

Reihe KLIMOPASS-Berichte

Projektnr.: 4500489832/23

Untersuchungen zur Effektivität von Monitoring- und  
Bekämpfungsmaßnahmen  
für die Entwicklung eines Maßnahmenkatalogs  
zur integrierten Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke  
in Baden-Württemberg

von Björn Pluskota, Xenia Augsten, Artur Jöst, Ali Kizgin, Tim Kühnlenz,  
Lilith Stelzner, Artin Tokatlian Rodriguez, Norbert Becker

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

Februar 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 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>	Björn Pluskota, Xenia Augsten, Artur Jöst, Ali Kizgin, Tim Kühnlenz, Lilith Stelzner, Artin Tokatlian Rodriguez, Norbert Becker Gesellschaft zur Förderung der Stechmückenbekämpfung (GFS) e.V. Ludwigstr.99, 67165 Waldsee
<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-N17
<b>STAND</b>	Februar 2018, Internetausgabe Dezember 2018

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>8</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>13</b>
1.1 Relevanz der Arbeit	13
1.1.1 Medizinische Relevanz und weitere Bedeutung	13
1.1.2 Verbreitung	14
1.2 Untersuchungsgebiet	16
1.3 Untersuchte Population der Asiatischen Tigermücke	17
1.4 Zielsetzung	18
<b>2 LABORZUCHT UND UMWELTBEDINGUNGEN</b>	<b>19</b>
2.1 Laborstämme	19
2.2 Umweltbedingungen	19
2.3 Aufzuchtbedingungen	19
<b>3 (WINTER)-EI-MONITORING</b>	<b>21</b>
3.1 Einleitung	21
3.2 Material und Methoden	22
3.3 Ergebnisse	23
3.4 Diskussion	27
<b>4 HILFE ZUR SELBSTHILFE</b>	<b>32</b>
4.1 Informationswege	32
4.1.1 Hauswurfsendungen	33
4.1.2 Bürgerversammlungen	33
4.1.3 Öffentliche Aushänge	34
4.1.4 Print- und Rundfunkmedien	34
4.1.5 Elektronische Medien	35
4.1.6 Gesamtbeurteilung	35
4.2 Brutstättenvermeidung	36
4.2.1 Einleitung	36
4.2.2 Material und Methoden	36
4.2.3 Ergebnisse	39

4.2.4	Diskussion	43
4.3	<i>B.t.i.</i> -Applikation mittels bereitgestellter Tabletten	44
4.3.1	Einleitung	44
4.3.2	Material und Methoden	45
4.3.3	Ergebnisse	46
4.3.4	Diskussion	47
4.4	Gesamtbeurteilung	48
<b>5</b>	<b><i>B.T.I.</i>-BEHANDLUNG VON REGENTONNEN</b>	<b>49</b>
5.1	Bioassay zur Ermittlung der effektiven Dosis (Laborversuch)	49
5.1.1	Einleitung	49
5.1.2	Material und Methoden	50
5.1.3	Ergebnisse	51
5.1.4	Diskussion	55
5.2	Bioassay zur Ermittlung des Einflusses von Detritus und Wasserentnahmen auf die effektive Dosis (Freilandversuch)	55
5.2.1	Einleitung	55
5.2.2	Material und Methoden	56
5.2.3	Ergebnisse	59
5.2.4	Diskussion	65
<b>6</b>	<b>PROPHYLAKTISCHE KUPFERBEHANDLUNG VON GRABVASEN</b>	<b>70</b>
6.1	Allgemeine Einleitung und Zielsetzung	70
6.2	Effektivität von Kupfervasen gegen <i>Aedes j. japonicus</i> und <i>Aedes albopictus</i>	71
6.2.1	Einleitung	71
6.2.2	Material und Methoden	72
6.2.3	Ergebnisse	74
6.2.4	Diskussion	81
6.3	Repellentwirkung von Kupferspraybehandlungen	82
6.3.1	Einleitung	82
6.3.2	Material und Methoden	83
6.3.3	Ergebnisse	84
6.3.4	Diskussion	89
6.4	Feldversuch zur Bekämpfung von <i>Ae. j. japonicus</i> auf Friedhöfen	91

6.4.1	Einleitung	91
6.4.2	Material und Methoden	91
6.4.3	Ergebnisse	93
6.4.4	Diskussion	101
6.5	Gesamtbeurteilung	101
<b>7</b>	<b>EFFEKTIVITÄT VON FALLENSYSTEMEN FÜR MONITORING- UND BEKÄMPFUNGSMÄßNAHMEN</b>	<b>104</b>
7.1	Einleitung	104
7.2	Fallentypen und Methoden	104
7.2.1	Gravid <i>Aedes</i> Trap (BG-GAT)	104
7.2.2	BG-Sentinel Falle (BG-S)	105
7.2.3	Standard-Eiablagefalle	106
7.2.4	Anflugkontrollen	107
7.3	Fallennetzwerk im Kerngebiet zur Ermittlung der Effektivität verschiedener Fallensysteme	107
7.3.1	Einleitung	107
7.3.2	Material und Methode	107
7.3.3	Ergebnisse	108
7.3.4	Diskussion	110
7.4	Fallen transekt zur Ermittlung der Effektivität verschiedener Fallensysteme und Monitoringmethoden	112
7.4.1	Einleitung	112
7.4.2	Material und Methoden	112
7.4.3	Ergebnisse	113
7.4.4	Diskussion	119
7.5	Fallenvergleich von modifizierten BG-Sentinel-Fallen	120
7.5.1	Einleitung	120
7.5.2	Material und Methoden	120
7.5.3	Ergebnisse	124
7.5.4	Diskussion	128
<b>8</b>	<b>STERILE INSEKTEN TECHNIK (SIT)</b>	<b>133</b>
8.1	Beurteilung der Paarungsrate unter Freilandbedingungen von SIT-Männchen der Asiatischen Tigermücke.	133

8.1.1	Material und Methode	133
8.1.2	Ergebnisse	138
8.1.3	Diskussion	144
8.2	Beurteilung des Migrations-Verhalten von SIT-Männchen durch Rückfangversuche	147
8.2.1	Material und Methoden	147
8.2.2	Ergebnisse	148
8.2.3	Diskussion	151
8.3	Effektivität der Ei-Bleichmethode zur Beurteilung der SIT-Befruchtungsrate	152
8.3.1	Einleitung	152
8.3.2	Material und Methoden	152
8.3.3	Ergebnisse	153
8.3.4	Diskussion	155
8.4	Überlebensrate von SIT-Männchen	157
8.4.1	Einleitung	157
8.4.2	Material und Methoden	157
8.4.3	Ergebnisse	158
8.4.4	Diskussion	160
8.5	Laborversuche zur Färbung von Imagines mittels Tagesleuchtpigmente	161
8.5.1	Einleitung	161
8.5.2	Material und Methoden	161
8.5.3	Ergebnisse	162
8.5.4	Diskussion	167
<b>9</b>	<b>FELDVERSUCHE ZUR <i>B.T.I.</i>-APPLIKATION DURCH KALTVERNEBELUNG</b>	<b>170</b>
9.1	Einleitung	170
9.2	Material und Methoden	170
9.3	Ergebnisse	172
9.4	Diskussion	174
<b>10</b>	<b>BEURTEILUNG DER DURCHGEFÜHRTEN BEKÄMPFUNGSMABNAHMEN</b>	<b>176</b>
10.1	Einleitung	176
10.2	Populationseinschätzung	176
10.3	Bekämpfungsmaßnahmen	177
10.3.1	Hilfe zur Selbsthilfe	177

10.3.2	<i>B.t.i.</i> -Applikation	177
10.3.3	Freilassung steriler Männchen (SIT)	178
10.3.4	Letale Fallensysteme	178
10.4	Beschreibung der Bekämpfungssituation und der Populationsentwicklung	178
<b>11</b>	<b>EMPFOHLENE VORGEHENSWEISE ZUR INTEGRIERTEN BEKÄMPFUNG DER ASIATISCHEN TIGERMÜCKE IN BADEN-WÜRTTEMBERG</b>	<b>183</b>
11.1	Allgemein	183
11.2	Behördliche Unterstützung	184
11.3	Bereitstellung von Informationen	185
11.4	Befallsgebiet eingrenzen	186
11.5	<i>B.t.i.</i> -Applikation	188
11.6	Sterile Insekten Technik (SIT)	190
11.7	Hilfe zur Selbsthilfe	192
11.8	Bestandskontrolle	193
11.8.1	Begleitendes Monitoring während der Bekämpfung	193
11.8.2	Nachkontrollen	194
11.9	Umfeld-Monitoring	194
<b>12</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>196</b>

# Zusammenfassung

## Einleitung

Durch den voranschreitenden weltweiten Klimawandel kommt es mittlerweile auch in Deutschland zu einem vermehrten Auftreten der ursprünglich tropischen Stechmückenart *Aedes albopictus*, die auch als Asiatische Tigermücke bezeichnet wird. Deren Ausbreitung wird vor allem wegen ihrer hohen Vektorkompetenz von den Verantwortlichen der Gesundheitsbehörden und Kommunen mit großer Sorge verfolgt. Monitoringprojekte, die sich mit dem frühzeitigen Erkennen von Gründerpopulationen der Asiatischen Tigermücke befassen, wurden in Deutschland schon früh entwickelt und werden seit einigen Jahren erfolgreich durchgeführt. Dringender Forschungsbedarf besteht jedoch für Bekämpfungsmaßnahmen, welche unter den klimatischen und infrastrukturellen Bedingungen in Baden-Württemberg eine erfolgreiche Auslöschung neu entdeckter Populationen der Asiatischen Tigermücke ermöglichen. Aus diesem Anlass wurden verschiedene Labor- und Freilandversuche an einer im Jahr 2015 neu entdeckten größeren Population der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg durchgeführt. Mit dem Ziel einer integrierten ökologischen Bekämpfung wurde die Praktikabilität und Effektivität von verschiedenen Bekämpfungsmethoden unter realen Freilandbedingungen untersucht und gleichzeitig die gesamte Population der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg bekämpft.

## (Winter)-Ei-Monitoring

Alle bisher bekannten Monitoringmethoden zur Erfassung des Umfanges von neu entdeckten Tigermückenpopulationen sind in Deutschland lediglich während der Reproduktionsperiode anwendbar. In mehreren Versuchen konnte eine neue Monitoringmethode entwickelt werden, welche schon während des Winterhalbjahres durchführbar ist. Mit dieser Methode ist es möglich, das komplette Verbreitungsgebiet von im Spätsommer neu entdeckten und noch nicht komplett erfassten Populationen der Asiatischen Tigermücke noch während der kommenden Wintermonate genau einzugrenzen. Dadurch ermöglicht es diese Methode, im folgenden Frühjahr rechtzeitig mit einer intensiven Bekämpfung des ersten Larvenschlupfes im gesamten Befallsgebiet zu beginnen. Bei den im Winter durchgeführten Freilandversuchen war das (Winter)-Ei-Monitoring äußerst effektiv und lieferte eine im Schnitt 3,5-fach höhere Nachweisrate von mit *Ae. albopictus* besiedelten Regentonnen, als ein später zu Beginn der folgenden Reproduktionsperiode durchgeführtes Larvenmonitoring in noch nicht untersuchten Regentonnen desselben Gebietes.

## Hilfe zur Selbsthilfe

Zur Bekämpfung von Stechmücken auf privaten Grundstücken im Siedlungsbereich wird oft das Prinzip der Hilfe zur Selbsthilfe angewandt, bei welchem die Bevölkerung zur selbstständigen Bekämpfung und Reduktion der vorhandenen Brutstätten auf dem eigenen Grundstück angehalten wird. In mehreren Versuchen konnte gezeigt werden, dass aufgrund der festgestellten Bürgerbeteiligung bei der Brutstättenvermeidung und *B.t.i.*-Behandlung der Regentonnen im Rahmen von Hilfe zur Selbsthilfe-Maßnahmen weder eine vollständige Auslöschung noch eine deutliche Populationsreduktion der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg zu erwarten ist. So war im langfristigen Trend über fast zwei Versuchsjahre zwar eine stetige, jedoch nur geringe Abnahme des Brutstättenangebotes im Gartenbereich von durchschnittlich 6,2 auf 4,6 Brutstätten pro Privatgrundstück zu verzeichnen. Selbst kostenlos verteilte biologische Bekämpfungsmittel



wurden trotz hoher Informationsdichte nur von rund 40 % der Anwohner zur empfohlenen Bekämpfung der Regentonnen verwendet.

### **B.t.i.-Behandlung von Regentonnen**

Die Wirkung von biologischen Präparaten auf der Basis von *B.t.i.* ist abhängig von verschiedenen Faktoren, wie der angewandten Dosis, der Wasserqualität, der Temperatur und der Stechmückenart. Daher wurden in mehreren Versuchen das optimale Bekämpfungsintervall und die nötige Dosis zur Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke unter den klimatischen und infrastrukturellen Bedingungen in Baden-Württemberg ermittelt. In Laborversuchen lag die minimal effektive Dosis (LC99) für Viertlarven bei 39,2 ITU/Liter und für Erstlarven bei 22,8 ITU/Liter. In zwei Versuchen unter kontrollierten Freilandbedingungen war eine *B.t.i.*-Konzentration von 11.000 ITU/Liter ausreichend, um in Regentonnen ohne Wasserumwälzung ein Aufwachsen von Drittlarven für 15 Tage und für Erstlarven für 30 Tage zu verhindern. Organisch belastete Regentonnen erforderten eine etwa doppelt so hohe *B.t.i.*-Dosis für den gleichen Langzeiteffekt. Aufgrund der Versuche wird für die Erstbehandlung von Regentonnen und anderen Brutstätten der Asiatischen Tigermücke eine *B.t.i.*-Dosis von 8.000 – 9.000 ITU/Liter empfohlen. Sollten danach die Regentonnen nicht komplett entleert oder durch Starkregenereignisse durchgespült werden, ist eine Nachbehandlungen im 3-wöchigen Rhythmus mit einer reduzierten Dosis von 5.000 – 6.000 ITU/Liter ausreichend.

### **Prophylaktische Kupferbehandlung von Grabvasen**

Frühere Studien zeigten, dass es durch präventives Imprägnieren von Grabvasen mittels eines Kupfersprays eventuell möglich ist, die Entwicklung von in Containern brütenden Stechmücken auf Friedhöfen zu verringern. In mehreren Labor- und Freilandversuchen sollten noch offene Fragen und die Effektivität der neuen Methode unter Freilandbedingungen geklärt werden. In einem Freilandversuch auf drei Friedhöfen über mehrere Wochen lag der Anteil der zuvor kupferbehandelten und mit *Aedes japonicus*-Larven besiedelten Grabvasen bei durchschnittlich nur 0,4 %, während in durchschnittlich 16,3 % der unbehandelten Kontrollvasen Larven der Art zu finden waren. In Laborversuchen konnte für die Arten *Aedes albopictus* und *Aedes japonicus* ein statistisch signifikanter Zusammenhang bei den ermittelten Mortalitätsraten zwischen organischer Belastung innerhalb der Grabvasen und der Dauer der Kupfereinwirkzeit aufgezeigt werden. Larven von *Aedes japonicus* waren dabei deutlich empfindlicher gegenüber der Kupferspraybehandlung als Larven der Asiatischen Tigermücke. Weiterhin zeigte sich eine deutlich abstoßende Wirkung von Kupfer innerhalb von Grabvasen auf eiablagebereite Weibchen der Asiatischen Tigermücke. Auch wenn abschließend die Kupferspraybehandlung von Grabvasen nicht für gezielte und intensive Bekämpfung von Populationen der Asiatischen Tigermücke in Betracht gezogen werden wird, kann diese Methode zur prophylaktischen Behandlung von Grabvasen auf Friedhöfen im Umfeld von Einschleppungsorten der Asiatischen Tigermücke verwendet werden.

### **Effektivität von Fallensystemen für Monitoring- und Bekämpfungsmaßnahmen**

Bei verschiedenen Versuchen zur Effektivität verschiedener Stechmücken-Fallensysteme wies die BG-Sentinel-Falle den höchsten Anteil positiver Kontrollen auf. Signifikant geringer lag der Anteil der positiven Kontrollwochen bei der Standard-Eiablagefalle und bei der GAT-Falle, welche im Vergleich zur BG-Sentinel-Falle rund 11-fach bzw. 6-fach geringere Nachweisraten aufwiesen. Die zusätzlich durchgeführten Anflugkontrollen wiesen die zweithöchsten Nachweisraten für Individuen der Asiatischen Tigermücke auf, welche nur um das 3,6-fache unter der Nachweisrate der BG-Sentinel-Falle lagen. In einem weiteren Ver-

sich wurden an der BG-Sentinel-Falle verschiedene Modifikationen vorgenommen, um unter Freilandbedingungen den Einfluss eines zusätzlichen, thermalen Reizes auf die Fangraten von *Ae. albopictus*-Weibchen zu untersuchen. Während des Versuches konnte mit einem der modifizierten Fallentypen eine 3,8-fach höhere Fangrate gegenüber dem nicht modifizierten Standardfallentyp der BG-Sentinel-Falle erreicht werden.

### **Sterile Insekten Technik (SIT)**

In mehreren Labor- und Freilandversuchen wurden die Effektivität und die praktische Anwendung der Sterilen Insekten Technik unter den infrastrukturellen und klimatischen Bedingungen in Baden-Württemberg untersucht. In einer im Jahr 2016 mit BTI behandelten Kleingartenanlage mit schon stark reduzierter Populationsdichte der Asiatischen Tigermücke erfolgte im Jahr 2017 während der gesamten Reproduktionsperiode eine Freilassung von wöchentlich 4.000 sterilen Männchen pro Hektar und eine Reduktion anderer Bekämpfungsmaßnahmen. Mit der wöchentlichen Kontrolle von 80 Eiablagefallen konnte zwar ein leichter Anstieg der Populationsstärke, aber auch ein Anteil von 63 % unbefruchteter Eier ermittelt werden. Dieser Anteil an unbefruchteten Eiern würde bei zukünftigen Bekämpfungsmaßnahmen zu einer zusätzlichen Reduktion der Population um mindestens 50 % führen. In mehreren Laborversuchen mit verschiedenen Szenarien konnte gezeigt werden, dass die Färbung der SIT-Männchen mit Tagesleuchtpigmenten keinen Einfluss auf die Überlebensrate der Tiere hat. Dadurch ist es bei der Anwendung der sterilen Insektentechnik möglich, bei gefangenen Imagines sehr zuverlässig zwischen Wild- und SIT-Imagines zu unterscheiden. Ebenfalls zeigte sich in Laborversuchen, dass das Bleichen der in Eiablagefallen abgelegten Eier mittels Wasserstoffperoxid eine gute Alternative ist, um zuverlässig den Befruchtungsstatus von Eiern im Rahmen von SIT-Anwendungen, auch bei Diapauseeiern, zu überprüfen. In einer durchgeführten Wiederfangstudie konnten innerhalb eines Siedlungsgebietes zuvor farbmarkierte SIT-Männchen bis zu einer Entfernung von 110 m wiedergefangen werden.

### ***B.t.i.*-Applikation durch Kaltvernebelung**

In zwei Feldversuchen wurde in Bereichen mit einer unübersichtlichen Brutstättensituation die Effektivität von großflächiger Kaltvernebelung einer *B.t.i.*-Suspension mittels eines auf dem Rücken tragbaren, motorbetriebenen Sprühgerätes überprüft. Abhängig von der Entfernung und Lage der Brutstätten konnte durch die Vernebelung, selbst bei schwierigen Standortbedingungen, die *B.t.i.*-Suspension bis in eine Entfernung von 25 Metern verteilt werden. Einen ausreichenden Bekämpfungsgrad der vorhandenen Brutstätten kann bis zu einer Entfernung von 10 m erreicht werden. Dabei sollte eine Applikation der zu behandelnden Bereiche aus möglichst verschiedenen Richtungen erfolgen, um mit dem Luftstrom des Applikationsgerätes auch in verdeckte Brutstätten oder Brutstätten mit seitlicher Öffnung ausreichend *B.t.i.*-Suspension einzublasen.

### **Beurteilung der durchgeführten Maßnahmen**

Neben der Durchführung von verschiedenen Labor- und Freilandversuchen zu den unterschiedlichen Bekämpfungs- und Monitoringmethoden wurde parallel die gesamte Population der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg in den Jahren 2016 und 2017 bekämpft. Dadurch sollten zum einen wichtige Erkenntnisse über die Praktikabilität, Funktionalität und Effektivität der verschiedenen Bekämpfungsmethoden unter realen Freilandbedingungen gewonnen und zum anderen die weitere Ausbreitung der Art in Heidelberg verhindert werden. Der größte Einfluss auf den Bekämpfungserfolg konnte der *B.t.i.*-Applikation zugeordnet werden. Selbst in Gebieten mit einer verhältnismäßig geringen *B.t.i.*-Applikationsrate kam es zu einer Stagnation der Populationsentwicklung der Asiatischen Tigermücke. Lag der Anteil der *B.t.i.*-Applikation etwas höher,

hatte dies eine mehr oder weniger starke Reduktion der Populationsdichte zur Folge. Die Anwendung der SIT-Technik hatte einen geringeren Effekt auf die Populationsentwicklung der Asiatischen Tigermücke, welcher erst bei einer hohen Bekämpfungintensität der Methode auftrat. Am wenigsten Einfluss auf den Bekämpfungserfolg hatten die Selbsthilfemaßnahmen. So kam es in einem Teil des Gebietes trotz intensiver Information und kostenlos bereitgestellter *B.t.i.*-Tabletten zu einem leichten Populationsanstieg, bei sehr niedriger Intensität der *B.t.i.*-Applikation und der SIT-Maßnahmen. Erst durch die Intensivierung der BTI-Applikationsmaßnahmen im selben Gebiet kam es wieder zu einer Stagnation oder Reduktion der Asiatischen Tigermückenpopulation.

### **Empfohlener Maßnahmenkatalog**

**Monitoring:** Liegt der Zeitpunkt der Entdeckung von neuen Populationen der Asiatischen Tigermücke sehr spät am Ende der Reproduktionsperiode, kann ein einfaches Ei-Monitoring durchgeführt werden, um schon während der Wintermonate die Populationsausdehnung einzugrenzen. Zusätzlich erlaubt es diese Methode, frühzeitig in einen operativen Kontakt mit den Anwohnern der betroffenen Gebiete zu treten und rechtzeitig zu Beginn der Reproduktionsperiode mit einer umfangreichen und intensiven Bekämpfung zu beginnen. Erfolgt die Entdeckung der neuen Asiatischen Tigermücken-Population schon früher im Jahr, sodass mit dem ersten Monitoring noch während der Haupt-Reproduktionsperiode begonnen werden kann, sollte ein Larvenmonitoring in allen Brutstätten zusammen mit den ersten Bekämpfungsmaßnahmen im Rahmen einer intensiven *B.t.i.*-Applikation durchgeführt werden. Aufgrund der geringeren Populationsdichte am äußersten Rand der Population sollten bei ausbleibenden Nachweisen während des Larvenmonitorings zur Verifizierung zusätzlich Anflugkontrollen auf blutsuchende Weibchen der Asiatischen Tigermücke durchgeführt werden.

**Bekämpfung:** Die Grundlage des vorgeschlagenen integrierten Bekämpfungskonzeptes stellt eine biologische Bekämpfung der Larven innerhalb der Brutstätten dar. In Kommunen befindet sich der weitaus größte Teil der potenziellen Brutstätten auf privaten Grundstücken. Da hier eine Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke durch angeleitete Selbsthilfemaßnahmen nicht ausreichend erfolgen kann, ist eine nachhaltige Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke nur durch ausgebildete Fachkräfte möglich. Durch die Zuordnung von zuständigen Fachkräften für einzelne Bereiche stehen den Anwohnern mit der Zeit vertraute Ansprechpartner zur Verfügung, was die Akzeptanz für die regelmäßigen Maßnahmen erhöht und meist einen unkomplizierten Zugang zu den Privatgrundstücken ermöglicht. Zur Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke werden regelmäßig alle Bereiche bzw. Grundstücke des gesamten Befallsgebietes überprüft und möglichst alle potenziellen Brutstätten mit dem biologischen Wirkstoff *B.t.i.* behandelt. Die Bekämpfungsmaßnahmen müssen schon im Frühjahr zu einem Zeitpunkt beginnen, wenn die Tagesmitteltemperaturen im Durchschnitt der letzten sieben Tage das erste Mal über 11 °C steigen. Ab Beginn der *B.t.i.*-Behandlung erfolgt bis Ende September in zweiwöchigem Abstand jeweils eine erneute Behandlung des gesamten Besiedlungsgebietes. Zur schnellen und unkomplizierten Handhabung sollte als Formulierung eine *B.t.i.*-Wasser-Suspension über Rücken oder Handspritze ausgebracht werden. Als Mindestdosis sollte eine *B.t.i.*-Konzentration von 8.000 ITU/Liter in den Brutstätten erreicht werden. In schwer zugänglichen Bereichen oder bei einer sehr hohen, unübersichtlichen Anzahl an Brutstätten empfiehlt es sich, eine *B.t.i.*-Suspension mit einer Dosis von 3 Millionen ITU/Liter mit Hilfe eines tragbaren Sprüherätes großflächig, in Form eines Sprühnebels, zu verteilen. Vor allem bei größeren Populationen der Asiatischen Tigermücke kann der Einsatz der sterilen Insekentechnik (SIT) als komplementäre Bekämpfungsmaßnahme zusätzlich zu den *B.t.i.*-Applikationen durchgeführt werden, um die den Bekämpfungsmaßnahmen ausgesetzte Population der Asiatischen Tigermücke schneller unter die Schwelle der überlebensfähigen Populationsgröße zu drücken. Bei der Anwendung der

SIT-Methode in Baden-Württemberg sollten ab Anfang Mai bis Ende September wöchentlich mindestens 5.000 sterile Männchen je Hektar ausgebracht werden. Dabei sollten die SIT-Männchen an möglichst vielen Einzelstandorten freigelassen werden, um eine homogene Verteilung der Tiere im Befallsgebiet zu erreichen.

## **Schlussfazit**

In Südeuropa ist aufgrund des optimalen Klimas und der schon großflächig besiedelten Bereiche eine vollständige Auslöschung der Asiatischen Tigermücke nicht mehr möglich. Dort ist das Ziel von Bekämpfungsmaßnahmen, die Dichte der Populationen zu reduzieren, um die Belästigung der Bevölkerung und vor allem die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung von Krankheitserregern durch diesen sehr kompetenten Vektor zu verringern. Hingegen ist in Deutschland die vollständige Auslöschung der noch lokal begrenzten Populationen möglich und sollte das vorrangige Ziel von Bekämpfungsmaßnahmen sein.

Hierfür spielen vor allem aufgeklärte und handlungsfähige kommunale Behörden eine entscheidende Rolle. So ist für eine erfolgversprechende Bekämpfung an erster Stelle unerlässlich, dass sich im Aufbau befindende Gründerpopulationen der Asiatischen Tigermücke früh entdeckt werden. Mit Hilfe des vorangegangenen KLIMOPASS-Forschungsprojekts „Computeranwendung und Maßnahmenkatalog zur kommunalen Etablierungseinschätzung der Asiatischen Tigermücke in Bezug auf klimatische und infrastrukturelle Bedingungen in Baden-Württemberg“ können die kritischen Einschleppungsorte der Art innerhalb von Kommunen identifiziert und letztendlich das Brutstättenangebot und das Etablierungsrisiko mithilfe des bereitgestellten Maßnahmenkatalogs reduziert werden. 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.

Abschließend können diese noch lokal begrenzten Vorkommen der Asiatischen Tigermücke mithilfe des in diesem Forschungsprojekt erstellten Maßnahmenkatalogs effektiv und kostengünstig bekämpft werden. So wurde auf der Basis der Versuchsergebnisse und der nahezu zweijährigen Erfahrung innerhalb dieses Projektes abschließend ein Konzept zur integrierten Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg erstellt, welches das vollständige Auslöschen von lokal begrenzten Populationen der Art mit ökologisch vertretbaren Bekämpfungs- und Monitoringmethoden ermöglicht.

# Einleitung

## 1.1 RELEVANZ DER ARBEIT

### 1.1.1 MEDIZINISCHE RELEVANZ UND WEITERE BEDEUTUNG

Stechmücken sind blutsaugende Insekten und können bei einem Stich verschiedene Krankheitserreger wie Viren, Bakterien, Einzeller oder Würmer übertragen. So ist auch die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*) 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). Durch ihre Fähigkeit, alle möglichen künstlichen Brutgewässer zu besiedeln (HAWLEY 1988), ist *Ae. albopictus* besonders häufig in der Nähe menschlicher Siedlungen zu finden (SARDELIS et al. 2002). Hier kann die Asiatische Tigermücke bei guten Bedingungen in hohen Populationsdichten auftreten (MEKURIA & HYATT 1995). Als opportunistischer Blutsauger mit einem breiten Wirtsspektrum ist die Art zusätzlich ein potenzieller Brückenvektor zahlreicher Arboviren, solche mit Vögeln als Zwischenwirt eingeschlossen (SAVAGE et al. 1993; NIEBYLSKI et al. 1994). Die Asiatische Tigermücke zeichnet sich durch eine große Vektorkapazität aus, da sie in einem kurzen Zeitraum sehr häufig und viele verschiedene Wirte sticht, vor allem aber Menschen und Säugetiere. 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 Rifttalfieber-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).

Die Asiatische Tigermücke besitzt zusätzlich die Fähigkeit, einige Viren vertikal von Generation zu Generation über die abgelegten Eier zu übertragen (GRATZ 2004). Es ist jedoch unklar, welche Rolle diese transovarielle Übertragung im Transmissionszyklus der jeweiligen Viren spielt (SHROYER 1986). Für Dengue-Fieber-Viren wurde diese Übertragungsform schon mehrfach im Labor nachgewiesen (BOROMISA et al. 1987; MITCHELL & MILLER 1990; SHROYER 1990). Ebenfalls konnten selbige Viren in im Freiland gesammelten Eiern und Männchen nachgewiesen werden (IBANEZ-BERNAL et al. 1997; THENMOZHI et al. 2007). Für Viren der bekannteren Krankheiten LaCrosse-Fieber, Japanische-Enzephalitis, St.-Louis-Enzephalitis, Keystone-Fieber und Jamestown-Canyon-Fieber konnte der Nachweis einer möglichen transovariellen Übertragung ebenfalls erbracht werden (SHROYER 1986; GOTTFRIED et al. 2002).

Neben der Fähigkeit Arboviren zu übertragen, ist *Ae. albopictus* auch kompetenter Vektor der Herzwurmerkrankung und kutanen Dirofilariose von Hunden. Die Übertragung der beiden Erreger *Dirofilaria immitis* und *Dirofilaria repens* wurde im Labor und in Freilandfängen der Asiatischen Tigermücke nachgewiesen (NAYAR & KNIGHT 1999; LAI et al. 2001; CANCRINI et al. 2003). Der Mensch ist ein Fehlwirt, so dass es bei einer Infektion meist zu subkutaner Knotenbildung, aber auch zur Abwanderung in andere Bereiche des Körpers kommt (MOORHOUSE 1978). In Europa sind die Parasiten vor allem in südlichen und südöstlichen Ländern verbreitet (GRATZ 2004).

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). So 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 plageerregende Art in weiten Bereichen von Italien und im Südosten der USA (MOORE & MITCHELL 1997; GRATZ 2004). In Deutschland kam es im Verbreitungsgebiet der beiden ersten größeren brütenden Populationen in Freiburg und Heidelberg bis zu ihrer Entdeckung und Bekämpfung teilweise zu extrem starker Belästigung, sodass einzelne Bürger über die Aufgabe ihre Kleingartenparzelle oder sogar über den Verkauf ihres Hauses im Falle einer weiterhin bestehenden Einschränkung ihrer Lebensqualität durch *Ae. albopictus* nachdachten.

### 1.1.2 VERBREITUNG

Die Asiatische Tigermücke stammt ursprünglich aus Südostasien (HAWLEY 1988) und ist dort eine der häufigsten und am weitesten verbreiteten Stechmückenarten (HUANG 1968). Vermutlich schon sehr früh wurde die Art durch menschliche Immigration über den Seeweg (MATTINGLY 1953) oder Seefahrer (MITCHELL 1991) auch in Madagaskar heimisch. Ende des 19. Jahrhunderts breitete sie sich nach Osten aus und erreichte Hawaii (GILBERTSON 1945), wo sie 1902 schon eine häufig anzutreffende Art war (USINGER 1944).

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.

So wurde nach der Etablierung und Ausbreitung der Asiatischen Tigermücke in Italien (SABATINI et al. 1990, 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. 2012, BECKER et al. 2013). Dabei ist das Bundesland Baden-Württemberg aufgrund der kurzen Einschleppungswege zu den bestehenden Populationen in Norditalien und dem stark wärmebegünstigten Oberrheingraben das Bundesland mit dem größten Etablierungsrisiko 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 wärmsten 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

Da die Asiatische Tigermücke keine starken Ausbreitungstendenzen durch direkte Migrationsbewegungen aufweist (JIGGINS 2017) und sich die Art trotz der durch den Klimawandel angestiegenen Sommertemperaturen in Deutschland noch im Grenzbereich ihrer klimatischen Ausbreitungsgrenze befindet, können rechtzeitig ausgeführte geeignete Bekämpfungsmaßnahmen zu einer kompletten Auslöschung von noch lokal begrenzten Populationen führen.

Ohne Bekämpfung ist vor allem bei weiteren überdurchschnittlich warmen Jahren von einer stetigen Ausbreitung der Art auszugehen. Selbst in klimatisch unterdurchschnittlichen bzw. kühleren Jahren können Teile von größeren Populationen der Asiatischen Tigermücke in sogenannten „Wärmeinseln“, wie menschlichen Siedlungsbereichen, überdauern. So stünde dann in zukünftigen klimatisch ausreichend warmen Jahren ein großes „Startpotenzial“ innerhalb der Wärmeinseln schon zu Beginn der Reproduktionsperiode zur Verfügung. Durch die zunehmende Ausdehnung und Dichte der zuvor beschränkten Population wäre früher oder später, je nach klimatischem Verlauf der folgenden Jahre, eine vollständige Auslöschung nicht mehr möglich.

## 1.2 UNTERSUCHUNGSGEBIET

Die in dieser Arbeit untersuchten Gebiete befinden sich im Einzugsbereich der Stadt Heidelberg (114 m ü. NN, 49° 23'N 8° 40'O), in welchem sich auch die Vorkommen von *Aedes albopictus* finden lassen. Heidelberg liegt im Norden Baden-Württembergs und zählt mit einer Einwohnerzahl von knapp 150.000 zu dessen Großstädten (AMT FÜR STADTENTWICKLUNG UND STATISTIK, STADT HEIDELBERG 2016). Kennzeichnend für das Stadtbild ist die räumliche Aufteilung der Stadt in unterschiedliche Einheiten, bestehend aus Oberrheinebene, Bergstraße sowie Odenwald, wobei der Königsstuhl (568 m ü. NN) in südlicher Lage und der Heiligenberg (445 m ü. NN) in nördlicher Lage die höchsten Erhebungen darstellen (AMT FÜR UMWELTSCHUTZ, STADT HEIDELBERG 2015). Alle Teile der Population der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg liegen im westlichen Teil des Heidelberger Stadtgebietes, welcher sich innerhalb der Oberrheinebene befindet. Dieses Gebiet im Südwesten Deutschlands ist ein aus mitteleuropäischer Sicht klimatisch äußerst begünstigtes Gebiet (LIEDTKE & MARCINEK 2002). So bietet die Oberrheinebene, neben kleineren Bereichen des Grenzgebietes der Bundesländer Sachsen und Sachsen-Anhalt, dem Stadtgebiet von Berlin sowie vereinzelt, sehr kleinen Bereichen in den Flusstälern der Spree, Saar und des Mittelrheins die besten Bedingungen während der Reproduktionsperiode für die Asiatische Tigermücke in Deutschland (PLUSKOTA 2011). Wiederum im Vergleich mit den Gebieten in Deutschland, welche die besten Bedingungen während der Reproduktionsperiode bieten, weist die Oberrheinische Tiefebene die höchste Monatsmitteltemperatur im Januar (MÜLLER-WESTERMEIER et al. 1999) und somit die besseren Überwinterungsbedingungen für *Ae. albopictus* auf. So weist in Hinblick auf eine mögliche dauerhafte Etablierung der Asiatischen Tigermücke die Oberrheinebene die besten klimatischen Bedingungen in Deutschland auf (PLUSKOTA 2011).

