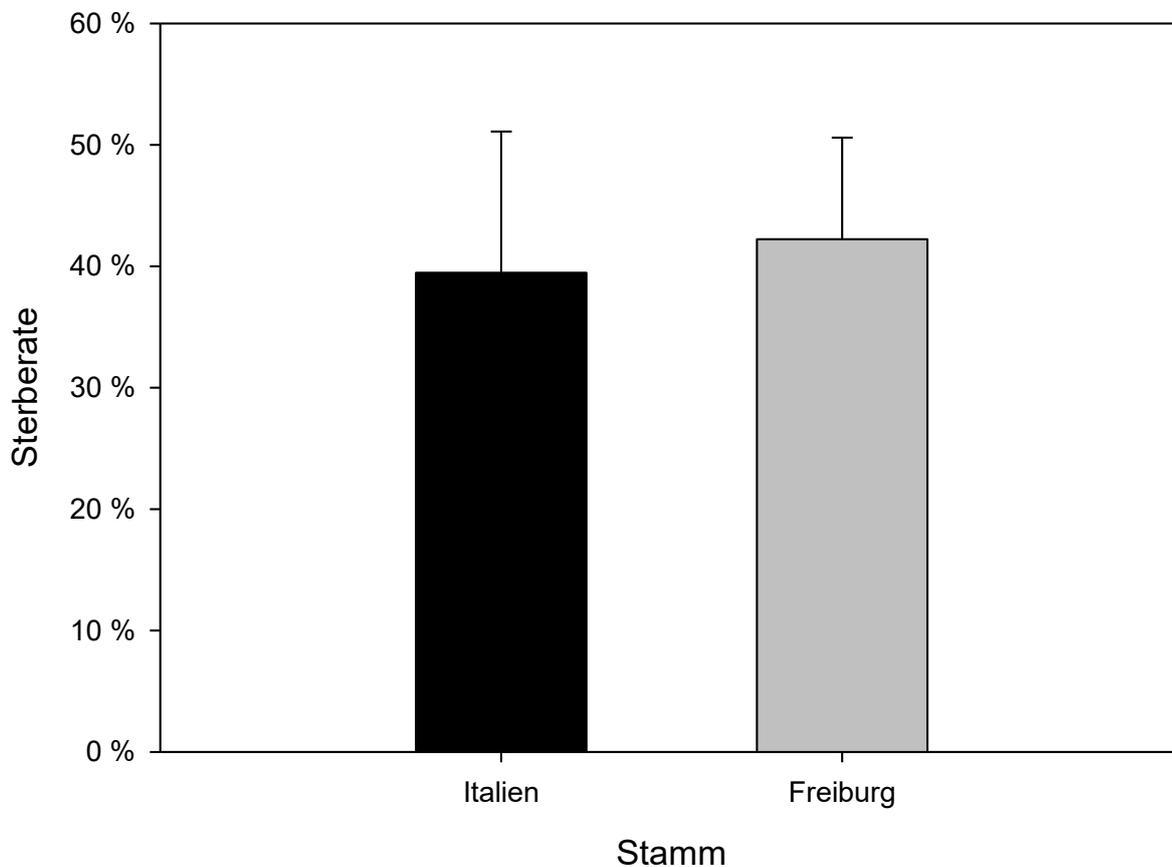


**Abbildung 13: Durchschnittliche Sterberaten von Larven beider Stämme bei kompletter Larvenentwicklung bei verschiedenen Temperaturen.**

### Versuch L2

Wurden Larven des Zweitlarvenstadiums beider Stämme einer 72-stündigen Kühlphase bei 5 °C ausgesetzt, waren die Unterschiede in den Überlebensraten sehr gering. So schafften es 39,4 % ( $\pm 11,6$  %) der verwendeten Larven des Stammes ITALIEN nicht, sich nach der Kühlphase bis zur flugfähigen Imago weiterzuent-

wickeln (Abb. 14). Nur geringfügig höher und statistisch nicht signifikant war dieser Anteil gestorbener oder fehlentwickelter Individuen mit 42,2 % ( $\pm 8,4$  %) beim Stamm FREIBURG.



**Abbildung 14: Durchschnittliche Sterberaten von Larven (2. Stadium) beider Stämme bei einer Kühlphase von 72 h bei 5 °C und anschließender Larvenentwicklung bei 25 °C.**

#### 2.5.4 Diskussion

Eine Anpassung an ungünstige Umweltbedingungen kann durch vorübergehende Akklimatisierung oder langfristige Adaption erfolgen. Dabei stellt eine Akklimatisierung lediglich die physiologischen Änderungen eines Individuums während einer Lebensspanne dar, welche durch geänderte Umweltbedingungen wieder direkt umkehrbar ist (ANDREWARTHA 1970). So zeigen z.B. die Eier der Asiatischen Tigermücke signifikant geringere Sterberaten bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunktes, wenn diese zuvor eine Akklimatisierungsphase auf moderat niedrigen Temperaturen durchliefen (HAWLEY et al. 1989; HANSON & CRAIG 1994). Hingegen wird bei einer Adaption die Anpassung an die neuen Umweltbedingungen genetisch fixiert und ist daher ebenfalls nur durch evolutionäre Prozesse umkehrbar (Andrewartha 1970). So besitzen wiederum die Eier der Asiatischen Tigermücke die Fähigkeit, sich langfristig an ungünstige Wintertemperaturen zu adaptieren. HAWLEY et al. (1989) gehen davon aus, dass die unterschiedlichen Stämme von *Aedes albopictus* in den USA einem gemeinsamen geographischen Ursprung entstammen und daher mit gleichem Überwinterungspotenzial ausgestattet sind. Die unterschiedliche Diapauseeier-Kälteresistenz der verschiedenen Stäm-

me erfolgte durch Adaption nach Ausbreitung in Gebiete mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (HAWLEY et al. 1989; TENG & APPERSON 2000).

Im vorliegenden Versuch sollte überprüft werden, inwieweit die ursprünglich tropische Art *Aedes albopictus* aufgrund ihrer großen genetischen Plastizität das Potenzial besitzt, sich nach einer erfolgreichen Einschleppung in Deutschland an die kühleren gemäßigten Klimabedingungen anzupassen. Dies würde eine Korrektur der verwendeten thermalen Populationsparameter erfordern, welche anhand von Versuchen an einem aus Italien stammenden Laborstamm gewonnen wurden. Aufgrund der in diesem Versuch ermittelten geringen Unterschiede der Entwicklungs- und Überlebensraten der Larven aus den beiden verschiedenen Zuchtstämmen scheint eine solche Adaption nicht stattgefunden zu haben. Eine Korrektur der vorhandenen thermalen Parameter für die klimatische Etablierungseinschätzung war nicht nötig.

Dass eine Adaption von Larven der Asiatischen Tigermücke an kühlere Temperaturbedingungen möglich ist, zeigten Laborversuche in Taiwan (Chang et al. 2007). Jedoch verwendeten die Autoren Laborstämme, deren Gründerindividuen aus (sub-)tropischen Bereichen des Freilands stammten und daher bislang einem nur geringen umweltbedingten Selektionsdruck unterlagen. So ist davon auszugehen, dass die verwendeten Laborstämme noch nicht im Grenzbereich ihrer physiologischen Reaktionsbreite waren und daher eine Anpassung möglich und letztendlich nachweisbar wurde.

Im vorliegenden Versuch wurden jedoch Laborstämme verglichen, welche aus Freilandfängen aus gemäßigten-subtropischen Bereichen in Italien und gemäßigten Bereichen in Süddeutschland erfolgten. So könnte es sein, dass die physiologisch mögliche Reaktionsbreite bzgl. der Überlebens- und Entwicklungsraten der aquatischen Lebensstadien der ursprünglich tropischen Art *Aedes albopictus* bereits im nördlichen Mittelmeerraum vollständig oder nahezu vollständig ausgeschöpft wird. Eine weitere Anpassung an die kühleren gemäßigten Klimabedingungen wäre dann nicht mehr oder nur noch geringfügig möglich bzw. nachweisbar. Ebenfalls wäre es möglich, dass ein umweltbedingter Selektionsdruck auf die Freiburger Freilandpopulation bisher nicht langfristig genug erfolgte. Es ist gesichert, dass zum Zeitpunkt der Freilandfänge für den Laborstamm FREIBURG die Asiatische Tigermücke im Bereich der Kleingartenanlage seit mindestens zwei Jahren in größerer Populationsdichte auftrat (JÖST 2015 mdl. Mitt.). Freilandfänge von *Aedes albopictus* im Jahr 2013 in der Nähe der Kleingartenanlage könnten darauf hinweisen, dass schon zu diesem Zeitpunkt die Population der Asiatischen Tigermücke innerhalb der Kleingärten bestand (KAMPEN et al. 2013), jedoch nicht entdeckt wurde. Eventuell war selbst ein Zeitraum von drei Jahren nicht ausreichend, um zu einer experimentell erfassbaren physiologischen Veränderung innerhalb der Freiburger Population zu führen.

Eine weitere Erklärung für eine scheinbar fehlende Adaption an die kühleren gemäßigten Witterungsbedingungen könnte eine starke genetische Verarmung der Freiburger Population sein. Aufgrund von Fallenfängen ist es äußerst wahrscheinlich, dass einzelne Weibchen über die Lkws des unmittelbar benachbarten Terminals des kombinierten Verkehrs nach Freiburg eingeschleppt wurden (FERSTL 2017). Der Aufbau einer Gründerpopulation mit nur wenigen einzelnen Individuen kann jedoch zum Verlust der genetischen Variabi-

lität und letztendlich zur Inzuchtdepression führen. Folgen einer solchen genetischen Verarmung können z.B. geringere Vitalität und Widerstandsfähigkeit gegen widrige Umweltbedingungen sein.

Betrachtet man alle Ergebnisse der Versuche E1, E2, E3, L1 und L2 gemeinsam, könnten diese eine mögliche Inzuchtdepression bzw. verringerte Vitalität des *FREIBURGER* Stammes andeuten. Wenn auch jeweils keine signifikanten Unterschiede zwischen den Überlebens- und Entwicklungsraten der Larven und Eier der beiden Stämme gefunden wurden, so konnten jedoch immer in den unterschiedlichen Versuchen bei den Individuen des Stammes *FREIBRUG* die geringeren Werte gemessen werden.

## 3 Darstellung des Programms

### 3.1 Software und Programmiersprachen

Das Informations- und Analyseprogramm „Kommunale Etablierungseinschätzung – *Aedes albopictus*“ ist eine clientseitige JavaScript-Anwendung, die ohne Installation und Netzwerkzugang lauffähig ist. Die Anwendung wurde bewusst in klassischem HTML und überwiegend funktional programmiertem JavaScript entworfen. Vorteile sind die Unabhängigkeit von extern eingebundenen Bibliotheken (Frameworks) und eine größtmögliche Kompatibilität mit Bürorechnern unterschiedlicher Baujahre.

Das Programm kann von beliebigen Datenträgern gestartet werden und ist auf allen gängigen Desktop-Betriebssystemen, wie z.B. Microsoft Windows, Apple OS und Linux-Distributionen lauffähig. Das Betriebssystem muss lediglich über einen Webbrowser (Internet-Browser) verfügen, der JavaScript ausführen darf. Bei allen Standard-Desktop-Betriebssystemen ist mindestens ein solches Programm vorhanden, z. B. Mozilla Firefox, MS Internet Explorer, Apple Safari, Opera. Die gesamte Berechnung der Etablierungseinschätzung findet auf dem Rechner des Anwenders innerhalb des Webbrowsers statt.

Die Anwendung nutzt zur Zwischenspeicherung von Daten den Speicher des jeweiligen Webbrowsers (Local Storage). Diese HTML5-Spezifikation wird von den gängigen Browsern (siehe oben) seit etwa 2009 unterstützt. Lediglich bei den verschiedenen Versionen des Webbrowsers Microsoft Internet Explorer ist bei der Offline-Anwendung eine Datenspeicherung innerhalb des Programmablaufs nicht möglich. Für diese Webbrowserarten steht eine Onlineversion der Anwendung „Kommunale Etablierungseinschätzung – *Aedes albopictus*“ zur Verfügung (siehe Kapitel 3.6).

Zur einwandfreien Nutzung des Programms und zur vollständigen Darstellung aller Inhalte muss dem verwendeten Webbrowser das Ausführen von JavaScript erlaubt sein. Diese Einstellung ist bei den neueren Browserversionen nach der Installation standardmäßig aktiviert. Nachträglich installierte Browsererweiterungen, mit welchen das Ausführen von Skripten vorübergehend blockiert werden kann (z. B. NoScript), müssen während der Anwendung des Programms deaktiviert werden.

### 3.2 Inhalt

Das gesamte Programm ist in die beiden Hauptbereiche „*Etablierungseinschätzung*“ und „*Informationen*“ aufgeteilt. Der Informationsbereich ist weiterhin unterteilt in die Bereiche „*Allgemeine Informationen*“, „*Informationsmaterialien*“ und „*Bestimmungshilfe*“.

Im Bereich „*Allgemeine Informationen*“ werden fachlich fundierte Informationstexte über die Asiatische Tigermücke, die möglichen Einschleppungswege, die potenziellen Brutstätten und die Bekämpfung der Art bereitgestellt. Diese Texte dienen nicht nur als allgemeine Grundinformationen zur Thematik *Aedes albopictus*, sondern können auch zum einfacheren Erstellen eigener fachlich korrekter Beiträge (z.B. Pressemitteilungen, Infomaterialien, Präsentationen, etc.) herangezogen werden.

Im Bereich „*Informationsmaterialien*“ stehen Handzettelvorlagen für Bürger oder betroffene Firmen und Bildmaterialien zum Erstellen eigener Beiträge (z.B. Pressemitteilungen, Handzettel, Präsentationen, etc.) zur freien Verfügung. Die bereitgestellten Bildmaterialien aus den Themenbereichen „*Aedes albopictus*“, „*Äußerlich ähnliche Arten*“, „*Brutstätten*“ (Abb. 15), „*Brutstättenhandling*“ und „*Einschleppungswege*“ sind mit kleinen Begleittexten versehen, welche das Erstellen eigener Infomaterialien erleichtern. Ebenfalls wird für die bessere Planung des Layouts beim Erstellen von Infomaterialien auf der Beschreibungsseite der zur Verfügung stehenden Bildmaterialien die maximale Druckgröße bei einer Druckpunktdichte von 300 dpi angegeben.

Im letzten Informationsbereich werden einfache „*Bestimmungshilfen*“ für verschiedene Lebensstadien angeboten, welche auch dem ungeübten Laien das Erkennen der Asiatischen Tigermücke erleichtern.

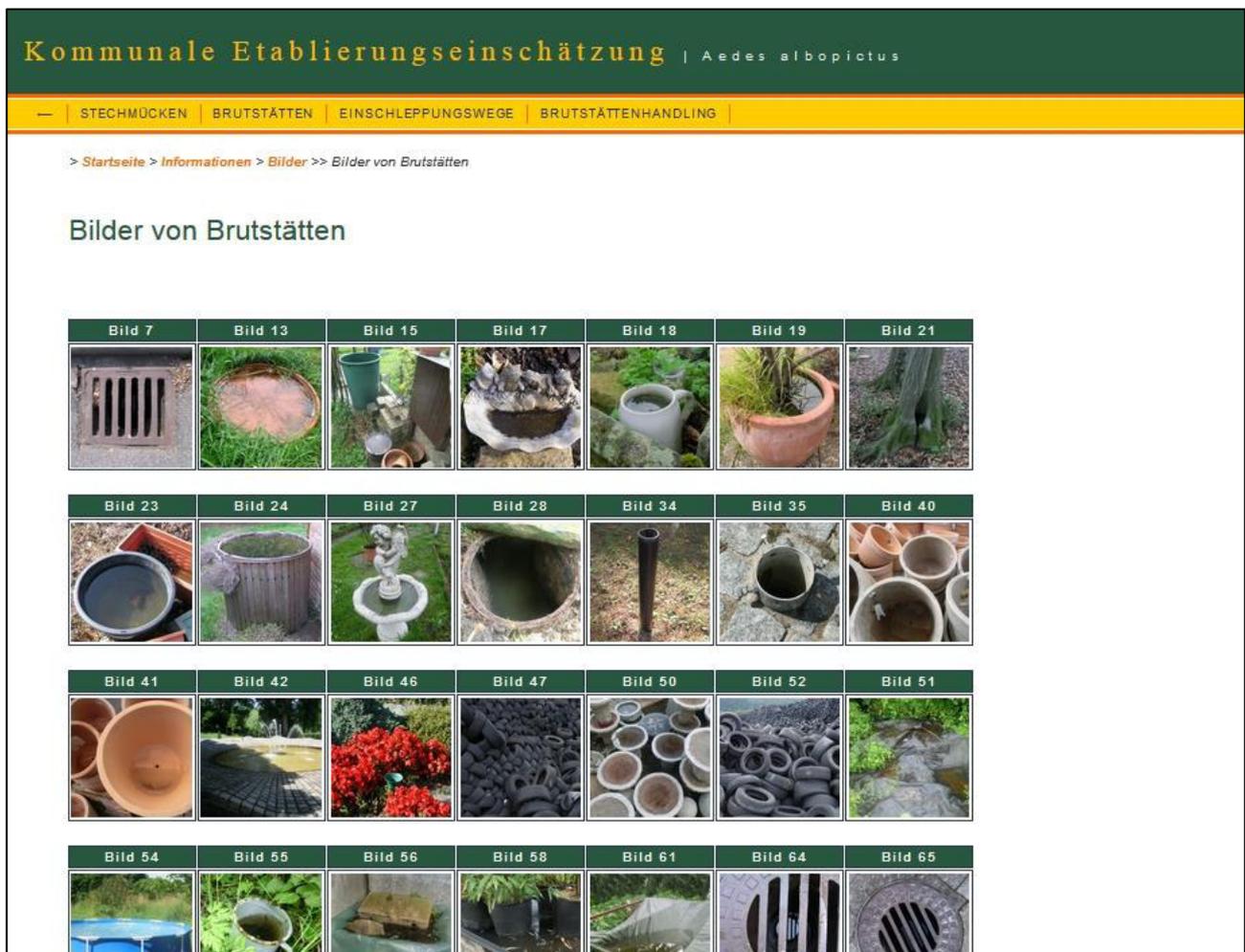


Abbildung 15: Ausschnitt der Seite Bildübersicht „*Brutstätten*“ im Bereich „*Informationsmaterialien*“.

### 3.3 Klimatische Etablierungseinschätzung

#### 3.3.1 Allgemein

Aufgrund der raschen Ausbreitung und der Vektorkompetenz von *Aedes albopictus* wurden in den letzten Jahren viele Modelle entwickelt, um das Verbreitungspotenzial der Art zu bestimmen. Die meisten Modelle schätzen die Ausbreitungsgrenzen auf der Basis von klimatischen Kenngrößen ein. Hierfür werden z.B. Monats- und Jahresdurchschnittswerte aus langfristigen Referenzzeiträumen herangezogen, welche für die meisten Länder leicht verfügbar sind. Die maßgebenden Grenzparameter der verwendeten klimatischen Kenngrößen werden von den aus dem Freiland bekannten Ausbreitungsgrenzen von *Aedes albopictus* übernommen und mit den vorherrschenden klimatischen Bedingungen von bisher unbesiedeltem Gebiet verglichen. Diese Modelle gehen davon aus, dass die Populationsentwicklung an verschiedenen Orten mit gleichen Grenzparametern der klimatischen Kenngröße identisch verläuft. Zur Erstellung von Risikokarten werden dabei nur wenige klimatische Kenngrößen auf große Gebiete interpoliert. Die Genauigkeit solcher generalisierten Modelle ist letztendlich stark davon abhängig, wie exakt die jeweiligen Kenngrößen die populationsökologisch relevanten klimatologischen Verhältnisse widerspiegeln. Wird der Einfluss von bestimmten klimatischen Kenngrößen auf die Populationsdynamik der Asiatischen Tigermücke über- oder unterschätzt, führt dies zwangsläufig zu einer Fehlinterpretation des Verbreitungspotenzials der Art.

So ist eine weitverbreitete Annahme, dass die nördliche Ausbreitung von *Aedes albopictus* hauptsächlich durch Wintertemperaturen bestimmt wird und die Sommertemperaturen lediglich modifizierenden Einfluss haben. Dass dies nicht prinzipiell zutrifft, konnte bereits in einer früheren Arbeit zur thermalen Ökologie der Asiatischen Tigermücke aufgezeigt werden (PLUSKOTA 2011). Aufgrund dieser Arbeit ist davon auszugehen, dass die hauptlimitierende klimatische Einflussgröße an der nördlichsten Ausbreitungsgrenze der Art von dem jeweiligen Grad der Kontinentalität abhängt.