Die Siedlung Ochsenkopf, die in den 1920er Jahren als Bahnarbeitersiedlung angelegt wurde, fügt sich heute durch die noch immer erhaltene Dorfstruktur in das Stadtbild von Heidelberg ein. Zugehörig zum Stadtteil Wieblingen ist der ca. 15 Hektar große Ochsenkopf jedoch durch die Autobahn A656 im Norden und im Westen sowohl durch die Gleise des Verkehrsverbundes Rhein-Neckar eG als auch durch die dahinter liegenden Gewerbeflächen vom restlichen Stadtteil abgegrenzt. Im Süden erfolgt eine weitere Abtrennung von den Stadtteilen Bahnstadt und Eppelheim durch das Gleiswerk der Deutschen Bahn. Im östlichen Teil verläuft sich der Ochsenkopf und läuft in die Neckarspitze des Stadtteils Bergheim über.

Das Siedlungsgebiet verfügt über zwei Straßenbahnhaltestellen, eine Berufsschule, einen Kindergarten und einen kurzen Laufweg zur Fachhochschule. Abgesehen von diesen öffentlichen Grundstücken setzt sich der Ochsenkopf größtenteils aus Mehrfamilienhäusern mit anliegenden Gartengrundstücken zusammen. Daneben findet sich auch ein geringerer Anteil an Einfamilienhäusern mit anliegendem Gartengrundstück und Mehrfamilienhäusern mit gemeinsam genutzten Gartenanteilen. Durch den großen Anteil älterer Einfamilienhäuser treten im Ochsenkopf noch Züge des Selbstversorgertums auf, weshalb sich anteilig eine beträchtliche Menge an Regentonnen und anderen Brutstätten finden lassen.



Die Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ ist ein knapp 1,5 Hektar großes eingezäuntes Gebiet, welches aus insgesamt 31 eingezäunten Einzelgartenparzellen besteht. Ungefähr 50 % der verpachteten Grundstücke werden zur Selbstversorgung verwendet und weisen daher die typische Brutstätten-Vielfalt, bestehend aus Regentonnen, Gießkannen und Eimern auf. Weitere 35 % dienen der freizeithlichen Nutzung, und 15 % der Parzellen werden hingegen nicht aktiv genutzt, sondern dienen entweder als Abstellfläche für Hausrat oder werden nicht aktiv in Stand gehalten und verwildern mit dem dort vorhandenen Mobiliar und Gartenmaterial.

Das Siedlungsgebiet Wellengewann hat einen Umfang von etwa 2 Hektar und gehört zum Heidelberger Stadtteil Pfaffengrund. Im Wellengewann befinden sich einzelne Gewerbebetriebe, wobei Reihenhäuser mit anliegendem Gartengrundstück und einige Mehrfamilienhäuser mit gemeinsam genutzten Gartenanteilen den größten Teil der Fläche ausmachen. Die Gärten im Siedlungsbereich Wellengewann werden nur im geringen Umfang für den Anbau von Obst- und Gemüse genutzt, wodurch der Anteil an Regentonnen und anderen für die Asiatische Tigermücke geeigneten Brutstätten etwas geringer als im Ochsenkopf ausfällt.

### 1.3 UNTERSUCHTE POPULATION DER ASIATISCHEN TIGERMÜCKE

Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit wurden an der zweiten bekannten, größeren brütenden Population von *Ae. albopictus* in Deutschland durchgeführt. Diese wurde im Rahmen des „Mückenatlasprojektes“ (KAMPEN et al. 2015) im Spätsommer 2015 entdeckt und an die Kommunale Arbeitsgemeinschaft zur Bekämpfung der Stechmückenplage (KABS e.V.) gemeldet, welche innerhalb der Oberrheinebene die biologische Bekämpfung von Überschwemmungsmücken und Hausmücken durchführt. Das bei der KABS e.V. angesiedelte Institut für Dipterologie (IfD) führte im Spätsommer das erste großflächige Larven-Monitoring der Heidelberger Population der Asiatischen Tigermücke durch.

Aufgrund der hereinbrechenden herbstlichen Witterung war sowohl der Populationsumfang als auch die Populationsdichte nicht exakt zu erfassen. Bis zum Abschluss des Monitorings Ende 2015 konnte eine von *Ae. albopictus* besiedelte Fläche von maximal 14 Hektar nachgewiesen werden. Diese erstreckte sich vom westlichen Teil des Siedlungsbereiches Ochsenkopf (Stadtteil Wieblingen) über die Kleingartenanlage (In den 12 Morgen) bis zum Siedlungsbereich Wellengewann (Stadtteil Pfaffengrund). Durch die einsetzende kalte Witterung während des Larven-Monitorings kam es zu einem Absinken der letzten verbliebenden Larvengeneration auf den Boden der Regentonnen, was ein Auffinden bzw. einen Nachweis von Larven der Asiatischen Tigermücke erschwerte. Der Containerindex, Anteil positiver Regentonnen, innerhalb des mit *Ae. albopictus* besiedelten Gebietes lag bis zum Ende des Larven-Monitorings je nach Untersuchungsbereich zwischen 10-75 %. Hierbei gab jedoch nur der Containerindex des westlichen Teils des Siedlungsbereiches Ochsenkopf mit

22,2 % ein repräsentatives Bild der Populationsdichte wieder, da hier noch ausreichend viele Regentonnen untersucht werden konnten.

Insgesamt dürfte die Populationsdichte der Asiatischen Tigermücke im Siedlungsbereich Ochsenkopf und innerhalb der Kleingartenanlage (In den zwölf Morgen) im Jahr 2015 stellenweise sehr hoch gewesen sein, da von vielen Anwohnern bzw. Parzellenbesitzern über sehr starke bis nahezu „unerträgliche“ Belästigung durch Stechmücken am hellen Tage berichtet wurde, welche zuvor in diesen Bereichen noch nie aufgetreten waren. Nur aus dem Siedlungsbereich „Wellengewann“ gab es keine Berichte über derartige Belästigung durch Stechmücken im Jahr 2015.

#### 1.4 ZIELSETZUNG

Verschiedene Monitoringprojekte, welche das Auffinden von eingeschleppten Individuen oder Gründerpopulationen der Asiatischen Tigermücke ermöglichen, werden in Deutschland schon seit einigen Jahren aufgebaut und erfolgreich durchgeführt (PLUSKOTA 2007, WERNER et al. 2011, BECKER et al. 2013).

Um nach dem Entdecken einer Einschleppung oder sogar brütenden Population eine dauerhafte Etablierung und flächige Ausbreitung der Asiatischen Tigermücke in Deutschland zu verhindern, ist es nötig, möglichst schnell zielgerichtete Bekämpfungsmaßnahmen durchzuführen. Um jedoch eine Bekämpfung von *Ae. albopictus* unter den klimatischen und infrastrukturellen Gegebenheiten in Baden-Württemberg effektiv und zielführend durchführen zu können, fehlt es bisher an praktischen Erfahrungswerten. Lediglich aus der von der KABS in ihren Mitgliedsgemeinden durchgeführten Bekämpfung der „Hausschnaken“ (*Culex*-Arten) können teilweise Erfahrungswerte für die selbstständige Bekämpfung im Siedlungsbereich übernommen werden.

Um diese Wissenslücke zu schließen, sollten innerhalb des Projektes Freilanduntersuchungen an einer der ersten in Deutschland selbstständig brütenden Population durchgeführt werden. Dabei sollten verschiedene Monitoring- und Bekämpfungsmethoden erprobt werden, um aus den gewonnenen Daten ein aufeinander abgestimmtes komplementär ergänzendes Maßnahmenpaket zusammenzustellen. Dieses soll als Basis für ein standardisiertes und erprobtes Monitoring- und Bekämpfungskonzept von *Ae. albopictus* im urbanen Raum dienen und kann bei weiteren auftretenden Populationen der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg angewandt werden.

Das Hauptaugenmerk der Freilanduntersuchungen liegt auf dem menschlichen Siedlungsbereich. Zum einem ist hier aufgrund des meist erhöhten Brutstättenangebotes und der geeigneten Habitats-Strukturen ein weiteres Auftreten neuer Gründerpopulationen am wahrscheinlichsten. Zum anderen hängt der Bekämpfungserfolg in diesen Bereichen zusätzlich von der Beteiligung der Bevölkerung ab, sodass eine Durchführbarkeit von externen Maßnahmen und die Umsetzung privater Selbsthilfemaßnahmen dringend erprobt werden muss.

Daher wurden in diesem Projekt die angedachten Freilanduntersuchungen an der Heidelberger Population von *Ae. albopictus* durchgeführt, welche als Modellpopulation optimal geeignet war. Während zu Beginn des Projektes die Freiburger Population noch hauptsächlich auf eine Kleingartenkolonie beschränkt war, kam die Asiatische Tigermücke in Heidelberg sowohl in einer Kleingartenanlage als auch in einem dicht besiedelten suburbanen Siedlungsbereich mit hohem Gartenanteil in hohen Populationsdichten vor.

Zusätzlich befindet sich die Heidelberger Population der Asiatischen Tigermücke in ihrer Gründungsphase mit noch lokal begrenzter Verbreitung, welche trotz hohem Brutstättenangebot eine heterogene Populationsdichte aufweist. Dies ist ein Populationszustand, in welchem sich auch die zukünftig entdeckten Populationen der am Tage sehr aggressiv stechenden Stechmückenart befinden werden.

## 2 Laborzucht und Umweltbedingungen

### 2.1 LABORSTÄMME

Die für die Versuche verwendeten verschiedenen Entwicklungsstadien der Asiatischen Tigermücke (*Aedes albopictus*) wurden aus einem Laborzuchtstamm des Instituts für Dipterologie entnommen. Dieser Zuchtstamm wurde aus Freilandfängen aus der Population der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg aufgebaut. Dafür wurden kontinuierlich ab Mai 2016 bis September 2017 alle abgesammelten Larven und alle in den Fallen abgelegten Eier von *Ae. albopictus* in die Zucht überführt. Für die Versuche erfolgte die erste Entnahme von Individuen aus den Laborstämmen nach einer Etablierungsphase von zwei Generationen und mindestens 100 aus dem Freiland eingebrachten Individuen.

### 2.2 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 75 % ( $\pm 10$  %) und eine Tageslichtphase von 18 Stunden eingestellt (MORI 1979; MORI & ODA 1981; HAWLEY et al. 1989; SCOTT et al. 1990; SHROYER 1990; HEARD et al. 1991).

Wurden für Versuche Diapause-Eier benötigt, erfolgte eine Umstellung der Umweltbedingungen, um das Ablegen von Diapause-Eiern zu initiieren. Die Temperatur wurde hierfür schon zu Beginn der Larvenaufzucht auf 20 °C ( $\pm 1$  °C) gesenkt 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 75 % ( $\pm 10$  %).

### 2.3 AUFZUCHTBEDINGUNGEN

Die Hälterung der erwachsenen Tiere erfolgte in 30 x 30 x 30 cm großen Netzkäfigen (Bugdorm®-1, Insect Rearing Cage). Den Imagines stand ständig eine 10 % Haushaltszuckerlösung über Filmdöschen mit Dochtssystem (PLUSKOTA 2011) zur freien Verfügung. Die Wasserversorgung wurde ebenfalls permanent über die angebotenen Eiablagedosen bereitgestellt. Zur Produktion von Eiern wurde den Weibchen für die benötigte Blutmahlzeit der menschliche Arm angeboten. Für die Eiablage wurden handelsübliche Filmdöschen oder Ovitrap mit hölzernen Eiablagesubstraten bereitgestellt.

Die Aufzucht der Larven erfolgte in halbtransparenten Plastikschalen der Größe 30 x 23 x 6 cm. Die Schalen wurden mit 2000 ml Aufzuchtwasser 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 (MORI UND ODA 1981; SOTA 1993; XUE et al. 1995; XUE UND BARNARD 1996). Als Aufzuchtwasser wurde mindestens drei Tage lang abgestandenes Leitungswasser verwendet (SOTA 1993; MOGI et al. 1996). 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 (MORI 1979), 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 Erstarvenstadium 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 (KRUGER et al. 1991; HELLECK et al. 1993; BRIEGEL & TIMMERMANN 2001; LAI et al. 2001; SARDELIS et al. 2002).

# 3 (Winter)-Ei-Monitoring

## 3.1 EINLEITUNG

Um nach der Entdeckung einer neuen Population von *Ae. albopictus* Bekämpfungsmaßnahmen gezielt einleiten und koordinieren zu können, ist es äußerst wichtig, möglichst schnell den Gesamtumfang der Population und die Verteilung der Individuendichte innerhalb der Population zu erfassen. Hierbei ist vor allem die Klärung der kompletten Populationsausdehnung von höchstem Interesse, da es nur durch Bekämpfungsmaßnahmen im gesamten durch *Ae. albopictus* besiedelten Gebiet zu einer vollständigen Auslöschung der Population kommen kann.

Für den Nachweis von Stechmückenpopulationen oder um deren Populationsdichte beurteilen zu können, werden verschiedene Methoden angewandt. So können Anflugkontrollen oder Fallenfänge durchgeführt werden, um erwachsene Stechmückenweibchen auf der Suche nach einer Blutmahlzeit abzufangen. Durch Bereitstellung von potenziellen Brutstätten können abgelegte Eier oder wiederum Weibchen auf der Suche nach einer Eiablagemöglichkeit nachgewiesen werden. Ebenfalls ist eine gängige Praxis, wassergefüllte Brutstätten im potenziellen Verbreitungsgebiet auf das Vorhandensein von Stechmückenlarven zu untersuchen.

Alle diese Methoden sind lediglich während des Sommerhalbjahres bzw. während der Reproduktionsperiode anwendbar, welche mit 9-12 Monaten in den tropischen und subtropischen Verbreitungsgebieten von *Ae. albopictus* sehr lange ausfällt. Je nach Witterungsverlauf ist in Deutschland für diese üblichen Monitoringmethoden von Stechmücken jedoch lediglich ein Zeitfenster von maximal sechs Monaten zu erwarten. Weiterhin haben die bisherigen Erfahrungen gezeigt, dass sich im Aufbau befindende Gründerpopulationen der Art oft erst im Laufe des Hochsommers, nach dem Erreichen einer „spürbaren“ Populationsstärke, entdeckt werden. Für eine lückenlose Erfassung der für eine effektive Bekämpfung nötigen Populationsdaten kann es zu diesem Zeitpunkt schon zu spät sein. Diese Daten könnten dann erst im kommenden Frühjahr, mit dem Wiederbeginn der Reproduktionsperiode, erhoben werden, was den koordinierten Beginn der Bekämpfungsmaßnahmen hinauszögert. So wurden auch die Populationen der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg Wieblingen (2015), Heidelberg Handschuhsheim (2017) und in Karlsruhe (2017) erst so spät im Jahr gemeldet, dass aufgrund der rasch einsetzenden herbstlichen Witterung der Populationsumfang lediglich stichprobenartig überprüft werden konnte.

In mehreren Versuchen, welche im Rahmen zweier Masterarbeiten der Universität Heidelberg durchgeführt wurden (STELZNER 2017, AUGSTEN 2018), sollte eine neue Monitoringmethode, welche schon während des Winterhalbjahres durchführbar ist, in einem Freilandversuch erprobt und auf ihre Genauigkeit überprüft werden. Hierfür sollten Regentonnen auf Eier der Asiatischen Tigermücke untersucht werden, welche von den Weibchen der Art in den davorliegenden Sommermonaten einzeln an die Innenseite der Regentonne abgelegt wurden. Als Mitnahmeeffekt des Versuches sollten ebenfalls Informationen über die Effektivität von Regentonnenreinigungen als mögliche zu empfehlende Selbsthilfe-Bekämpfungsmaßnahme gewonnen werden.

### 3.2 MATERIAL UND METHODEN

Um eine Regentonne auf vorhandene Eier zu untersuchen, wurde diese zunächst vollständig geleert und eventuell vorhandene Detritus-Ansammlungen am Boden der Tonne mit Wasser ausgespült. Mit einer Wurzelbürste wurde die Innenseite der Regentonne kreisförmig abgerieben, so dass jede Stelle mindestens dreimal gereinigt wurde. Mit etwas Wasser aus einem Eimer oder einer Gießkanne wurde der von der Innenseite gelöste Abrieb mit etwas Wasser in die Regentonne gespült. Die Bürste wurde in einem extra Eimer untergetaucht und gründlich gereinigt, um eventuell anhaftende Eier sicher zu entfernen. Dieser Schritt wurde sehr sorgsam durchgeführt, um einen Übertrag von einer Regentonne in die nächste zu vermeiden.

Das Spülwasser aus der Regentonne und dem Eimer wurde über einen großen Trichter in weiße Sportsocken, welche als Filter dienen, geschüttet. Anschließend wurde mit frischem Wasser die Innenseite der Regentonnen ein weiteres Mal abgespült und der Rückstand durch die Socke gegossen. Die Socken mit dem Filtrat wurden beschriftet und ins Labor gebracht.

Im Labor wurde das Filtrat in den Socken durch Umstülpen und Abspülen in einen wassergefüllten Eimer überführt. Das Wasser hatte eine Temperatur von unter 13 °C, um einen Schlupf von Larven zu unterbinden. Nachdem das ganze Filtrat gesammelt war, wurde der Eimer für fünf Minuten stehen gelassen, damit es zu einem Absetzen des nicht schwimmenden Anteils des Filtrats kam.

In dieser Absinkphase wurde zunächst die Wasseroberfläche auf schwimmende Eier oder Eifragmente von *Ae. albopictus* untersucht. Am Ende der Absetzphase wurde der Überstand vorsichtig abgegossen und der Bodensatz samt etwas Wasser in eine Larvenauszuchtsschale überführt. Anschließend wurde das Filtrat auf abgesunkene Eier untersucht.

Nach dieser optischen Überprüfung auf vorhandene Eier der Asiatischen Tigermücke wurden die Larvenaufzuchtbecken bei Raumtemperatur abgestellt und täglich auf frisch geschlüpfte Larven überprüft. Falls nach drei Tagen keine Larven geschlüpft waren, wurde 20 % kaltes Wasser (13-15 °C) als Schlüpfstimuli (HIEN 1975) in die Schalen gegossen und diese für weitere 14 Tage bei Raumtemperatur abgestellt. Geschlüpfte Larven wurden bis zum Imagines-Stadium aufgezogen und auf die Art bestimmt. Da sich die Eier der Asiatischen Tigermücke mit etwas Erfahrung leicht von den Eiern der beiden anderen im Untersuchungsgebiet vorkommenden containerbrütenden *Aedes*-Arten unterscheiden lassen, war eine Bestimmung von gefundenen Eiern unter dem Binokular möglich. Auf diese Weise wurden zunächst zwischen dem 24. Februar und 21. April 2016 insgesamt 166 Regentonnen im Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ und der Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ auf Eier der Asiatischen Tigermücke überprüft. Beim ersten durchgeführten Larvenmonitoring im Mai 2016 wurden die zuvor gereinigten und markierten Regentonnen auf geschlüpfte Larven der Asiatischen Tigermücke überprüft. Gleichzeitig erfolgte im selben Gebiet eine Überprüfung von zuvor nicht gereinigten Regentonnen auf Grundstücken, deren Anwohner sich erst später zur Kooperation bereiterklärt hatten. Diese Grundstücke waren gleichmäßig in den beiden Untersuchungsgebieten verteilt und grenzten meist direkt an Grundstücke mit zuvor gereinigten Regentonnen an.

Im nächsten Winter 2016/2017 wurden im Bereich der Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ und im Siedlungsgebiet „Wellengewann“ ein weiteres (Winter)-Ei-Monitoring an insgesamt 70 Regentonnen durchgeführt. Nach der zuvor beschriebenen Vorgehensweise erfolgte eine zusätzliche Filtrationsstufe. Dafür wurde das durch den Filter und Socken gelaufene Wasser in einem Eimer aufgefangen und anschließend durch ein Sieb, welches mit einem feinen Stoffvlies ausgelegt wurde, zusätzlich gefiltert. Das Vlies samt dem Fein-

filtrat wurde beschriftet und ins Labor gebracht und dort auf dieselbe Weise wie die Filtersocken ausgewertet.

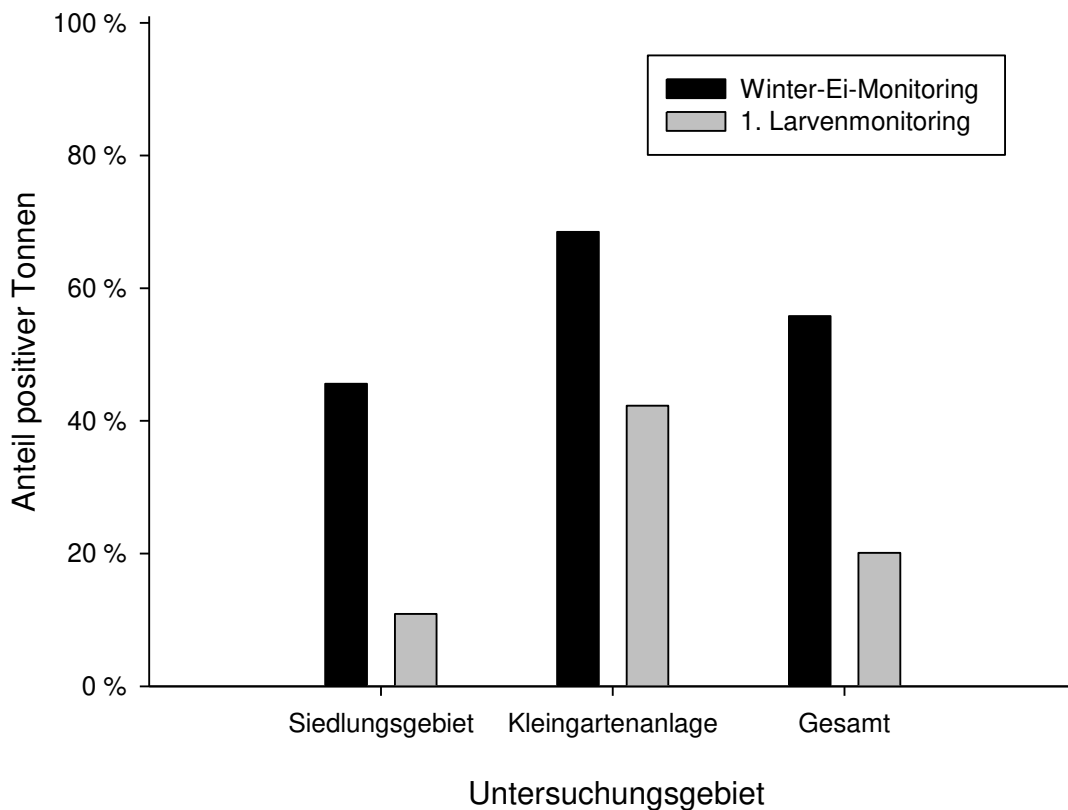
Für die Auswertung der Daten des (Winter)-Ei-Monitorings und des ersten Larvenmonitorings im Jahr 2016 wurden nur Regentonnen verwendet, welche innerhalb der von *Ae. albopictus* besiedelten Flächen in den beiden Untersuchungsgebieten lagen.

### 3.3 ERGEBNISSE

Bei dem ersten durchgeführten (Winter)-Ei-Monitoring zwischen dem 24. Februar und 21. April 2016 wurden insgesamt 166 Regentonnen im Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ und der Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ auf Eier der Asiatischen Tigermücke überprüft. Davon konnten wiederum 163 Regentonnen im Nachhinein als im geschlossenen Verbreitungsgebiet der Asiatischen Tigermücke liegend bestimmt werden, welche zur Überprüfung der Effektivität der Methode herangezogen wurden.

Insgesamt konnten in 55,8 % der untersuchten Regentonnen durch das Reinigen der Tonnen, Filtern und Untersuchen des Substrates Eier oder Larven von *Ae. albopictus* nachgewiesen werden (Abbildung 1). Dabei lag dieser als Container-Index (CI) bezeichnete Wert in der Schrebergartenanlage mit 68,5 % etwas höher als im untersuchten Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ mit nur 45,6 % von 90 untersuchten Regentonnen.

Bei der späteren Untersuchung der bisher ungereinigten Regentonnen auf vorhandene aquatische Entwicklungsstadien von *Ae. albopictus* in denselben Gebieten Ende Mai 2016 lag der ermittelte Anteil an positiven Regentonnen jeweils deutlich unter dem durch das Winter-Ei-Monitoring ermittelten Container-Index. Während im Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ der Container-Index des (Winter)-Ei-Monitorings noch 4,2-fach über dem des späteren Larvenmonitorings (10,9 %) lag, fiel dieser Unterschied im Bereich der Kleingartenanlage mit 2,8-fach höherem Container-Index beim (Winter)-Ei-Monitoring geringer aus. Hier lag der Container-Index des Larvenmonitorings bei 20,1 %.

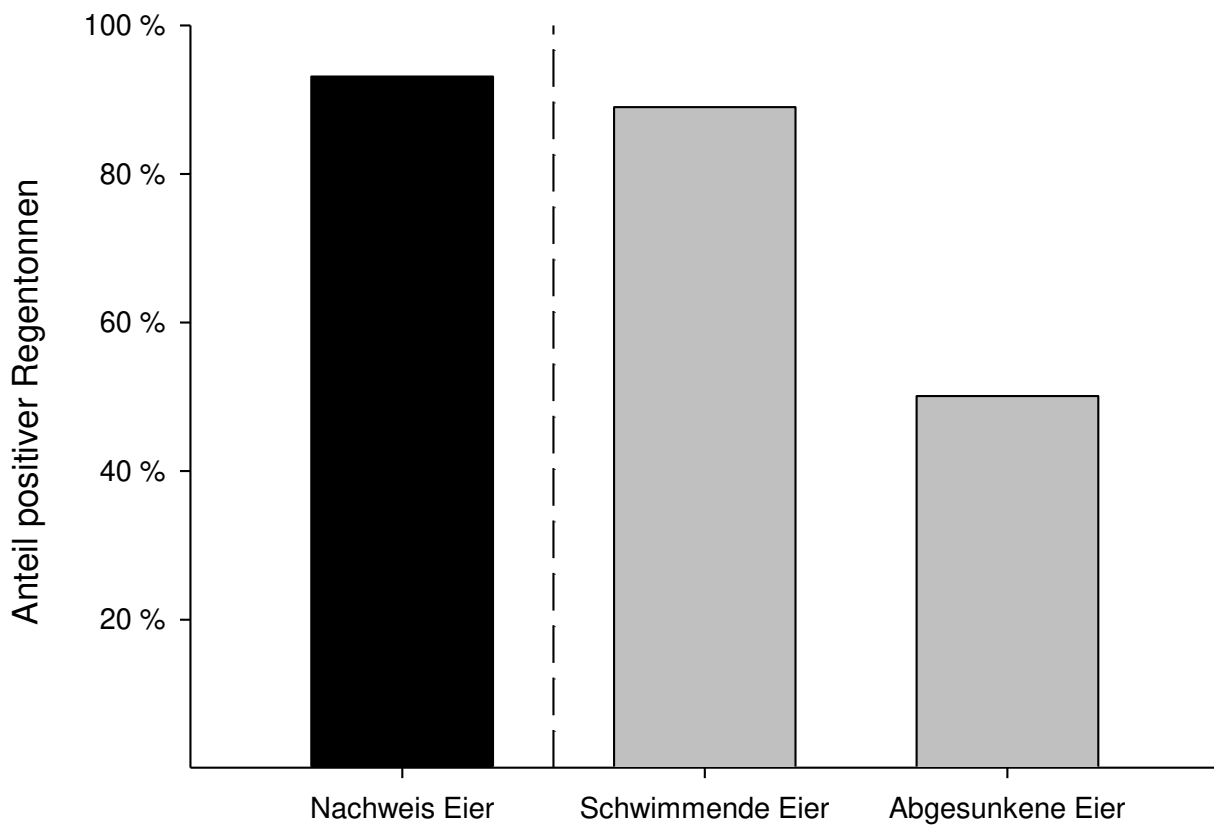


**Abbildung 1: Anteil positiver Regentonnen in den verschiedenen Untersuchungsgebieten, welche durch verschiedene Monitoringmethoden im Winter – Frühjahr 2016 ermittelt wurden. In die Wertung des 1. Larvenmonitorings gingen nur Regentonnen ein, welche zuvor während des (Winter)-Ei-Monitorings nicht erfasst und gereinigt wurden.**

Bei der späteren Untersuchung der bisher ungereinigten Regentonnen auf vorhandene aquatische Entwicklungsstadien von *Ae. albopictus* wurden auch die zuvor durch das (Winter)-Ei-Monitoring gereinigten Regentonnen überprüft. In keiner dieser Regentonnen, auch in den Regentonnen welche durch das (Winter)-Ei-Monitoring positiv gewertet wurden, konnten Larven oder Puppen der Asiatischen Tigermücke gefunden werden.

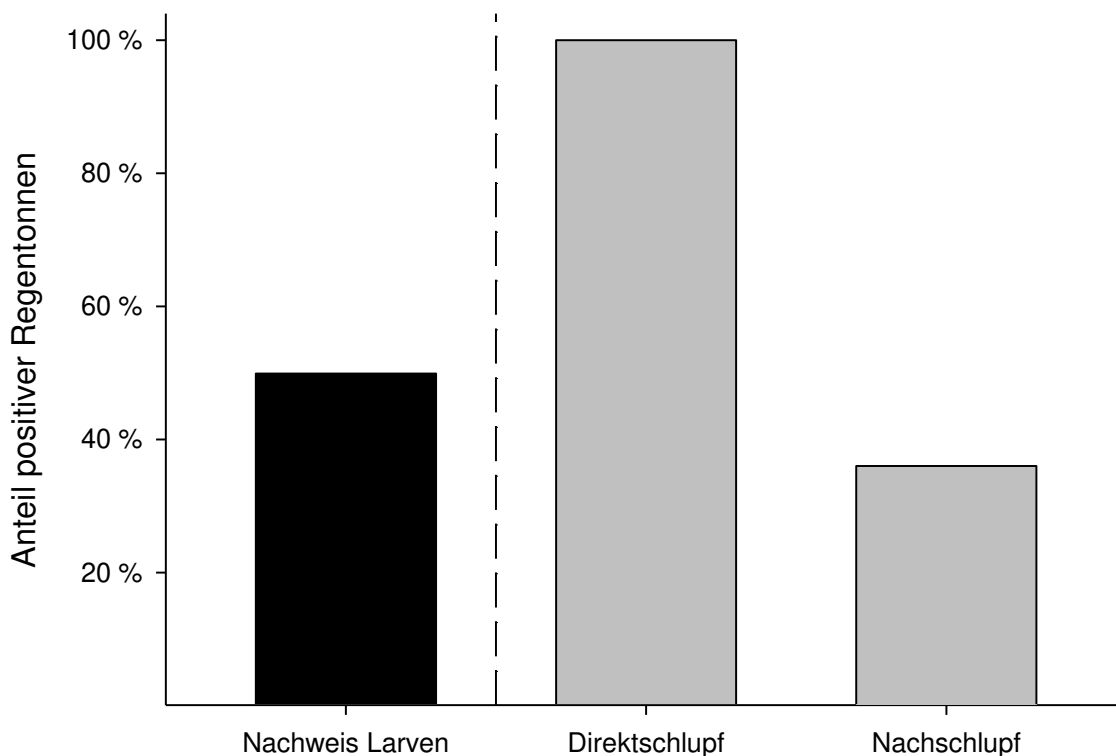
Im Labor erfolgte die Untersuchung auf vorhandene Eier von *Ae. albopictus* zunächst durch optische Überprüfung auf schwimmende oder abgesunkene Eier und anschließend durch mehrtägiges Fluten und Kontrolle auf geschlüpfte Larven der Art. Der Anteil der positiven Regentonnen, bei welchen Eier der Asiatischen Tigermücke direkt gefunden wurden, betrug 93,1 % (Abbildung 2). Wiederum bei 89 % der Nachweise von Eiern wurden diese an der Oberfläche des Spülwassers gefunden, und bei 50,2 % wurden die Eier abgesunken im Filtrat entdeckt. Dabei wurde nur bei 3,3 % der Regentonnen ein Nachweis auf *Ae. albopictus* erbracht, indem ausschließlich abgesunkene Eier im Filtrat gefunden wurden.





**Abbildung 2: Anteil positiver Regentonnen aufgrund von gefundenen Eiern und der davon prozentuale Anteil der Nachweise durch gefundene Eier von *Ae. albopictus* an der Wasseroberfläche oder am Boden des Filtrats.**

Durch mehrtägiges Fluten des Filtrates und Kontrolle auf geschlüpfte Larven konnten bei 49,9 % der positiven Regentonnen Larven von *Ae. albopictus* zum Schlüpfen gebracht werden (Abbildung 3). Bei 100 % dieser Larvennachweise erfolgte der Schlupf schon in der ersten Schlupfphase innerhalb von drei Tagen. Hingegen konnten nur bei 36,0 % der durch Larvenschlupf erbrachten Positiv-Nachweise, diese auch durch den späteren Nachschlupf bestätigt werden.

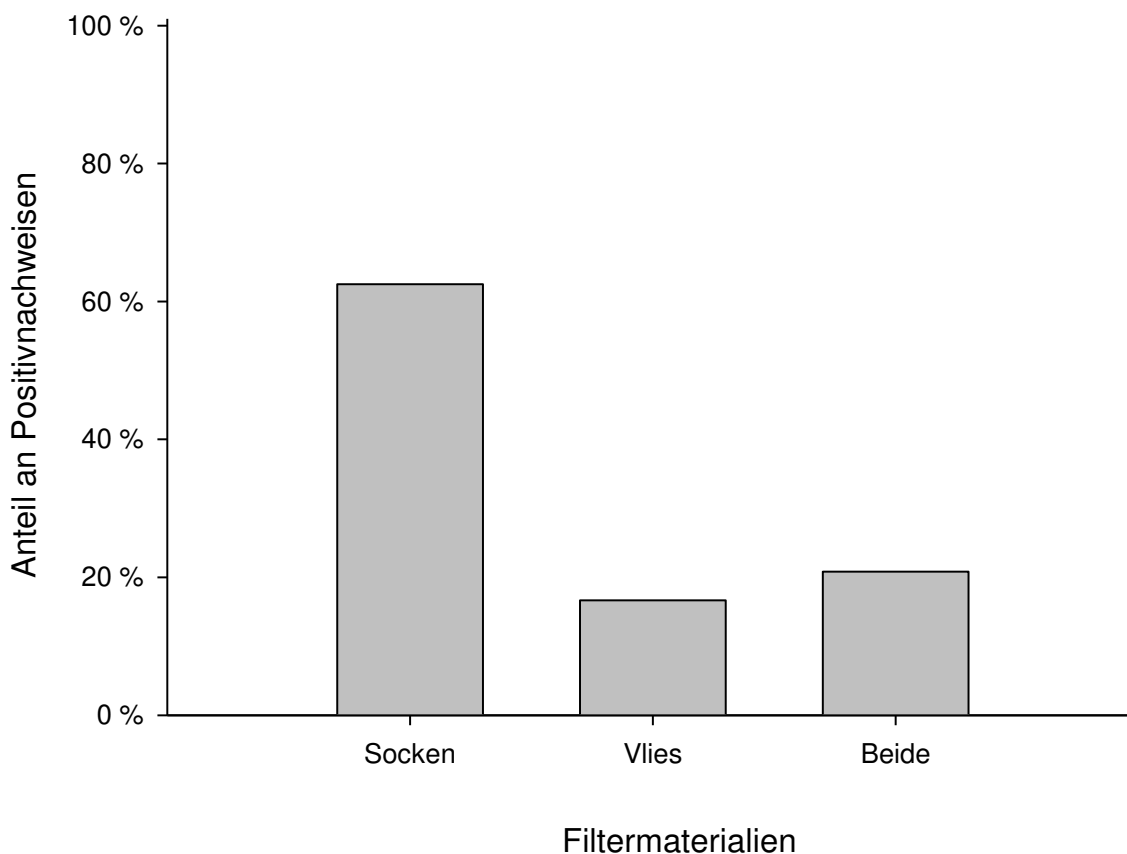


**Abbildung 3: Anteil positiver Regentonnen aufgrund von im Labor geschlüpften Larven und der davon prozentuale Anteil der Nachweise durch Larven von *Ae. albopictus* im ersten Hauptschlupf oder späteren Nachschlupf.**

Insgesamt wurde nur bei 6,7 % der Regentonnen ein Nachweis für *Ae. albopictus* erbracht, indem ausschließlich Larven geschlüpft waren, nachdem zuvor keine Eier entdeckt werden konnten. Hingegen wurde bei 50,0 % der positiven Regentonnen, der Nachweis auf *Ae. albopictus* ausschließlich durch gefundene Eier und ohne späteren Larvenschlupf erbracht.

Bei dem zweiten durchgeführten (Winter)-Ei-Monitoring im Frühjahr 2017 wurden insgesamt 70 Regentonnen im Siedlungsgebiet „Wellengewann“ und der Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ auf Eier der Asiatischen Tigermücke überprüft. In 34,3 % der untersuchten Regentonnen konnten im Labor Entwicklungsstadien von *Ae. albopictus* nachgewiesen werden. Dabei waren 83,3 % der Socken, welche als erste Filterstufe verwendet wurden, positiv für *Ae. albopictus*. Der Anteil an positiven Vliesen, welche als zweite Filterstufe benutzt wurden, lag mit 37,5 % deutlich niedriger.

Bei lediglich 16,7 % der für *Ae. albopictus* positiven Regentonnen wurden Eier nur im Filtervlies gefunden (Abbildung 4). Hingegen war der Anteil der positiven Regentonnen, bei welchen der Nachweis nur durch Eier in den Filtersocken erbracht werden konnte, mit 62,5 % deutlich höher. Wiederum bei 20,8 % der positiven Regentonnen konnten Eier in beiden Filterstufen nachgewiesen werden.



**Abbildung 4: Der Anteil an Regentonnen, welcher beim zweiten (Winter)-Ei-Monitoring durch gefundene Eier in den verschiedenen Filtermaterialien positiv für *Ae. albopictus* gewertet werden konnte.**

### 3.4 DISKUSSION

Die Ausbreitung der ursprünglich tropischen Art *Ae. albopictus* innerhalb der gemäßigten Breiten war aufgrund der Anpassung an die kühlen Wintertemperaturen durch Ausbildung des Diapause-Eistadiums möglich (HAWLEY 1988). Obwohl die Art in Deutschland dadurch erfolgreich überwintert (PLUSKOTA et al. 2016, WALTHER et al. 2016), kommt es selbst bei sehr milden Wintertemperaturen alleine aufgrund der langen Überwinterungsphase von ca. sechs Monaten zu einem nicht unerheblichen Anteil an abgestorbenen Diapauseeiern (PLUSKOTA et al. 2018). Dies bedeutet zunächst eine verringerte Populationsgröße zu Beginn der Reproduktionsperiode, welche unter günstigen klimatischen Bedingungen durch ausreichende Reproduktionsraten während der Sommermonate wieder ausgeglichen wird. Zur Ausbildung hoher Entwicklungsraten und einer guten Populationsentwicklung ist die ursprünglich tropische Art jedoch auf wärme Temperaturen während der Sommermonate angewiesen (HANSKI 1999; ALTO & JULIANO 2001). Dies ist insbesondere deshalb wichtig, weil Stechmücken als r-Strategen hohe Individuenverluste nicht nur durch hohe Fruchtbarkeit, sondern auch durch eine kurze Generationsdauer kompensieren (FAVIER et al. 2006). Dadurch erfolgt ein deutlicher Anstieg der Populationsdichte erst im Verlauf der Hauptreproduktionsrate, mit der höchsten Populationsdichte gegen Ende des Sommers. Zu diesem Zeitpunkt ist das Belästigungspotenzial innerhalb von Populationen dieser aggressiven Stechmückenart und somit die Wahrscheinlichkeit der Entdeckung bisher unbekannter Populationen am höchsten. So erreichen Beschwerden über Stichbelästigung oder direkte Verdachtsmeldungen auf neue Populationen der Asiatischen Tigermücken die entsprechenden Behörden bzw.

die Bekämpfungsorganisationen oft zu einem Zeitpunkt, an dem nötige Maßnahmen nicht mehr angemessen ausgeführt werden können.

So konnten zum Beispiel die vollständige Populationsausdehnungen von neu entdeckten Populationen der Asiatischen Tigermücke in Freiburg 2014 (JÖST 2015, pers. Mitteilung), Heidelberg 2015, Karlsruhe 2017 (BECKER 2015, pers. Mitteilung) und Heidelberg 2017 aufgrund der späten Entdeckung oder verzögerten Weiterleitung der Fundmeldung nicht mehr ausreichend erfasst werden. Jedoch ist es besonders bei neu entdeckten Populationen wichtig, den Umfang des besiedelten Gebietes und die Populationsdichte schnell zu ermitteln, um geeignete Bekämpfungsmethoden auszuwählen und den Umfang der zukünftigen Bekämpfungsmaßnahmen besser einschätzen zu können. Vor allem die Klärung der kompletten Populationsausdehnung ist dabei von höchstem Interesse, da es nur durch Bekämpfungsmaßnahmen im gesamten durch *Ae. albopictus* besiedelten Gebiet zu einer vollständigen Auslöschung der Population kommen kann. Weiterhin ist es für einen optimalen Bekämpfungserfolg zwingend notwendig, die gesamte Population so früh wie möglich zu Beginn der Reproduktionsperiode zu bekämpfen. Durch Bekämpfung der ersten Larvengeneration des Jahres ist es möglich, die Anzahl der ausfliegenden Weibchen und die weitere Vermehrungsrate entscheidend zu verringern.

Um selbst bei später Meldung von neuen Populationen der Asiatischen Tigermücke über die Wintermonate eine Eingrenzung der genauen Populationsausdehnung feststellen zu können, wurde innerhalb des vorliegenden Projektes das (Winter)-Ei-Monitoring entwickelt und auf die Praxistauglichkeit getestet. Wie sich zeigte, war es mit der Methode möglich, das komplette Verbreitungsgebiet der im Spätsommer 2015 neu entdeckten und noch nicht komplett erfassten Population der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg akkurat noch während der Wintermonate einzugrenzen. Auch war das (Winter)-Ei-Monitoring hocheffektiv und lieferte einen besseren Nachweis an mit *Ae. albopictus* besiedelten Regentonnen, als ein später zu Beginn der Reproduktionsperiode 2016 durchgeführtes Larvenmonitoring in bisher unbehandelten Regentonnen.

Die hohe Nachweisrate ist dadurch zu erklären, dass es mit dem (Winter)-Ei-Monitoring möglich ist, auch leere Eihüllen der Asiatischen Tigermücke, deren Larven schon vor Monaten geschlüpft waren, nachzuweisen. Dies ist vor allem gegenüber einem im Herbst oder im zeitigen Frühjahr durchgeführten Larvenmonitoring von entscheidendem Vorteil, da hier entweder durch die einsetzende Schlupfhemmung der beginnenden Diapause-Phase oder die noch kühleren Wassertemperaturen der Anteil an geschlüpften Larven in den Regentonnen im Verhältnis zur Anzahl vorhandener Eier in den Brutstätten gering ausfällt. So musste ein eingeleitetes Larvenmonitoring nach der späten Entdeckung der Population im Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ im Herbst 2015 aufgrund der einsetzenden Kältewelle abgebrochen werden. Durch Wassertemperaturen deutlich unter 10 °C kam es zu einem Absinken der Larven auf den Boden der Brutstätten, was ein sicheres Auffinden nicht ermöglichte. Bis zum Abbruch des Larvenmonitorings im Herbst 2015 wurde ein Containerindex von 22,2 % in dem Bereich ermittelt, in welchem durch das durchgeführte (Winter)-Ei-Monitoring wiederum ein Containerindex von 45,6 % bestimmt werden konnte. Auch durch die ausgedehnte Zeitspanne des ersten Larvenschlupfes über mehrere Wochen (PLUSKOTA et al. 2018) war es zu Beginn der nächsten Reproduktionsperiode im Jahr 2016 nicht möglich, die Populationsausdehnung durch ein einmaliges Larvenmonitoring exakt zu erfassen (STELZNER 2016).

So sind bei spät entdeckten neuen Populationen mehrere Kontrollen während des Frühjahres nötig, um vor allem in Tonnen mit wenigen Eiern den Schlupf von Larven nicht zu verpassen und dadurch die wahre Populationsdichte bzw. die definitive Ausdehnung des besiedelten Gebietes nicht zu unterschätzen. Dies bedeutet zu einem bekämpfungstechnisch sehr wichtigen Zeitraum nicht nur zusätzlichen Zeit- bzw. Arbeitsaufwand,

sondern letztendlich auch die Notwendigkeit von Ressourcen, welche zum Teil noch außerhalb der eigentlichen Verbreitung der untersuchten Asiatischen Tigermücken-Population investiert werden müssen.

Die Nachweismöglichkeit von leeren Eihüllen mit dem (Winter)-Ei-Monitoring ist auch ein entscheidender Vorteil bei geringen Populationsdichten der Asiatischen Tigermücke. Dies verdeutlicht der größere Unterschied zwischen dem Containerindex des Larvensamplings und dem Containerindex des (Winter)-Ei-Monitorings in den beiden Untersuchungsgebieten. Während im Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ der Container-Index des (Winter)-Ei-Monitorings noch 4,2-fach über dem des späteren Larvenmonitorings lag, fiel dieser Unterschied im Bereich der stärker mit der Asiatischen Tigermücke besiedelten Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ durch die bessere Nachweismöglichkeit beim Larvenmonitoring geringer aus. Hier lag der Container-Index des (Winter)-Ei-Monitorings nur 2,8-fach über dem des Larvenmonitorings.

Vor allem im Bereich mit geringen Populationsdichten am Rand des durch die Asiatische Tigermücke besiedelten Gebietes könnte ein (Winter)-Ei-Monitoring zur exakten Eingrenzung des Verbreitungsgebietes hilfreich sein. Unabhängig von Regenereignissen und erfolgtem Larvenschlupf können mit dieser Methode nahezu alle Brutstätten erfasst werden, welche rückwirkend, selbst über einen längeren Zeitraum gesehen, jemals mit der Asiatischen Tigermücke besiedelt waren.

Neben der Möglichkeit, mit dem (Winter)-Ei-Monitoring die exakte Populationsausdehnung ohne Zeitdruck schon vor Beginn der Reproduktionsperiode festzustellen, zeigte sich bei der praktischen Durchführung im Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ ein weiterer entscheidender Vorteil der Methode. Durch die frühe Durchführung der Maßnahmen während der Wintermonate konnte frühzeitig Kontakt zu den Anwohnern des betroffenen Siedlungsgebietes, weit vor den eigentlichen intensiven Bekämpfungsmaßnahmen im Frühjahr, aufgenommen werden. Durch den persönlichen Kontakt und die Begutachtung der Regentonnenreinigung durch die Anwohner konnten wichtige Informationen zur Brutstättenbiologie und der Relevanz der Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke vermittelt werden. Dies förderte das Verständnis für die vorgesehenen Bekämpfungsmethoden und führte über nachbarschaftliche Mund-zu-Mund-Propaganda zur Mobilisierung weiterer Anwohner, so dass weitere und teilweise zuvor skeptische Bürger später zur Unterstützung bereit waren. Aber auch ohne direkten Kontakt zu allen Anwohnern ist es durch das frühzeitige Eingrenzen des von *Ae. albopictus* besiedelten Gebietes möglich, zielgerichtet alle betroffenen Anwohner über die verschiedenen Informationswege (Kapitel 4.1) zu informieren und auf die zukünftigen Bekämpfungsmaßnahmen vorzubereiten.

Dies bedeutet insgesamt eine enorme Zeitersparnis zu Beginn der Bekämpfungsphase, wodurch es wahrscheinlicher wird, eine vollständige Bekämpfung der ersten Larvengeneration auf allen betroffenen Privatgrundstücken durchzuführen und somit einen möglichst hohen Bekämpfungserfolg zu erreichen.

Im Vergleich zu einem einmalig in einem Gebiet durchgeführten Larvenmonitoring ist der Aufwand für ein (Winter)-Ei-Monitoring zunächst deutlich höher. Um jedoch mittels Larvenmonitoring auf einen vergleichbaren Anteil an nachgewiesenen positiven Regentonnen wie beim (Winter)-Ei-Monitoring zu kommen, sind mehrere Begehungen des betroffenen Gebietes zu verschiedenen Zeitpunkten vonnöten. Dies führt letztendlich nicht nur zu einer späten Eingrenzung der exakten Populationsausdehnung, sondern auch zu einem vergleichbaren Arbeitsaufwand wie bei dem in dieser Arbeit durchgeführten (Winter)-Ei-Monitoring.

Außerdem können, wie die Ergebnisse der beiden Versuche zeigen, einige der in dieser Arbeit durchgeführten Arbeitsschritte beim (Winter)-Ei-Monitoring vernachlässigt werden, ohne die Detektionsgenauigkeit der

Methode entscheidend zu beeinflussen. So erfolgte im vorliegenden Versuch sowohl bei der optischen als auch der anschließenden Überprüfung durch Larvenschlupf nach einem ersten einfacheren Arbeitsschritt ein zweiter etwas aufwendigerer Arbeitsschritt zur weiteren Überprüfung. Vor allem bei der Kontrolle durch Larvenschlupf reicht die erste kurzzeitige Kontrolle bzw. Schlupfphase von drei Tagen für eine hohe Nachweiswahrscheinlichkeit aus. Durch die anschließende Nachschlupfphase von weiteren 14 Tagen konnten keine weiteren positiven Nachweise erbracht werden, wodurch dieser Arbeitsschritt definitiv entfallen kann.

Vor der Kontrolle auf Larvenschlupf erfolgte zunächst nach dem Auswaschen der Socken eine optische Überprüfung der Wasseroberfläche, welche schnell und einfach durchzuführen war. Für die weitere Suche auf abgesunkene Eier musste erst der Überstand abgeschüttet werden und je nach Anteil an Detritus in den Regentonnen der Bodensatz portionsweise in Schalen überführt werden. Das Absuchen des Bodensubstrates auf abgesunkene Eier war jedoch nur zu 50,2 % erfolgreich, was teilweise an den größeren Mengen an Regentonnenabrieb lag. Befruchtete Eier, welche lebensfähige Larven beinhalten, sinken auf den Boden ab. Dass sicher nicht alle abgesunkenen Eier gefunden wurden, zeigt, dass in beiden Gebieten mehr Regentonnen positiv durch Larvenschlupf gewertet wurden als durch gefundene abgesunkene Eier. So sind aus einem Großteil der abgesunkenen und übersehenen Eier bei der späteren Schlupfkontrolle Larven geschlüpft. Insgesamt wurden jedoch nur 3,3 % der positiven Regentonnen ausschließlich aufgrund abgesunkener Eier und ohne Nachweis von schwimmenden Eiern oder geschlüpften Larven nachgewiesen. Somit konnte in 96,7 % der Fälle ein Nachweis durch optische Begutachtung der Wasseroberfläche und eine Überprüfung auf Larvenschlupf erbracht werden, wodurch das aufwendigere Absuchen des Bodensatzes in den meisten Fällen vernachlässigt werden kann. Vor allem bei einer großen Anzahl an verfügbaren Regentonnen im Untersuchungsgebiet ist auch ohne Kontrolle des Bodensatzes eine exakte Eingrenzung des Verbreitungsgebietes möglich. Sind nur wenige Regentonnen vorhanden, um zum Beispiel den Randbereich eines nur dünn besiedelten Gebietes festzulegen, kann durch zusätzliche Untersuchung des Bodensatzes auf abgesunkene Eier die Wahrscheinlichkeit eines Positivnachweises erhöht werden.

Ebenfalls brachte die Verwendung eines Vliestuches als zweite feinere Filterstufe keine bedeutenden Mehrnachweise an positiven Regentonnen. Ähnlich wie das Absuchen des Bodensubstrates kann dieser Arbeitsschritt in den meisten Fällen eingespart werden und optional bei wenigen verfügbaren Regentonnen am Populationsrand herangezogen werden.

Da jeweils nur 89 % der positiven Regentonnen durch optischen Nachweis schwimmender Eier und nur 50 % durch den Nachweis eines Larvenschlupfes bestimmt werden konnten, sollten beide Überprüfungsschritte gleichzeitig angewandt werden, um eine ausreichend hohe Detektionsrate sicherzustellen. Dadurch ergeben sich zwei bedeutende Einschränkungen bei der Anwendung des (Winter-)Ei-Monitorings.

Nach dem Einsetzen der Diapause-Phase am Ende der Reproduktionsperiode (FOCKS et al. 1994) weisen frisch abgelegte Diapause-Eier eine Schlupfhemmung auf, welche erst nach mehreren Monaten durch geeignete Umweltbedingungen gebrochen werden kann (HAWLEY et al. 1989). Um bei einem (Winter-)Ei-Monitoring nicht nur den Larvenschlupf der in den Regentonnen vorhandenen Nicht-Diapause-Eier zu berücksichtigen, sollte zumindest die Kontrolle auf Larvenschlupf erst in der zweiten Winterhälfte durchgeführt werden. Das feuchte Filtrat aus eventuell schon vorher gereinigten Regentonnen, ohne optischen Nachweis von Eiern, kann jedoch im Kühlschrank bei Temperaturen unter 10 °C bis zum Ende der Schlupfhemmungs-Phase aufbewahrt und später ausgewertet werden.

Die größte Einschränkung der Methode ergibt sich durch den großen Anteil an positiven Regentonnen, welcher nur durch optischen Nachweis von Eiern oder Eifragmenten erbracht wird. Durch diesen eigentlichen Vorteil, welche die Methode unabhängig von lebensfähigen Eiern oder sogar geschlüpften Larven macht, ist es unerlässlich, die gefundenen Eier verschiedener Stechmückenarten optisch unterscheiden zu können. Bei einer Laboranalyse der Eier wäre das (Winter)-Ei-Monitoring aufgrund des höheren Kosten- und Arbeitsaufwandes sehr wahrscheinlich nicht mehr praktikabel.

In der vorliegenden Untersuchung war eine optische Unterscheidung der Eier der verschiedenen im Gebiet vorkommenden containerbrütenden *Aedes*-Arten mit etwas Erfahrung jedoch leicht möglich. So unterscheiden sich sowohl die Eier der in Deutschland einheimischen Stechmückenart *Aedes geniculatus* als auch der frisch eingebürgerten Art *Aedes japonicus* deutlich von denen der Asiatischen Tigermücke. In anderen Gebieten kann ein Vorkommen anderer containerbrütender *Aedes*-Arten eine Durchführung des (Winter)-Ei-Monitorings erschweren oder sogar unmöglich machen.

Ist dies wie momentan in Deutschland jedoch nicht der Fall, ist das neu entwickelte und hier erprobte (Winter)-Ei-Monitoring eine einfach durchzuführende Monitoring-Methode, um schon während der Wintermonate und selbst bei geringer Populationsdichte die exakte Populationsausdehnung von neu entdeckten Populationen der Asiatischen Tigermücke einzugrenzen und frühzeitig in operativen Kontakt mit den Anwohnern der betroffenen Gebiete zu treten.

## 4 Hilfe zur Selbsthilfe

Bei der Auswahl der Brutstätten zeigt *Ae. albopictus* eine bemerkenswerte Anpassungsfähigkeit und nutzt so eine große Bandbreite an natürlichen und künstlichen wassergefüllten Gefäßen (HAWLEY 1988). Als eigentliche Waldart angesehen (KOLIVRAS 2006), stellen die als Dendrotelmen bezeichneten, wassergefüllten Aushöhungen in Bäumen wohl die ursprünglichste Form der Brutstätten von *Ae. albopictus* dar. Aber auch in natürlichen Wasseransammlungen in Bromelien (O'MEARA et al. 1995), Gräben (CHAN et al. 1971), Felsaushöhungen (O'MEARA et al. 1997) und Schneckenschalen (ROZEBOOM & BRIDGES 1972) wurden Larven der Art gefunden.

Durch die zunehmende Rodung der Urwälder in den ursprünglichen südostasiatischen Verbreitungsgebieten der Asiatischen Tigermücke wurden Arten gefördert, welche sich dem schnellen Wechsel der Umweltbedingungen am besten anpassen konnten. So profitierte u. a. die Asiatische Tigermücke von dieser Umgestaltung, indem sie mehr und mehr die Nähe des Menschen suchte, sich an ihn adaptierte und sich schließlich so zu einem Kulturfolger entwickelte. Besonders bevorzugte Habitate sind vorstädtische, suburbane Gebiete mit einem hohen Gartenanteil in klimatisch begünstigten Regionen. In diesen Siedlungsbereichen findet *Ae. albopictus* zahlreiche Brutstätten, um sich zu vermehren, schattige Hecken und Gebüsch mit erhöhter Luftfeuchtigkeit als geeignete Ruhe- und Rückzugszonen und eine ausreichende Anzahl von Wirten für die obligate Blutmahlzeit. So nutzt die Art in der Umgebung von menschlicher Aktivität die große Fülle an künstlichen Brutgefäßen und ist im besiedelten Gebiet deutlich häufiger und in größerer Dichte anzutreffen (SARDELIS et al. 2002).

Um bei Bekämpfungsmaßnahmen der Asiatischen Tigermücke ausreichend hohe Reduktionsraten zu erreichen, ist es nötig, im Befallsgebiet flächendeckend das Brutstättenangebot zu verringern und einen hohen Anteil der verbliebenen Brutstätten mit geeigneten Mitteln zu behandeln. Die Durchführung dieser Maßnahmen durch externe Fachkräfte ist in Siedlungsbereichen durch die große Anzahl privater Grundstücke nur mit höherem organisatorischem Aufwand zu realisieren. Daher wird zur Bekämpfung von Stechmücken im privaten Siedlungsbereich oft das Prinzip der Hilfe zur Selbsthilfe angewandt, bei welchem die Bevölkerung durch Informationen und gegebenenfalls Bereitstellung von geeigneten Bekämpfungsmitteln zur selbstständigen Bekämpfung der Stechmücken auf dem eigenem Grundstück angehalten wird (BECKER et al. 2017).

Um zu überprüfen, inwieweit unter den kulturellen und infrastrukturellen Bedingungen in Baden-Württemberg durch angeleitete Selbsthilfe-Maßnahmen die Populationen der Asiatischen Tigermücke in ihrem Bestand reduziert werden können, wurden im Rahmen zweier Masterarbeiten der Universität Heidelberg (STELZNER 2016, AUGSTEN 2018) mehrere Versuche und Nachforschungen durchgeführt.

### 4.1 INFORMATIONSWEGE

Um durch das Prinzip der Hilfe zur Selbsthilfe einen möglichst hohen Bekämpfungserfolg im privaten Siedlungsbereich zu erreichen, ist es nötig, der Bevölkerung in den betroffenen Gebieten neben geeigneten Bekämpfungsmitteln, vor allem ausreichend Informationen zur selbstständigen Bekämpfung und zur Vermeidung von Brutstätten zur Verfügung zu stellen. Im vorliegenden Projekt wurden verschiedene Informationswege genutzt, um die Bevölkerung im Befallsgebiet zielgerichtet mit möglichst genauen Informationen zu versorgen.



#### 4.1.1 HAUSWURFSENDUNGEN

Am Anfang des Projektes wurde eine farbige Informationsfaltbroschüre erstellt, in welcher neben allgemeiner Information zur Asiatischen Tigermücke explizit auf das Vorkommen von *Ae. albopictus* im Untersuchungsgebiet eingegangen wurde. Weiterhin wurden die Anwohner um Erlaubnis gebeten, eventuell auf dem Grundstück vorhandene Regentonnen zwecks Bekämpfung und Erfassung der Populationsausdehnung (Versuch 3) reinigen zu dürfen. Insgesamt wurden Anfang des Jahres 2016 in jeden Briefkasten jedes Grundstückes im gesamten Befallsgebiet 400 der Faltbroschüren verteilt.

Insgesamt 45 Anwohner reagierten auf diese erste Hauswurfsendung und boten die Mithilfe bei der Tonnenreinigungsaktion an. Ausgehend von knapp 120 Grundstücken mit Regentonnen im Untersuchungsgebiet, wurden durch die Faltbroschüre etwas mehr als ein Drittel der relevanten Anwohner erreicht bzw. zur Mithilfe bewegt. In späteren Gesprächen wurde von vielen Anwohnern berichtet, dass die eingeworfenen Informationsmaterialien als nicht relevant betrachtet oder überhaupt nicht gelesen wurden. So wurden diese z.B. entweder teilweise als Werbung angesehen, von nur einem Teil der Hausbewohner gelesen oder erst einmal zur Seite gelegt und vergessen.

Im weiteren Verlauf des Projektes wurden insgesamt sechs Mal Faltbroschüren mit allgemeinen, aber auch gezielten Informationen zur jeweiligen Bekämpfungssituation im gesamten Untersuchungsgebiet verteilt. Dies diente entweder dazu, die Anwohner über neue Situationen oder Bekämpfungskationen zu informieren oder das Thema Asiatische Tigermücke im Bewusstsein der Anwohner zu halten und diese dadurch an die Durchführung der von ihnen selbstständig durchzuführenden Maßnahmen (Kapitel 4.2 und 4.3) zu erinnern.

Eine qualitative Aussage über die Erreichbarkeit dieser späteren Hauswurfsendungen kann aufgrund der mittlerweile parallel genutzten anderen Informationswege nicht gemacht werden. Durch Gespräche mit Anwohnern wurde aber deutlich, dass im Laufe des Projektes durch die zunehmende und regelmäßige Präsenz des Themas Asiatische Tigermücke die jeweiligen Faltbroschüren allgemein besser akzeptiert und gelesen wurde. Bei einigen Anwohnern stellte sich jedoch der gegenteilige Effekt ein, da diese sich schon zuvor gut informiert fühlten und das Lesen der neu eingeworfenen Faltbroschüren als nicht wichtig erachteten. Dass in diesen neuen Faltbroschüren ebenfalls neue, der aktuellen Situation angepasste Informationen enthalten waren, wurde dabei übersehen. Um solche Missverständnisse zu vermeiden, sollten Informationsmaterialien, welche nicht nur als Erinnerung gedacht sind und neue, wichtige Informationen enthalten, sich einerseits optisch deutlich von den vorherigen Infomaterialien, z.B. in der Farbe, unterscheiden und andererseits möglichst zu Beginn auf den Inhalt von neuen relevanten Informationen verweisen.

#### 4.1.2 BÜRGERVERSAMMLUNGEN

Nachdem abzusehen war, dass durch die erste Hauswurfsendung der Anteil der an den Bekämpfungsmaßnahmen partizipierenden Anwohner zu gering ausfällt, wurde Anfang Mai 2016 über den im Befallsgebiet ansässigen Ortsteilverein „Siedlungsgemeinschaft Ochsenkopf e.V.“ eine Bürgerversammlung veranstaltet. Zu dem Treffen im Vereinshaus der Siedlungsgemeinschaft wurden sowohl Mitglieder als auch andere Anwohner des von *Ae. albopictus* besiedelten Ortsteils über ein Email-Rundschreiben und mehrere Aushänge eingeladen.

Nach einem Vortrag über die Asiatische Tigermücke und die geplanten Bekämpfungsaktionen im Befallsgebiet wurden zahlreiche Fragen zunächst in offener Runde, als auch später in persönlichen Gesprächen beantwortet. Durch die direkte Information sowie den persönlichen Kontakt mit den am Projekt beteiligten Fachkräften konnten die meisten anwesenden Anwohner überzeugt und zu einer Mithilfe bei der Bekämpfung

bewogen werden. Da viele der Besucher der Bürgerversammlung innerhalb des Ortsteils sozial gut vernetzt waren und über zahlreiche nachbarschaftliche Kontakte verfügten, konnten im Nachhinein über Mund-zu-Mund-Propaganda schnell weitere Anwohner zur Mithilfe bewegt werden.

Den gleichen Effekt hatte eine weitere Infoveranstaltung, welche ebenfalls Anfang Mai 2016 mit den Vereinsmitgliedern des Kleingartenvereins „In den zwölf Morgen“ abgehalten wurde. Insgesamt zeigten sich die Bürgerversammlungen bzw. Infoveranstaltungen als gute Möglichkeiten, um schnell mit einem interessierten und meist engagierten Personenkreis in Kontakt zu treten.

#### **4.1.3 ÖFFENTLICHE AUSHÄNGE**

Der im Befallsgebiet ansässige Ortsteilverein „Siedlungsgemeinschaft Ochsenkopf e.V.“ hat innerhalb des Siedlungsgebietes Ochsenkopf mehrere Informationstafeln an stärker benutzten Fußgängerwegpunkten platziert. Nach Genehmigung durch den Verein wurden an diese „Schwarzen Bretter“ regelmäßig Aushänge mit Informationen über die aktuelle Lage der Bekämpfung ausgehängt. Diese dienten zum einen dazu, die Bevölkerung über den Stand der Dinge in ihrem Wohnumfeld zu informieren oder auf bevorstehende Aktionen vorzubereiten. Zum anderen wurde durch die Aushänge das Thema Asiatische Tigermücke im Bewusstsein der Anwohner gehalten und diese dadurch an die Durchführung der von ihnen selbstständig durchzuführenden Maßnahmen (Kapitel 4.2 und 4.3) erinnert.

Aus Gesprächen ging hervor, dass diese Aushänge von vielen Anwohnern regelmäßig mit Interesse gelesen und dadurch schon viele Fragen im Vorhinein beantwortet wurden.

#### **4.1.4 PRINT- UND RUNDFUNKMEDIEN**

Um das Thema Asiatische Tigermücke und deren Bekämpfung etwas mehr in den Blickpunkt der öffentlichen Wahrnehmung zu rücken, wurden im März 2016 mehrere Interviews mit verschiedenen regionalen Print- und Rundfunkmedien geführt. Durch die Berichterstattung war geplant, dass zum einen bisher nicht über die anderen Informationswege erreichte Anwohner des Befallsgebietes auf das Thema Asiatische Tigermücke aufmerksam werden. Zum anderen wurde gehofft, dass eventuell bisher zögernde oder sich abweisend zeigende Anwohner von der Seriosität und der Notwendigkeit der Bekämpfungsmaßnahmen überzeugt würden.

Vor den Interviews war klar, dass die geringe redaktionelle Einflussmöglichkeit auf die endgültige Berichterstattung einen Nachteil bzw. ein Problem bei der Verbreitung von Informationen über die Print- und Rundfunkmedien darstellen kann. So wurde, vor allem um wegen der potenziellen Vektorgefahr der Asiatischen Tigermücke eine reißerische und möglicherweise falsche Aufarbeitung des sensiblen Themas möglichst zu vermeiden, nur auf Interviewanfragen des öffentlich-rechtlichen Rundfunks zurückgegriffen.

Wie von den Anwohnern berichtet, haben nur wenige von diesen durch die Berichterstattung in den lokalen Printmedien über das Thema Asiatische Tigermücke und die Bekämpfungsmaßnahmen erfahren. Im Vergleich zu den gezielten Aushängen an den Schwarzen Brettern im Siedlungsbereich schienen weniger Menschen über die Zeitungsberichte erreicht worden zu sein.

Noch geringer war der Einfluss von Rundfunkbeiträgen auf die Anzahl der positiven Rückmeldungen. Durch die überregionale Berichterstattung war die Streuung der Informationen zu groß, so dass die meisten Anrufer, welche sich auf die Radio- und Fernsehbeiträge meldeten, weit außerhalb des Untersuchungsgebietes bzw. der aktuellen Vorkommen der Asiatischen Tigermücke wohnten. Diese zahlreichen für das Projekt und

die Bekämpfungsmaßnahmen nicht nützlichen Anrufe bedeuteten neben den im Vorfeld ebenfalls zeitintensiven Presseterminen einen verhältnismäßig hohen Aufwand. So wurde die Berichterstattung in den Print- und Rundfunkmedien insgesamt nur von einem kleinen Teil der Anwohner wahrgenommen. Trotzdem erreichten die medialen Berichte das Ziel, zumindest einen kleinen Teil der Anwohner von der Notwendigkeit der Bekämpfungsmaßnahmen zu überzeugen und das Vertrauen in das Projekt zu fördern.

#### **4.1.5 ELEKTRONISCHE MEDIEN**

Auf mehreren extra eingerichteten Webseiten innerhalb der Internetpräsenz der KABS e.V. wurde regelmäßig über die aktuelle Entwicklung der Population der Asiatischen Tigermücke im Untersuchungsgebiet und über aktuelle sowie zukünftige Bekämpfungsmaßnahmen informiert. Über diese Webseiten war es möglich, eine größere Menge an detaillierten und zielgerichteten Informationen dauerhaft bereitzustellen.

Die Fertigstellung der Informations-Webseite erfolgte vor dem Verteilen der ersten Hauswurfsendungen, in welchen auf die Internetpräsenz verwiesen wurde. In den ersten vier Wochen nach Bekanntgabe der Informations-Webseite erfolgten rund 450 externe Seitenaufrufe. In Anbetracht der etwa 900-1000 Einwohner innerhalb des Untersuchungsgebietes wäre dies ein sehr beachtlicher Wert. Es ist jedoch stark davon auszugehen, dass ein nicht unerheblicher Anteil der Seitenaufrufe durch Mehrfachbesuche derselben Anwohner und durch herumsuchende andere Besucher der KABS-Internetpräsenz erfolgte.