Daher stellen für das noch unter leicht maritimem Einfluss liegende Deutschland die Sommertemperaturen die hauptlimitierende klimatische Einflussgröße dar, wohingegen die Temperaturen während der Wintermonate nur modifizierend auf die Populationsentwicklung Einfluss nehmen. Das enorme Überwinterungspotenzial der Asiatischen Tigermücke konnte auch innerhalb des hier vorliegenden Projektes aufgezeigt werden (Versuch E1). Aufgrund des thermalen Profils der Asiatischen Tigermücke ist davon auszugehen, dass als klimatischer Minimumparameter eine Durchschnittstemperatur von mindestens 19 °C während der drei wärmsten Sommermonate geeignet ist, um das potentielle Verbreitungsgebiet der Art in Deutschland einzugrenzen (PLUSKOTA 2011).

Um für einen bestimmten Ort eine genaue Aussage über die zu erwartende maximale Populationsgröße von *Aedes albopictus* und das daraus resultierende Infektions- und Belästigungspotenzial machen zu können, sind jedoch exakte Berechnungen einer längerfristigen Populationsentwicklung anhand der täglichen Minimum-, Maximum- und Mitteltemperaturen mehrerer Jahre nötig. Aufgrund der großen Anzahl an thermalen Populationsparametern der verschiedenen Lebensstadien, welche über mehrere Jahre täglich mit den klimatischen

Bedingungen verrechnet werden, ergibt sich aufgrund der umfangreichen Datenmenge ein großer Berechnungsaufwand zur Beurteilung der Populationsdynamik eines jeden zu betrachtenden Ortes.

Die Beurteilung des Etablierungspotenzials aufgrund klimatischer Bedingungen innerhalb des hier beschriebenen Programmes "Kommunale Etablierungseinschätzung - *Aedes albopictus*" erfolgt auf der Basis solcher umfangreichen Berechnungen der täglichen Populationsdynamik.

### 3.3.2 Berechnung der Populationsentwicklung

Für die Berechnung der klimatischen Etablierungseinschätzung werden die täglichen Maximum- und Minimumtemperaturen von mindestens fünf aufeinander folgenden Jahren benötigt. Diese Klimadaten müssen im CSV-Format (comma-separated values) vorliegen. Der Deutsche Wetterdienst ([www.dwd.de](http://www.dwd.de)) bietet über seine ftp-Server einen freien Zugang zu Klimadaten im CSV-Format von deutschlandweit über 1000 Messstationen. Sollen eigene, z. B. von privaten Klimastationen ermittelte Klimadaten verwendet werden, muss die vom Deutschen Wetterdienst verwendete Syntax der Klimadaten eingehalten werden. Das Programm zur klimatischen Etablierungseinschätzung stellt hierfür leere Dateivorlagen bereit, in welche die privaten Klimadaten eingearbeitet werden können.

Die Klimadaten werden über ein XMLHttpRequest von der lokalen Domain eingelesen, mit regulären Ausdrücken gefiltert und aufbereitet, um dann in ein Array überführt zu werden. Dieses Klimaarray bildet mit dem Entwicklungsmodell, das die entwicklungsrelevanten Populationsparameter enthält, und dem Kohorten-Array die Grundlage zur modellhaften Populationsentwicklung.

Die genaue Berechnung der Populationsentwicklung erfolgt auf der Basis von dynamischen Kohorten-Lebenstafeln. Hierbei wird der Lebenslauf von allen Larven, welche an einem bestimmten Tag geschlüpft sind (Kohorte), gemeinsam über die verschiedenen Entwicklungsstadien hinweg bis zum Tod verfolgt (Abb. 16). Alle vorhandenen Kohorten durchlaufen zusammengefasst im Kohorten-Array die tägliche Berechnung der temperaturabhängigen Überlebens- und Entwicklungsraten aller Entwicklungsstadien. Der Entwicklungszyklus einer Kohorte beginnt mit der taggleichen Eiablage und endet, wenn in allen Entwicklungsstadien die Anzahl Null erreicht worden ist. Die einzelnen Entwicklungsformen haben immer mindestens die Eigenschaften Anzahl, Entwicklungsgrad und Datum des ersten Auftretens. Darüber hinaus besitzen die Imagines noch weitere Eigenschaften, wie z.B. Dauer und Sterberaten der Ei-Entwicklung (Oogenese) und Anzahl der Eigelege.

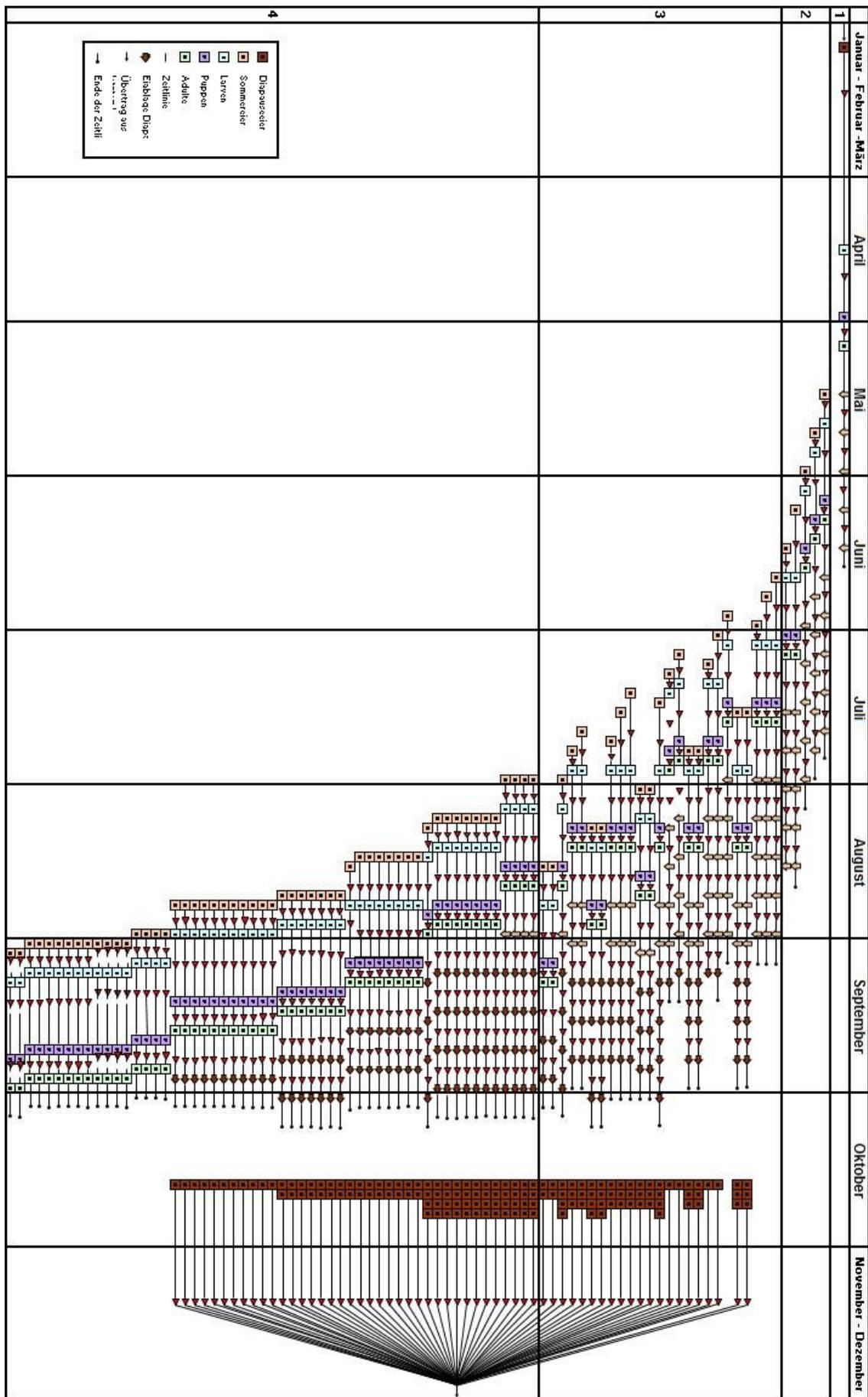


Abbildung 16: Beispielhaft skizzierte Kohorten-Lebenstafel als Vorlage zur Erstellung der Populations-Berechnungsmatrix der klimatischen Etablierungseinschätzung.

Zur Berechnung der Entwicklungsdauer der verschiedenen Lebensstadien wird innerhalb der klimatischen Etablierungseinschätzung das Gradtage-Modell angewendet, welches auf dem Konzept der thermalen Summe beruht. Dieses hat den Vorteil der Einfachheit, benötigt wenige Temperaturdaten und führt trotzdem in einem nicht zu extremen Temperaturbereich zu akzeptablen Daten (WALGAMA & ZALUCKI 2006). Das Konzept der thermalen Summe geht davon aus, dass das Produkt der physiologisch wirksamen bzw. effektiven Temperatur und der benötigten Entwicklungszeit immer gleich ist. So können sich effektive Temperaturen oberhalb eines Entwicklungsnullpunktes aufsummieren, bis die zur Vollendung der entsprechenden Entwicklungsphase benötigte Temperatursumme erreicht ist. Dabei ist es egal, ob es sich um konstante Temperaturen oder fluktuierende Temperaturen um einen Mittelwert handelt (CAMPBELL et al. 1974; RATTE 1985).