#### **4.1.6 GESAMTBEURTEILUNG**

Wie erwartet, war je nach der Art, wie die entsprechenden Informationen an die Bevölkerung übermittelt wurden, mit unterschiedlicher Erreichbarkeit der Zielgruppe und unterschiedlichem Informationsverlust zu rechnen. So kann z.B. zwar durch Hauswurfsendungen im Befallsgebiet eine größere Menge an qualitativ hochwertigen Informationen sicher, zumindest bis in den Briefkasten der entsprechenden Zielgruppe übermittelt werden. Wie die Erfahrungen im vorliegenden Projekt zeigten, ist jedoch dadurch eine 100-prozentige Information aller Anwohner nicht gewährleistet.

Im Laufe des Projektes zeigte sich, dass durch den Einfluss der verschiedenen Informationswege der Anteil der das Projekt unterstützenden Anwohner stetig und deutlich zunahm. Dabei konnten vor allem durch den direkten persönlichen Kontakt die meisten Anwohner von der Notwendigkeit der Maßnahmen überzeugt werden. Diese direkte Überzeugungsarbeit fiel jedoch umso leichter, je mehr die indirekten bzw. nicht-persönlichen Informationswege genutzt wurden und dadurch das Thema Asiatische Tigermücke in die Wahrnehmung der Anwohner rückte. So nimmt auch mit der Dauer der Bekämpfung die Unterstützung durch die Anwohner zu, da diese sich zunehmend der Anwesenheit der Asiatischen Tigermücke und der Bekämpfungsmaßnahmen bewusst werden (ABRAMIDES et al. 2011).

Vor allem durch mediale Berichterstattungen kann das Thema Asiatische Tigermücke theoretisch schnell und einfach an größere Bevölkerungsgruppen vermittelt werden. Die Nachteile der zu weiten Streuung der Informationen, die normalerweise fehlende redaktionelle Einflussnahme und der verhältnismäßig hohe Zeitaufwand für mehrere Presseterminen, um möglichst verschiedene Tageszeitungen und Rundfunkkanäle zu bedienen, sollten durch eine vorgefertigte Pressemitteilung, welche an alle relevanten Redaktionen geschickt wird, umgangen werden. Erfolgen diese Pressemitteilungen im Auftrag öffentlicher Ämter, verdeutlicht dies bei den Anwohnern die Seriosität und Notwendigkeit der angestrebten Maßnahmen.

Im Anschluss an die Pressemitteilung sollten im Befallsgebiet Hauswurfsendungen an alle Haushalte mit detaillierten Informationen verteilt werden. Wird schon in den vorangegangenen Pressemitteilungen auf die

späteren Hauswurfsendungen hingewiesen, wird das Lesen bzw. die bewusste Wahrnehmung der Information gefördert.

Als nächster Schritt sollte der persönliche Kontakt zu den nun vorinformierten Anwohnern gesucht werden. Dies kann in Form von direkten Haus-zu-Haus-Aktionen oder durch Informationsveranstaltungen bzw. Bürgerveranstaltungen erfolgen. Vor allem Letztere bieten sich an, wenn im Befallsgebiet Vereine vorhanden sind, deren Mitglieder im Befallsgebiet sozial vernetzt sind. Ist aufgrund der Populationssituation Eile geboten, ist letztendlich nur durch direkte Haus-zu-Haus-Aktionen sicherzustellen, schnell einen möglichst großen Anteil der Anwohner zu informieren.

## **4.2 BRUTSTÄTTENVERMEIDUNG**

### **4.2.1 EINLEITUNG**

Die große Anpassungsfähigkeit bei der Wahl der Brutstätte ermöglicht es der Asiatischen Tigermücke im Umfeld von menschlicher Aktivität eine sehr große Anzahl an künstlichen Brutstätten für die Aufzucht ihrer Larven zu nutzen. So sind vor allem die zur Niederschlagswasserspeicherung aufgestellten Regentonnen eine optimale Massenbrutstätte für *Ae. albopictus*, aber auch für andere Stechmückenarten (BROWN et al. 1992). Als weitere wichtige Brutstätten im privaten Gartenbereich sind die je nach Gartengestaltung mehr oder weniger häufig vorzufindenden Gefäße wie z.B. Blumentöpfe, Untersetzer, Eimer, Blumenkästen und Gießkannen anzusehen. Ungenutzt und mit der Öffnung nach oben gelagert, sammelt sich in diesen schnell Regenwasser an. Aber selbst kleinste Wasseransammlungen in Unrat oder anderen im Garten herumliegenden Gegenständen dienen der anpassungsfähigen Asiatischen Tigermücke als Brutstätte für ihre Larven.

Während die Ablage von Stechmückeneiern in Regenfässer leicht durch das Auflegen eines passenden Deckels verhindert werden kann (KITAYAPONG & STRUCKMAN 1993), ist dies bei den anderen potenziellen Brutstätten leicht durch umgedrehtes Lagern oder vollständiges Vermeiden zu erreichen. Dieses sogenannte Brutstätten-Management ist ein wichtiger Baustein bei der erfolgreichen Bekämpfung von *Ae. albopictus* im Siedlungsbereich (BECKER et al. 2010). Da jedoch die nötigen Maßnahmen sorgfältig und vor allem regelmäßig über die gesamte Reproduktionsperiode durchgeführt werden müssen, ist eine effektive und erfolgsversprechende Bekämpfung von *Ae. albopictus* in Siedlungsbereichen nicht ohne entsprechende Mithilfe der Bevölkerung möglich.

Daher sollte im ersten Versuchsansatz herausgefunden werden, wie hoch der Einfluss unterschiedlicher Intensitäten der für die Bürger bereitgestellten Information auf die Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen ist. Der zweite Versuchsansatz hatte zum Ziel, die nachhaltige Wirkung der Informationen über die Wintermonate hinweg auf den Grad der Umsetzung des privaten Brutstätten-Managements im Folgejahr zu ermitteln.

### **4.2.2 MATERIAL UND METHODEN**

Als grundlegende Basisinformation für die Bürger wurde ein Flyer entworfen, welcher zunächst allgemein über das Thema Asiatische Tigermücke und die Relevanz der Bekämpfung informiert. Weiterhin wurden in der farbigen, vierseitigen Faltbroschüre ausgiebig Informationen über die verschiedenen Arten und Möglichkeiten der Vermeidung der Brutstätten im häuslichen Bereich bereitgestellt.

Eine weitere Faltbroschüre diente zur Kontaktaufnahme zu Anwohnern bezüglich der in Kapitel 3 durchgeführten Tonnenreinigungsaktionen. Diese Faltbroschüre informiert zwar ebenfalls grundlegend über das Thema Asiatische Tigermücke, die verschiedenen Arten und Möglichkeiten der Vermeidung der Brutstätten im häuslichen Bereich werden darin jedoch nur sehr kurz angesprochen.

Diese beiden Broschüren mit unterschiedlichen Informationen zur gängigen Prävention von *Ae. albopictus*-Brutstätten wurden zunächst in vier bezüglich der Siedlungsstruktur ähnlichen Siedlungsgebieten der Stadt Heidelberg verteilt. Da jedoch unterschiedliche Typen der Faltbroschüren unterschiedlich häufig verteilt wurden und gegebenenfalls andere zusätzliche Informationen für die jeweiligen Anwohner bereitstanden, unterschieden sich die einzelnen Untersuchungsgebiete letztendlich in der Intensität der Informationen, mit welchen die jeweiligen Anwohner über die Vermeidung von *Ae. albopictus*-Brutstätten versorgt wurden. Dabei ist zu erwähnen, dass nur das Gebiet mit der höchsten Informationsdichte von der Asiatischen Tigermücke befallen war. Alle anderen Untersuchungsgebiete lagen jedoch im näheren Umfeld der Vorkommen der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg.

In einem Zeitraum von circa zwei Wochen wurden zunächst im Februar 2016 die betreffenden Gebiete mit der Faltbroschüre zur Tonnenreinigungsaktion versorgt. Die erste Verteilung der Faltbroschüre mit ausgiebigen Informationen zur Brutstättenprävention erfolgte Anfang April 2016 in den entsprechenden Untersuchungsgebieten. In zwei Gebieten erfolgte eine weitere Verteilung derselben Faltbroschüre gegen Mitte Mai 2016. Dabei wurde, unabhängig vom Vorhandensein eines Gartens, in jeden Briefkasten jedes Hauses bzw. jeder Wohnung im ausgewählten Gebiet Faltbroschüren eingeworfen. In jedem Untersuchungsgebiet wurden je Verteilung ca. 400 Stück der jeweiligen Faltbroschüren verteilt.

Im weiteren Verlauf des Jahres 2016 kam es im Untersuchungsgebiet mit Vorkommen der Asiatischen Tigermücke und daher mit der höchsten Informationsdichte durch die verschiedenen Bekämpfungsaktionen, die *B.t.i.*-Verteilungen (Kapitel 4.3) und mehrere mediale Berichte zu einer weiteren Grundlegenden Information der Bevölkerung zum Thema Brutstättenvermeidung. Dies ist relevant in Bezug auf die nachh-altige Wirkung der Informationen über die Wintermonate hinweg auf den Grad der Umsetzung des privaten Brutstätten-Management im Folgejahr.

Durch Begehung der Grundstücke und Kartierung des gesamten vorhandenen Brutstättenangebotes erfolgte eine Beurteilung der Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen zur Brutstättenvermeidung in den verschiedenen Gebieten. Dabei wurde zwischen Regentonnen und anderen wassergefüllten Gefäßen oder Aushöhlungen als Brutstätten unterschieden. Regentonnen wurden gesondert erfasst, da sie für die Vermehrung der Population durch ihre enorme Kapazität eine übergeordnete Rolle spielen und als Massenbrutstätten für containerbrütende Stechmückenarten gelten (BROWN et al. 1992). Außerdem wurde überprüft, ob Regentonnen aufgrund von angebrachten Abdeckungen als Brutstätte ausgeschlossen werden können. Dabei wurde nur eine vollständige, lückenlos abschließende Abdeckung als ausreichende Brutstättenvermeidung gewertet.

Die Kontrollen erfolgten innerhalb einer Woche, nach Tagen mit ausreichenden Regenereignissen. Insgesamt wurden fünf Brutstätten-Kartierungen durchgeführt, wobei diese nicht in allen Untersuchungsgebieten erfolgten. Im Jahr 2016 erfolgten die Kontrollen auf Brutstätten in den Monaten Mai, Juli und August. Im Jahr 2017 wurden die Brutstätten in den Monaten Mai und August erfasst.

### Untersuchungsgebiet Siedlungsbereich Ochsenkopf, sehr hohe Informationsdichte

Die Anwohner des Siedlungsgebietes „Ochsenkopf“, einer der Hauptbereiche des vorliegenden Projektes, wurde zunächst aufgrund der geplanten weiteren Bekämpfungsstrategien einmalig mit der Faltbroschüre der Regentonnenreinigungsaktion und zweimalig mit der Faltbroschüren zum Brutstätten-Management versorgt. Aufgrund der durchgeführten Infoveranstaltung (Kapitel 4.2.1) und der daraufhin durchgeführten Regentonnenreinigungsaktionen (Kapitel 3), die zu einem intensiven Kontakt und Austausch mit den Anwohnern führten, und bedingt durch das akute Auftreten von *Ae. albopictus* im vorangegangenen Sommer, waren hier die Anwohner des Ochsenkopfes sehr intensiv über das Thema Stechmückenbekämpfung und Brutstättenprävention aufgeklärt bzw. sensibilisiert.

### Untersuchungsgebiet Schrebergartenanlage „In den zwölf Morgen“, hohe Informationsdichte

Auch zu den Parzellenbesitzern der Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ wurde der direkte Kontakt über eine Informationsveranstaltung gesucht. Im Vereinsheim, das auf der Kleingartenanlage liegt, wurden zusätzlich Informationsbroschüren ausgelegt sowie der direkte informative Kontakt zu den Parzellenbesitzern bei den Bekämpfungsmaßnahmen gepflegt.

### Untersuchungsgebiet Stadtteil Pfaffengrund, nord-östlicher Bereich, mittlere Informationsdichte

Der Pfaffengrund wurde aufgrund seiner südlichen Lage zum Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ als interessantes Gebiet zur Verteilung von Informationsmaterialien ausgewählt. Wie im Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ finden sich hier hauptsächlich Mehrfamilienhäuser, die längliche voneinander abgegrenzte Gärten besitzen. Aufgrund der schmalen Form dieser Gärten und des häufigen Auftretens von größeren Gartenschuppen fällt die eigentliche Nutzungsfläche der Gärten deutlich kleiner aus. Hier werden die Gärten eher zur Freizeitaktivität genutzt und in seltenen Fällen zum Anbau von Gartenpflanzen. Dadurch kommt es hier zu einem geringeren Anteil an Wasserspeichern wie Regentonnen, dafür aber zum vermehrten Einsatz von Garten-Dekorationsartikeln.

Die Information der Bevölkerung im ausgesuchten Bereich des Stadtteils Pfaffengrund erfolgte durch einmaligen Einwurf der Faltbroschüre mit ausgiebigen Informationen zum Brutstätten-Management in alle Briefkästen des Untersuchungsgebietes. Dabei wurde aufgrund der beträchtlichen Ausdehnung des gesamten Stadtteiles nur der nord-östliche Teil des Pfaffengrundes mit den Faltbroschüren versorgt.

### Untersuchungsgebiet Stadtteil Wieblingen, Südosten, niedrige Informationsdichte

Der Südöstliche Teil des Wieblingener Stadtkerns besteht hauptsächlich aus Einfamilienhäusern mit angrenzenden Gärten. Dieses Gebiet ist bezüglich des Regentonnenvorkommens und der Gartengestaltung wie das Untersuchungsgebiet Pfaffengrund einzuschätzen.

Die Information der Bevölkerung im südöstlichen Bereich des Stadtteiles Wieblingen erfolgte durch einmaligen Einwurf der Faltbroschüre mit ausgiebigen Informationen zum Brutstätten-Management in alle Briefkästen des Gebietes.

### Untersuchungsgebiet Stadtteil Wieblingen, Mitte, sehr niedrige Informationsdichte

Das Untersuchungsgebiet in der Mitte des Stadtteils Wieblingen verfügt, abgesehen vom neubebauten südlichen Bereich, hauptsächlich über Mehrfamilienhäuser mit kleineren angrenzenden Gärten oder gemeinsam genutzten Grundstücksflächen. Wie im Pfaffengrund finden sich auch hier eher der Dekoration dienende Artikel in den Gärten. Der Anteil an Regentonnen ist etwas geringer als im Untersuchungsgebiet Pfaffengrund einzuschätzen.

Die Information der Bevölkerung im mittleren Bereich des Stadtteiles Wieblingen erfolgte durch einmaligen Einwurf der Faltbroschüre mit geringen Informationen zum Brutstätten-Management in alle Briefkästen des Gebietes.

#### **4.2.3 ERGEBNISSE**

Gleich zu Beginn des Projektes war zu erkennen, dass selbst in den Gebieten mit sehr hoher oder hoher Informationsdichte, die empfohlenen Maßnahmen zur prophylaktischen Brutstättenvermeidung kaum bis gar nicht umgesetzt wurden. So nahm im Untersuchungsgebiet Ochsenkopf, trotz der schon anfänglich sehr hohen Informationsdichte und der über die verschiedenen Informationskanäle (Kapitel 4.1) weiterhin regelmäßig vermittelten Informationen, der Anteil der pro Gartengrundstück vorhandenen potenziellen Brutstätten von Mai bis August 2016 lediglich von 6,2 bis auf 5,7 ab (Tab. 1).

**Tabelle 1: Ergebnisse der Brutstättenenerfassung im Jahr 2016 im Untersuchungsgebiet „Siedlungsbereich Ochsenkopf“ mit sehr hoher Informationsdichte.**

<b>Zeitpunkt der Kontrolle</b>	<b>Potenzielle Brutstätten</b>	<b>Untersuchte Grundstücke</b>	<b>Brutstätten pro Grundstück</b>
<b>Mai 2016</b>	769	124	6,2
<b>Juli 2016</b>	781	135	5,8
<b>August 2016</b>	815	144	5,7

Noch geringer fiel der Unterschied bei der Erfassung der Brutstätten in der Schrebergartenanlage „In den zwölf Morgen“ mit hoher Informationsdichte aus. Hier zeigte sich während der gesamten Untersuchungsperiode im Jahr 2016 ein nahezu gleicher Anteil von 8,0 bis 8,1 Brutstätten pro Gartenparzelle (Tab. 2).

**Tabelle 2: Ergebnisse der Brutstättenerfassung im Jahr 2016 in der Schrebergartenanlage „In den zwölf Morgen“ mit hoher Informationsdichte.**

<b>Zeitpunkt der Kontrolle</b>	<b>Potenzielle Brutstätten</b>	<b>Untersuchte Gartenparzellen</b>	<b>Brutstätten pro Gartenparzelle</b>
<b>Mai 2016</b>	227	28	8,1
<b>Juli 2016</b>	232	29	8,0
<b>August 2016</b>	239	30	8,0

Die geringe Bereitschaft, die empfohlenen Selbsthilfemaßnahmen zur Brutstättenreduzierung umzusetzen, zeigte sich auch in den Gesprächen mit den Anwohnern im Verlauf des Frühlings und Frühsommers 2016. So ließen sich bei einem Großteil der Anwohner Wissenslücken finden, die bei einem aufmerksamen Lesen der Informationsbroschüren nicht mehr auftreten sollten.

Wegen der geringen Rückmeldung aus den Gebieten mit sehr hoher und hoher Informationsdichte wurde keine explizite Erhebung der Brutstätten in den Gärten der anderen Untersuchungsgebiete mehr durchgeführt. Bedingt durch die niedrige Bereitschaft zur Teilnahme der Anwohner selbst im Untersuchungsgebiet mit sehr hoher Informationsdichte und trotz der akuten Thematik durch das teilweise extrem lästige Auftreten der Asiatischen Tigermücke im Jahr 2015 waren systematisch verwertbare Daten in den anderen Untersuchungsgebieten mit deutlich geringerer Informationsdichte nicht zu erwarten.

Aufgrund dieser eher qualitativ zu betrachtenden Ergebnisse wurden die anderen angrenzenden Gebiete im Jahr 2016 nicht im vollen Umfang unter Einbezug der dortigen Anwohner evaluiert. In unregelmäßigen Abständen wurden einige der Gärten bei der Stichprobenkontrolle auf eventuell verschleppte Asiatische Tigermücken zusätzlich auf Änderungen der auffälligen Brutstätten wie Dekorationsartikel, in denen sich Wasser sammeln konnte überprüft. Dabei konnten, wie erwartet, keinerlei deutliche Unterschiede festgestellt werden. So wurde im weiteren Verlauf der Bekämpfungsmaßnahmen versucht, in Gesprächen mit den Anwohnern die Ursachen für eventuelle ausbleibende Maßnahmen zu erörtern. Diese Daten wurden jedoch nicht systematisch auswertbar erhoben.

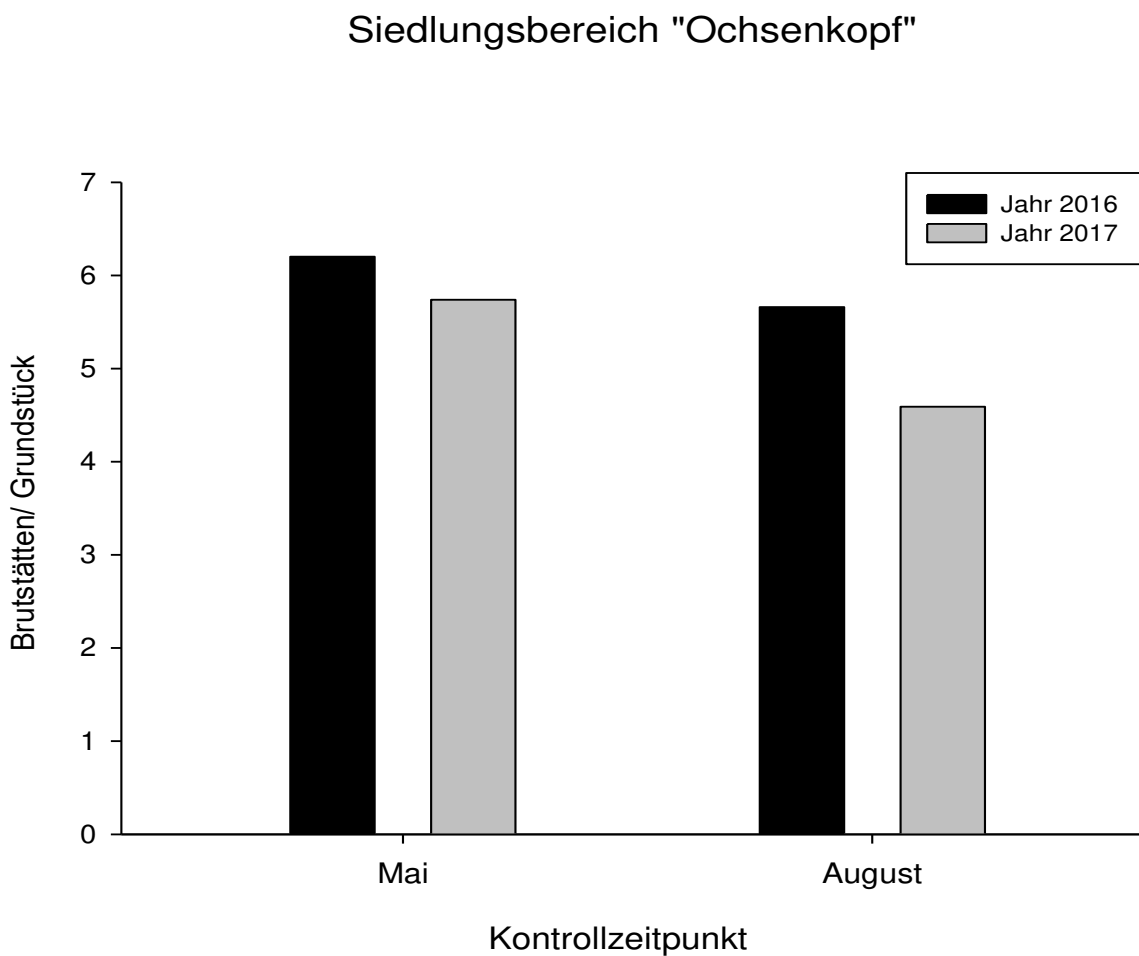
Im Jahr 2017 wurden insgesamt zwei Erhebungen des Brutstättenangebotes im Gebiet „Ochsenkopf“ mit sehr hoher Informationsdichte durchgeführt (Tab. 3).

Vergleicht man nur für das Siedlungsgebiet Ochsenkopf, das Gebiet mit sehr hoher Informationsdichte, die Ergebnisse der Brutstättenerfassung aus den beiden Jahren 2016 und 2017, ist ein leichter Rückgang der pro Grundstück durchschnittlich vorhandenen Brutstätten zu erkennen (Abbildung 5). Vor allem bei den Brutstätten-Kartierungen in den Monaten August war der Unterschied am größten, so dass im Jahr 2017 im Bereich „Ochsenkopf“ durchschnittlich 1,1 potenzielle Brutstätten pro Grundstück weniger gefunden werden konnten als im Vorjahr.



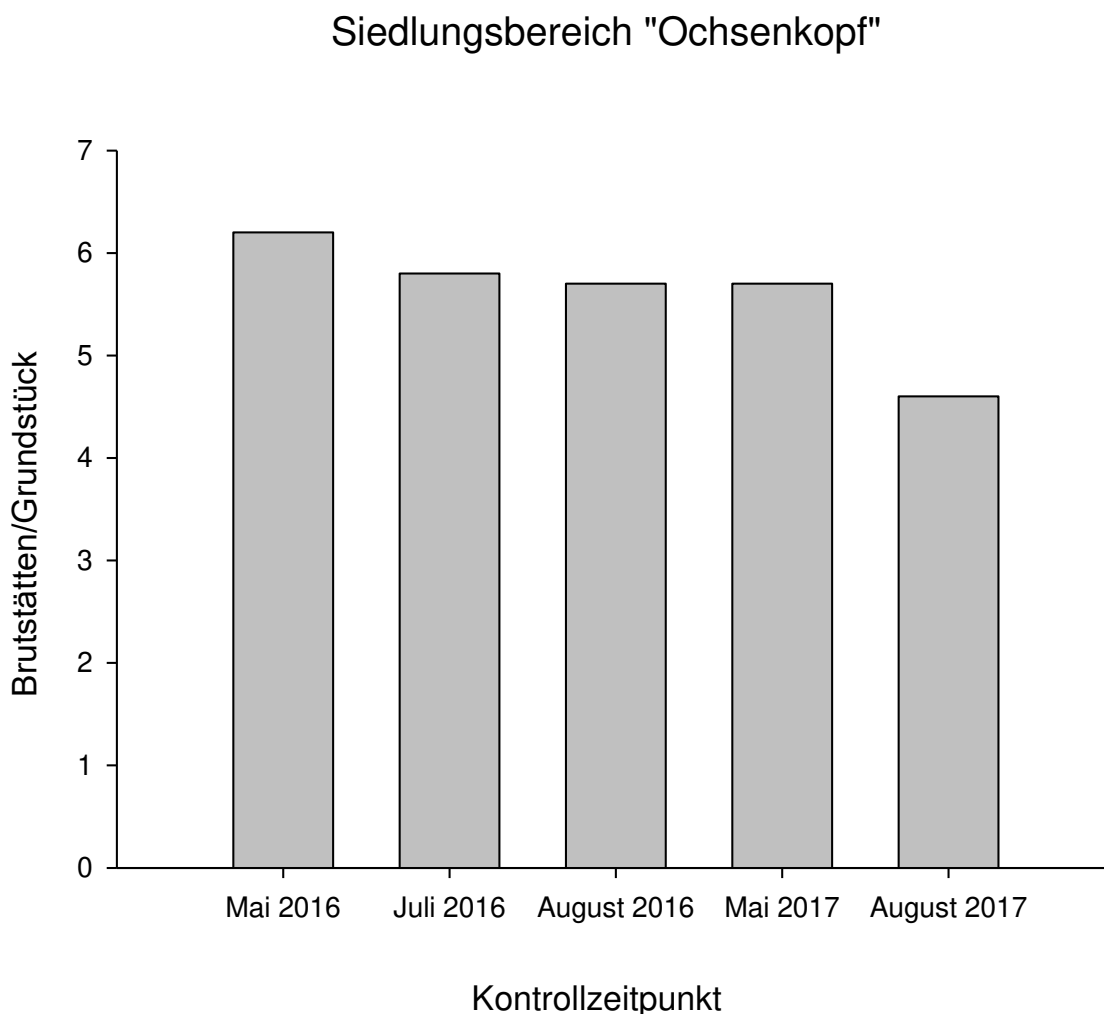
**Tabelle 3: Ergebnisse der Brutstättenerfassung im Jahr 2017 im Untersuchungsgebiet „Siedlungsbereich Ochsenkopf“ mit sehr hoher Informationsdichte.**

Zeitpunkt der Kontrolle	Potenzielle Brutstätten	Untersuchte Grundstücke	Brutstätten pro Grundstück
Mai 2017	264	46	5,7
August 2017	482	105	4,6



**Abbildung 5: Vergleich der Brutstättenerfassung zu ähnlichen Kontrollzeitpunkten der Jahre 2016 und 2017 im Untersuchungsgebiet „Siedlungsbereich Ochsenkopf“ mit sehr hoher Informationsdichte.**

Doch auch innerhalb des Jahres 2017 war ein leichter Rückgang bei der durchschnittlichen Anzahl an Brutstätten pro Grundstück zu verzeichnen. Dadurch nahm über den gesamten Untersuchungszeitraum von Mai 2016 bis August 2017 das durchschnittliche Brutstättenangebot im Siedlungsbereich Ochsenkopf, dem Gebiet mit der höchsten Informationsdichte, stetig ab (Abbildung 6).



**Abbildung 6: Vergleich der einzelnen Brutstättenerfassungen im Laufe der Zeit von Mai 2016 bis August 2017 im Untersuchungsgebiet „Siedlungsbereich Ochsenkopf“ mit sehr hoher Informationsdichte.**

Insgesamt machten Regentonnen, die bedeutende Massenbrutstätten der containerbrütenden Stechmückenarten sind, über den gesamten Versuchszeitraum 32,8 % der gefundenen potenziellen Brutstätten im Bereich „Ochsenkopf“ aus. Dabei reichte die Spannweite von null bis sieben Regentonnen, während durchschnittlich 1,4 Regentonnen pro Grundstück zu finden waren. Obwohl über die verschiedenen Informationswege im Jahr 2016 mehrfach an die Anwohner die unterschiedlichen Möglichkeiten übermittelt wurden, mit welchen bei den Regentonnen die Eiablage durch die Asiatischen Tigermücke verhindert werden kann, waren bei der Kontrolle im Frühjahr des Jahres 2017 nur knapp 15 % der Regentonnen ausreichend abgedeckt.

#### 4.2.4 DISKUSSION

Der direkte Einfluss der Informationen auf die Befolgung der Brutstättenvermeidungsmaßnahmen durch die Bevölkerung war selbst in den Gebieten mit sehr hoher Informationslage so gering, dass die systematische Durchführung des Versuches in den Gebieten mit geringerer Informationslage abgebrochen wurde. Nur im langfristigen Trend über fast zwei Versuchsjahre war eine stetige, wenn auch nur geringe Abnahme des Brutstättenangebotes im privaten Gartenbereich zu verzeichnen.

So ist das Brutstättenangebot für containerbrütende Stechmücken im Gebiet „Ochsenkopf“ aufgrund der größeren Gartenflächen und vermehrten Gartennutzung für den Eigenanbau von Obst und Gemüse allgemein recht hoch und lag zu Beginn der Untersuchung bei durchschnittlich 6,2 Brutstätten pro Grundstück. Im Vergleich dazu betrug innerhalb einer in Heidelberg (Stadtteil Handschuhsheim) im Jahr 2017 neu entdeckten Population von *Ae. albopictus* beim ersten durchgeführten Larvenmonitoring die Anzahl der potenziellen Brutstätten bei nur durchschnittlich 2,9 Brutstätten pro Grundstück. Dieses geringe durchschnittliche Brutstättenangebot hatte ausgereicht, dass sich die neu entdeckte Population auf mindestens 12 ha Siedlungsbe- reich ausbreitete und zur Belästigung von Anwohnern führte. Im Gebiet „Ochsenkopf“ konnte selbst durch die hohe Informationsdichte über die Selbsthilfemaßnahmen zur Brutstättenvermeidung und die Nutzung verschiedener Informationswege über einen Zeitraum von fast zwei Jahren das durchschnittliche Brutstätten- angebot bis zum Ende des Projektes nur auf 4,6 Brutstätten pro Grundstück reduziert werden.

Als Ursache für die schlechte Umsetzung der Selbsthilfemaßnahmen kann folglich eine mangelhafte Infor- mation der Bevölkerung zum Thema Brutstättenvermeidung ausgeschlossen werden. Im Gebiet „Ochsen- kopf“ wurde jeder Haushalt mindestens vier Mal mit speziellen Faltbroschüren zur Brutstättenvermeidung versorgt. Mehrere Aushänge an den schwarzen Brettern des Ortsteilvereines (Kapitel 4.1) an verschiedenen Punkten des Siedlungsgebietes waren permanent präsent, hinzu kamen mehrere Rundfunk- und Zeitungsbe- richte zur Asiatischen Tigermücke mit direktem Bezug zum Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“. Auch waren im gesamten Projektzeitraum in über 90 % der Grundstücke mehrfach Projektmitarbeiter zur Durchführung der Versuche und der Bekämpfung unterwegs, was zu regelmäßigen Kontakten und Gesprächen mit zahlreichen Anwohnern geführt hatte.

Im Laufe des Projektes wurde klar, dass auch bei ausreichender Informationslage die nötige Sorgfalt bei der Durchführung der Maßnahmen oder gar die prinzipielle Bereitschaft zur Selbsthilfe bei den meisten Anwoh- nern nicht gegeben ist. Selbst direkte persönliche Hinweise durch die Projektmitarbeiter auf typische Brut- stätten führten bei einigen Anwohnern lediglich zu der Beteuerung, in Zukunft entsprechende Selbsthilfe- Maßnahmen gründlicher auszuführen, ohne dass diese dann auch umgesetzt wurden. Viele teilweise unnöti- ge Brutstätten wie Dekorationsartikel oder nicht benötigte Töpfe und Untersetzer wurden über den gesamten Zeitraum des Sommers von einigen der Anwohner nicht entfernt.

In zahlreichen Gesprächen mit den Anwohner konnte festgestellt werden, dass die Anpassungsfähigkeit der Asiatischen Tigermücke bezüglich der Brutstättenbiologie oft unterschätzt wird. So konnte sich z.B. ein Teil der Anwohner nicht vorstellen, dass *Ae. albopictus* durch kleine aufgezeigte Öffnungen in ihren Regenton- nen gelangt oder ihre Eier in kleinste Wasseransammlungen der herumstehenden Gegenstände ablegt. So ließen sich bei einem Großteil der Anwohner Wissenslücken finden, die schon alleine bei einem aufmerk- samen Lesen der Informationsbroschüren nicht mehr hätten auftreten sollen.

Ein weiterer Teil der Anwohner dachte, die selbstständig durchgeführte Behandlung der Regentonnen mit *B.t.i.* (Kapitel 4.3), sei ausreichend für die Bekämpfung und ignorierte daher die Hinweise zur Entfernung

der zahlreichen Kleinstbrutstätten. Ein vergleichbarer Grund für das Ausbleiben von Selbsthilfemaßnahmen ist der Hinweis einzelner Anwohner, dass diese trotz gegenteiliger Hinweise in den Informationsmaterialien davon ausgingen, die komplette Bekämpfung bzw. die Maßnahmen zur Brutstättenvermeidung würde durch die regelmäßig anwesenden Projektmitarbeiter durchgeführt.

Die Ergebnisse des Versuches verdeutlichen, dass zunächst, wie schon im Kapitel 4.1 erkannt, bereitgestellte Informationen nur langsam und nicht zu 100 % zu allen Anwohner durchdringen. So ist für einen hohen Grad an umgesetzten Selbsthilfemaßnahmen zur Brutstättenvermeidung auch eine sehr hohe Informationsdichte über einen längeren Zeitraum nötig. Jedoch ist auch langfristig gesehen ein hoher Grad der Umsetzung der empfohlenen Brutstättenvermeidungsmaßnahmen bzw. eine bekämpfungsrelevante Reduktion des durchschnittlichen Brutstättenangebotes nicht zu erwarten.

### **4.3 B.T.I.-APPLIKATION MITTELS BEREITGESTELLTER TABLETTEN**

#### **4.3.1 EINLEITUNG**

Vor allem in Gärten, welche für den Anbau von Obst, Gemüse oder Zierpflanzen genutzt werden, sind Brutstätten für containerbrütende Stechmückenarten nahezu unvermeidbar und meist in größerer Zahl vorhanden. Für die Pflege der Pflanzen werden gezielt Niederschläge aufgefangen und in geeigneten Behältern gespeichert, um Kosten für Leitungswasser zu sparen oder kalkarmes Wasser für empfindliche Kulturpflanzen bereitzustellen. Diese Wasserreservoirs, meist in Form von Regetonnen, stellen optimale Massenbrutstätten für containerbrütende Stechmückenarten wie die Asiatische Tigermücke dar.

Eine Möglichkeit, die Entwicklung größerer Mengen an Stechmücken in Regetonnen zu verhindern, ist die Abdeckung der Regetonnen mit einem vollständig aufliegenden Deckel oder die komplette Überspannung mit feinmaschigen Netzen. Aufgrund der Rohrleitungen des Regenwasserzulaufes ist die nötige 100-prozentige Abdeckung der Tonnen jedoch oft nicht leicht zu bewerkstelligen. Bleiben kleinste Lücken am Deckelrand oder im Bereich des Regenzulaufes offen, können Weibchen der Asiatischen Tigermücke in die Regetonnen gelangen und ihre Eier ablegen. In Bezug auf optimale Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke weisen jedoch auch ausreichend abgedeckte Regetonnen einen entscheidenden Nachteil auf. Durch das Verhindern des Einfliegens von Weibchen in die Regetonne, erfolgt die Eiablage in andere geeignete Brutstätten im Umfeld, da eine 100-prozentige Vermeidung aller Brutstätten, vor allem bei größerer Populationsausdehnung, nicht zu erreichen ist. Daher erfolgt durch Brutstättenvermeidung, vor allem der großen Massenbrutstätten wie Regetonnen und anderer größerer Gefäße, die Reduktion der Population nur durch die geringere Überlebensrate in den dichtbesiedelten (MORI 1979) verbleibenden Kleinstbrutstätten und einen geringfügig verlangsamten Entwicklungszyklus durch die längere Suche der Weibchen nach geeigneten Brutstätten. So kann durch Brutstättenvermeidung in Siedlungsbereichen mit hohem Gartenanteil lediglich die Populationsdichte der Asiatischen Tigermücke reduziert, ein vollständiges Zusammenbrechen der Population jedoch nicht erreicht werden.

Um ein vollständiges Auslöschen einer Population zu erreichen, ist zusätzlich ein Abtöten und damit eine aktive Entfernung von Individuen aus der Population vonnöten. Dies kann gezielt in den Regetonnen erfolgen, welche eine hohe Anziehungskraft auf eiablagebreite Weibchen der Asiatischen Tigermücke besitzen. Dabei steht mit dem Bodenbakterium *Bacillus thuringiensis israelensis* (Kapitel 5) ein wirkungsvoller, umweltverträglicher und schon seit Jahrzehnten bewährter biologischer Wirkstoff zur Bekämpfung von Stechmückenlarven zur Verfügung (BECKER et al. 2010).

Mit den verschiedenen im Handel erhältlichen Formulierungen des biologischen Wirkstoffes *B.t.i.* ist im privaten häuslichen Garten eine effektive Bekämpfung von Stechmückenlarven in Regentonnen oder anderen wassersammelnden Gefäßen leicht zu erreichen. So wendet die Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage (KABS e.V.) seit Jahrzehnten erfolgreich die *B.t.i.*-Methode in Form von Sprudeltabletten zur integrierten Bekämpfung von Hausmücken an. Die Bereitstellung der Tabletten und entsprechende Anwendungsinformationen an die Mitglieder der KABS e.V. ermöglicht eine effektive und kostengünstige Stechmückenbekämpfung im Rahmen von Selbsthilfemaßnahmen auf privaten Grundstücken.

Für einen ausreichenden Bekämpfungserfolg muss der Anteil der regelmäßig mit *B.t.i.* behandelten Regentonnen jedoch sehr hoch sein. Daher sollte im vorliegenden Versuch geklärt werden, wie zuverlässig im Rahmen von Selbsthilfemaßnahmen die Behandlung der Regentonnen auf privaten Grundstücken durch die zuständigen Anwohner erfolgt.

#### 4.3.2 MATERIAL UND METHODEN

Während des ersten Jahres der Bekämpfung erfolgte neben der grundlegenden Information der Anwohner im Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ (Kapitel 4.1) und dem Aufruf zur Vermeidung von Brutstätten (Kapitel 4.2) auch eine kostenlose Verteilung von *B.t.i.*-Sprudeltabletten (Kapitel 5) samt Informationen zu deren korrekter Anwendung an alle Haushalte. Weiterhin wurden durch mehrere Hauswurfsendungen (Kapitel 4.1.1), Aushänge an den schwarzen Brettern des Ortsteilvereines (Kapitel 4.2.2) und durch persönliche Gespräche die Anwohner auf die Notwendigkeit der Bekämpfung der Regentonnen mit dem biologischen Wirkstoff hingewiesen. Aufgrund der hohen Populationsdichte der Asiatischen Tigermücke zu Beginn der Bekämpfung erfolgten im ersten Projektjahr mehrere zusätzliche Bekämpfungsaktionen durch Mitarbeiter des Forschungsprojektes auf möglichst allen Grundstücken.

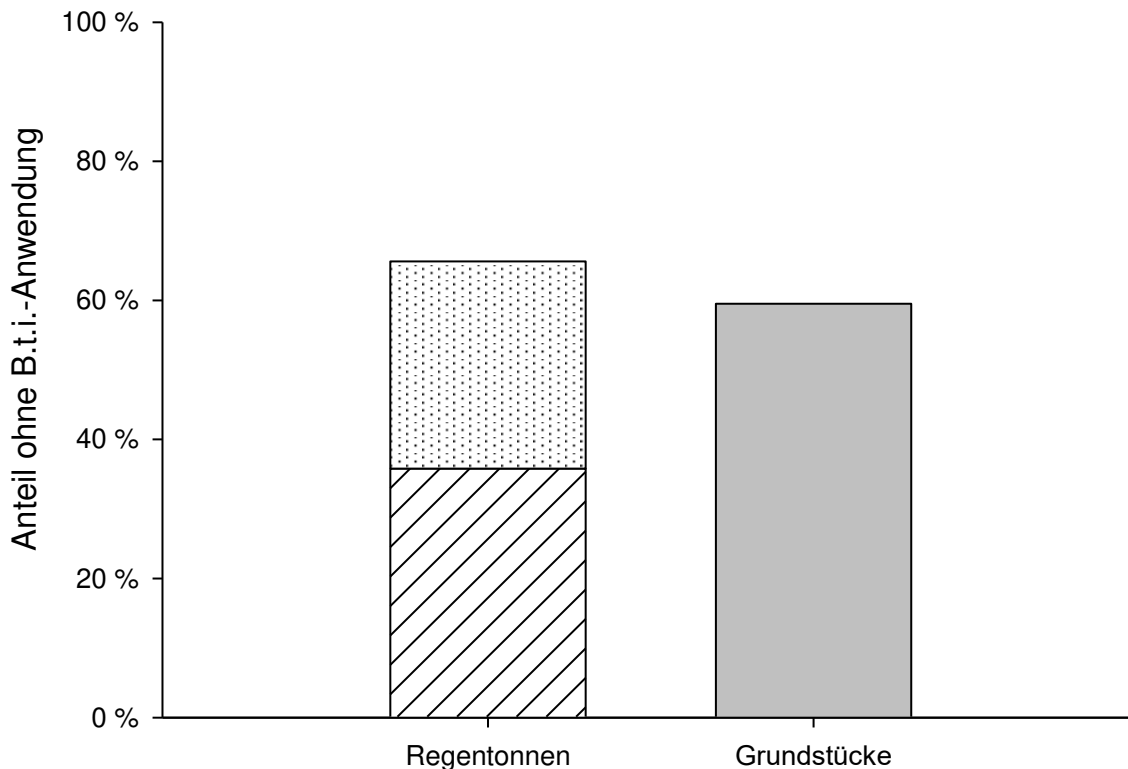
Zu Beginn des zweiten Projektjahres mit der Bekämpfung im Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ wurde die Bevölkerung zunächst durch Hauswurfsendungen und Aushänge an den schwarzen Brettern wieder auf das Thema Asiatische Tigermücke aufmerksam gemacht und über den aktuellen Stand der Bekämpfung informiert. Ende Juli wurden über erneute Hauswurfsendungen an alle Haushalte, welchen ein Blister mit zehn *B.t.i.*-Tabletten (CULINEX® Tab plus) beigelegt war, die Anwohner des Gebietes angehalten, alle auf ihrem Grundstück vorhandenen Regentonnen regelmäßig zu behandeln.

Zehn Tage nach der Verteilung der kostenlosen Tabletten wurde im gesamten Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ die Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen überprüft. Um zu vermeiden, dass es durch nachbarschaftliche Gespräche über das laufende Regentonnen-Monitoring zu Nachbesserungen bei bisher versäumten Regentonnenbehandlungen kommt, fand die Überprüfung nur innerhalb eines Tages statt. Dafür wurden am Kontrolltag auf jedem zugänglichen Grundstück des gesamten Gebietes die vorhandenen Regentonnen auf Stechmückenlarven und andere Hinweise auf das Tablettennutzungsverhalten überprüft. So hinterlassen die verwendeten *B.t.i.*-Tabletten nach dem Zerfall einen charakteristischen Rückstand der schwer löslichen Trägersubstanz (Calciumcarbonat) in Form eines kleinen weißen Häufchens am Boden der Regentonne. Auch zeigte das Vorhandensein älterer Stechmückenlarven, dass die entsprechenden Regentonnen für längere Zeit (Kapitel 5.2) nicht mit *B.t.i.* behandelt wurde.

### 4.3.3 ERGEBNISSE

Bei der eintägigen Kontrolle am 8. August 2017 im Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ konnte von den 167 vorhandenen Einzelgrundstücken insgesamt auf 105 Grundstücken die Durchführung der *B.t.i.*-Bekämpfungsmaßnahmen überprüft werden.

Insgesamt wurden 151 Regentonnen auf Hinweise einer *B.t.i.*-Tablettenbehandlung untersucht. In insgesamt 52 der Regentonnen waren die charakteristischen Rückstände der *B.t.i.*-Sprudletabletten nachzuweisen. Eine nicht erfolgte *B.t.i.*-Behandlung konnte bei 54 der untersuchten Regentonnen aufgrund von vorhandenen Stechmückenlarven (3 x *Aedes albopictus*) nachgewiesen werden. In den übrigen 45 Regentonnen ohne Stechmückenlarven konnte eine Behandlung mit *B.t.i.* aufgrund des definitiv fehlenden Tablettenrückstandes ebenfalls ausgeschlossen werden. Insgesamt wurden damit 65,6 % der Regentonnen nicht mit dem zehn Tage zuvor kostenlos bereitgestellten Wirkstoff behandelt (Abbildung 7).



**Abbildung 7: Anteil der durch die Anwohner unbehandelten Regentonnen und Grundstücke mit vorhandenen Regentonnen. Die unbehandelten Regentonnen ergeben sich durch Nachweis von Stechmückenlarven (schraffiert) und durch eindeutiges Fehlen der charakteristischen Tablettenrückstände (gepunktet).**

Auch wenn der durchschnittliche Anteil an Regentonnen pro Grundstück bei 1,4 lag, waren nur auf insgesamt 74 der überprüften 105 Grundstücke eine oder mehrere Regentonnen vorhanden. Auf insgesamt 30 der Grundstücke mit Regentonnen wurden diese mit dem bereitgestellten Wirkstoff behandelt, so dass 59,5 % der bezüglich der *B.t.i.*-Bekämpfung relevanten Zielgruppe nicht zur Durchführung der empfohlenen Selbsthilfemaßnahmen bewegt werden konnten (Abbildung 7).

#### 4.3.4 DISKUSSION

Durch die Kontrolle der Regentonnen auf vorhandene Larven oder die charakteristischen Rückstände der *B.t.i.*-Sprudletabletten konnte im dem vorliegenden Versuch aufgezeigt werden, dass nur rund 40 % der Anwohner des Siedlungsgebietes „Ochsenkopf“ die empfohlenen Maßnahmen durchführten. Dadurch wurden nur rund 34 % der vorhandenen Regentonnen mit dem biologischen Wirkstoff behandelt und ein Aufwachsen von Larven der Asiatischen Tigermücke in diesen bedeutenden Massenbrutstätten verhindert.

In Anbetracht der Dringlichkeit einer Bekämpfung dieses potenziellen Vektors, der sehr hohen Informationsdichte (Kapitel 4.1) zum Thema und der Tatsache, dass der benötigte biologische Wirkstoff zehn Tage zuvor an jeden Haushalt ausgeteilt wurde und kostenlos verfügbar war, ist der Anteil der durchgeführten Selbsthilfemaßnahmen sehr niedrig. So ist eine Anwendung der einzeln in Blistern verpackten Tabletten ohne das vorherige Auflösen in Wasser und Herstellen von verschiedenen Konzentrationen durch direkten Einwurf in die Regentonne schnell und einfach durchzuführen und kann nicht der Grund für die geringe Bürgerbeteiligung sein.

Für eine effektive Bekämpfung und bestenfalls Auslöschung neu entdeckter Populationen der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg ist eine 100-prozentige Behandlung der Regentonnen vonnöten. Diese stellen optimale Massenbrutstätten für containerbrütende Stechmückenarten dar und spielen für die Vermehrung der Population durch ihre enorme Kapazität eine bedeutende Rolle (BROWN et al. 1992). Durch die erreichte Bürgerbeteiligung bzw. den erreichten Bekämpfungsgrad der Regentonnen aufgrund von Selbsthilfemaßnahmen ist ein ausreichendes Gesamtbekämpfungsergebnis mit dem Ziel der vollständigen Auslöschung einer Population nicht zu erreichen.

Selbst eine ausreichende Reduzierung der Populationsdichte mit dem alleinigen Ziel, die Wahrscheinlichkeit eines plagerregenden Auftretens oder einer Krankheitsübertragung durch *Ae. albopictus* bedeutend zu verringern, könnte mit dem ermittelten Grad der Bekämpfung durch Selbsthilfemaßnahmen nicht erreicht werden. So wurde bei dem ersten Larvenmonitoring nach Entdeckung der Population im Jahr 2015 ein Regentonnen-Containerindex (Anteil der Regentonnen mit Larven) für *Ae. albopictus* von 27 % ermittelt (STELZNER 2016). Bezogen auf die 151 vorhandenen Regentonnen in der vorliegenden Untersuchung, wären dies rund 40 positive Regentonnen gewesen. Wiederum aufgrund der ermittelten 40-prozentigen Umsetzung der empfohlenen *B.t.i.*-Bekämpfungs-Selbsthilfemaßnahmen wären immer noch rund 24 Regentonnen mit Larven der Asiatischen Tigermücke auf den 105 untersuchten Grundstücken des Siedlungsbereiches „Ochsenkopf“ vorhanden gewesen. Dies entspräche einem Breteau-Index (Anzahl der mit Larven besetzten Brutstätten je 100 Haushalte) von 22,9, wenn man von der ursprünglichen Populationsdichte im Jahr 2015 und einer Bekämpfung nur durch *B.t.i.*-Selbsthilfemaßnahmen ausgehen würde. Im Vergleich wird ein Breteau-Index von 5,0 in vielen Veröffentlichungen als Grenzwert angesehen, bei dem die Gefahr einer Dengue-Virus-Übertragung durch Stechmücken der Gattung *Aedes* gegeben ist (BOWMAN 2014). Dass der Breteau-Index in der vorliegenden Untersuchung im Jahr 2017 aufgrund der drei Nachweise von *Ae. albopictus*-Larven lediglich bei 2,9 liegt, ist nicht den Selbsthilfemaßnahmen, sondern der vorangegangenen intensiven Bekämpfung durch die Mitarbeiter des Forschungsprojektes zuzuschreiben. So läge auch ohne die 40-prozentige Umsetzung der empfohlenen *B.t.i.*-Bekämpfungs-Selbsthilfemaßnahmen der Breteau-Index mit 4,1 unter dem veranschlagten Grenzwert von 5,0 und weit unter dem theoretischen Breteau-Index von 22,9 bei *B.t.i.*-Selbsthilfemaßnahmen und ursprünglicher Populationsdichte.

#### 4.4 GESAMTBEURTEILUNG

Bei noch lokal begrenzten Populationen der Asiatischen Tigermücke kann bei regelmäßiger Behandlung der Massenbrutstätten mit *B.t.i.* und gleichzeitiger gründlicher Beseitigung der übrigen Brutstätten eine starke Reduktion der Populationsdichte erreicht werden. Ein völliges Auslöschung der gesamten Population ist jedoch nur bei regelmäßiger, flächendeckender und gründlicher Ausführung der entsprechenden Maßnahmen möglich. Auch wenn *Ae. albopictus* in Deutschland an den Grenzbereich der durch das Klima festgelegten Ausbreitungsgrenze stößt, ist weder eine vollständige Auslöschung noch eine deutliche Populationsreduktion aufgrund der festgestellten mangelnden Bürgerbeteiligung bei der Brutstättenvermeidung (Kapitel 4.2) und *B.t.i.*-Behandlung der Regetonnen (Kapitel 4.3) zu erreichen.

Zwar könnte man durch zusätzliche Bekämpfungsmethoden wie die SIT-Technik oder letale Fallensysteme die Population weiter schwächen, um so die unvollständige Bekämpfung durch Selbsthilfe im privaten Bereich zu kompensieren. Durch den geringen Grad der Brutstättenbekämpfung durch Selbsthilfemaßnahmen kommt es jedoch automatisch immer wieder zu Aufwachsen einer größeren Anzahl an Larven aus Massenbrutstätten. Dadurch wird ein vollständiges Auslöschung sehr unwahrscheinlich oder wäre höchstens durch mehrjährigen, unverhältnismäßig massiven Einsatz der SIT-Technik oder letaler Fallensysteme zu erreichen.

Zwar nimmt auch mit der Dauer der Bekämpfung die Unterstützung durch die Anwohner zu, da diese sich zunehmend der Anwesenheit der Asiatischen Tigermücke und der Bekämpfungsmaßnahmen bewusst werden (ABRAMIDES et al. 2011). Jedoch gingen im vorliegenden Versuch dem Zeitpunkt der ermittelten geringen Umsetzung der Selbsthilfemaßnahmen immerhin fast zwei Jahre voraus, in denen die über mehrere Informationswege übertragene Informationsdichte im Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ sehr hoch lag (Kapitel 4.1). Eine bedeutende weitere Erhöhung der Bürgerbeteiligung an den Selbsthilfemaßnahmen ist aufgrund der Erfahrungen, Beobachtungen und Gesprächen mit Anwohnern vor Ort nicht zu erwarten. Ein nicht unerheblicher Teil der Anwohner war offenkundig desinteressiert oder von der Thematik Asiatische Tigermücke und der Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen überfordert. Eine über mehrere Jahre laufende Bekämpfung würde auch diesen Teil der Anwohner nicht zur Unterstützung bewegen, sondern vermutlich eher den zu Beginn engagiert mitwirkenden Teil der Anwohner „ermüden“ und daher langfristig wieder zu einer Abnahme der Bürgerbeteiligung führen.

Ziel der Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg sollte es sein, die frisch entdeckten und noch lokal begrenzten Populationen der Art möglichst innerhalb kurzer Zeit unter die Schwelle der überlebensfähigen Populationsgröße (MVP) zu bringen und auszulöschen. Dies ist im privaten Siedlungsbereich nicht durch angeleitete Selbsthilfemaßnahmen zu erreichen, wodurch zwingend eine Ausführung der nötigen Bekämpfungsmaßnahmen durch ausgebildete Fachkräfte auf den privaten Grundstücken nötig ist.

Im Rahmen einer integrierten Bekämpfung kann es trotzdem sinnvoll sein, die Anwohner zusätzlich über Selbsthilfemaßnahmen zur Reduzierung bestimmter Brutstättenarten (s. Kapitel 11.7) zu informieren und zur Umsetzung der erforderlichen Maßnahmen zu ermutigen. Dies würde zumindest dem interessierten Teil der Anwohner den Entwicklungszyklus und die Brutstättenbiologie der Asiatischen Tigermücke verdeutlichen und das Bewusstsein und die Akzeptanz für die von den Bekämpfungsteams durchgeführten Maßnahmen verstärken. Und auch wenn der durch die Selbsthilfemaßnahmen zu erwartende Effekt bei der Brutstättenreduzierung nur gering ausfällt, bedeutet dies zumindest einen etwas geringeren Arbeitsaufwand bei der *B.t.i.*-Applikation durch das Bekämpfungsteam.



# 5 *B.t.i.*-Behandlung von Regentonnen

Durch die Entdeckung des grampositiven, sporenbildenden Bodenbakteriums *Bacillus thuringiensis israelensis* (*B.t.i.*) im Jahr 1976 in der Negev-Wüste von Israel (GOLDBERG & MARGALIT 1977) wurde ein neues Kapitel in der Bekämpfung von Stechmücken eröffnet (SINGER 1973). Diese neuentdeckte Unterart des *Bacillus thuringiensis* bildet während seiner Entwicklung ein Eiweißkristall, welches als Fraßstoff hochselektiv die Larven weniger Dipteren-Familien aus der Unterordnung Nematocera (Mücken) abtötet. Der Wirkungsweise von *B.t.i.* liegt ein komplizierter biologischer Mechanismus zugrunde, auf dem die selektive Wirkung gegen Mückenlarven beruht. Außer Mückenlarven werden keine anderen Organismen und natürlich auch keine Menschen geschädigt, da sie keine Rezeptoren für die *B.t.i.*-Toxine besitzen und andere für den Wirkmechanismus spezifischen Bedingungen innerhalb des Darms nicht erfüllen (BECKER et al. 1992).

Die unterschiedliche Sensibilität verschiedener Mückenarten gegenüber *B.t.i.* beruht auf der unterschiedlichen Anzahl von Rezeptoren an den Mitteldarmzellen der einzelnen Mückenarten. Während insbesondere die Larven der Stech- und Kriebelmücken (Culicinae bzw. Simuliidae) hochsensibel gegenüber *B.t.i.* sind, werden die Larven weniger weiterer Mückenfamilien (z.B. Psychodidae, Chironomidae, Dixidae) nur bei vielfacher Überdosierung getroffen. So wendet die Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage (KABS e.V.) mittlerweile seit mehr als vier Jahrzehnten im Oberrheingebiet erfolgreich verschiedene Formulierungen von *B.t.i.* bei der biologischen Bekämpfung der plageerregenden Überschwemmungs- und Hausmücken innerhalb der rund 100 Mitgliedsgemeinden an.

Die Wirkung von biologischen Präparaten auf der Basis von *B.t.i.* ist abhängig von verschiedenen Faktoren wie der angewandten Dosis, der Wasserqualität, der Temperatur und der Stechmückenart (BECKER 1992). Daher wurden mehrere Labor- und Freilandversuche durchgeführt, um das optimale Bekämpfungsintervall und die nötige Dosis zur Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke unter den klimatischen und infrastrukturellen Bedingungen in Baden-Württemberg zu ermitteln. Ein Teil der Versuche wurde dabei im Rahmen einer Bachelorarbeit der Universität Heidelberg durchgeführt (KIZGIN 2016).

## 5.1 BIOASSAY ZUR ERMITTLUNG DER EFFEKTIVEN DOSIS (LABORVERSUCH)

### 5.1.1 EINLEITUNG

Bei einer Anwendung von *B.t.i.* hängt die Sterberate der Stechmückenlarven hauptsächlich von der im Wasserkörper vorhandenen Konzentration an biologisch aktiven Eiweißkristallen (Protoxin) ab. Diese Protoxine werden nach der oralen Aufnahme durch die spezifischen Darmproteasen im alkalischen Milieu des Stechmückenlarvendarms zu den eigentlichen Toxinen abgebaut. Die biologische Aktivität bzw. Wirksamkeit der verwendeten *B.t.i.*-Produkte hängt von dem jeweiligen Gehalt an Protoxin ab. Durch Bestimmung der biologischen Aktivität eines Produktes, welche als "International Toxic Units" (ITU) pro mg Produkt ausgedrückt wird, kann auch bei Verwendung unterschiedlicher *B.t.i.*-Formulierungen von verschiedenen Herstellern die adäquate Ausbringungsmenge des jeweiligen verwendeten *B.t.i.*-Produktes ermittelt werden.

Da auch innerhalb der Familie der Stechmücken (Culicidae) die verschiedenen Stechmückenarten gegenüber *B.t.i.* unterschiedlich sensibel reagieren, ist die für eine 100-prozentige Bekämpfung nötige ITU-Konzentration abhängig von der zu bekämpfenden Stechmückenart. Daher sollte ein Laborversuch unter

standardisierten Bedingungen durchgeführt werden, um die minimale effektive ITU-Dosis ( $LC_{99}$ ) und die ITU-Dosis, bei der die Hälfte der eingesetzten Tiere stirbt, ( $LC_{50}$ ) für *Aedes albopictus* zu ermitteln.

### 5.1.2 MATERIAL UND METHODEN

#### Versuchsdurchgang 1

Die Durchführung der Laborversuche erfolgte nach den WHO-Richtlinien für Bioassays (Who 1981, Skovmand & Becker 2000).

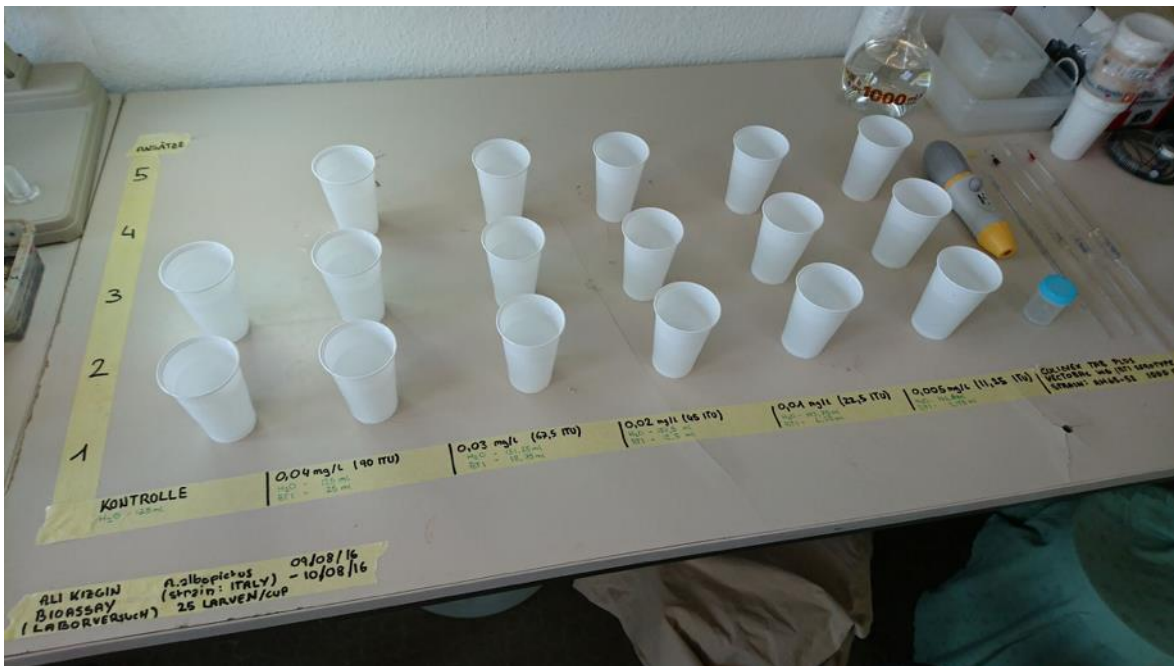
Als *B.t.i.*-Formulierung wurden die Sprudletabletten CULINEX® Tab plus (Lot. Nr.: D13119, Registrationsnummer DE-0003009-18) verwendet, die bei der biologischen Hausmückenbekämpfung in den Mitgliedsgemeinden der KABS e.V. verteilt werden. Nach dem Einbringen in die entsprechenden Behälter bzw. Larvenbrutstätten sinken die Tabletten zu Boden und lösen sich langsam auf. Durch den Sprudeffekt wird das enthaltene *B.t.i.* innerhalb des Wasserkörpers verteilt.

Laut Hersteller (Valent BioSciences, Chicago, USA) besitzen die Tabletten ein Gewicht von 550 mg und eine biologische Aktivität von 1000 ITU/mg. Eine Tablette wurde in Standardaufzuchtswasser (Kapitel 2.3) aufgelöst, und durch mehrere Verdünnungsschritte wurden insgesamt fünf verschiedene *B.t.i.*-Konzentrationen mit 40, 30, 20, 10 und 5 ITU pro Liter hergestellt. Als Standard diente reines Standardaufzuchtswasser. Als Behälter wurden einfache, weiße Plastiktrinkbecher verwendet. In der Versuchsanordnung standen für jede Konzentration und den Standard drei Becher zur Verfügung, welche jeweils mit 150 ml der entsprechenden Lösung bzw. Standardaufzuchtswasser aufgefüllt wurden (Abbildung 8). Dieser Versuchsansatz wurde dreimal hintereinander durchgeführt, so dass sich für jede Konzentration insgesamt neun Einzelwerte ergaben.

Jedem Becher wurden insgesamt 25 Larven im frühen Viertlarvenstadium hinzugefügt. Den schon 24 Stunden zuvor gefütterten Larven stand auch während des Versuches eine ausreichende Menge einer Fischfutter-Bäckerhefe-Mischung zur Verfügung. Die Raumtemperatur lag während des ersten Versuchsdurchganges durchschnittlich bei 26,0 °C ( $\pm 0,2$ ). Da die Becher nicht abgedeckt wurden, lag die durchschnittliche Wassertemperatur innerhalb der Becher aufgrund der Verdunstung und der Luftzirkulation im Raum etwa ein halbes Grad Celsius tiefer.

Nach 24 Stunden erfolgte die Kontrolle auf tote und moribunde Larven. Da Viertlarven schon 24 Stunden vor der Verpuppung die Nahrungsaufnahme einstellen, wurden bei der Kontrolle vorhandene Puppen nicht gewertet und bei der Auswertung die Gesamtanzahl der eingesetzten Larven entsprechend reduziert.

Zur Berechnung der minimal effektiven ITU-Dosis ( $LC_{99}$ ) und der ITU-Dosis, bei der die Hälfte der eingesetzten Larven von *Ae. albopictus* stirbt ( $LC_{50}$ ) werden die nullwertbereinigten Sterberaten für die weitere Berechnung mit der ArcSin-Quadratwurzel-Funktion transformiert. Bei dieser Transformationsmethode zeigen die transformierten Daten einen geringeren konkaven Trend gegenüber der Ausgleichsgeraden als bei der häufig verwendeten Pro-bit-Methode. Ein weiterer Vorteil der ArcSin-Quadratwurzel-Methode ist, dass Dosiswirkung und Umgebungskonditionen in Rechenmodelle integriert werden können (RAY et al. 1996).



**Abbildung 8: Aufbau und Anordnung des ersten Versuchsdurchgangs mit den sechs verschiedenen *B.t.i.*-Konzentrationen.**

### Versuchsdurchgang 2

Der zweite Versuchsdurchgang wurde unter den Rahmenbedingungen des ersten Versuchsdurchganges durchgeführt. Durch zusätzliche Verdünnungsschritte wurden jedoch zwei zusätzliche *B.t.i.*-Konzentrationen von 3 und 1 ITU pro Liter hergestellt. Für jede Konzentration und für den Standard wurden je fünf Becher mit

150 ml der entsprechenden Lösung bzw. Standardaufzuchtwasser aufgefüllt.

Jedem Becher wurden insgesamt 10 Larven des Erstlarvenstadiums hinzugefügt. Die Larven hatten ein Alter von mindestens sechs und maximal zehn Stunden und wurden zuvor mit einer ausreichenden Menge einer Fischfutter-Bäckerhefe-Mischung gefüttert. Die Raumtemperatur lag während des ersten Versuchsdurchganges bei durchschnittlich 25,8 °C ( $\pm 0,3$ ). Da die Becher nicht abgedeckt wurden, lag die durchschnittliche Wassertemperatur innerhalb der Becher aufgrund der Verdunstung und der Luftzirkulation im Raum etwa ein halbes Grad Celsius tiefer.

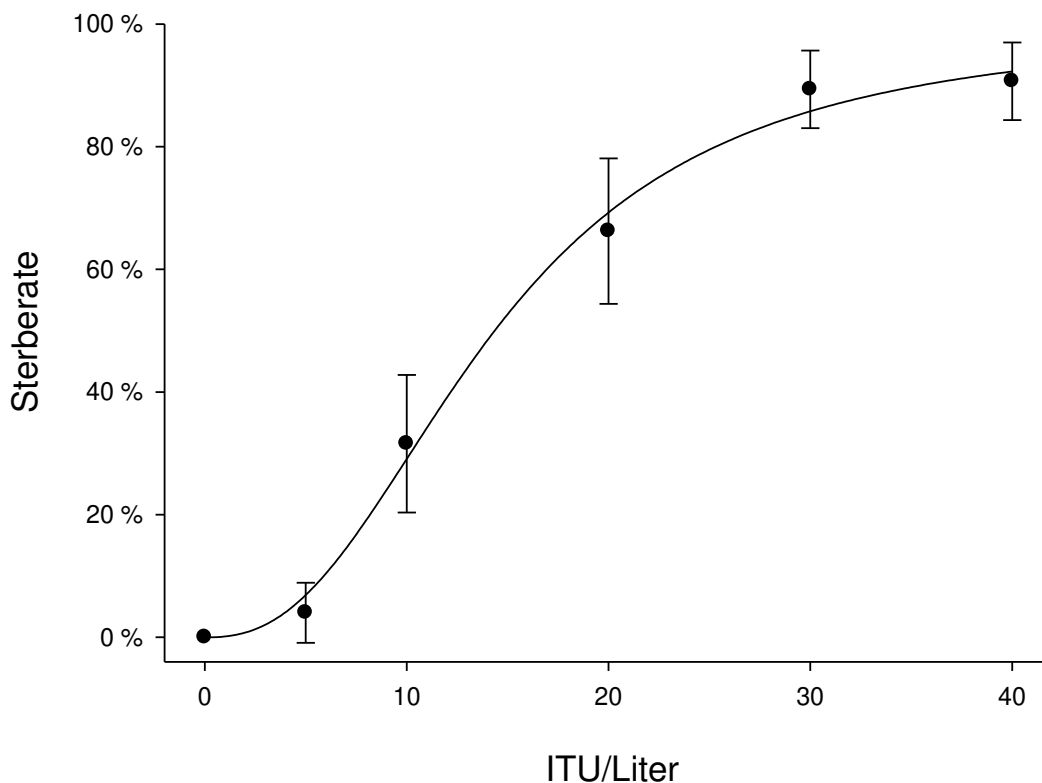
Nach 24 Stunden erfolgte die Kontrolle auf tote und moribunde Larven. Wie auch beim ersten Versuchsdurchgang wurden zur Berechnung der minimal effektiven ITU-Dosis ( $LC_{99}$ ) und der ITU-Dosis, bei der die Hälfte der eingesetzten Larven von *Ae. albopictus* stirbt ( $LC_{50}$ ) die nullwertbereinigten Sterberaten für die weitere Berechnung mit der ArcSin-Quadratwurzel-Funktion transformiert.

### 5.1.3 ERGEBNISSE

#### Versuchsdurchgang 1

Die nullwertbereinigten Sterberaten der im Labor-Bioassay verwendeten Viertlarven von *Ae. albopictus* zeigten den typischen aus der Toxikologie als „Dosis-Wirkungs-Kurve“ bekannten sigmoidalen Kurvenverlauf (Abbildung 9). Mit  $90,6 \pm 6,3$  % und  $89,3 \pm 6,3$  % unterschieden sich die Sterberaten zwischen den bei-

den höchsten Konzentrationen von 40 bzw. 30 ITU/Liter kaum voneinander. Mit weiter abnehmender *B.t.i.*-Konzentration nahm die Sterberate deutlich um jeweils ungefähr 30 % ab. So lag bei einer Konzentration von 20 ITU/Liter die Sterberate bei  $66,2 \pm 11,8$  %, bei 10 ITU/Liter bei  $31,5 \pm 11,2$  % und bei 5 ITU/Liter lediglich bei  $4 \pm 4,8$  %. In den neun Ansätzen des Standards ohne *B.t.i.* wurden keine toten Larven registriert.