Als klimatische Einflussgröße werden für die Berechnung der Populationsentwicklung lediglich die Temperaturen berücksichtigt. Diese stellen den wichtigsten abiotischen Faktor dar, welcher die endgültigen Ausbreitungsgrenzen von Schädlingen und Vektoren beeinflusst (ANDREWARTHA 1970). Durch die Nutzung von temporär gefluteten Larvenbrutstätten ist die Verbreitung von *Aedes albopictus* auch stark von ausreichenden Niederschlägen abhängig. In Deutschland sind jedoch Niederschläge aufgrund der für *Aedes albopictus* insgesamt ausreichenden jährlichen Niederschlagsmengen (MITCHELL 1995, PLUSKOTA 2011), den niederschlagsreichen Sommermonaten (LIEDTKE & MARCINEK 2002, MÜLLER-WESTERMEIER & ROCZNIK 2006) und der prinzipiell im Bereich menschlicher Siedlung großen Anzahl an künstlich bewässerten Brutstätten (MOORE 1999; PAUPY et al. 2001) nicht als limitierender Faktor anzusehen. Diese klimatische Einflussgröße wird daher innerhalb der klimatischen Etablierungseinschätzung nicht berücksichtigt. Durch die zeitliche Verteilung von Niederschlägen kommt es zu regelmäßigen Wasserstandsschwankungen innerhalb von Brutstätten. Diese Wasserstandsschwankungen lösen beim Überfluten der an den Seitenwänden der Brutstätte angehefteten Eier den Schlupf der Larven von *Aedes albopictus* aus. Dieser Einfluss der Niederschläge auf die Populationsdynamik der Asiatischen Tigermücke betrifft jedoch nur einen Teil der gesamten Population. So kommt es durch menschliche Aktivität vor allem in den bedeutenden Massenbrutstätten zu regelmäßigen künstlichen Wasserstandsschwankungen. Weiterhin legen die Weibchen der Asiatischen Tigermücke zwischen 10 % bis 25 % ihrer Eier direkt in den Oberflächenwasserfilm der Wasseroberfläche am Rande der Brutstätte (HAWLEY 1988, PLUSKOTA 2011). Im Berechnungsmodell der klimatischen Etablierungseinschätzung wird daher davon ausgegangen, dass nach abgeschlossener Embryonalentwicklung und Temperaturen über dem Schwellenwert des Larvenschlupfes, es innerhalb eines Tages zum Schlupf aller vitalen Eier kommt. Dies entspricht dem Grundansatz des Berechnungsmodelles, bei welchem die Populationsentwicklung unter den bestmöglichen Bedingungen berechnet wird, um eine Unterschätzung des Etablierungspotenzials zu vermeiden. Nach diesem Grundansatz wurden auch die zur Berechnung der Populationsentwicklung herangezogenen populationsökologischen Parameter zuvor im Labor ermittelt (PLUSKOTA 2011). Das Ergebnis der klimatologischen Etablierungseinschätzung kann daher als die bestmögliche Populationsentwicklung für den jeweiligen betrachteten Bereich angenommen werden.

### 3.3.3 Einschätzung des Etablierungspotenzials aufgrund der aktuellen und zukünftigen klimatischen Bedingungen

Für die Einschätzung des aktuellen klimatischen Etablierungspotenzials der Asiatischen Tigermücke (**Gegenwart-Modell**) werden die klimatischen Bedingungen der Jahre von 1991 bis 2016 herangezogen. Die Berechnung der Populationsentwicklung erfolgt dabei über einen 7-jährigen Modellzeitraum. Dieser wird aus 28 Einzelzeiträumen (Jahreszeiten) des Zeitraumes von 1991 bis 2016 zusammengesetzt, welche in etwa den jeweiligen aktuellen durchschnittlichen klimatischen Bedingungen entsprechen. Durch das Programm erfolgt daher zunächst eine Berechnung der durchschnittlichen bzw. langfristigen Populationsentwicklung an einem bestimmten Ort. Die berechnete Populationsentwicklung bzw. das geschätzte Etablierungspotenzial ist daher als Tendenz über mehrere Jahre zu betrachten. In Jahren mit deutlich vom Durchschnittswert abweichenden klimatischen Bedingungen kann die tatsächliche Populationsentwicklung von der geschätzten Entwicklung abweichen.

Auf der Basis der berechneten Populationsentwicklung werden die klimatischen Bedingungen des untersuchten Bereiches bezüglich der Überwinterung der Asiatischen Tigermücke, der Reproduktionsperiode sowie des gesamten Kalenderjahres in folgende sieben Kategorien eingeordnet:

- optimal
- eher optimal
- suboptimal bis optimal
- suboptimal
- suboptimal bis pessimal
- eher pessimal
- pessimal

In der Auswertung der klimatischen Etablierungseinschätzung wird das berechnete Ergebnis zur Veranschaulichung in grafischer Form dargestellt (Abb. 17). Weiterhin werden Informationen über die zu erwartenden Populationsstärken, die Ausbreitungstendenzen und die Etablierungswahrscheinlichkeit in allgemein verständlicher Form als Text bereitgestellt.



**Abbildung 17: Ausschnitt der Auswertungsseite der klimatischen Etablierungseinschätzung**

Inwieweit eine Etablierung der Asiatischen Tigermücke in den untersuchten Bereichen möglich ist, kann nur in den beiden äußersten Temperaturextrembereichen (optimal und pessimal) mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit bejaht bzw. verneint werden. Mit zunehmend suboptimalen klimatischen Bedingungen ist das berechnete Ergebnis als Tendenz über mehrere Jahre zu betrachten. So kann es in Jahren mit deutlich vom Durchschnittswert abweichenden klimatischen Bedingungen zu deutlichen Abweichungen der berechneten Populationsentwicklung kommen. Ebenfalls ist zu beachten, dass urbane Prozesse in vorstädtischen und städtischen Bereichen die Temperaturen gegenüber dem ländlichen Umfeld deutlich erhöhen können (BARRY & CHORLEY 1968). So ist je nach Lage der Klimastation, von welcher die verwendeten Klimadaten erfasst wurden, eine leichte Abweichung gegenüber entsprechend mehr oder weniger urban ausgeprägten Bereichen möglich.

Diese möglichen Abweichungen werden innerhalb der Auswertung der klimatischen Etablierungseinschätzung berücksichtigt, indem zusätzlich Informationen über die maximal zu erwartende Populationsdichte in überdurchschnittlich warmen Jahren oder innerhalb von Wärmeinseln bereitgestellt werden.

Innerhalb des **Zukunfts-Modells** erfolgt eine komplette Neuberechnung der Populationsentwicklung unter den zukünftigen klimatischen Bedingungen in ca. 30 Jahren. Hierfür wird von einem durchschnittlichen Temperaturanstieg von 1 °C ausgegangen, wie er bei Klimaprojektionen selbst unter optimalem Klimaschutz-Szenario vor allem im Süddeutschen Raum wahrscheinlich ist (DWD 2016). Um den mesoklimatischen Besonderheiten der verschiedenen Bereiche in Südwestdeutschland Rechnung zu tragen, war zunächst

geplant, für die Berechnung des Zukunftsmodells Klimadaten aus überdurchschnittlich etwa 1 °C ( $\pm 0,3$  °C) wärmeren Einzelzeiträumen der jeweiligen Bereiche auszulesen. Leider zeigte sich in den ersten Testläufen, dass nicht in allen Bereichen bzw. an allen Klimastationen ausreichend viele überdurchschnittliche warme Einzelzeiträume verfügbar waren, um für die tendenzielle Berechnung einen Modellzeitraum von mindestens fünf Jahren zu gewährleisten. Daher werden für die Berechnung des Zukunftsmodells der Modellzeitraum des Gegenwartsmodells, bestehend aus 28 Einzelzeiträumen, herangezogen und die eingelesenen Tagestemperaturwerte um 1 °C angehoben. Die Auswahl der Einzelzeiträume erfolgte unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen in Südwestdeutschland. Außerhalb von Baden-Württemberg bzw. mit zunehmender Entfernung des zu untersuchenden Bereiches zu Südwestdeutschland kann es zu mehr oder weniger großen Abweichungen bei der Etablierungseinschätzung kommen. Dies gilt insbesondere für das Ergebnis des Zukunftsmodells, da es zu regional unterschiedlicher Ausprägung des voranschreitenden Klimawandels in Deutschland kommt (RAPP 2002).

Die Auswertung des Zukunftsmodells erfolgt entsprechend des Gegenwartsmodells zur Veranschaulichung in grafischer Form und als ausführlicher Text, in welchem Informationen über die zu erwartenden Populationsstärken, die Ausbreitungstendenzen, die Etablierungswahrscheinlichkeit und die maximal zu erwartende Populationsdichte in überdurchschnittlich warmen Jahren oder innerhalb von Wärmeinseln bereitgestellt werden.

### 3.4 Infrastrukturelle Etablierungseinschätzung

Innerhalb der infrastrukturellen Etablierungseinschätzung ist es möglich, das individuelle Einschleppungs- und Etablierungspotenzial einer Gemeinde aufgrund der vorhandenen infrastrukturellen Gegebenheiten einzuschätzen. Selbst bei optimalen klimatischen Bedingungen ist eine erfolgreiche Etablierung der Asiatischen Tigermücke nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich.

#### 3.4.1 Einschleppungspotenzial

Für den erfolgreichen Aufbau einer kleinen Gründerpopulation der Asiatischen Tigermücke muss zunächst eine Einschleppung mehrerer Individuen innerhalb einer begrenzten Zeitspanne und eines ebenfalls begrenzten Bereiches erfolgen. Vor allem über größere Distanz ist die Verschleppung von zahlreichen Eiern innerhalb von Handelswaren bzw. künstlichen Brutstätten (z.B. Altireifen) die typische Verschleppungsart, welche sehr schnell zur erfolgreichen Etablierung von *Aedes albopictus* in neuen, bisher unbesiedelten Gebieten führen kann.

Aufgrund der sehr umfangreichen Populationen im Mittelmeerraum in nicht allzu großer Entfernung besteht für Deutschland und vor allem für Baden-Württemberg zusätzlich die Möglichkeit einer Verschleppung von einzelnen Weibchen, welche im Ursprungsland auf der Suche nach einer Blutmahlzeit in verschiedenartige Fahrzeuge und Frachteinheiten geraten sind. Vor allem an Knotenpunkten der Verkehrs- und Frachtwege

kann es zu regelmäßigen Einschleppungsereignissen innerhalb kleinräumiger Bereiche und dadurch zum erfolgreichen Aufbau kleiner Gründerpopulationen kommen.

Wie die Monitoringergebnisse der letzten Jahre zeigten, ist hierbei die Einschleppungsfrequenz und die Anzahl der eventuell verschleppten Individuen von zahlreichen infrastrukturellen Faktoren abhängig. Daher wird innerhalb der infrastrukturellen Etablierungseinschätzung nach der Abfrage der Flächengröße des zu untersuchenden Gebietes vom Programm sequentiell die für die Asiatische Tigermücke einschleppungsrelevante Infrastruktur abgefragt (Abb. 18).

Dabei handelt es sich vor allem um Betriebe aus bestimmten industriellen und gewerblichen Branchen, wie z.B. Flughäfen, Speditionen, Reifenhändler, Busunternehmer und Campingplätze. Aufgrund der aktuellen Situation ist ebenfalls die Entfernung zu den nächsten bekannten Populationen im Nahbereich von Baden-Württemberg von großer Bedeutung. Sind entsprechende Betriebe, Bereiche oder benachbarte Populationen vorhanden, werden weitere einschleppungsrelevante Eigenschaften des jeweiligen potenziellen Einschleppungsorts abgefragt.

Kommunale Etablierungseinschätzung | *Aedes albopictus*

— KLIMATISCHE ETABLIERUNGSEINSCHÄTZUNG | INFRASTRUKTURELLE ETABLIERUNGSEINSCHÄTZUNG | HILFE

> Startseite > Etablierungseinschätzung Übersicht >> Infrastrukturelle Etablierungseinschätzung

### Terminal des kombinierten Verkehrs

+ Zusätzliche Informationen

Keine Terminals des kombinierten Verkehrs vorhanden

Bearbeitung überspringen

1) Transportmodus

Unbekannt

Begleiteter Verkehr

Unbegleiteter Verkehr

Beide Transportvarianten

2) Direktverbindung mit *Aedes albopictus*-Verbreitungsländern

Unbekannt

Ja

Nein

Werte übertragen

Abbildung 18: Ausschnitt der Abfrageseite „Terminal Kombiverkehr“ im Bereich Einschleppungswege innerhalb der infrastrukturellen Etablierungseinschätzung.

Die Auswahl der potenziellen Einschleppungsorte und der späteren modifizierenden Fragen ist prinzipiell auf die Situation des Bundeslands Baden-Württemberg zugeschnitten. So werden in der infrastrukturellen Etablierungseinschätzung z.B. keine Seehandelshäfen, sondern lediglich Binnenhandelshäfen als potenzielle

Einschleppungsorte abgefragt und die Modifizierung des Einschleppungspotenzials über die aus Italien kommenden Hauptverkehrsstraßenrouten ist nur bis zur nördlichen Landesgrenze Baden-Württembergs möglich.

### 3.4.2 Brutstättenangebot

Neben der Frequenz und der Anzahl der eingeschleppten Individuen hat ebenfalls das Brutstättenangebot im Nahbereich der potenziellen Einschleppungsorte einen bedeutenden Einfluss auf den erfolgreichen Aufbau kleiner Gründerpopulationen und somit auf eine mögliche erfolgreiche Etablierung der Asiatischen Tigermücke. Als containerbrütende Stechmückenart ist *Aedes albopictus* auf temporär geflutete Larvenbrutstätten angewiesen. Dabei besitzt die Art eine enorme Fähigkeit selbst kleinste Wasseransammlungen als Brutstätte zu nutzen. Als "Kulturfolger" stehen *Aedes albopictus* im Bereich von menschlichen Siedlungen immer einige Brutstätten zur Verfügung. Nur in komplett müllfreien und baumlosen Brach- und Agrarflächen wird die Asiatische Tigermücke keinerlei Brutstätten vorfinden.

Im Umfeld von etablierten größeren Populationen der Asiatischen Tigermücken wandert die Art aufgrund der hohen Individuendichte auch in Bereiche mit sehr geringem Brutstättenangebot ein und kann dann auch dort die verfügbaren wenigen Brutstätten nutzen. In bisher unbesiedeltem Gebiet ist nach einer erfolgten Einschleppung für einen raschen und erfolgreichen Aufbau einer komplett neuen Gründerpopulation jedoch ebenfalls ein ausreichendes Brutstättenangebot vonnöten. Dies trifft insbesondere für die Bereiche der nördlichsten Ausbreitungsgrenze zu, in denen die Art wie in Deutschland klimatisch grenzwertige Bedingungen vorfindet.

Für die kommunale Etablierungseinschätzung wird von einem grundsätzlich vorhandenen, latenten Brutstättenangebot ausgegangen, welches jedoch nicht als optimal für eine sichere Neubesiedelung bzw. den raschen Aufbau und die Ausdehnung einer Gründerpopulation angesehen werden kann.

Innerhalb der infrastrukturellen Etablierungseinschätzung werden daher die typischen innerhalb von Kommunen zu findenden Massenbrutstätten abgefragt und der Umfang des Brutstättenangebotes analysiert. Diese Faktoren haben maßgeblichen Einfluss auf das Etablierungspotenzial und auch auf die nach einer erfolgreichen Etablierung zu erwartende Populations- bzw. Individuendichte von *Aedes albopictus* in der betroffenen Kommune.

### 3.4.3 Räumlicher Bezug der Einschleppungsorte und Massenbrutstätten

Die Asiatische Tigermücke gilt als schlechter Flieger, welcher sich meist in Bodennähe aufhält, stärkere Winde meidet und nur geringe Flugdistanzen zurücklegt. Daher spielt die Entfernung zwischen den Bereichen mit größeren Brutstättenvorkommen und der potenziellen Einschleppungsorte eine wichtige Rolle bei der Beurteilung des gesamten Etablierungspotenzials. Innerhalb der Infrastrukturellen Etablierungseinschätzung wird vom Programm vor der abschließenden Analyse der räumliche Bezug der zuvor angegebenen

einzelnen Massenbrutstätten und Einschleppungsorte abgefragt (Abb. 19). Hierfür stehen die vier Entfernungsbereiche „< 100 m“, „100 – 300 m“, „300 – 900 m“ und „> 900 m“ zur Verfügung. Diese Raumbereichsangaben werden anschließend vom Programm mit der am Anfang der infrastrukturellen Etablierungseinschätzung angegebenen Flächengröße des zu analysierenden Gebietes und den jeweiligen Wertigkeiten der angegebenen und modifizierten Einschleppungsorte und Brutstätten kombiniert und verrechnet.

**Kommunale Etablierungseinschätzung** | *Aedes albopictus*

— | KLIMATISCHE ETABLIERUNGSEINSCHÄTZUNG | INFRASTRUKTURELLE ETABLIERUNGSEINSCHÄTZUNG | HILFE |

> Startseite > Etablierungseinschätzung Übersicht >> Infrastrukturelle Etablierungseinschätzung

### Räumlicher Bezug der Einschleppungswege und Brutstätten

Zusätzliche Informationen ▾  
Wichtiger Hinweis ▾

---

**Raststätte**

Entfernung zu Brutstätte	<100 m	100-300 m	300-900 m	>900 m
Friedhof	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kleingartenanlage	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kleingartenanlage 2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

---

**Wohnmobilstellplatz**

Entfernung zu Brutstätte	<100 m	100-300 m	300-900 m	>900 m
Friedhof	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kleingartenanlage	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kleingartenanlage 2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

**Abbildung 19:** Ausschnitt der Abfrageseite „Räumlicher Bezug“ innerhalb der infrastrukturellen Etablierungseinschätzung.

### 3.4.4 Auswertung

Für die abschließende Auswertung wird zunächst das Einschleppungspotenzial, das Brutstättenangebot und das Etablierungspotenzial für das gesamte zu analysierende Gebiet angegeben und über Farbskalen visualisiert (Abb. 20).

Kommunale Etablierungseinschätzung | *Aedes albopictus*

— KLIMATISCHE ETABLIERUNGSEINSCHÄTZUNG | INFRASTRUKTURELLE ETABLIERUNGSEINSCHÄTZUNG | HILFE

> Startseite > Etablierungseinschätzung Übersicht >> Infrastrukturelle Etablierungseinschätzung

### Einschleppungspotenzial

- + Allgemeine Informationen
- + Gesamtes Einschleppungspotenzial
- + Einzelauswertung Einschleppungsorte

**Campingplatz** (30/110)

**Terminal Kombiverkehr** (4/170)

▲  
mäßig

### Brutstättenangebot

- + Allgemeine Informationen
- + Gesamtes Brutstättenangebot
- + Einzelauswertung Brutstätten

**Siedlungsgebiet** (9/72)

**Friedhof** (56/100)

Abbildung 20: Ausschnitt der Auswertungsseite der Infrastrukturellen Etablierungseinschätzung

Weiterhin werden die bei der Datenabfrage angegebenen Einschleppungsorte und Massenbrutstätten einzeln aufgelistet, zusätzlich detaillierte Auswertungsdetails angegeben und letztendlich einzeln bewertet. So stehen für die Einteilung des geschätzten Einschleppungspotenzials insgesamt neun Kategorien zur Verfügung:

- äußerst niedriges Einschleppungspotenzial
- sehr niedriges Einschleppungspotenzial
- niedriges Einschleppungspotenzial
- mäßiges Einschleppungspotenzial
- mittleres Einschleppungspotenzial
- deutliches Einschleppungspotenzial
- hohes Einschleppungspotenzial
- sehr hohes Einschleppungspotenzial
- äußerst hohes Einschleppungspotenzial

Für die Beurteilung der einzelnen Massenbrutstätten und des gesamten Brutstättenangebotes des analysierten Gebietes stehen insgesamt sieben Kategorien zur Verfügung:

- Sehr geringes bzw. latentes Brutstättenangebot
- Geringes Brutstättenangebot
- Mäßiges Brutstättenangebot
- Mittelmäßiges Brutstättenangebot

- Deutliches Brutstättenangebot
- Hohes Brutstättenangebot
- Sehr hohes Brutstättenangebot

### 3.4.5 Empfohlene Maßnahmen

Auf der Basis des berechneten Einschleppungspotenzials, des Brutstättenangebots und des Etablierungspotenzials werden vom Programm Vorschläge zur weiteren Vorgehensweise gemacht und entsprechendes Informationsmaterial bereitgestellt (Abb. 21). Hierbei handelt es sich z.B. um allgemeine Informationen über die Asiatische Tigermücke, Bildmaterial und Tipps zur selbstständigen Bestimmung, Anweisung zur eigenständigen Durchführung eines einfachen Monitorings sowie verschiedene Infobroschüren für die Bevölkerung oder Unternehmen. Darüber hinaus werden Info-Materialien zur Verringerung des jeweiligen gemeinderelevanten Einschleppungspotenzials und der wachstumsfördernden Faktoren für *Aedes albopictus* innerhalb der jeweiligen Gemeinden bereitgestellt.