**Abbildung 9: Durchschnittliche Sterberate von Viertlarven bei verschiedenen ITU-Konzentrationen im ersten Versuchsdurchgang.**

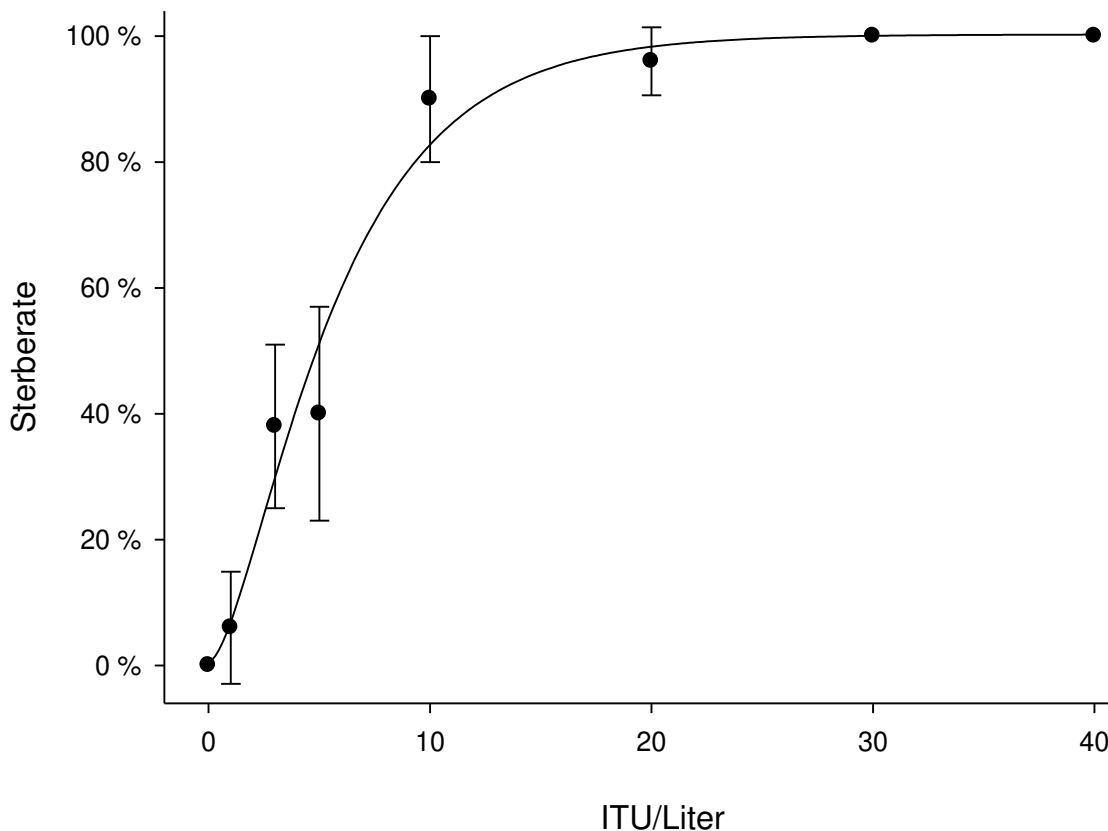
Nachdem die ermittelten sigmoidal verlaufenden Sterberaten mit der ArcSin-Quadratwurzel-Funktion transformiert wurden, konnten durch lineare Regression die in der Tabelle 4 angegebenen LC-Werte berechnet werden. So lag der für die Bekämpfung von *Ae. albopictus* bedeutende Wert der minimal effektiven ITU-Dosis (LC<sub>99</sub>) bei 39,2 ITU/Liter. Die Steigung der durch lineare Regression erhaltenen Ausgleichsgeraden betrug 0,037.

**Tabelle 4: Die verschiedenen nach ArcSin-Wurzel-Transformation berechneten LC-Werte und die Steigung der linearen Regression für Viertlarven von *Ae. albopictus*.**

	LC <sub>50</sub>	LC <sub>90</sub>	LC <sub>99</sub>	m
<b>Drittlarven</b>	20,9 ITU/Liter	33,3 ITU/Liter	39,2 ITU/Liter	0,037

### Versuchsdurchgang 2

Auch die nullwertbereinigten Sterberaten der im Labor-Bioassay verwendeten Erstlarven von *Ae. albopictus* zeigten den typischen aus der Toxikologie als „Dosis-Wirkungs-Kurve“ bekannten sigmoidalen Kurvenverlauf (Abbildung 10). Bei einer *B.t.i.*-Konzentration von 40 bzw. 30 ITU/Liter kam es zu einer 100-prozentigen Sterberate in allen Bechern. Erst in den Bechern mit 20 ITU/Liter konnten noch nach 24 Stunden einzelne überlebende Erstlarven festgestellt werden, so dass die Sterberate bei durchschnittlich  $96 \pm 5,4$  % lag. Auch eine *B.t.i.*-Konzentration von 10 ITU/Liter hatte noch eine sehr hohe durchschnittliche Sterberate von  $90 \pm 10$  % zur Folge. Mit weiter abnehmender *B.t.i.*-Konzentration nahm die Sterberate deutlich ab. So starben bei einer Konzentration von 5 ITU/Liter durchschnittlich  $40 \pm 17$ , % und bei 3 ITU/Liter durchschnittlich  $38 \pm 13,0$  % der eingesetzten Erstlarven. Auch bei der niedrigsten Konzentration von 1 ITU/Liter kam es zum Absterben einzelner Erstlarven, sodass die Sterberate in den Bechern noch bei durchschnittlich  $6 \pm 8,9$  % lag. In den fünf Ansätzen des Standards ohne *B.t.i.* wurden keine toten Larven registriert.



**Abbildung 10: Durchschnittliche Sterberate von Erstlarven der Asiatischen Tigermücke bei verschiedenen ITU-Konzentrationen im zweiten Versuchsdurchgang.**

Nachdem die ermittelten sigmoidal verlaufenden Sterberaten mit der ArcSin-Quadratwurzel-Funktion transformiert wurden, konnten durch lineare Regression die in der Tabelle 5 angegebenen LC-Werte berechnet werden. So lag der für die Bekämpfung von *Ae. albopictus* bedeutende Wert der minimal effektiven ITU-Dosis (LC<sub>99</sub>) für Erstlarven bei 22,8 ITU/Liter. Die Steigung der durch lineare Regression erhaltenen Ausgleichsgeraden betrug 0,065.

**Tabelle 5: Die verschiedenen nach ArcSin-Wurzel-Transformation berechneten LC-Werte und die Steigung der linearen Regression für Erstlarven von *Ae. albopictus*.**

	LC <sub>50</sub>	LC <sub>90</sub>	LC <sub>99</sub>	m
<b>Erstlarven</b>	12,2 ITU/Liter	19,3 ITU/Liter	22,8 ITU/Liter	0,065

#### 5.1.4 DISKUSSION

In den Versuchen zeigten sich die verschiedenen Larvenstadien von *Aedes albopictus* wie erwartet gegenüber *B.t.i.* hochempfindlich. So sind bisher weltweit noch keine Resistenzen von Stechmücken gegen *B.t.i.* bekannt. Ebenfalls wie aus anderen Versuchen bekannt waren die früheren Larvenstadien deutlich empfindlicher gegenüber dem biologischen Wirkstoff, so dass die berechnete minimaleffektive Dosis für die Viertlarven fast doppelt so hoch wie für die Erstlarven lag. Dies zeigt sich auch im Vergleich der beiden berechneten Steigungen der Regressionsgeraden (ANDREWARTHA 1970), welche bei den Erstlarven rund 1,75-fach höher ausfällt. Dies bedeutet, dass bei gleicher Erhöhung der *B.t.i.*-Dosis der Anstieg der Sterberate bei den Erstlarven rund 75 % höher als bei den Viertlarven ausfällt.

Im Vergleich mit Untersuchungen anderer Autoren fallen die berechneten LC-Werte sehr niedrig aus. So lag bei der Verwendung von Bactivec® (1200 ITU/mg) der berechnete LC<sub>50</sub>-Wert bei GOMEZ et al. (2011) rund 500-fach über den in vorliegendem Versuch berechneten LC<sub>50</sub>-Werten. Auch KAMGANG et al. (2011) verwendeten in ihren Versuchen etwas ältere Larvenstadien von *Ae. albopictus*, wobei der berechnete LC<sub>50</sub>-Wert gegenüber den eigenen Versuchen 10-fach höher ausfiel.

Zwischen verschiedenen Stechmückenarten ergeben sich Unterschiede bei der Empfindlichkeit durch unterschiedliches Fressverhalten, Fähigkeit das *B.t.i.*-Protoxin zu aktivieren und an die Rezeptoren des Darms zu binden (LACEY & SINGRE 1982). Auch wenn es zwischen den verschiedenen geographischen Stämmen einer Art auch deutliche Unterschiede im Verhalten, wie z.B. dem Abtauchverhalten von Larven, geben kann, sollten so starke Abweichungen bei der Empfindlichkeit gegenüber *B.t.i.* innerhalb einer Art eher auf die Aktivierung und Bindung des *B.t.i.*-Protoxins zurückzuführen sein. So wurden die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit an Laborstämmen der Asiatischen Tigermücke durchgeführt, welche aus Freilandfängen in Freiburg durchgeführt wurden. Diese erste in Deutschland gefundene größere Population von *Ae. albopictus* wurde sehr wahrscheinlich über einzelne in LKWs eingeschleppte Weibchen aufgebaut. Ein Aufbau einer Gründerpopulation durch nur wenige einzelne Individuen kann jedoch zum Verlust der genetischen Variabilität und letztendlich zu Inzuchtdepression führen. Folgen einer solchen genetischen Verarmung können z.B. geringere Vitalität und Widerstandsfähigkeit gegen widrige Umweltbedingungen sein. So wies auch der gleiche Laborstamm bei Untersuchungen zur Überlebensraten von Diapauseeiern gegenüber Minustemperaturen die geringere Widerstandsfähigkeit auf als ein aus mediterranen Bereichen in Italien aufgebauter Laborstamm (PLUSKOTA et al. 2018). Auch bezüglich der Transmissionrate des Zika-Virus unterschieden sich in den Untersuchungen von HEITMANN et al. (2017) die erwähnten Laborstämme, worauf die Autoren ebenfalls eine genetische Verarmung aufgrund eines Flaschenhalseffektes in Betracht ziehen.

## 5.2 BIOASSAY ZUR ERMITTLUNG DES EINFLUSSES VON DETRITUS UND WASSERENTNAHMEN AUF DIE EFFEKTIVE DOSIS (FREILANDVERSUCH)

### 5.2.1 EINLEITUNG

Bei der Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke ist eine möglichst 100-prozentige Abtötung der Larven in den behandelten Brutstätten der Art vonnöten. Diese ist unmittelbar durch Anwendung einer ausreichenden Dosis an *B.t.i.* zu gewährleisten (Kapitel 5.1). Langfristig gesehen nehmen jedoch mehrere Faktoren Einfluss auf die in den Brutstätten verbleibende *B.t.i.*-Menge, sodass ein dauerhafter 100-prozentiger Bekämpfungserfolg nur gewährleistet ist, wenn der Abstand zwischen den einzelnen *B.t.i.*-Applikationen nicht zu groß gewählt wird.

So kommt es im Laufe der Zeit nach einer *B.t.i.*-Behandlung durch mikrobiologische Abbauprozesse innerhalb der Brutstätten zu einer Reduktion des biologischen Wirkstoffes unterhalb der minimal effektiven Dosis und zu einem Überleben von Larven der Asiatischen Tigermücke. Die Geschwindigkeit dieser biologischen Abbauprozesse ist wiederum abhängig von der biologischen Aktivität bzw. der mikrobiellen Biomasse innerhalb der Regentonnen. Daher wird die Langzeitwirkung des biologischen Wirkstoffes *B.t.i.* deutlich von der Wasserqualität der behandelten Brutstätten beeinflusst. In Regentonnen, den typischen Massenbrutstätten im menschlichen Siedlungsbereich, kann es durch regelmäßige Wasserentnahme ebenfalls zu einer Reduktion der in den Regentonnen enthaltenen *B.t.i.*-Menge kommen.

Daher wurde in zwei Versuchen unter kontrollierten Freilandbedingungen die Langzeitwirkung von *B.t.i.* in Regentonnen bei verschiedener Dosis, Biomasse und regelmäßiger Wasserentnahme untersucht.

## 5.2.2 MATERIAL UND METHODEN

### Versuchsdurchgang 1

Die Freilandversuche wurden auf einem halbschattigen Wiesenbereich eines Gartengrundstückes (68535 Edingen-Neckarhausen) durchgeführt. Das Grundstück lag ca. sechs Kilometer von der Population der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg entfernt und war somit den gleichen makro- und mesoklimatischen Einflüssen, wie innerhalb der anderen Freilandversuche des Projektes vorherrschend, ausgesetzt.

Insgesamt 25 Regenfässer mit einer Kapazität von 250 Litern wurden mit 200 Liter Grundwasser befüllt. Um den Einflug und die Eiablage anderer Stechmückenarten zu unterbinden, wurden die Regentonnen mit einem handelsüblichen Moskitonetz straff und lückenlos abgedeckt. Als Schutz vor Niederschlägen und herabfallendem organischen Material der umliegenden Bäume wurden zusätzlich alle Regentonnen mit einem passenden Deckel abgedeckt.

In drei Regentonnen wurden jeweils zwei Temperaturmessfühler angebracht. Der eine Messfühler wurde ca. fünf Zentimeter unterhalb der Wasseroberfläche, der zweite Messfühler ca. fünf Zentimeter oberhalb des Tonnenbodens platziert. Bei jeder Kontrolle wurden die Maximal- und Minimaltemperaturen der letzten drei Tage notiert. Die Messgenauigkeit der Messfühler betrug  $\pm 1$  °C.

Durch die Kombination unterschiedlicher *B.t.i.*-Konzentrationen in den Regentonnen mit unterschiedlichem Anteil an zugefügtem Detritus wurden insgesamt sechs verschiedene Versuchsgruppen gebildet (Tab. 6).

Als mittlere *B.t.i.*-Konzentration (11.000 ITU/Liter) wurde eine Dosis gewählt, welche vom Hersteller der Tabletten für die verwendeten 200-Liter-Regentonnen zur Hausmückenbekämpfung in Deutschland empfohlen wird. Die beiden anderen verwendeten *B.t.i.*-Konzentrationen entsprechen einer Halbierung bzw. Verdoppelung dieser empfohlenen Dosis. Wie in den Bioassays der Laborversuche wurden auch in den Freilandversuchen als *B.t.i.*-Formulierung die Sprudeltabletten CULINEX® Tab plus (Lot. Nr.: D13119, Registrierungsnummer DE-0003009-18) verwendet.

Während den Regentonnen der Versuchsgruppen „+“ ein Liter einer Detritus-Mischung zugefügt wurde, blieb der andere Teil der Regentonnen ohne jegliche Zugaben von organischem Material (Versuchsgruppen „-“). Der verwendete Detritus wurde aus der Plastikregenrinne einer Gartenhütte gesammelt und bestand größtenteils aus abgestorbenen pflanzlichen Materialien wie Falllaub, Nadelstreu und Aststückchen. Die



organische Substanz des verwendeten Detritus war noch nicht humifiziert aber schon deutlich zersetzt, so dass sie sich komplett am Boden der Regentonne absetzte.

Als Standard dienten drei Regentonnen, welchen weder *B.t.i.* noch Detritus zugefügt wurden.

**Tabelle 6: Unterschiede der Versuchsgruppen in Anzahl der Regentonnen, der *B.t.i.*-Konzentration in den Regentonnen und im Anteil des zugefügten Detritus.**

Versuchsgruppe	ITU/Liter	Detritus	Anzahl Tonnen
5,5+	5.500	+	5
5,5-		-	5
11+	11.000	+	5
11-		-	5
22+	22.000	+	2
Standard	0	-	3

Aus der Laborzucht (Kapitel 2) wurden jeder Regentonne jeweils 25 Drittlarven von *Ae. albopictus* zugefügt. Nach 72 Stunden erfolgten eine Kontrolle und das Absammeln von noch lebenden oder schon verpuppten Larven. Tote, meist abgesunkene Larven, wurden nicht entfernt. Am Ende jeder Kontrolle erfolgte ein Neubesatz mit jeweils 25 Drittlarven, deren Überlebensrate wiederum nach weiteren 72 Stunden kontrolliert wurde. Diese Vorgehensweise wiederholte sich so lange, bis in einer der Gruppen eine durchschnittliche Sterberate von 80 % unterschritten wurde. Aufgrund einer am Anfang des Versuches erhöhten Sterberate innerhalb des Standards erfolgte vor der weiteren Auswertung eine Korrektur der ermittelten Sterberate nach ABBOTT (1925).

Zur Berechnung der Zeit, bei der die Hälfte der eingesetzten Larven von *Ae. albopictus* stirbt, ( $LT_{50}$ ), werden die nullwertbereinigten Sterberaten für die weitere Berechnung mit der ArcSin-Quadratwurzel-Funktion transformiert.

### Versuchsdurchgang 2

Für den zweiten Versuchsdurchgang wurden die Regentonnen des ersten Durchganges und zwei zusätzliche, neue Regentonnen verwendet. Am Ende des ersten Versuchsdurchganges wurden alle Regentonnen mehrfach mit einem Hochdruckreiniger und einer Bürste gründlich gereinigt und anschließend umgedreht für insgesamt acht Monate im Freien gelagert. Vor Beginn des zweiten Versuchsdurchganges erfolgte erneut eine gründliche Reinigung der Regentonnen. Um die Gründlichkeit der Reinigung und die vollständige Entfernung von *B.t.i.*-Resten aus dem ersten Versuchsdurchgang zu überprüfen, wurde jede Regentonne mit jeweils 200 Liter Grundwasser befüllt und nach fünf Tagen jeweils mit zehn Zweitlarven von *Ae. albopictus* besetzt. Da nach weiteren drei Tagen keine auffälligen Sterberaten innerhalb der Tonnen festgestellt werden konnten, wurde mit dem weiteren Aufbau des zweiten Versuchsdurchganges fortgefahren.

Auch im zweiten Versuchsdurchgang wurden alle Regentonnen mit einem Moskitonetz und einem passenden Deckel verschlossen. Aufgrund der teilweise deutlichen Erwärmung des Wasserkörpers der Regenton-

nen im ersten Versuchsdurchgang wurde zusätzlich über den gesamten Bereich als Sonnenschutz eine blaue Gewebeplane gespannt, sodass alle Regentonnen über den gesamten Tag komplett beschattet wurden (Abbildung 11). In fünf Regentonnen wurde jeweils ein Temperaturmessfühler angebracht. Der Messfühler wurde ca. fünf Zentimeter unterhalb der Wasseroberfläche platziert. Bei jeder Kontrolle wurden die Maximal- und Minimaltemperaturen der letzten sieben Tage notiert. Die Messgenauigkeit der Messfühler betrug  $\pm 1$  °C.



**Abbildung 11: Versuchsaufbau des zweiten Versuchsdurchganges mit zusätzlichem Sonnenschutz.**

Im Gegensatz zum ersten Versuchsdurchgang wurde im zweiten in allen behandelten Regentonnen dieselbe *B.t.i.*-Konzentration verwendet. Bis auf die Regentonnen des Standards wurden den restlichen Regentonnen vier *B.t.i.*-Tabletten zugefügt, sodass sich eine Konzentration von 11.000 ITU/Liter ergab.

Durch die Kombination von unterschiedlichem Anteil an zugefügtem Detritus mit verschiedener Menge an wöchentlich ausgetauschtem Wasser wurden insgesamt sieben verschiedene Versuchsgruppen gebildet (Tab. 7). Wie auch im ersten Versuchsdurchgang wurde den Regentonnen der Versuchsgruppen „+“ ein Liter einer Detritus-Mischung zugefügt, während der andere Teil der Regentonnen ohne jegliche Zugaben von organischem Material (Versuchsgruppen „-“) blieb.

Weiterhin unterschieden sich die Versuchsgruppen im Anteil der wöchentlich ersetzten Wassermenge. In den Versuchsgruppen „50“ wurde jede Woche, nach der Kontrolle auf überlebende Larven, die Hälfte des Wasserkörpers (100 Liter) von oben mit einer 10-l-Gießkanne entnommen. In den Versuchsgruppen „10“ betrug der Anteil des wöchentlich ausgetauschten Wassers 10 % (20 Liter). Nach der Wasserentnahme wurden die Regentonnen über einen Schlauch wieder bis zur 200-Liter-Markierung mit frischem Grundwasser aufgefüllt. Dabei wurde der Wasserstrahl von oben leicht schräg auf die Wasseroberfläche gerichtet, um den Zufluss über ein Regenrinnenfallrohr zu simulieren. Bei den Regentonnen der Versuchsgruppen „0“ und „Stan-

ard“ wurde kein Wasser ausgetauscht, sondern lediglich das zuvor verdunstete Wasser ersetzt. Dies erfolgte mit einer Gießkanne mit feinem Brauseaufsatz, um ein starkes Aufwirbeln des Wasserkörpers zu vermeiden.

**Tabelle 7: Unterschiede der Versuchsgruppen in Anzahl der Regentonnen, im Anteil des zugefügten Detritus und in der pro Woche ausgetauschten Wassermenge.**

Versuchsgruppe	Wasserwechsel	Detritus	Anzahl Tonnen
<b>0-</b>	0 %	-	4
<b>0+</b>		+	4
<b>10-</b>	10 %	-	4
<b>10+</b>		+	4
<b>50-</b>	50 %	-	4
<b>50+</b>		+	4
<b>Standard-</b>	0 %	-	3

Zwei Tage nach der Initialbehandlung mit *B.t.i* wurden aus der Laborzucht (Kapitel 2) jeder Regentonne jeweils 30 Erstlarven von *Ae. albopictus* zugefügt. Nach sieben Tagen erfolgte eine Kontrolle und das Ab-sammeln von noch lebenden oder schon verpuppten Larven. Tote, meist abgesunkene Larven, wurden nicht entfernt. Der wöchentliche Neubesatz mit jeweils 30 Erstlarven erfolgte zwei Stunden nach dem Austausch des Wasserkörpers innerhalb der verschiedenen Versuchsgruppen. Auf diese Weise wurden im Zeitraum vom 20.6 bis 22.8.2017 insgesamt neun Kontrollen durchgeführt.

### 5.2.3 ERGEBNISSE

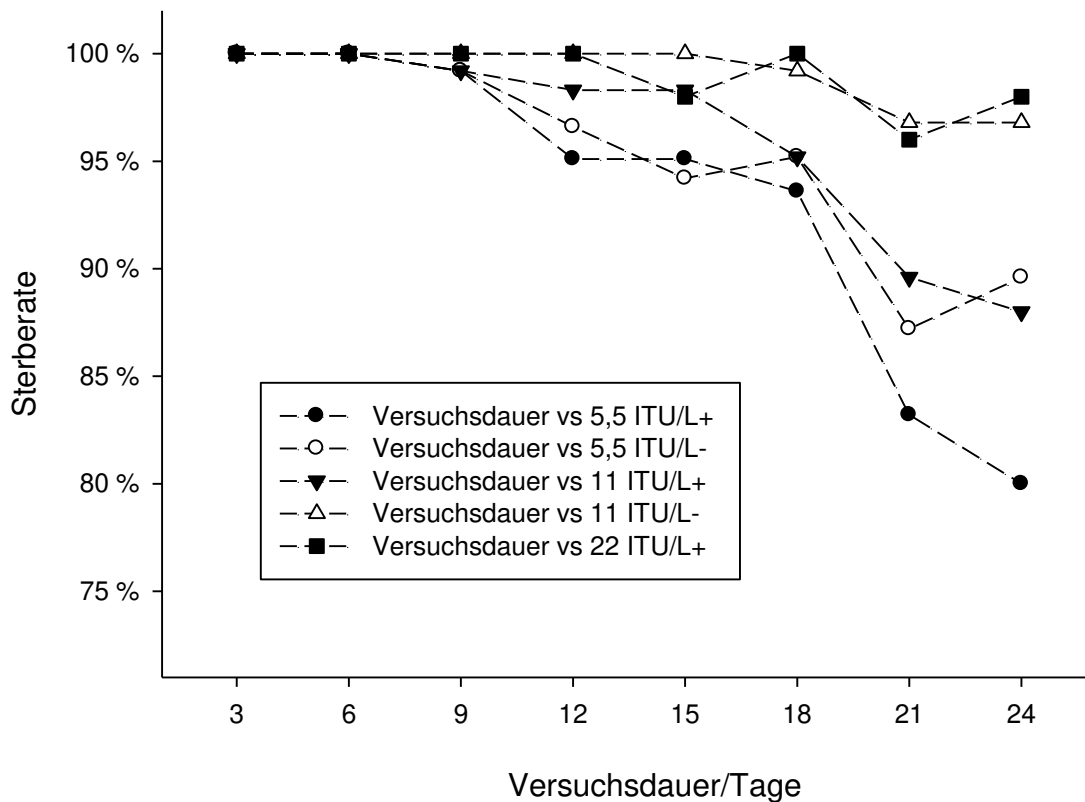
#### Versuchsdurchgang 1

Am Anfang des Freilandversuchs konnte mit  $24 \pm 31,7 \%$  eine ungewöhnlich hohe Mortalität innerhalb der Standardgruppe festgestellt werden, welche jedoch während der ersten Tage abnahm und ab der zweiten Versuchswoche dauerhaft bei 0 % lag. Die in den behandelten Regentonnen ermittelten Sterberaten der eingesetzten Drittlarven von *Ae. albopictus* zeigten eine deutliche Abhängigkeit von Versuchsdauer, *B.t.i.*-Dosis und Anteil der zugefügten Detritusmenge (Tab. 8).

**Tabelle 8: Durchschnittliche Sterberaten und Standardabweichung der unterschiedlichen Versuchsgruppen an den einzelnen Kontrolltagen.**

Versuchsdauer [Tage]	Versuchsgruppen					
	5,5+	5,5-	11+	11-	22+	Standard
	Sterberate [%]	Sterberate [%]	Sterberate [%]	Sterberate [%]	Sterberate [%]	Sterberate [%]
3	100 ±0	100 ±0	100 ±0	100 ±0	100 ±0	24 ±31,75
6	100 ±0	100 ±0	100 ±0	100 ±0	100 ±0	9,3 ±6,1
9	99,2 ±1,8	99,2 ±1,8	99,2 ±1,8	100 ±0	100 ±0	0
12	95,1 ±1,8	96,6 ±3,6	98,3 ±2,2	100 ±0	100 ±0	3,2 ±9,2
15	95,1 ±2,2	94,2 ±6,1	98,3 ±3,6	100 ±0	98 ±2,8	2,6 ±2,3
18	93,6 ±4,5	95,2 ±3,3	95,2 ±4,4	99,2 ±1,8	100 ±0	0
21	83,2 ±7,1	87,2 ±7,7	89,6 ±2,1	96,8 ±3,3	96 ±0	0
24	80 ±4	89,6 ±3,6	88 ±2,8	96,8 ±3,3	98 ±2,8	0

Zunächst konnten bis zur zweiten Kontrolle, nach insgesamt sechs Versuchstagen, keinerlei überlebende Larven in den *B.t.i.*-behandelten Tonnen festgestellt werden. Schon nach neun Tagen wurden die ersten überlebenden Larven in allen Versuchsgruppen mit der geringsten *B.t.i.*-Konzentration (5500 ITU/Liter) und den Regentonnen mit mittleren *B.t.i.*-Konzentration (11000 ITU/Liter) und zugefügtem Detritus registriert (Abbildung 12). Dieses Bild zeigte sich auch am 12. und 15. Versuchstag. Bis zum 18. Versuchstag konnten in allen *B.t.i.*-behandelten Tonnen überlebende Larven registriert werden, wobei in den Versuchsgruppen mit höherer Konzentration nur sehr wenige Larven in wiederum nur einzelnen Regentonnen zu verzeichnen waren. So traten in den Versuchsgruppen mit geringer *B.t.i.*-Konzentration bis zum Versuchsende nach 24 Tagen in allen Regentonnen überlebende Larven auf. In den Versuchsgruppen „22+“ und „11-“, blieben bis zum Ende des Versuches einzelne Regentonnen ohne überlebende Larven.



**Abbildung 12: Entwicklung der durchschnittlichen Sterberaten in den unterschiedlichen Versuchsgruppen im Verlauf des Versuches.**

Nach 24 Tagen, bei der letzten Kontrolle des Versuches, waren die Sterberaten zwischen den verschiedenen Konzentrationen bei gleichem Detritus-Anteil jeweils signifikant voneinander verschieden (ANOVA, Duncan-Test,  $P < 0.05$ ). Ebenfalls signifikant voneinander verschieden waren jeweils die Versuchsgruppen mit und ohne Detritus innerhalb derselben Versuchsgruppe mit gleicher *B.t.i.*-Konzentration (ANOVA, Duncan-Test,  $P < 0.05$ ).

Der Einfluss von Detritus auf die Wirkungsdauer von *B.t.i.* wird auch beim Vergleich der berechneten Letalzeiten deutlich (Tab. 9). So ist die Versuchsdauer, nach der es zum ersten Auftreten von überlebenden Larven kommen kann (LT99), zwischen der Versuchsgruppe mit 11.000 LTI/Liter ohne Detritus nahezu gleich zum LT99-Wert bei doppelter *B.t.i.*-Konzentration und zugefügtem Detritus. Der gleiche Zusammenhang ergibt sich bei den LT50-Werten zwischen allen Gruppen mit und ohne Detritus der Versuchsgruppen mit höherer bzw. niedrigerer *B.t.i.*-Konzentration.

**Tabelle 9: Berechnete LT-Werte der einzelnen Versuchsgruppen.**

Letalzeiten	Versuchsgruppen				
	5,5+ [Tage]	5,5- [Tage]	11+ [Tage]	11- [Tage]	22+ [Tage]
LT99	8,8	9,1	10,3	17,1	18,2
LT90	18,4	21,3	22,7	37,8	44,3
LT50	38,3	46,8	48,6	81,1	98,9

Die durchschnittliche Lufttemperatur während des Versuches betrug 27,5 °C bei einer durchschnittlichen Minimum- und Maximum-Temperatur von 18,3 °C bzw. 35,9 °C. Durch teilweise Besonnung der Regentonnen kam es zu einer maximalen Wassertemperatur von 42,5 °C an der Wasseroberfläche der Regentonnen (Tab. 10). Die Wassertemperatur am Grund der Regentonnen lag während der gesamten Versuchsdauer nicht über 33,4 °C und durchschnittlich bei 23,1 °C.

**Tabelle 10: Durchschnittliche Maximal- und Minimaltemperaturen am Tonnenboden (+5 cm) und an der Wasseroberfläche (-5 cm) an den verschiedenen Kontrolltagen.**

Versuchsdauer [Tage]	Durchschnittstemperatur			
	Tonnenboden		Wasseroberfläche	
	min [°C]	max [°C]	min [°C]	max [°C]
3	16,2	31,3	18,3	40,2
6	15,6	32,0	17,3	41,0
9	17,4	33,4	19,6	42,5
12	20,0	28,0	22,4	40,0
15	15,4	25,0	18,6	39,5
18	18,1	26,2	19,7	35,6
21	19,1	26,3	20,8	37,7
24	17,6	28,4	18,9	35,6

### Versuchsdurchgang 2

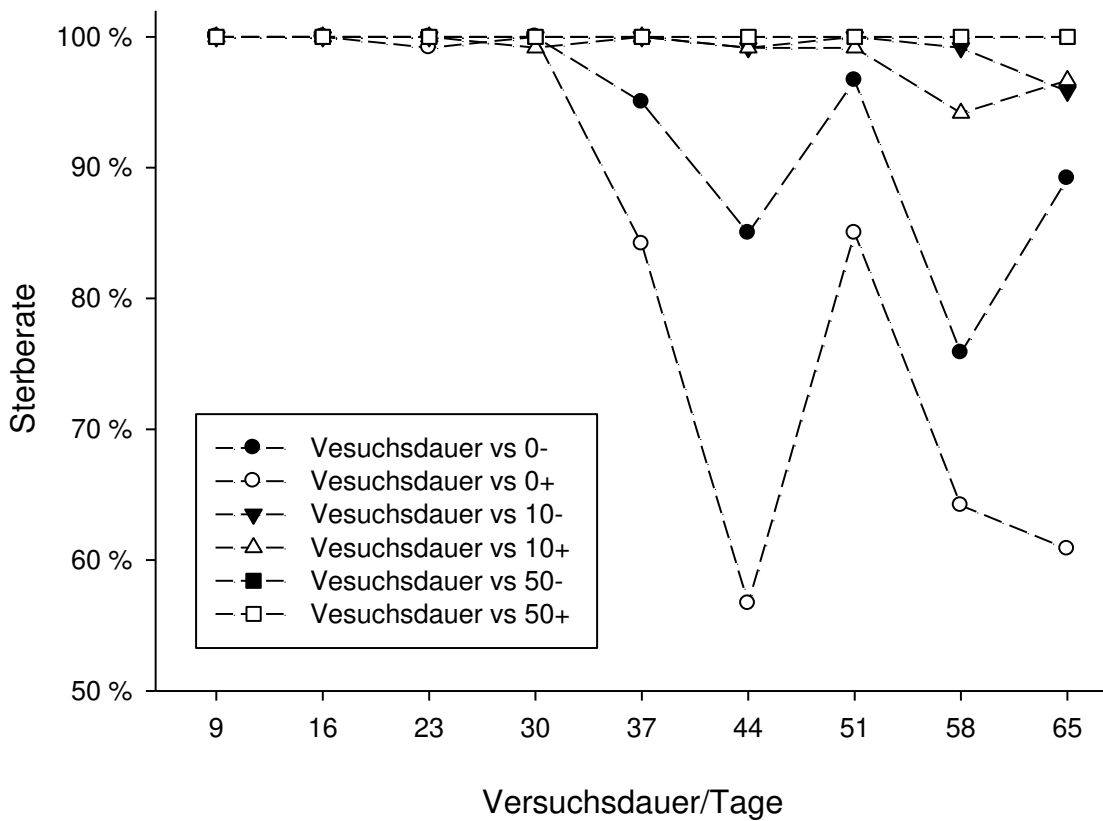
Im zweiten Versuchsdurchgang zeigten die Sterberaten der verschiedenen Versuchsgruppen eine deutliche Abhängigkeit von der wöchentlich ausgetauschten Menge an Wasser. So konnte in allen Versuchsgruppen mit 50 % Wasseraustausch von Anfang bis Ende des Versuches keine überlebenden Larven festgestellt werden (Tab. 11). Wurde hingegen wöchentlich nur 10 % oder kein Wasser ausgetauscht, kam es spätestens am Tag 44 nach der *B.t.i.*-Behandlung der Regentonnen zu den ersten überlebenden Larven. Die ersten überlebenden Larven konnten hierbei in der Gruppe ohne Wasseraustausch und mit Detritus-Beimischung (O+) schon bei der dritten Kontrolle nach insgesamt 23 Versuchstagen nachgewiesen werden. Innerhalb dieser Versuchsgruppe konnte auch im

gesamten Versuchsverlauf der größte Abfall der Sterberate beobachtet werden (Abbildung 13). Dies zeigt sich auch im signifikanten Unterschied dieser Versuchsgruppe „0+“ zu den anderen Versuchsgruppen in den letzten vier Kontrolltagen.