Kommunale Etablierungseinschätzung | *Aedes albopictus*

KLIMATISCHE ETABLIERUNGSEINSCHÄTZUNG | INFRASTRUKTURELLE ETABLIERUNGSEINSCHÄTZUNG | HILFE

Startseite > Etablierungseinschätzung Übersicht >> Infrastrukturelle Etablierungseinschätzung

## Empfohlene Maßnahmen

**Wichtiger Hinweis** ▾

Allgemeine Informationen ▾

Allgemeine Maßnahmen ▾

Ortsbezogene Maßnahmen ▾

**Campingplatz**

**Kombiverkehrsterminal**

1. Kontaktaufnahme und Bereitstellen von Informationen

Inkenntnissetzung des Betreibers des Kombiterminals über das Thema Asiatische Tigermücke und mögliche Maßnahmen.

→ Allgemeine Informationen über das Thema Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*):

- **B.35:** einfacher Handzettel, DinA4, einseitig
- **B.36:** Faltbroschüre, DinA5, vierseitig

1.1 Kontrolle und Reduzierung unnötiger Brutstätten

Regelmäßige Kontrolle und Beseitigung, im Hochsommer mindestens jede zweite Woche, unnötiger Brutstätten im Bereich des Kombiterminals. Neben der Beseitigung von regenwassersammelndem Müll im Außenbereich, sind im Freien abgestellte Gegenstände wie z.B. Eimer, Container und mit Planen abgedeckte Waren zu beachten.

→ Informationen zur Brutstättenbiologie der Asiatischen Tigermücke und Vermeidung von Brutstätten (Betreiber Kombiterminal)

- **J.27:** einfacher Handzettel, DinA4, einseitig
- **J.28:** Faltbroschüre, DinA5, vierseitig

1.2. Schulung der Angestellten

Bereitstellen von Informationen für das leichte Erkennen der auffälligen Art.

→ Erkennen der Asiatischen Tigermücke (*Aedes albopictus*)

- **E.1:** einfacher Handzettel, DinA4, einseitig

Abbildung 21: Ausschnitt der Seite „Empfohlene Maßnahmen am Ende der Infrastrukturellen Etablierungseinschätzung.“

### 3.5 Genauigkeit der Etablierungseinschätzungen

Die Asiatische Tigermücke ist eine Stechmückenart, welche prinzipiell über ein hohes passives Verbreitungspotenzial von unterschiedlichen Entwicklungsstadien durch zahlreiche Verschleppungsarten verfügt. So ist zum Beispiel eine Verschleppung von einzelnen erwachsenen und flugfähigen Tieren der Art innerhalb von Wohnwagen bis in den Wohnort der aus dem Mittelmeerraum heimkehrenden Touristen prinzipiell möglich. Eine solche "diffuse" Einschleppung ist prinzipiell innerhalb des gesamten menschlichen Siedlungsraumes möglich und kann durch die Abfrageschritte innerhalb der Infrastrukturellen Etablierungseinschätzung nicht erfasst werden. Daher kann auch bei scheinbar niedriger Einschleppungswahrscheinlichkeit oder sogar auch ohne vorhandene Einschleppungswege eine Einschleppung der Asiatischen Tigermücke nicht zu 100 % ausgeschlossen werden. Die zu Beginn der Infrastrukturellen Etablierungseinschätzung abgefragten Einschleppungswege geben lediglich einen Überblick über die bekannten Einschleppungswege, welchen bestimmte infrastrukturelle Gegebenheiten (z.B. Firmen, Verkehrswege) und ein erhöhtes Einschleppungspotenzial zugeordnet werden können. So ist zum Beispiel durch die größere Anzahl an Wohnwagen im Bereich von Campingplätzen, Wohnmobilstellplätzen oder Raststätten die Wahrscheinlichkeit einer Einschleppung von einzelnen Tieren der Asiatischen Tigermücke um ein Vielfaches höher als bei dem oben erwähnten Beispiel der "diffusen" Einschleppung durch einzelne an den Wohnort heimkehrende Wohnmobil-Touristen. Ebenfalls ist zu beachten, dass die Liste der zu Beginn der Infrastrukturellen Etablierungseinschätzung abgefragten Einschleppungswege und kommunalen Massenbrutstätten dem Forschungsstand des Jahres 2018 oder des Jahres von späteren Programm-Updates entspricht. Der Zeitpunkt und Umfang des letzten Updates wird auf der Zugangsseite und der Informationsseite „Über uns“ vermerkt. Insgesamt bleiben aber bei der Infrastrukturellen Etablierungseinschätzung die nach dem Jahr 2018 oder späteren Updates auftretenden Veränderungen in der Grundstruktur der einzelnen Einschleppungswege unberücksichtigt. Dies können zum Beispiel die Zunahme von Fracht- und Verkehrsaufkommen, die Modifikation von Transporteinheiten und Handelswaren oder eine eventuelle Anpassung gesetzlicher Auflagen sein. Lediglich die Liste von bekannten Populationen der Asiatischen Tigermücke in und im Umfeld von Baden-Württemberg kann bei dem abgefragten Einschleppungsweg "*Benachbarte Populationen*" bei bestehender Internetverbindung regelmäßig aktualisiert werden.

Die nach dem Jahr 2018 oder nach späteren Updates neu erkannten Verschleppungsmöglichkeiten bzw. Einschleppungswege der Asiatischen Tigermücke nach Baden-Württemberg werden in der Etablierungseinschätzung ebenfalls nicht berücksichtigt. Jedoch erfolgt bei der Durchführung der Etablierungseinschätzung durch die Erörterung der abgefragten einschleppungsrelevanten Faktoren innerhalb der eigenen Kommune eine grundlegende Auseinandersetzung mit den Mechanismen der Verschleppung und Etablierung der Asiatischen Tigermücke. So basiert die Verschleppung der Art auf nur wenigen leicht zu erkennenden prinzipiellen Mechanismen und infrastrukturellen Voraussetzungen. Durch Verwendung des Programmes sollte es daher dem interessierten Nutzer möglich sein, auch zukünftige neue und im Programm bisher nicht berücksichtigte Einschleppungswege zu identifizieren.

Zu Beginn der Infrastrukturellen Etablierungseinschätzung werden vom Programm das Vorhandensein und der Umfang von typischen Einschleppungswegen und kommunalen Massenbrutstätten abgefragt und anschließend die zugeordneten Wertigkeiten miteinander verrechnet. Diese Zuordnung der Wertigkeiten der unterschiedlichen infrastrukturellen Gegebenheiten erfolgt auf der Basis von Daten und Erfahrungen des Instituts für Dipterologie aus vorangegangenen Untersuchungen und Forschungsprojekten zum Thema Asiatische Tigermücke. Innerhalb des Programmes werden jedoch einem Großteil der erfassten Einschleppungswege die zur Berechnung verwendeten Wertigkeiten nicht durch gesammelte oder empirisch erhobene Daten zugeschrieben. Bei solchen Einschleppungswegen ohne empirisch erhobene Daten erfolgte zunächst im Vorfeld eine Recherche über die theoretischen Verschleppungsmöglichkeiten, ein Vergleich mit ähnlichen Einschleppungswegen und letztendlich ein Übertrag und eine Anpassung der Wertigkeiten aus schon erforschten Einschleppungswegen. Auch aufgrund dieses Übertrages von Wertigkeiten sind die abschließenden Ergebnisse als Etablierungseinschätzung und nicht als exakte Risikoberechnung zu betrachten.

Die Berechnung der klimatischen Etablierungseinschätzung erfolgt über einen längeren Berechnungszeitraum und unter Berücksichtigung der jeweiligen mesoklimatischen Bedingungen auf der Basis der täglichen Maximum- und Minimumtemperaturen. Das Ergebnis dieser umfangreichen Berechnung der täglichen Populationsdynamik ist jedoch als langfristige Populationsentwicklung an einem bestimmten Ort anzusehen. Die berechnete Populationsentwicklung bzw. das geschätzte Etablierungspotenzial ist daher als Tendenz über mehrere Jahre zu betrachten. In Jahren mit deutlich vom Durchschnittswert abweichenden klimatischen Bedingungen kann die tatsächliche Populationsentwicklung von der geschätzten Entwicklung ebenfalls abweichen.

### 3.6 Testläufe und Verbreitung des Programmes

Gegen Ende der Entwicklung der Beta-Version des Programmes "Kommunale Etablierungseinschätzung - *Aedes albopictus*" wurden zunächst mehrere Komponenten- und Systemtestläufe in zwei ausgewählten Kommunen durchgeführt. Mit diesen ersten Testläufen sollten zunächst die Funktionalität, Systemkompatibilität und Verständlichkeit der Programmführung der einzelnen Programmmodule überprüft werden.

Am Start einer jeden infrastrukturellen Etablierungseinschätzung muss die Größe des zu untersuchenden Gebietes angegeben werden, da diese maßgeblichen Einfluss auf die Berechnung der Einschleppungs- und Etablierungswahrscheinlichkeit hat. Daher wurden für die erste Testphasen eine sehr kleine und eine sehr große Kommune als extreme Testfälle ausgewählt, um neben den allgemeinen System- und Funktionalitätstests zu überprüfen, ob es bei der Ausführung der Etablierungseinschätzung zu unterschiedlichen Problemen in Abhängigkeit von der Größe der Kommunen kommen kann. Für den Testfall einer sehr großen Kommune erfolgte die infrastrukturelle Etablierungseinschätzung durch Mitarbeiter des Umweltamtes Ludwigshafen am Rhein (165.000 Einwohner) mit der Version 2.0 Beta. Für den Testfall einer kleinen Kommune wurde die infrastrukturelle Etablierungseinschätzung von Mitarbeitern des Bau- und Gewerbeamts Au am Rhein (3300

Einwohner) mit der Version 3.0 Beta durchgeführt. Bei diesen betreuten Testläufen wurde die Etablierungseinschätzung in den Behörden vor Ort von den kommunalen Mitarbeitern selbstständig und nur mit marginaler Anleitung bzw. gelegentlichen Hilfestellungen durchgeführt, um zusätzlich einen Eindruck über die Verständlichkeit der Programmnavigation und der Anleitungen der Etablierungseinschätzung zu erhalten.