**Tabelle 11: Durchschnittliche Sterberaten und Standardabweichung der unterschiedlichen Versuchsgruppen an den einzelnen Kontrolltagen. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen je Kontrolltag (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0.05$ ).**

Dauer [Tage]	Versuchsgruppen						
	0+	0-	10+	10-	50+	50-	Standard
	Sterberate [%]	Sterberate [%]	Sterberate [%]	Sterberate [%]	Sterberate [%]	Sterberate [%]	Sterberate [%]
9	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	4,4±1,9 <sub>A</sub>
16	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	5,6±5,1 <sub>A</sub>
23	99,2±1,7 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	1,1±1,9 <sub>A</sub>
30	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	99,2±1,7 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	3,3±0 <sub>A</sub>
37	84,2±19,7 <sub>B</sub>	95±6,4 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	5,6±3,8 <sub>A</sub>
44	56,7±20,9 <sub>B</sub>	85±9,6 <sub>C</sub>	99,2±1,7 <sub>C</sub>	99,2±1,7 <sub>C</sub>	100 <sub>C</sub>	100 <sub>C</sub>	1,1±1,9 <sub>A</sub>
51	85,0±10,0 <sub>B</sub>	96,7±3,8 <sub>C</sub>	99,2±1,7 <sub>C</sub>	100 <sub>C</sub>	100 <sub>C</sub>	100 <sub>C</sub>	0 <sub>A</sub>
58	64,2±27,8 <sub>B</sub>	75,3±16,4 <sub>B</sub>	94,2±7,9 <sub>B</sub>	99,2±1,7 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	100 <sub>B</sub>	3,3±3,3 <sub>A</sub>
65	60,8±26,2 <sub>B</sub>	89,2±5,0 <sub>C</sub>	96,7±2,7 <sub>C</sub>	95,8±6,3 <sub>C</sub>	100 <sub>C</sub>	100 <sub>C</sub>	1,1±1,9 <sub>A</sub>

Wenn auch nicht so deutlich, so konnte auch ein Einfluss des zugefügten Detritus auf die Sterberate nachgewiesen werden. Wiederum in der Versuchsgruppe ohne Wasseraustausch waren die durchschnittlichen Sterberaten in den Regentonnen mit zugefügtem Detritus am 44., 51. und 65. Kontrolltag des Versuches signifikant geringer als in den Regentonnen ohne Detritus. In den anderen Versuchsgruppen mit wöchentlich ausgetauschtem Wasser konnte kein Einfluss des Detritus auf die Sterberate nachgewiesen werden.



**Abbildung 13: Entwicklung der durchschnittlichen Sterberaten in den unterschiedlichen Versuchsgruppen im Verlauf des Versuches.**

Durch die komplette Beschattung des gesamten Versuchsbereiches war die Erwärmung des Wasserkörpers der Regentonnen deutlich geringer als im ersten Versuchsdurchgang (Tab. 12). So betrug die maximal gemessene Temperatur an der Wasseroberfläche während des gesamten Versuches nur 32,1 °C. Die durchschnittliche Oberflächenwassertemperatur der einzelnen Versuchswochen betrug während der gesamten Versuchsdauer maximal 24,0 °C und minimal 17,2 °C.



**Tabelle 12: Durchschnittliche Maximal- und Minimaltemperaturen an der Wasseroberfläche (-5 cm) an den verschiedenen Kontrolltagen.**

Versuchsdauer [Tage]	Durchschnittstemperatur Wasseroberfläche	
	min	max
	[°C]	[°C]
9	18,2	32,1
16	18,6	26,2
23	17,9	30,9
30	14,6	26,0
37	18,7	31,9
44	17,5	26,7
51	15,2	27,8
58	16,7	25,3
61	15,2	26,8

#### 5.2.4 DISKUSSION

Bei der Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke mit dem biologischen Wirkstoff *B.t.i.* sind bezüglich der auszubringenden Dosis zwei wichtige Aspekte zu beachten.

So stellt sich zu Beginn der Bekämpfung zunächst die Frage nach der minimal effektiven Dosis, welche ein sicheres Abtöten aller vorhandenen Larven gewährleistet. Da die Sensibilität der Larven gegenüber *B.t.i.* mit zunehmendem Entwicklungsstadium abnimmt, werden im Allgemeinen Versuche zur minimal effektiven Dosis mit den beiden größten Larvenstadien von *Ae. albopictus* durchgeführt. So wurden auch in den vorliegenden Versuchen die mindestens auszubringende *B.t.i.*-Menge im Labor und die Wirkung verschiedener Dosierungen unter unterschiedlichen Freilandbedingungen mit Dritt- bzw. Viertlarven der Asiatischen Tigermücke durchgeführt.

Nach der ersten Behandlung der Brutstätten stellt sich die Frage nach der Langzeitwirkung der ausgebrachten *B.t.i.*-Menge, da diese maßgeblich für die Berechnung des Zeitpunkts der nächsten *B.t.i.*-Behandlung ist. Im Gegensatz zu ähnlichen Versuchen wurde im zweiten Versuchsdurchgang der vorliegenden Versuche das Erstlarvenstadium von *Ae. albopictus* verwendet. Dieses Vorgehen entspricht der Realität, bei der nach der ersten Behandlung und dem vollständigem Abtöten aller vorhandenen Larven eine Neubesiedelung der Brutstätte nur durch Nachschlupf der noch vorhandenen oder frisch in die Brutstätte abgelegten Eier erfolgt. Aus diesem Grunde ist die Langzeitwirkung bzw. der Zeitpunkt der nächsten *B.t.i.*-Ausbringung abhängig von der Sensibilität der Erstlarven gegenüber dem biologischen Wirkstoff.

So ist für die Planung einer effektiven und gleichzeitig ökonomischen Bekämpfung neben der optimalen Dosis auch die Langzeitwirkung von *B.t.i.* innerhalb der behandelten Brutstätten von größtem Interesse. Letztendlich sollte eine Kombination von angewandter Dosis und Bekämpfungsintervall gewählt werden,

welche bei geringstem Material- und Arbeitszeiteinsatz eine dauerhafte, möglichst 100-prozentige Abtötung aller Larven über die gesamte Reproduktionsperiode ermöglicht.

Dabei wird die Effektivität des biologischen Wirkstoffes *B.t.i.* von einer Vielzahl verschiedener biotischer und abiotischer Faktoren beeinflusst (BECKER et al. 1993, LUDWIG et al. 1994, PUCHI 2005, SORENSEN et al. 2007). Daher ist es wichtig, den Einfluss der einzelnen Faktoren auf die Bekämpfung mit *B.t.i.* zu verstehen, da dies erlaubt, Korrekturen bei der Berechnung der optimalen Dosis und des Bekämpfungsintervalls vorzunehmen. Als wichtigste Faktoren, welche die Langzeitwirkung von *B.t.i.* negativ beeinflussen, sind *B.t.i.*-Dosis, biologischer Abbau, Verdünnungseffekte und UV-Lichteinstrahlung zu nennen.

#### Einfluss von UV-Licht

Letzter genannter Einfluss wurde in den hier durchgeführten Freilandversuchen nicht berücksichtigt. Um den Wasserkörper vor Niederschlägen und dem herabfallenden organischen Material der umliegenden Bäume zu schützen, wurden in beiden Versuchsdurchgängen alle Regentonnen mit einem passenden Deckel abgedeckt. Dass jedoch der negative Einfluss von UV-Strahlung nicht zu vernachlässigen ist und diese die Langzeitwirkung von *B.t.i.* in kleineren Gefäßen um rund 66 % reduzieren kann, zeigt der Feldversuch von MAHILUM (2004) zur Bekämpfung von *Aedes aegypti* in 50-Liter-Containern. Auch andere Autoren konnten in ihren Versuchen zeigen, dass die UV-Strahlung des natürlichen Lichts die toxisch wirksamen *B.t.i.*-Komponenten zerstört, wodurch im Freiland die Langzeitwirkungsdauer von der Wasserqualität und dem Standort des behandelten Containers abhängt (VILARINHOS & MONNERAT 2004). Um bei der abschließenden Beurteilung der optimalen Kombination aus Bekämpfungsintervall und *B.t.i.*-Dosis am Ende dieses Kapitels einen 100-prozentigen Bekämpfungserfolg zu gewährleisten, wird der in der vorliegenden Arbeit nicht untersuchte Einfluss der UV-Strahlung durch eine Erhöhung der *B.t.i.*-Dosis kompensiert (MAHILUM 2004).

#### Einfluss von Detritus

In den beiden Durchgängen des Freilandversuches war ein deutlicher Einfluss des zugefügten Detritus auf die Langzeitwirkung der *B.t.i.*-Behandlung zu erkennen. Dass mit zunehmendem organischen Anteil im Wasserkörper die Langzeitwirkung von *B.t.i.* und *Bacillus sphaericus* verringert wird, konnten schon der Entdecker des Bodenbakteriums und andere Autoren nachweisen (GOLDBERG & MARGALIT 1977, BECK et al. 1995). Dabei wird nicht nur die Wirkungsdauer, sondern auch direkt nach der Ausbringung die minimal effektive Dosis des biologischen Wirkstoffes reduziert (BENJAPHONG 1985). So steht durch die zusätzliche organische Materie ausreichend Nahrung für die Larven zur Verfügung, was die Wahrscheinlichkeit einer *B.t.i.*-Aufnahme verringert. Zusätzlich schützen die aufgenommenen Nahrungspartikel vor den toxischen *B.t.i.*-Bestandteilen, indem sie die innere Darmwand der Stechmückenlarven auskleiden und die für die *B.t.i.*-Wirkung nötigen Rezeptoren blockieren (BEM-DOV et al. 2013). So ist die effektive *B.t.i.*-Dosis (LT99) bei organischer Belastung des Wassers höher und wird im Laufe der Zeit durch den biologischen Abbau des *B.t.i.* früher unterschritten als im organisch unbelasteten Wasser.

Den Regentonnen der Versuchsgruppen mit organischer Belastung der vorliegenden Versuche wurde jeweils ein Liter Detritus zugefügt, welcher sich absetzte und eine etwa 5 cm starke Schicht am Boden der Tonnen bildete. Nach Erfahrungen bei der Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Südwestdeutschland und den anderen Freilandversuchen des vorliegenden Projektes weisen ca. 90 % der behandelten Regentonnen maximal diese Detritusmenge oder weniger auf. Dass eine Erhöhung der Menge an zugefügtem Detritus die Langzeitwirkung des *B.t.i.* signifikant negativ beeinflussen würde, kann nicht ausgeschlossen werden. Da es

jedoch mit steigender organischer Belastung zu einer höher werdenden Schichtung des Detritus am Boden kommt, findet auch ein immer größerer Anteil der mikrobiologischen Aktivität in den unteren Schichten des Detritus statt. Bei größerer Detritusmenge kann somit ein erhöhter biologischer Abbau des sich im Wasserkörper oder auf der Detritus-Oberfläche befindenden *B.t.i.* nur durch Durchmischen des gesamten Inhaltes der Regentonnen erfolgen. Wie die Ergebnisse des zweiten Versuchsdurchganges jedoch zeigen, ist der positive Effekt der Wasserumwälzung größer als der negative Einfluss des organischen Materials.

#### Verdünnungseffekte und Umwälzung des Wasserkörpers

So lag auch nach 65 Tagen in der Versuchsgruppe mit Detritus und 50 % Wasserentnahme aufgrund der starken Umwälzung beim erneuten Auffüllen der Regentonnen die Sterberate bei 100 %. Und dies, obwohl das noch vorhandene *B.t.i.* wöchentlich mit dem Detritus in den Regentonnen durchmischt und dadurch teilweise in mikrobiologisch sehr aktive Bereiche verlagert wurde. Hingegen wurden in den organisch unbelasteten Regentonnen ohne Detritus und keiner Wasserentnahme schon nach 37 Tagen die ersten überlebenden Larven von *Ae. albopictus* registriert. Dies zeigt deutlich, dass es im Laufe der Zeit zu einem Absinken des im Wasser gelösten *B.t.i.* kommt, was auch an den Ergebnissen der Versuchsgruppe mit nur 10 % Wasserentnahme zu sehen ist. Obwohl auch in diesen Versuchsgruppen durch die geringere wöchentliche Wasserentnahme eigentlich mehr *B.t.i.*-Wirkstoff in den Behältern verbleiben sollte als in den Versuchsgruppen mit 50 % Wasserentnahme, konnten hier bis spätestens zum 44. Versuchstag die ersten überlebenden Larven, unabhängig von der Detritusmenge, registriert werden.

So ist auch davon auszugehen, dass aufgrund der einwöchigen Absetzphase des *B.t.i.* vor der Oberflächenwasserentnahme durch den Wasseraustausch nur wenig Wirkstoff aus den Regentonnen entfernt wurde. Daher dürfte sich langfristig der Anteil an *B.t.i.* in den Versuchsgruppen mit unterschiedlicher Wasserentnahme nur geringfügig unterschieden haben. Die Unterschiede in den ermittelten Sterberaten sind daher auf die unterschiedlich starken Umwälzungen beim erneuten Befüllen des zuvor entnommenen Wassers zurückzuführen.

Dass ein Absetzen des *B.t.i.* einen so deutlichen Einfluss auf die Sterberate innerhalb der verschiedenen Versuchsgruppen hat, ist jedoch für *Ae. albopictus* erstaunlich. Im Gegensatz zu anderen Stechmückenarten, wie z.B. *Culex pipiens*, verbleiben die Larven von *Ae. albopictus* nicht nur an der Oberfläche, sondern tauchen für längere Phasen ab, um die Seitenwände und den Boden der Brutstätten nach Nahrung abzuweiden (MERRITT et al. 1992, YEE et al. 2004). So verbringen bei der Nahrungsaufnahme die Larven von *Ae. albopictus* im Verhältnis mehr Zeit abgetaucht, das Bodensubstrat abweidend, als an der Oberfläche den freien Wasserkörper filtrierend (SKIFF & LEE 2014).

Warum es trotzdem in den Versuchsgruppen mit geringer Wasserentnahme im Laufe der Zeit zu einer Reduktion der Sterberate kommt, kann nur vermutet werden. Ein Einfluss von UV-Strahlung kann aufgrund der dicht aufliegenden Deckel ausgeschlossen werden. Eventuell wird das sich absetzende *B.t.i.* im Laufe der Zeit in tieferen Schichten des Detritus eingelagert und ist selbst dann nicht mehr für abtauchende Larven zu erreichen. Dies würde jedoch nicht auf die Versuchsgruppen ohne Zugabe von Detritus zutreffen, in welcher es trotzdem zu reduzierten Sterberaten kam. Wahrscheinlicher ist, dass es im Laufe der Zeit zur Bildung eines biologischen Films an den Seitenwänden der Regentonne kommt, der den Larven als Nahrung genügt und die Wahrscheinlichkeit, dass diese regelmäßig bis auf den Boden der Regentonne abtauchen, reduziert. Dies würde wiederum zu höheren Sterberaten in kleineren Brutstätten oder Regentonnen mit niedrigerem Wasserstand führen.

Insgesamt betrachtet ist noch davon auszugehen, dass die ermittelten Langzeitwirkungen unter nicht experimentellen Bedingungen sehr wahrscheinlich etwas höher ausfallen würden. So wurde im zweiten Versuchsdurchgang des Freilandversuches eine Kontrolle auf überlebende eingesetzte Erstlarven schon nach sieben Tage durchgeführt. Je nach klimatischen Bedingungen während der vorangegangenen Woche hatten die überlebenden Larven das späte Zweit- bis frühe Viertlarvenstadium erreicht. Wären sie nach den Kontrollen für die weitere Entwicklung in den Regentonnen verblieben, wären sie weiterhin dem *B.t.i.* ausgesetzt gewesen.

Wie zuvor erwähnt, wurde durch den wöchentlichen Wasseraustausch sehr wahrscheinlich nur wenig *B.t.i.* aus den Regentonnen entfernt, da sich der Wirkstoff absetzen konnte, bevor die Wasserentnahme von der Oberfläche erfolgte. In den Vorüberlegungen kam dies am ehesten der üblichen Gartenpraxis gleich, bei der nach größeren Niederschlagsmengen die Gießaktivität im häuslichen Garten eher reduziert ist, und nach längeren Trockenphasen eine Wasserentnahme meist von oben mit einer Gießkanne erfolgt.

Völlig unberücksichtigt bei dieser Vorgehensweise sind jedoch Ausschwemmeffekte bei überlaufenden Brutstätten. So kam es in einem Freilandversuch durch starke Regenfälle zu einem Herabsetzen der *B.t.i.*-Konzentration in den Versuchscontainern, was letztendlich einen negativen Effekt auf die Langzeitwirkung der *B.t.i.*-Behandlung hatte (MILAGROS 2004). Extreme Auswirkung auf die *B.t.i.*-Konzentration dürfte dieser Ausschwemmeffekt in Regentonnen haben, deren Zulauf das Wasser über eine größere Dachfläche aufnimmt und direkt senkrecht in die Regentonnen leitet.

### Anwendungsempfehlung

Für die Erstbehandlung von Regentonnen und anderen Brutstätten der Asiatischen Tigermücke wird eine *B.t.i.*-Dosis von 8.000 - 9.000 ITU/Liter empfohlen. Diese empfohlene Dosis liegt etwas unter der *B.t.i.*-Konzentration, welche vom Hersteller der in den Versuchen verwendeten *B.t.i.*-Tabletten für die Hausmückenbekämpfung in Deutschland empfohlen wird. Eine Ausbringung von mindestens 8.000 ITU/Liter stellt eine ca. 200-fache Überdosierung zu der im Laborversuch (Kapitel 5.1) ermittelten minimal effektiven Dosis dar und gewährleistet eine 100-prozentige Abtötung auch von Viertlarven in stark organisch belasteten Brutstätten.

Aufgrund der Ergebnisse der beiden Freilandversuche ist davon auszugehen, dass schon eine rund 140-fache Überdosierung bzw. eine *B.t.i.*-Dosis von 5500 ITU/Liter das vollständige Abtöten der nachschlüpfenden Erstlarven für mindesten 16 Tage gewährleisten würde. Dies schließt auch Regentonnen mit überdurchschnittlicher organischer Belastung und ohne Wasserumwälzung, in welchen die geringste Langzeitwirkung festgestellt werden konnte, mit ein. Durch die 50 % höhere empfohlene Erstdosierung von 8.000 - 9.000 ITU/Liter sollte auch in sehr stark organisch belasteten Regentonnen mit vorhandener UV-Einstrahlung eine Langzeitwirkung von 16 Tagen gewährleistet sein. Da weibliche Larven der Asiatischen Tigermücke selbst bei hochsommerlichen Temperaturen eine durchschnittliche Entwicklungszeit von minimal fünf Tagen aufweisen (PLUSKOTA 2011), ist eine Nachbehandlung der Regentonnen nach insgesamt drei Wochen ausreichend. Im Folgenden sollten weitere Nachbehandlungen von Regentonnen während der gesamten Reproduktionsperiode im 3-wöchigen Rhythmus erfolgen.

Wenn die Regentonnen nicht vollständig entleert oder durch sehr starke Regenfälle durchgespült wurden, kann die bei den dreiwöchigen Nachbehandlungen ausgebrachte *B.t.i.*-Menge im Vergleich zur Erstbehandlung auf eine Dosis von ca. 5.000 – 6.000 ITU/Liter reduziert werden. Durch die regelmäßige Zufuhr von

*B.t.i.* und die in der Regentonne verbleibenden Wirkstoffreste wird ein Aufwachsen von Erstlarven bis zur nächsten Nachbehandlung sicher vermieden. Nur bei erwähnter Komplettentleerung oder starker Durchspülung ist bei der Nachbehandlung erneut die höhere Dosis von mindestens 8.000 - 9.000 ITU/Liter auszubringen.

Durch eine höhere ausgebrachte *B.t.i.*-Dosis könnte zwar die Langzeitwirkung bzw. das Bekämpfungsintervall verlängert werden. Dies ist jedoch in Hinblick auf eventuelle Starkregenereignisse, welche unplanmäßig größere Mengen *B.t.i.* aus den Regentonnen ausspülen, nicht zu empfehlen. Durch einen Behandlungsrhythmus von drei Wochen fällt das Zeitfenster für einen unkontrolliert aufwachsenden Nachschlupf kleiner aus als bei größerer *B.t.i.*-Ausbringungsmenge und längerem Behandlungsintervall.

Auf der Basis dieser Behandlungsempfehlung wären für die Erstbehandlung einer 200-Liter-Regentonne zunächst drei der in den vorliegenden Versuchen verwendeten *B.t.i.*-Sprudletabletten CULINEX® Tab plus anzuwenden. Für die regelmäßigen dreiwöchigen Nachbehandlungen würden hingegen zwei Tabletten des Produkts ausreichen. Anhand der empfohlenen ITU-Dosis kann auch für andere im Handel verfügbaren *B.t.i.*-Produkte leicht die nötige auszubringende Produktmenge berechnet werden. Mit Hilfe der angegebenen Behandlungsempfehlung wäre es Bürgern möglich, selbstständig und eigenverantwortlich eine 100-prozentig erfolgreiche Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke zumindest in Regentonnen und anderen üblichen Massenbrutstätten des privaten häuslichen Bereichs durchzuführen. Für einen sicheren Bekämpfungserfolg im privaten Bereich ist jedoch neben der zuverlässigen Durchführung der *B.t.i.*-Behandlung auch die konsequente Umsetzung anderer Maßnahmen von großer Bedeutung (Kapitel 4).

Ebenfalls können die empfohlenen ITU-Konzentrationen bei der organisierten, von Fachkräften durchgeführten Bekämpfung ganzer Populationen von *Ae. albopictus* angewandt werden. Aufgrund mehrerer Aspekte wird hier jedoch ein etwas kürzeres Bekämpfungsintervall empfohlen (Kapitel 11.5).

# 6 Prophylaktische Kupferbehandlung von Grabvasen

## 6.1 ALLGEMEINE EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Die weltweit ca. 3500 Stechmückenarten haben unterschiedliche Ansprüche bei der Auswahl geeigneter Brutstätten, um das erfolgreiche Heranwachsen ihrer aquatischen, juvenilen Lebensstadien zu gewährleisten (CLEMENTS 1992). Die meisten der als invasiv geltenden Stechmückenarten, welche ihr Verbreitungsgebiet in den letzten Jahrzehnten durch menschliche Aktivität enorm vergrößerten, nutzen Wasseransammlungen in natürlichen und künstlichen kleinen Aushöhlungen aller Art.

Für diese als containerbrütend bezeichneten Stechmückenarten stellen Friedhöfe ein einzigartiges Habitat dar. Hier finden sie in Form von Gießkannen, Töpfen, Steinbecken, Untersetzern und vor allem von Grabvasen eine extrem hohe Dichte an künstlichen Brutstätten vor, welche es ihnen ermöglicht, rasch hohe Populationsdichten aufzubauen. Zusätzlich steht in den regelmäßig zum Andenken ausgebrachten frischen Blumen und durch die blühende Grabstättenbepflanzung Nektar als natürliche Kohlenhydratquelle stetig in ausreichender Menge bereit (VEZZANI et al. 2007). Gleichzeitig bietet der Friedhof für die Weibchen einen geeigneten Ort, um eine Blutmahlzeit aufzunehmen. Nicht nur der regelmäßige Besuch von Menschen spielt eine Rolle, sondern auch die vielfältige Vegetation bietet Zuflucht für eine Vielzahl anderer Tiere in urbanen Gegenden. Diese Vegetation ist auch als Ruheort für die Stechmücken, beispielsweise nach einer Blutmahlzeit oder als Schutz vor der Sonne, von Bedeutung (VEZZANI et al. 2007).

Jedoch ist die Vielzahl an künstlichen Brutstätten der wohl wichtigste Grund für die häufige Etablierung von Stechmücken auf Friedhöfen. Die Nutzung von Grabvasen für frisch geschnittene Blumen bietet containerbrütenden Stechmücken optimale Brutbedingungen. In vielen Fällen werden die Schnittblumen nach dem Welken nicht entfernt, Regenwasser und Detritus sammeln sich an und bereiten den Nährboden für eine ideale Brutstätte. Aufgrund dieses meist sehr umfangreichen Brutstättenangebotes ist eine langfristige und lückenlose, 100-prozentige Bekämpfung von Friedhöfen nötig, um nach einer Einschleppung eine dauerhafte Etablierung der Asiatischen Tigermücke zu verhindern.

Generell ist die Hilfe zur Selbsthilfe ein wichtiger Baustein zur Bekämpfung von invasiven, containerbrütenden Stechmücken im Bereich menschlicher Siedlungen (BECKER et al. 2017). Hierbei werden die Betroffenen über die Vermeidung von Brutstätten informiert und über mögliche Bekämpfungsstrategien beispielsweise mit *B.t.i.* aufgeklärt, sodass diese selbstständig agieren können. Im Bereich von Friedhöfen stellt sich jedoch das Problem, dass die meisten zuständigen Grabstättenbesitzer sich nicht regelmäßig und häufig genug auf dem Friedhof aufhalten, um eine dauerhafte Bekämpfung mit *B.t.i.* sicherzustellen.

Da Friedhöfe von Gemeinden verwaltet werden, besteht hier jedoch die Möglichkeit, dass die zuständigen Friedhofsämter über die Friedhofsordnung regulierend eingreifen können. Dies kann eine Verpflichtung zum Umdrehen leerer Grabvasen oder sogar ein vollständiges Verbot von Grabvasen sein.

Bei beiden Varianten ist der Erfolg von der Umsetzung der Maßnahmen seitens der Bevölkerung abhängig. Für die rasche Umsetzung wäre eine auffällige und direkte Kommunikation der entsprechenden Maßnahmen

vonnöten, welche vor allem die älteren Friedhofsbesucher unnötig irritieren könnte. Auch könnte bei einer länger anhaltenden Bekämpfungssituation, je nach den ortsüblichen Grabpflegegewohnheiten, ein vollständiges Verbot von Grabvasen zu Unmut und zum Ignorieren der Maßnahmen führen.

Um ein längerfristiges, vollständiges Verbot von Grabvasen und ständige Kontrollen von Seiten der Friedhofsverwaltung zu vermeiden, kann ein präventives Imprägnieren der Grabvasen mittels eines Kupfersprays unterstützend angewandt werden. So wurden schon von ROMI ET AL. 2001 gezeigt, dass Larven der Asiatischen Tigermücke in Kupfervasen Absterben oder zumindest eine Verlängerung der Larvenentwicklung erfolgt.

In vorausgegangenen Studien wurde die Wirksamkeit von Kupfer zur Bekämpfung von in Containern brütenden Mücken, wie *Aedes japonicus*, *Culex pipiens/torrentium* und *Aedes aegypti*, unter Laborbedingungen getestet und die Verwendung von Kupfermünzen bzw. Kupfersprays für den praktischen Einsatz geprüft (BECKER et al. 2015). Es zeigte sich, dass neben der biologischen Behandlung der Brutstätten, wie z.B. der Brunnen in den Friedhöfen mit *B.t.i.*-Tabletten, das Besprühen der Vasen mit Kupferspray ein probates Mittel darstellen kann, die Entwicklung von in Containern brütenden Mücken zu verhindern.

Im Bereich der öffentlich zugänglichen Friedhöfe besteht das Problem, dass den Grabvasen beigefügte Kupferstücke langfristig verloren gehen oder gar von Buntmetalldieben entwendet werden könnten. Daher entwickelten BECKER et al. (2015) eine Anwendung von metallischem Kupferspray zum Einsprühen der Grabvasen um eine langanhaltende larvizide Wirkung zu erreichen.

In den vorliegenden Versuchen sollten noch offene Fragen der neuen Methode bezüglich der Repellentwirkung auf eiablagebereite Weibchen, der Wirkungsdauer der Kupferspraybehandlung bei *Aedes albopictus* und der Effektivität der Methode unter Freilandbedingungen geklärt werden. Ein großer Teil der Versuche wurde dabei im Rahmen einer Bachelorarbeit der Universität Heidelberg durchgeführt (KÜHNLENZ 2016).

Da trotz zahlreicher Einschleppungen der Asiatischen Tigermücke nach Deutschland bisher keine größeren Vorkommen der Art im Bereich eines Friedhofes nachgewiesen werden konnten, wurde als Modellorganismus die Stechmückenart *Aedes japonicus* gewählt. Diese ebenfalls containerbrütende und vor ca. 10 Jahren in Süddeutschland eingeschleppte Stechmückenart (HUBER et al. 2012) weist eine sehr ähnliche Brutstättenbiologie wie *Aedes albopictus* auf und ist mittlerweile in Baden-Württemberg auf den meisten Friedhöfen in großer Zahl vorzufinden.

## **6.2      EFFEKTIVITÄT VON KUPFERVASEN GEGEN *AEDES J. JAPONICUS* UND *AEDES ALBOPICTUS***

### **6.2.1    EINLEITUNG**

Für eine erfolgreiche Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke muss eine möglichst 100-prozentige Mortalitätsrate innerhalb der kontrollierten Brutstätten über die gesamte Reproduktionsperiode gewährleistet werden. Daher richtet sich die maximale Zeitspanne bis zur Auffrischung der Kupferspraybehandlung von Grabvasen nach der Wirkungsdauer der vorangegangenen Behandlung unter den schlechtmöglichsten Umweltbedingungen.

Solche für den Bekämpfungserfolg nicht optimalen Bedingungen können durch das Ansammeln von Detritus innerhalb der Grabvasen entstehen. Durch die vorhandene organische Masse und zunehmende mikrobiologi-

sche Aktivität kann es zur biogenen Absorption der im Wasser gelösten oder noch in der Farbschicht enthaltenen Kupferionen kommen.

Daher sollte im vorliegenden Versuch die Effektivität von Kupfervasen, welche mit Detritus angereichertes Wasser enthielten, unter Laborbedingungen überprüft werden. Da die Ergebnisse des Freilandversuches (Versuch 6.4) anhand des Vergleichsmodellorganismus *Aedes japonicus* gewonnen wurden, wurden zur Vergleichbarkeit der Daten im vorliegenden Laborversuch sowohl Larven der Asiatischen Tigermücke (*Aedes albopictus*) als auch der Japanischen Buschmücke (*Aedes japonicus*) verwendet.

## 6.2.2 MATERIAL UND METHODEN

### 1. Versuchsdurchgang

Für den Versuch wurde zunächst auf einem Friedhof (68535 Edingen-Neckarhausen) aus verschiedenen Grabvasen eine größere Menge an Wasser und Detritus gesammelt, gründlich gemischt und ins Labor überführt. Der zuvor im Labor vorbereitete gesamte Versuchsaufbau bestand aus vier verschiedenen Versuchsgruppen, welche sich in Art des Gefäßes, des eingefüllten Wassers und der Kupferbehandlung unterschieden (Tab. 13). Als Grabvasen wurden 31 cm hohe Kunststoff-Grabvasen (Floristik 24.de Eigenmarke) verwendet.

**Tabelle 13: Unterschiede der Gefäße, des Wassers und der Art der Kupferbehandlung bei den verschiedenen Versuchsgruppen.**

Versuchsgruppe	Gefäß	Wasser	Kupferbehandlung
<b>Standard Detritus</b>	Grabvase	Detritus	keine
<b>Kupfer neu</b>	Grabvase	Detritus	neu
<b>Kupfer alt</b>	Grabvase	Detritus	alt
<b>Standard Zucht</b>	Larvenbecken	Zuchtwasser	keine

Kupferbehandelte Grabvasen wurden entsprechend BECKER et al. (2015) für zehn Sekunden mit einem Kupferspray (Kupfer-Lack-Spray Fritz International Ltd) eingesprüht. Damit wurde eine Kupfermenge von ca. zwei Gramm pro Grabvase erreicht. Die insgesamt zehn Grabvasen der Versuchsgruppe „Kupfer neu“ wurden 24 Stunden vor dem Versuchsbeginn mit dem Kupferspray behandelt und vor ihrem Einsatz mit Leitungswasser ausgespült. Für die Grabvasen der Versuchsgruppe „Kupfer alt“ wurden zuvor zehn kupferbehandelte Grabvasen aus dem Freiland-Kupfervasenversuch (Kapitel 6.4) übernommen, welche für 68 Tage auf dem Friedhof „Schlierbach“ aufgestellt waren. Die zehn Grabvasen der Versuchsgruppe „Standard Detritus“ wurden nicht mit Kupferspray behandelt.

In alle Grabvasen wurden jeweils 500 ml der zuvor gesammelten Detritus-Wassermischung eingefüllt. Als Standard ohne Detritus dienten vier Larvenaufzuchtbecken (Linus A5), welche mit 500 ml Standardzuchtwasser gefüllt wurden.

Einen Tag nach dem Befüllen der verschiedenen Gefäße erfolgte der Besatz mit Stechmückenlarven. Dafür wurde jeweils die Hälfte der Gefäße der verschiedenen Versuchsgruppengefäße mit je 20 frisch geschlüpften



Erstlarven der beiden Arten *Aedes albopictus* und *Aedes j. japonicus* besetzt. Den Larven der Versuchsgruppe „Standard-Zucht“ wurde eine einmalige Gabe von gemahlenem Fischfutter (Tetratabimin) verabreicht. Den Larven der übrigen Versuchsgruppen stand nur der beigefügte Detritus als Nahrung zur Verfügung.

Die Laborbedingungen wurden so eingestellt, dass sich eine durchschnittliche Wassertemperatur in den Grabvasen von 26,5 °C ( $\pm 0,5$ ) ergab.

Ab dem sechsten Tag nach Erstlarvenbesatz erfolgte im zweitägigen Rhythmus eine Kontrolle und Entnahme von Puppen. Bei den eingestellten Labor- bzw. Wassertemperaturen war von einer durchschnittlichen Verpuppungszeit von 11,5 ( $\pm 2,6$ ) Tagen bei der Art *Ae. j. japonicus* (SCOTT 2003) und von ca. neun Tagen bei *Ae. albopictus* (PLUSKOTA 2011) auszugehen. Daher wurden nach insgesamt 18 Tagen die Grabvasen komplett entleert und die noch verbliebenen Larven ausgezählt. Dabei wurden späten Viertlarven noch als insgesamt erfolgreich entwickelte Larven gewertet.

## 2. Versuchsdurchgang

Im zweiten Versuchsdurchgang wurden lediglich Larven von *Aedes albopictus* eingesetzt. Die Laborumweltbedingungen, verwendeten Grabvasen, Wasserqualität, Methode der Kupferspraybehandlung und Fütterung der Larven entsprachen dem ersten Versuchsdurchgang. Die Kupferspraybehandlung der verwendeten Grabvasen erfolgte 30 Tage vor dem ersten Fluten.

Im Gegensatz zum ersten Versuchsdurchgang wurde im zweiten nicht Detritus aus Grabvasen, sondern aus der Plastikregenrinne einer Gartenhütte verwendet. Dieser bestand größtenteils aus abgestorbenen pflanzlichen Materialien wie Falllaub, Nadelstreu und Aststückchen. Die organische Substanz des verwendeten Detritus war noch nicht humifiziert, aber schon deutlich zersetzt, sodass sie sich komplett am Boden der Grabvasen absetzte.