Neben einigen Fehlverlinkungen und nicht eindeutigen Analyseanleitungen kam es zu Problemen bei der Offline-Anwendung der Kommunalen Etablierungseinschätzung mit den verschiedenen Versionen des Webbrowsers Microsoft Internet Explorer. Wie sich herausstellte, ist, im Gegensatz zu anderen Browsern, im Microsoft Internet Explorers das LocalStorage-Objekt auf das HTTP-Protokoll beschränkt. Da die Offline-Nutzung der Etablierungseinschätzung von einem lokalen Dateisystem über das File-Protokoll erfolgt, ist eine Datenspeicherung innerhalb des Programmablaufs mit dem Internet Explorer nicht möglich. Da es sich dabei um eine von Microsoft gewollte, jedoch nicht dokumentierte Einschränkung des Internet Explorers handelt, war dies zum Zeitpunkt der Entwicklung des Programmes "Kommunale Etablierungseinschätzung - *Aedes albopictus*" nicht bekannt.

Um dieses Problem vorübergehend zu beheben, wurde das Programm für eine Anwendung mit dem Microsoft Internet Explorer über eine Webdomain online bereitgestellt. Diese Onlineversion des Programmes ist auch von anderen Webbrowsern aufrufbar und ermöglicht eine Ausführung ohne vorheriges Herunterladen aller Programminhalte von ca. 400 MB. Bei Auswertung des zweiten Testlaufes, welcher in 40 baden-württembergischen Mitgliedskommunen der KABS e.V. durchgeführt wurde (siehe unten), zeigte sich, dass auch ohne Onlineversion sehr wahrscheinlich eine Nutzung des Analyseprogrammes in allen Kommunen gewährleistet wäre. So wurde nur in 28 % der Testfälle bei erstmaliger Benutzung eine der Versionen des Microsoft Internet Explorers verwendet. Weiterhin waren bei allen Stichprobenbefragungen auf den Rechnern der Behördenmitarbeitern, welche die Etablierungseinschätzung mit einer Version des Microsoft Internet Explorers ausführten, auch andere Browsertypen, meist Versionen des Mozilla Firefox, installiert.

Im diesem zweiten, diesmal nicht betreuten, Testlauf wurde eine E-Mail mit Hintergrundinformationen zum Programm "Kommunale Etablierungseinschätzung - *Aedes albopictus*" und den Zugangsdaten zur passwortgeschützten Bereitstellungswebseite des Programmes an 40 baden-württembergische Mitgliedskommunen der KABS e.V. verschickt. Auf der Zugangsseite war die Version 4.0 Beta sowohl online als auch als Download (ZIP-Ordner) verfügbar. Die Behördenmitarbeiter wurden gebeten, die Zugangs- bzw. Downloadmöglichkeiten, die Kompatibilität mit den Behördenrechnern, die Anwenderfreundlichkeit des Programms und die Funktion der Etablierungseinschätzung zu überprüfen. Bis auf weitere Fehlverlinkungen konnten keine größeren Fehlverhalten (program bug) festgestellt werden. Die Programmführung der Etablierungseinschätzung erwies sich als verständlich und war nach einer kurzen Einarbeitungszeit auch ohne direkte Hilfestellung durchführbar.

Wie zuvor erwähnt, kann aufgrund des Nutzungsverhaltens und der auf den Behördenrechnern installierten Browsertypen davon ausgegangen werden, dass auch ohne Onlineversion sehr wahrscheinlich eine Nutzung des Programmes in allen Kommunen mindestens auf einigen Rechnern gewährleistet wäre. Die ursprünglich geplante Verteilung des Programmes "Kommunale Etablierungseinschätzung - *Aedes albopictus*" über Ver-

senden von digitalen Speichermedien (CD-ROM, USB-Stick) an die kommunalen Behörden in Baden-Württemberg wäre trotz Problemen der Offline-Nutzung mit dem Webbrowser IE Microsoft möglich.

Aufgrund der positiven Rückmeldungen und der umfangreicheren Update-Möglichkeiten soll jedoch nach Abnahme des Programmes durch die LUBW auch die endgültige Verbreitung des Programmes (Version 1.0) über ein Versenden von E-Mails mit Hintergrundinformationen und den Zugangsdaten für die Bereitstellungswebseite an alle kommunalen Behörden in Baden-Württemberg erfolgen.

Innerhalb der infrastrukturellen Etablierungseinschätzung ist zwar eine Update-Möglichkeit für die weltweite und europaweite Verbreitung sowie auch für die in Süddeutschland bekannten Populationen der Asiatischen Tigermücke vorhanden. Durch diese einfachen Updates werden jedoch lediglich aktuellere Verbreitungskarten und -listen als Direkt-Download von der Internetpräsenz der KABS e.V. kostenneutral bereitgestellt. Durch Bereitstellen des kompletten Programmes "Kommunale Etablierungseinschätzung - *Aedes albopictus*" über eine Bereitstellungswebseite ist es möglich, umfangreichere Programmänderungen in Form neuer Versionen durchzuführen. So ist nicht auszuschließen, dass es aufgrund der zahlreichen wissenschaftlichen Forschungsprojekte zum Thema Asiatische Tigermücke zu neuen Erkenntnissen, zum Beispiel über bisher unbekannte Verbreitungswege der Art kommt. Eine solche nötige Anpassung der Berechnungsmatrix und der Abfragestruktur der infrastrukturellen Etablierungseinschätzung an den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand ist nur über neu überarbeitete Programmversionen möglich, welche unkompliziert über die Bereitstellungswebseite kostenneutral bereitgestellt werden sollen.

## 4 Schlussfolgerungen und Aussichten

Die ursprünglich tropische Stechmückenart *Aedes albopictus* kommt in Baden-Württemberg aufgrund der klimatischen Bedingungen an den Rand ihrer Ausbreitungsmöglichkeit. Mit voranschreitendem Klimawandel wird eine stetige Verbesserung der klimatischen Bedingungen für die Asiatische Tigermücke erfolgen, wodurch langfristig gesehen eine erfolgreiche und dauerhafte Etablierung der Art nur durch eine Regulierung der einschleppungsrelevanten infrastrukturellen Bedingungen zu erreichen ist. So kann durch eine gezielte Reduktion des Brutstättenangebotes, vor allem im Bereich der Einschleppungsorte, ein frühzeitiges Erkennen von noch kleinen Gründerpopulationen und zügig eingeleitete Erstmaßnahmen, eine dauerhafte Etablierung von *Aedes albopictus* trotz der sich für die Art verbessernden klimatischen Bedingungen auch in Zukunft verhindert werden. Hierfür spielen vor allem aufgeklärte und handlungsfähige kommunale Behörden eine entscheidende Rolle.

Mit der Möglichkeit durch die klimatische und infrastrukturelle Etablierungseinschätzung den Handlungsbedarf einer Kommune einzuschätzen und durch das Bereitstellen von Informationen und Hilfsmaterialien kommunal selbstdurchführbare präventive Maßnahmen zu ermöglichen, ist dieses Projekt ein wichtiger Baustein für eine zielgerichtete Verschlechterung der Etablierungsbedingungen von *Aedes albopictus* in Baden-Württemberg. Sollte es trotzdem zum Aufbau kleiner Gründerpopulationen kommen, wird eine schnelle Entwicklung und die weitere Ausbreitung aufgrund des zuvor prophylaktisch reduzierten Brutstättenangebotes verhindert und die Population durch die aufgeklärten kommunalen Mitarbeiter frühzeitig entdeckt.

Die dann noch kleinen und lokal begrenzten Gründerpopulationen der Asiatischen Tigermücke können abschließend mithilfe des in einem anderen Klimopass-Forschungsprojekts (PLUSKOTA et al. 2018) entwickelten Konzeptes effektiv und kostengünstig bekämpft werden. Dieses Konzept zur integrierten Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg wurde auf der Basis von Versuchsergebnissen und mehrjähriger Bekämpfungserfahrung entwickelt und stellt einen weiteren Baustein zur Verhinderung einer langfristigen Etablierung der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg dar. So ist es möglich, durch die in diesem Projekt entworfene Computeranwendung Gründerpopulationen der Art prophylaktisch einzugrenzen, frühzeitig zu entdecken und abschließend die noch lokal begrenzten Populationen der Art mit dem in PLUSKOTA et al. 2018 entwickelten Konzept mit ökologisch vertretbaren Bekämpfungs- und Monitoringmethoden wieder vollständig auszulöschen.

## 5 Zitierte Literatur

- ANDREWARTHA, H. G. (1970). Introduction to the study of animal populations. London, Methuen. 283p.
- BARRY, R. G. UND R. J. CHORLEY (1968). Atmosphere, weather and climate, Methuen. 319p.
- BECKER N., PLUSKOTA B., KAISER A., SCHAFFNER F. (2012). Exotic mosquitoes conquer the world. In: Mehlhorn H (ed) Arthropods as vectors of emerging diseases, vol 3. Parasitology Research Monographs, pp 31–60.
- BECKER N., GEIER M., BALCZUN C., BRADERSSEN U., HUBER K., KIEL E., KRÜGER A., LÜHKEN R., ORENDT C., PLENGE-BÖNIG A., ROSE A., SCHAUB GA., TANNICH E. (2013). Repeated introduction of *Aedes albopictus* into Germany, July to October 2012. Parasitol Res 112:1787–1790.
- CAMPBELL, A., B. D. FRAZER, N. GILBERT, A. P. GUTIERREZ UND M. MACKAUER (1974). Temperature requirements of some aphids and their parasites. Journal of Applied Ecology 11: 431-438.
- DALLA POZZA, G. & G. MAJORI. (1992), First record of *Aedes albopictus* establishment in Italy. J Am Mosq Control Assoc, 8: 318-20.
- DWD (2016): Nationaler Klimareport 2016. 2. korrigierte Auflage, Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland, 44 Seiten.
- DWD. Climate Data Center des DWD. Deutscher Wetterdienst, Offenbach am Main, Deutschland.
- FERSTL, I. (2017). Untersuchungen zur Einschleppung, Überwinterung und Ausbreitung sowie Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke (*Aedes albopictus*) in Freiburg im Breisgau, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Masterarbeit, 2017.
- FLACIO, E., P. LÜTHY, N. PATOCCHI, R. PEDUZZI, F. GUIDOTTI, S. RADCUWEIT (2006), Bericht 2006 zur Überwachung und Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke, *Aedes albopictus*, im Kanton Tessin. 1-10. Gruppo lavoro zanzare, Divisione della salute pubblica, 6501 Bellinzona.
- FOCKS, D. A., S. B. LINDA, G. B. CRAIG, JR., W. A. HAWLEY UND C. B. PUMPUNI (1994). *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): a statistical model of the role of temperature, photoperiod, and geography in the induction of egg diapause. J Med Entomol 31(2): 278-286.
- GRATZ, N.G. (2004), Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. Med Vet Entomol, 18: 215-27.
- GUBLER, D. G. (1970). Comparison of reproductive potentials of *Aedes (Stegomyia) albopictus* Skuse and *Aedes (Stegomyia) polynesiensis* Marks. Mosq News 30(2): 201-209.
- HANSON, S. M. UND G. B. CRAIG, JR. (1995<sup>a</sup>). *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) eggs: field survivorship during northern Indiana winters. J Med Entomol 32(5): 599-604.
- HANSON, S. M. UND G. B. CRAIG, JR. (1995<sup>b</sup>). Relationship between cold hardiness and supercooling point in *Aedes albopictus* eggs. J Am Mosq Control Assoc 11(1): 35-38.
- HAWLEY, W. A. (1988). The biology of *Aedes albopictus*. J Am Mosq Control Assoc Suppl 1: 1-39.
- HAWLEY, W. A., C. B. PUMPUNI, R. H. BRADY UND G. B. CRAIG, JR. (1989). Overwintering survival of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) eggs in Indiana. J Med Entomol 26(2): 122-129.
- HEITMANN A., S. JANSEN, R. LÜHKEN, M. LEGGEWIE, M. BADUSCHE, B. PLUSKOTA, N. BECKER, O. VAPALAHTI, J. SCHMIDT-CHANASIT, E. TANNICH (2017), Experimental transmission of Zika virus by mosquitoes from central Europe. Eurosurveillance, 22: 30437.
- HUANG, YIAU-MIN (1968) Neotype designation for *Aedes (Stegomyia) albopicta* (Skuse) (Diptera: Culicidae). P Entomol Soc Wash, 70: 297-302.
- IBANEZ-BERNAL, S., B. BRISENO, J.P. MUTEPI, E. ARGOT, G. RODRIGUEZ, C. MARTINEZ-CAMPOS, R. PAZ, P. DE LA FUENTE-SAN ROMAN, R. TAPIA-CONYER, A. FLISSER (1997), First record in America of *Aedes albopictus* naturally infected with dengue virus during the 1995 outbreak at Reynosa, Mexico. Med Vet Entomol 11(4): 305-309.
- JULIANO, S.A. & L.P. LOUNIBOS (2005), Ecology of invasive mosquitoes: effects on resident species and on human health. Ecol Lett 8(5): 558-574.

- KAMPEN, H., M. KRONEFELD, D. ZIELKE, AND D. WERNER. 2013. Further specimens of the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus* (Diptera, Culicidae) trapped in southwest Germany. *Parasitol Res* 112:905-907.
- LIEDTKE, H. & J. MARCINEK (2002). *Physische Geographie Deutschlands*. Gotha, Klett-Verlag. 786 S.
- MADON, M.B., M.S. MULLA, M.W. SHAW, S. KLUH, J.E. HAZELRIGG (200). Introduction of *Aedes albopictus* (Skuse) in southern California and potential for its establishment. *J Vector Ecol*, 27: 149-54.
- MITCHELL, C.J., B.R. MILLER D.J. GUBLER (1987), Vector competence of *Aedes albopictus* from Houston, Texas, for dengue serotypes 1 to 4, yellow fever and Ross River viruses. *J Am Mosq Control Assoc* 3(3): 460-465.
- MITCHELL, C.J. (1995), Geographic Spread of *Aedes albopictus* and Potential for Involvement in Arbovirus Cycles in the Mediterranean Basin. *J Am Mosq Control Assoc*, 20: 44-58.
- MEKURIA, Y. & M.G. HYATT (1995), Operational and scientific notes. *J Am Mosq Control Assoc* 11(4): 468-470.
- MOORE, C. G. (1999). *Aedes albopictus* in the United States: current status and prospects for further spread. *J Am Mosq Control Assoc* 15(2): 221-227.
- MOORE, C.G., C.J. MITCHELL (1997) *Aedes albopictus* in the United States: ten-year presence and public health implication. *Emerg Infect Dis*, 3: 329-34.
- MORI, A. UND T. ODA (1981). Studies on the egg diapause and overwintering of *Aedes albopictus* in Nagasaki. *Trop Med* 23(2): 79-90.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G., A. KREIS UND E. DITTMANN (1999). *Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland* (DWD). 1.
- MÜLLER-WESTERMEIER, G. UND K. ROCZNIK (2006). *Wetter und Klima in Deutschland*. Stuttgart [u.a.], Hirzel. 174 S.
- NASCI, R.S., S.G. HARE, & F.S. WILLIS (1989) Interspecific mating between Louisiana strains of *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* in the field and laboratory. *J Am Mosq Control Assoc*, 5: 416-21.
- NIEBYLSKI M.L, CRAIG G.B.J. (1994), Dispersal and survival of *Aedes albopictus* at a scrap tire yard in Missouri. *Journal of the American Mosquito Control Association* 10: 339-43.
- PAUPY, C., R. GIROD, M. SALVAN, F. RODHAIN UND A. B. FAILLOUX (2001). Population structure of *Aedes albopictus* from La Reunion Island (Indian Ocean) with respect to susceptibility to a dengue virus. *Heredity* 87(Pt 3): 273-283.
- PLUSKOTA B., STORCH V., BRAUNBECK T., BECK M., BECKER N. (2008). First record of *Stegomyia albopicta* (Skuse) (Diptera: Culicidae) in Germany. *Eur Mosq Bull* 26:1-5
- PLUSKOTA B., X. AUGSTEN, A.JÖST, A.KIZGIN, T. KÜHNLENZ, L. STELZNER, A. TOKATLIAN RODRIGUEZ, N. BECKER (2018), Untersuchungen zur Effektivität von Monitoring- und Bekämpfungsmaßnahmen für die Entwicklung eines Maßnahmenkatalogs zur integrierten Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg. LUBW, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Forschungsbericht KLIMOPASS. 203p.
- PLUSKOTA, B., A. JÖST, X. AUGSTEN, L. STELZNER, I. FERSTL, N. BECKER (2016) Successful overwintering of *Aedes albopictus* in Germany. *Parasitol Res*, 115: 3245-47.
- PLUSKOTA, B. (2011). *Die Asiatische Tigermücke (Aedes albopictus): Thermale Ökologie und Risikoeinschätzung einer Etablierung in Deutschland*. Heidelberg. Dissertation: 230.
- PUMPUNI, C. B., J. KNEPLER UND G. B. CRAIG, JR. (1992). Influence of temperature and larval nutrition on the diapause inducing photoperiod of *Aedes albopictus*. *J Am Mosq Control Assoc* 8(3): 223-227.
- RAPP, J. (2002). Regionale Klimatrends in Deutschland im 20. Jahrhundert. *Klimastatusbericht 2001*, Deutscher Wetterdienst (Hrsg.): 175-184.
- RATTE (1985). *Environmental physiology and biochemistry of insects*. K. H. Hoffmann. Berlin, Springer: 296 S.
- REITER, P. (1998), *Aedes albopictus* and the world trade in used tires, 1988-1995: the shape of things to come? *J Am Mosq Control Assoc*, 14: 83-94.
- REITER, P. & R.F. DARSIE, JR. (1984), *Aedes albopictus* in Memphis, Tennessee (USA): An achievement of modern transportation? *Mosq News* 44(3): 396-399.
- ROMI R. (1995). History and updating on the spread of *Aedes albopictus* in Italy. *Parassitologia* 37:99-103.

- SARDELIS, M.R., M.J. TURELL, M.L. O'GUINN, R.G. ANDRE, D.R. ROBERTS (2002), Vector competence of three North American strains of *Aedes albopictus* for West Nile virus. *J Am Mosq Control Assoc*, 18: 284-89.
- SAVAGE, H.M., M.L. NIEBYLSKI, G.C. SMITH, C.J. MITCHELL, G.B. CRAIG, JR. (1993), Host-feeding patterns of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) at a temperate North American site. *J Med Entomol*, 30: 27-34.
- SCHÖNWIESE, C.-D. (2003). Jahreszeitliche Struktur beobachteter Temperatur- und Niederschlagstrends in Deutschland. Berlin und Bayreuth, Chmielewski, F.-M. 59-68.
- TAN, R., M. ABDIN, C. MAROEF, D.G. GUBLER (1981), COMPARATIVE GROWTH OF DENGUE VIRUSES IN Aedes AEGYPTI AND Aedes ALBOPICTUS AFTER PARENTERAL INFECTION. *MOSQ NEWS* 41(1): 71-74.
- TENG, H. J. & C. S. APPERSON (2000). Development and survival of immature *Aedes albopictus* and *Aedes triseriatus* (Diptera: Culicidae) in the laboratory: effects of density, food, and competition on response to temperature. *J Med Entomol* 37(1): 40-52.
- THOMAS S.M., OBERMAYR U., FISCHER D., KREYLING J. & BEIERKUHNEIN C. (2012). Low-temperature threshold for egg survival of a post-diapause and non-diapause European aedine strain, *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) *Parasites & Vectors* 2012, 5:100.
- TOMA, L., F. SEVERINI, M. DI LUCA, A. BELLA UND R. ROMI (2003). Seasonal patterns of oviposition and egg hatching rate of *Aedes albopictus* in Rome. *J Am Mosq Control Assoc* 19(1): 19-22.
- WALGAMA, R. S. & M. P. ZALUCKI (2006). Evaluation of different models to describe egg and pupal development of *Xyleborus fornicatus* Eichh. (Coleoptera: Scolytidae), the shot-hole borer of tea in Sri Lanka. *Insect Sci.* 13: 109-118.
- WASHBURN, J. O. & E. U. HARTMANN (1992). Could *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) become established in California tree holes? *J Med Entomol* 29(6): 995-1005.
- WERNER D., M. KRONEFELD, F. SCHAFFNER, H. KAMPEN (2012), Two invasive mosquito species, *Aedes albopictus* and *Aedes japonicus japonicus*, trapped in south-west Germany, July to August 2011. *Euro Surveill.* 2012 Jan 26; 17(4).