Die frisch geschlüpften Erstlarven wurden auf je sechs Grabvasen der neun verschiedenen Versuchsgruppen verteilt. Die Versuchsgruppen unterschieden sich in der Menge des zugefügten Detritus und der Dauer der Kupferexposition des Wassers (Tab. 14). Im Gegensatz zum ersten Versuchsdurchgang wurden als kupferbehandelte Grabvasen nur frisch eingesprühte und keine alten, schon benutzten Grabvasen verwendet. Jedoch wurde ein Teil der kupferbehandelten Grabvasen schon sieben Tage vor dem Einsetzen der Erstlarven mit Wasser geflutet. Ein anderer Teil der kupferbehandelten Grabvasen wurde gleich am Tage der Befüllung mit Wasser mit Erstlarven der Asiatischen Tigermücke besetzt. Als Standard wurden unbehandelte Grabvasen aus derselben Lieferung verwendet.

**Tabelle 14: Unterschiede der neun Versuchsgruppen bei der Menge des zugefügten Detritus und der Dauer der Kupferexposition des Wassers vor Erstlarvenbesatz.**

		Detritus		
		viel	wenig	kein
Kupferexposition	0 Tage	<i>viel-0</i>	<i>wenig-0</i>	<i>kein-0</i>
	7 Tage	<i>viel-7</i>	<i>wenig-7</i>	<i>kein-7</i>
	keine	<i>viel</i>	<i>wenig</i>	<i>kein</i>

Den Grabvasen der Versuchsgruppe mit „wenig“ Detritus wurde ca. 10 ml des zuvor beschriebenen Detritus-Gemisches zugefügt. Die Grabvasen der Versuchsgruppen mit „viel“ Detritus enthielten mit ca. 100 ml Detritusmischung die 10-fache Menge.

Im Gegensatz zum ersten Versuchsdurchgang erfolgte die erste Kontrolle auf vorhandene Puppen ab dem siebten Tag und die letzte Kontrolle am 19. Tag.

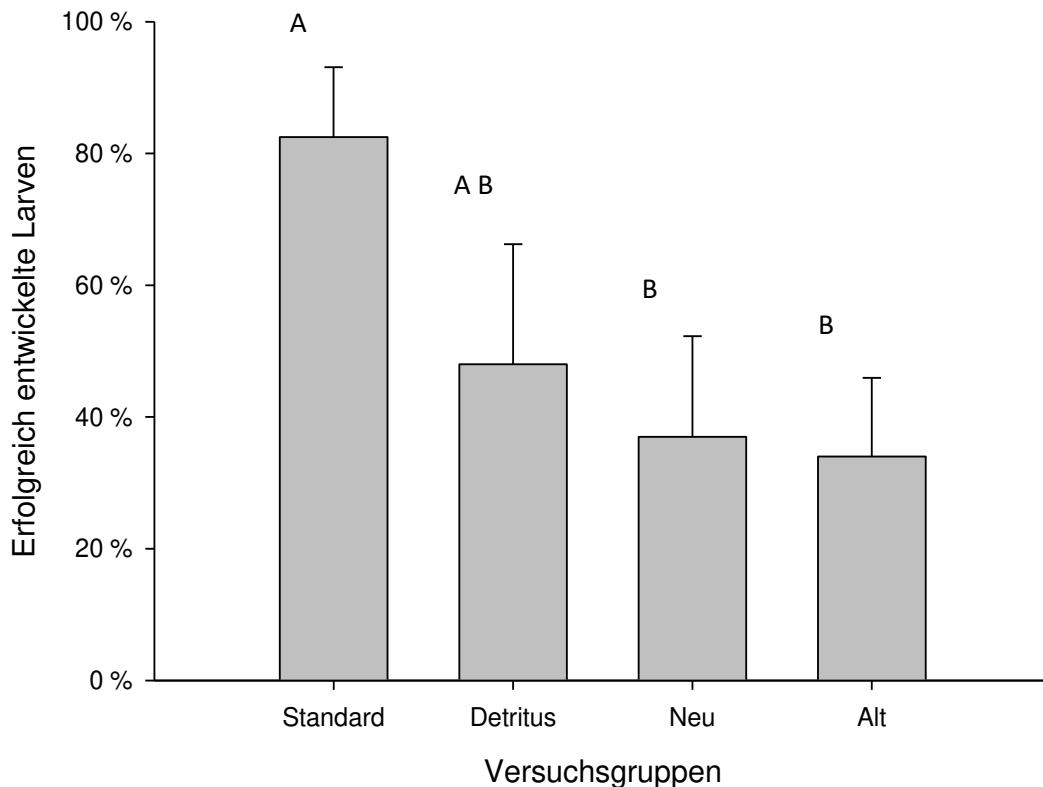
### 6.2.3 ERGEBNISSE

#### 1. Versuchsdurchgang

Die Ergebnisse des Versuches zeigen eine generell hohe Mortalität bei Verwendung von mit Detritus angereichertem Wasser. In der Kontrolle mit Detritus, jedoch ohne Kupferbehandlung, überlebten durchschnittlich nur knapp 50 % der Larven von *Ae. albopictus* (Abbildung 14). Bei der Art *Ae. j. japonicus* fiel in derselben Versuchsgruppe die Überlebensrate noch geringer aus, sodass mit rund 45 % etwas weniger als die Hälfte der zuvor eingesetzten Larven überlebte (Abbildung 15).

Bei beiden Arten verringerte sich wiederum die Überlebensrate, wenn die Vasen zuvor mit Kupferspray behandelt wurden. Dies war am deutlichsten bei der Art *Ae. j. japonicus*, bei der keine der Larven in den Vasen mit neuer Kupferbehandlung und durchschnittlich nur 15 % der zuvor eingesetzten Larven in der Versuchsgruppe „Kupfer alt“, welche zuvor für 68 Tage im Freiland verwendet wurden, überlebten.

## *Aedes albopictus*

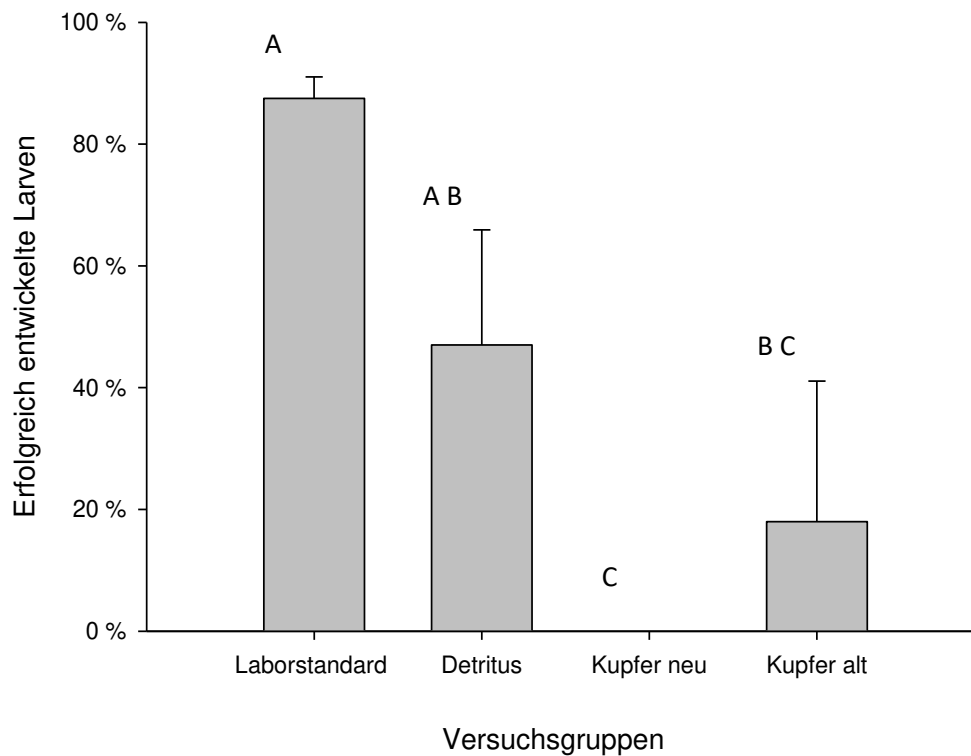


**Abbildung 14:** Anteil der bei *Aedes albopictus* erfolgreich entwickelten Larven in den verschiedenen Versuchsgruppen. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0.05$ ).

Wie im Standard fielen auch bei den Versuchsgruppen mit Kupferspraybehandlung die Überlebensraten bzw. der Anteil der sich erfolgreich entwickelten Larven bei *Ae. albopictus* deutlich höher als bei *Ae. j. japonicus* aus. So überlebten in den neu behandelten Kupfervasen rund 37 % der Larven von *Ae. albopictus*. Innerhalb der Versuchsgruppe „Kupfer alt“ lag der Anteil der überlebenden bzw. sich erfolgreich entwickelten Larven mit 34 % sogar etwas darunter.

Bemerkenswert ist noch die in den Kupfervasen festgestellte Entwicklungsverzögerung bei *Ae. albopictus*, welche bei den Larven der Art *Ae. j. japonicus* nicht aufgetreten ist. Sechs Tage nach dem Einsetzen der Erstlarven konnten bei der Art *Ae. albopictus* die ersten Puppen festgestellt werden. Trotzdem schafften es in den Versuchsgruppen „Kupfer neu“ und „Kupfer alt“ durchschnittlich 8 % bzw. 9 % der eingesetzten Larven nicht, innerhalb von 17 Tagen bis zum Ende des Versuches, mindestens das späte Viertlarvenstadium zu erreichen.

## *Aedes j. japonicus*

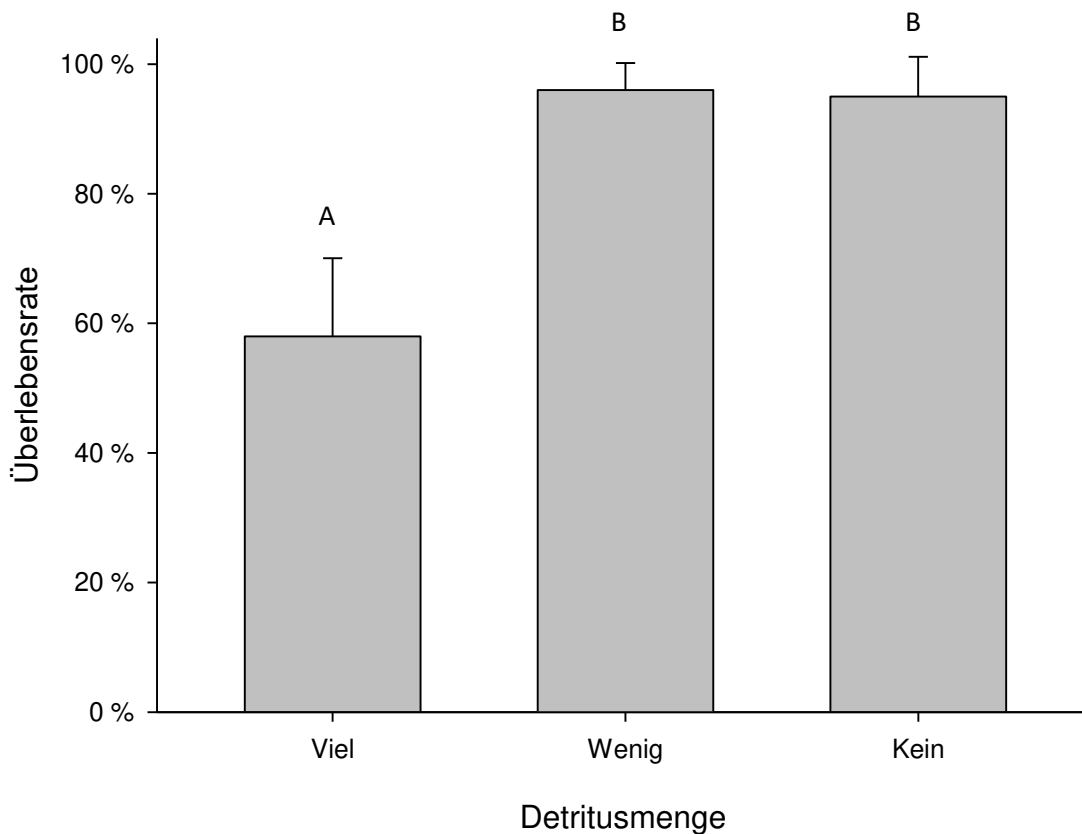


**Abbildung 15: Anteil der bei *Aedes j. japonicus* erfolgreich entwickelten Larven in den verschiedenen Versuchsgruppen. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0.05$ ).**

### 2. Versuchsdurchgang

Wie im ersten Versuchsdurchgang hatte der den Grabvasen zugefügte Detritus einen deutlichen Einfluss auf die Überlebensrate der eingesetzten Erstlarven von *Ae. albopictus*. Bei einer Zugabe von 10 ml Detritus lag die Überlebensrate mit 96,0 % ( $\pm 4,1$ ) noch ähnlich hoch wie in den Grabvasen ohne Detritus mit 95,0 % ( $\pm 6,1$ ). Wurde die Detritusmenge um das 10-fache auf 100 ml erhöht, nahm die Überlebensrate statistisch signifikant auf 58,0 % ( $\pm 12,0$ ) ab (Abbildung 16).

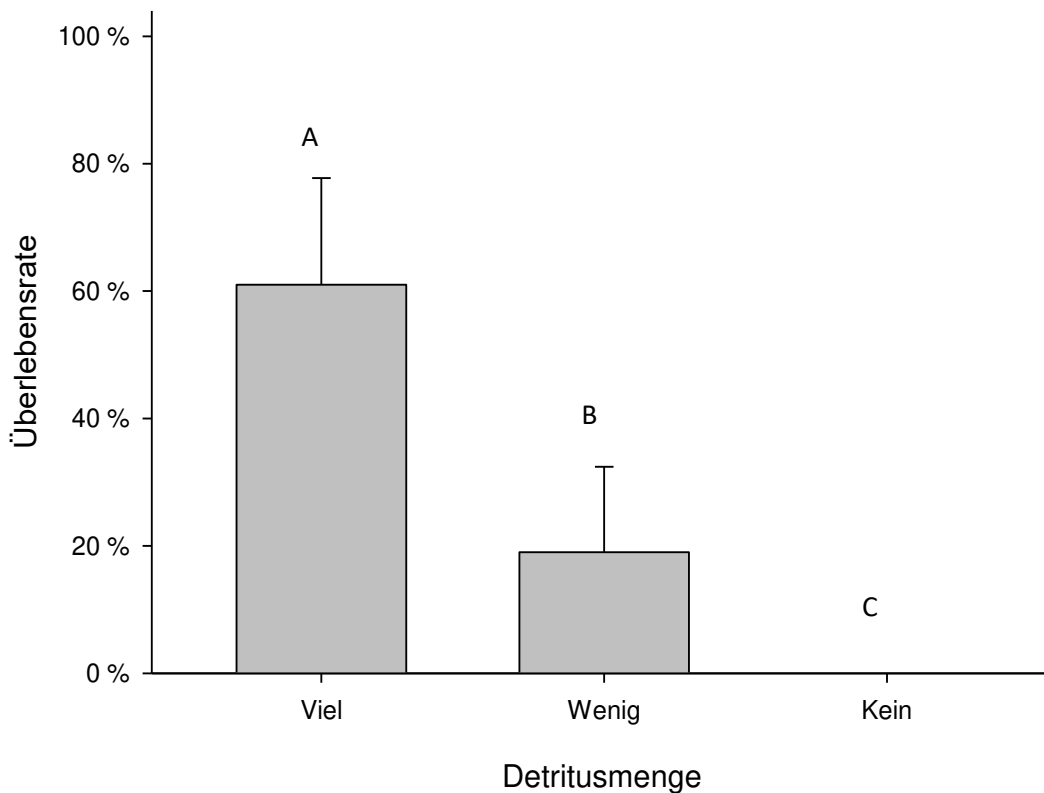
## Ohne Kupferbehandlung



**Abbildung 16: Überlebensraten in den Grabvasen ohne Kupferbehandlung (Standard) bei verschiedenem Anteil an zugefügtem Detritus. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0.01$ ).**

Auch in der Versuchsgruppe mit einer Kupferbehandlung bzw. Kupferexposition von 0 Tagen zeigten sich deutliche Unterschiede bei den Überlebensraten, abhängig von der Menge des eingesetzten Kupfers. War kein Detritus in den Grabvasen enthalten, waren schon bei der ersten Kontrolle nach sieben Tagen alle eingesetzten Larven von *Ae. albopictus* gestorben (Abbildung 17). Wurden den Grabvasen am Tage der Wasserbefüllung und des Erstarvenbesatzes auch unterschiedliche Mengen Detritus zugefügt, erhöhte sich statistisch signifikant jeweils die Überlebensrate mit zunehmendem Anteil an Detritus. So lag diese bei einer Detritusmenge von 10 ml noch bei 19,0 % ( $\pm 13,3$ ) und bei einer Detritusmenge von 100 ml bei 61,0 % ( $\pm 16,7$ ).

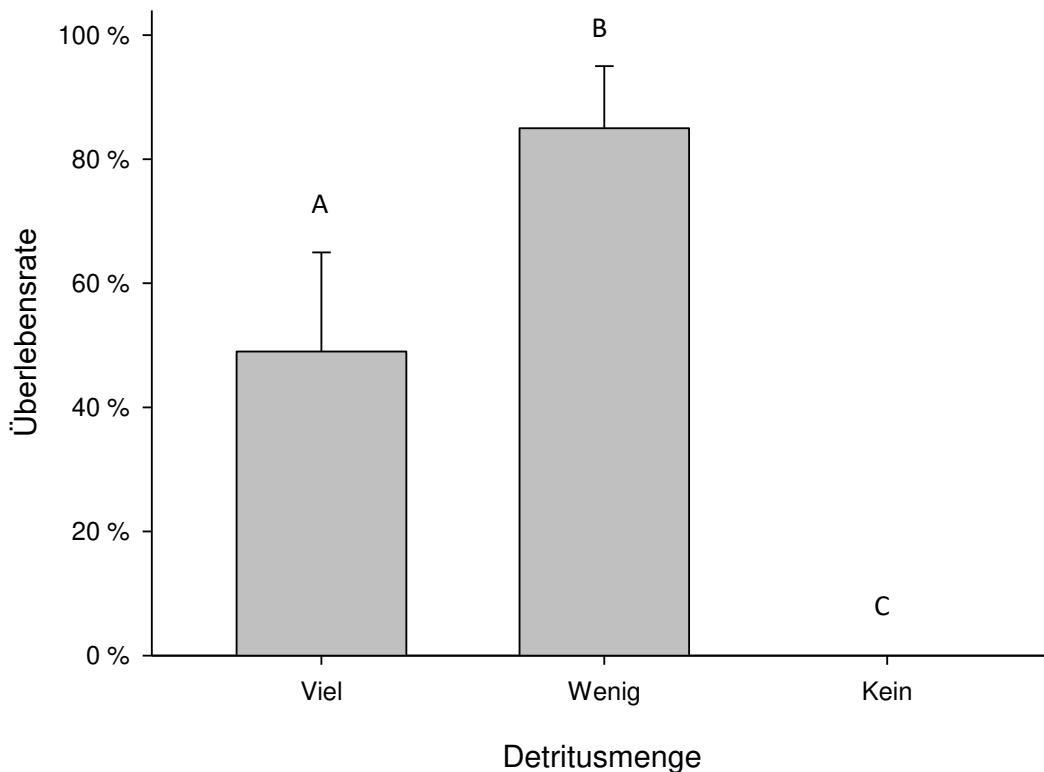
## Kupferbehandlung, 0 Tage Vorlaufzeit



**Abbildung 17: Überlebensraten in den Grabvasen mit einer Kupferexposition von null Tagen vor Larvenbesatz und verschiedenen Anteilen an zugefügtem Detritus. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0.01$ ).**

Ein etwas anderes Bild ergab sich in der Versuchsgruppe, in der die kupferbehandelten Grabvasen sieben Tage vor dem Erstlarvenbesatz mit Wasser und der entsprechenden Detritusmenge befüllt wurden (Abbildung 18). Auch hier überlebten in den Grabvasen ohne Detritus keine der eingesetzten Larven, wobei zumindest bei der ersten Kontrolle nach sieben Tagen noch vereinzelt Larven im Zweitlarvenstadium registriert werden konnten. War Detritus in den Grabvasen enthalten, lag die durchschnittliche Überlebensrate in den Grabvasen mit niedriger Detritusmenge mit 85 % ( $\pm 10$ ) am höchsten. Mit höherer Detritusmenge nahm die Überlebensrate statistisch signifikant auf 49 % ( $\pm 15,9$ ) ab.

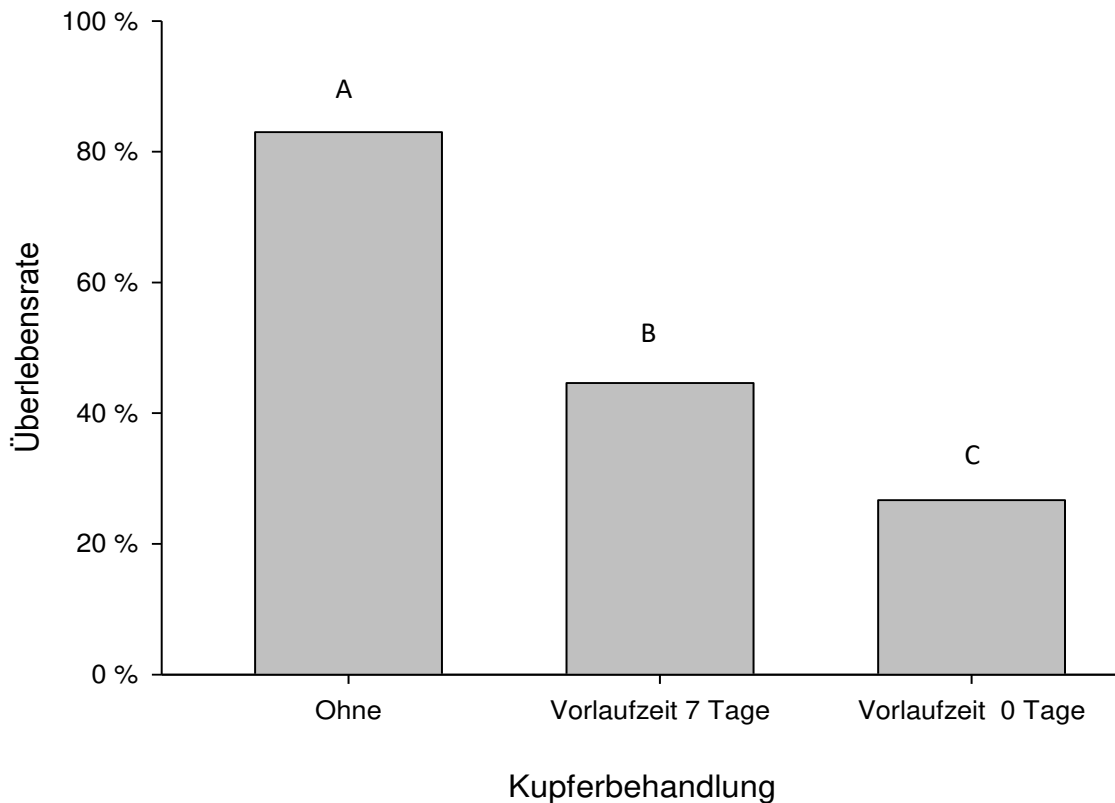
## Kupferbehandlung, 7 Tage Vorlaufzeit



**Abbildung 18: Überlebensraten in den Grabvasen mit einer Kupferexposition von sieben Tagen vor Larvenbesatz und verschiedenen Anteilen an zugefügtem Detritus. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0.01$ ).**

Fasst man die Überlebensraten aller Detritusklassen für die verschiedenen Versuchsgruppen mit unterschiedlicher Kupferbehandlung zusammen, zeigt sich ein deutlicher Einfluss der Dauer der Kupferexposition auf die Überlebensraten der eingesetzten Erstlarven von *Ae. albopictus*. So überlebten in den verschiedenen unbehandelten Grabvasen des Standards durchschnittlich 83,0 % der Larven. Statistisch signifikant geringer lag die durchschnittliche Überlebensrate, wenn die kupferbehandelten Grabvasen schon sieben Tage vor dem Einsetzen der Erstlarven mit Wasser und Detritus befüllt wurden (Abbildung 19). Wiederum statistisch signifikant geringer fiel die durchschnittliche Überlebensrate aus, wenn Detritus, Wasser und die Erstlarven am selben Tage den kupferbehandelten Grabvasen zugefügt wurden.

## Mittlere Überlebensraten aller Detritusgruppen



**Abbildung 19: Durchschnittliche Überlebensraten von Erstlarven von *Ae. albopictus* für alle unterschiedlichen Detritismengen in Abhängigkeit von der Einwirkzeit der Kupferbehandlung vor Larvenbesatz. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0.01$ ).**

Wie auch im ersten Versuchsdurchgang hatte die Kupferbehandlung einen deutlichen Einfluss auf die Entwicklungsrate der eingesetzten Erstlarven von *Ae. albopictus* (Tab. 15). So wurden in den Versuchsgruppen ohne Kupferbehandlung die ersten Puppen meist schon am ersten Kontrolltag (7 Tage) registriert. Hier verlief die weitere Entwicklung recht zügig, sodass die durchschnittliche Entwicklungszeit abhängig von der Detritusmenge zwischen 8,9 bis 9,9 Tagen lag. Ähnlich früh wurden auch die ersten Puppen in den Versuchsgruppen mit einer Kupferexposition von sieben Tagen registriert. Hier dauerte die durchschnittliche Entwicklungszeit jedoch zwischen 10,3 und 12,3 Tagen. Deutlich verzögert war die Larvenentwicklung in den Grabvasen mit Kupferbehandlung, wenn Detritus, Wasser und die Erstlarven am selben Tage den kupferbehandelten Grabvasen zugefügt wurden. Hier konnten die ersten Puppen erst bei der Kontrolle am 11. bzw. 13. Tag registriert werden. Auch die durchschnittliche Verpuppungsdauer fiel deutlich höher aus und lag in der Gruppe mit niedriger Detritusmenge mit 15,7 Tagen am höchsten.



**Tabelle 15: Zeitpunkt des ersten Auftretens und die durchschnittliche Entwicklungszeit von Puppen der Asiatischen Tigermücke bei unterschiedlichen Detritismengen und Einwirkzeiten der Kupferbehandlung vor Larvenbesatz.**

Kupfer- behandlung	Keine			Vorlaufzeit 0 Tage			Vorlaufzeit 7 Tage		
	Viel	Wenig	Kein	Viel	Wenig	Kein	Viel	Wenig	Kein
Erste Puppe [Tag]	9.	7.	7.	11.	13.	-	9.	9.	-
Mittlere Verpup- pung [Tage]	9,9	9,6	8,9	13,4	15,7	-	10,3	12,3	-

#### 6.2.4 DISKUSSION

Während des Freilandversuches (Versuch 6.4) konnte die Beobachtung gemacht werden, dass überlebende Larven der Japanischen Buschmücke (*Aedes japonicus*) nur in den mit Kupferspray behandelten Grabvasen auftraten, welche jeweils deutliche Ansammlungen von Detritus aufwiesen. Die Ergebnisse der daraufhin durchgeführten beiden Laborversuche bestätigen deutlich die im Freilandversuch gemachte Beobachtung, dass durch Detritus bzw. organische Belastung innerhalb der Grabvasen die Effektivität der Kupferspraybehandlung stark reduziert wird. So schaffte es im zweiten Versuchsdurchgang, unabhängig von der Dauer der Kupferbehandlung in allen Grabvasen ohne Detritus, keine der eingesetzten Erstlarven, sich über das Zweitlarvenstadium hinaus zu entwickeln. Wurden jedoch den Grabvasen unterschiedliche Mengen organischen Materials in Form von Detritus zugefügt, nahm die Sterberate in Abhängigkeit von der Dauer der Kupfereinwirkzeit jeweils signifikant ab.

In der Natur sind viele Spurenelemente wie Kupfer meist nur in sehr geringen Konzentrationen vorhanden und werden daher schnell von Mikroorganismen aufgenommen. So stellten SMITH et al. (1996) bei ihrer Untersuchung in einem Fließgewässer fest, dass die Konzentration an Kupfer im Detritus höher war als im umgebenden Wasserkörper. Während durch die stark sklerotisierte und mit Wachs durchsetzte Haut Stechmückenpuppen tolerant gegenüber verschiedenen Wasserinhaltsstoffen und -qualitäten sind (CHRISTOPHERS 1960), können die Larven über die Körperoberfläche leicht größere Mengen an Kupferionen aufnehmen. Werden aber die im Wasser gelösten Kupferionen durch mikrobiologische Aktivität gebunden, erfolgt die Aufnahme des Kupfers hauptsächlich durch Nahrungsaufnahme. Diese orale Aufnahme des Kupfers scheint nicht mehr zu letalen Kupferkonzentrationen im Larvenkörper zu führen, ist jedoch zumindest, wie in Versuchsdurchgang 2 gezeigt, ausreichend, um die Entwicklung der Larven zu verzögern.

Dass die Reduktion der sich in Lösung befindlichen Kupferionen hauptsächlich durch mikrobiologische Aktivität und nicht durch Anlagerung oder Bindung an den Detritus erfolgt, lässt sich gut im zweiten Versuchsdurchgang nachvollziehen. Hier lag trotz der längeren Kupfereinwirkzeit durch die ebenfalls längere mikrobiologische Aktivität von sieben Tagen die Sterberate schon bei geringen Detritismengen signifikant unterhalb der Sterberate der Versuchsgruppen mit kurzer Einwirkzeit. Die Sterberate war dabei so gering, dass sie nur geringfügig und signifikant über den Standardversuchsgruppen ohne Kupferbehandlung und geringem bzw. keinem Detritusanteil lag.

Bei größeren Detritismengen wurde dieser Effekt durch den erstaunlichen negativen Einfluss des Detritus überdeckt. Im ersten Versuchsdurchgang wurde der verwendete Detritus aus einer Vielzahl verschiedener Grabvasen eingesammelt. Daher konnte am Ende des ersten Versuchsdurchganges nicht ausgeschlossen werden, dass eine toxische Belastung durch die Schnittblumen in den Grabvasen zu der hohen Sterberate im Detritus-Standard des ersten Versuchsdurchganges geführt hat. Dabei könnten sowohl natürliche larvizide Bestandteile (GHOSH et al. 2012) als auch chemische Pflanzenschutzrückstände eine Rolle gespielt haben. Daher wurde der verwendete Detritus im zweiten Versuchsdurchgang aus einer Plastikregenrinne gewonnen. Die immer noch erstaunlich hohe Sterberate von etwa 40 % im Standard mit hohem Detritusanteil ist daher auf sich ansammelnde toxische Stoffwechsellrückstände oder Mikroorganismen wie Cyanobakterien zurückzuführen.

Insgesamt zeigte sich in beiden Versuchsdurchgängen deutlich, dass über alle Detritusgruppen hinweg durchschnittlich bei frisch eingesprühten und direkt mit Larven besetzten Grabvasen die Sterberate am höchsten lag. Dieser optimale Bekämpfungszustand ist unter Freilandbedingungen nur für wenige Wochen zu erhalten, da selbst in Grabvasen ohne Schnittblumen von einem Anstieg der mikrobiologischen Aktivität durch regelmäßig einfallendes organisches Material, wie z.B. Laub, Nadeln, Samen, Insekten, Blütenstaub, auszugehen ist. So wäre aufgrund der vorliegenden Ergebnisse der Laborversuche in den kupferbehandelten Grabvasen aufgrund der unterschiedlichen Ansammlung von Detritus eine durchschnittliche Mortalität für Larven der Asiatischen Tigermücke von nur 80 % zu erwarten.

Beim Auftreten von Larven anderer Stechmückenarten sollten die Mortalitätsraten in den kupferbehandelten Grabvasen deutlich höher liegen. So konnte im ersten Versuchsdurchgang gezeigt werden, dass Larven von *Ae. japonicus* deutlich sensibler auf die Kupferspraybehandlung der Grabvasen als die Larven von *Ae. albopictus* reagierten. Ebenfalls ist bekannt, dass Larven von *Ae. japonicus* im Vergleich zu denen von *Aedes aegypti* sensibler auf Kupfer reagieren (BECKER et al. 2015).

## 6.3 REPELLENTWIRKUNG VON KUPFERSPRAYBEHANDLUNGEN

### 6.3.1 EINLEITUNG

Bei der Auswahl der Brutstätten zeigt *Aedes albopictus* eine bemerkenswerte Anpassungsfähigkeit und nutzt eine große Bandbreite an natürlichen und künstlichen wassergefüllten Gefäßen (HAWLEY 1988). Für eine eigentliche Waldart wie *Ae. albopictus*, stellen die als Dendrotelmen bezeichneten wassergefüllten Aushöhlungen in Bäumen wohl die ursprünglichste Form der Brutstätten dar (KOLIVRAS 2006). Aber auch in natürlichen Wasseransammlungen in Bromelien (O'MEARA et al. 1995b), Gräben (Chan et al. 1971b), Felsaushöhlungen (O'MEARA et al. 1997) und Schneckenschalen (ROZEBOOM & BRIDGES 1972) wurden Larven der Art gefunden.

In der Umgebung von menschlicher Aktivität nutzt die Art die große Fülle an künstlichen Brutgefäßen und ist im besiedelten Gebiet deutlich häufiger und in größerer Dichte anzutreffen (SARDELIS et al. 2002). So machten bei Kontrollen künstliche Wasseransammlungen in Singapur 95 % aller Brutstätten der Art aus (CHAN et al. 1971), und Larven der Asiatischen Tigermücke konnten selbst in weggeworfenen Flaschen (ADHAMI & REITER 1998), Haushaltsgeräten (HOBBS et al. 1991) und sogar Ameisenfallen (KITTAYAPONG & STRICKMAN 1993) gefunden werden.

Bei Wahl einer geeigneten Brutstätte werden mehrere Faktoren miteinbezogen. Dies geschieht durch visuelle, olfaktorische und taktile Wahrnehmung der Mücke (BENTLEY et al. 1989). Dazu zählen Parameter wie die Farbe oder Größe des Behälters, die Wassertiefe und die Beschaffenheit des Materials. Dabei werden kleinere Behälter den größeren für die Eiablage vorgezogen und generell tiefere Brutstätten gegenüber flacheren präferiert (REISKIND & ZARRABI et al. (2012).

Neben der äußeren Beschaffenheit der Brutstätte spielen die Farbe und Inhaltsstoffe des in der Brutstätte angesammelten Wasser eine sehr wichtige Rolle bei der Anzahl der abgelegten Eier. So werden Eiablagemöglichkeiten mit dunklerem Wasser denen mit klarem Wasser vorgezogen. Ebenso haben Infusionen aus Heu und Laub einen positiven Einfluss auf die Anzahl der abgelegten Eier (HAWLEY 1988), jedoch werden die meisten Eier in Brutstätten abgelegt, in denen zuvor Larven von *Ae. albopictus* aufwuchsen (ALLAN et al. 1998).

Eine abstoßende Wirkung von Kupfer auf die Eiablage von *Ae. albopictus* konnten ROMI et al. (2000) in ihren Versuchen aufzeigen. Dabei wurde eine vollständige Eiablage in der Brutstätte verhindert, wenn dieser 40 g Kupferdraht pro Liter Wasser zugefügt wurden. Daher sollte im vorliegenden Versuche geklärt werden, inwieweit die Kupferspraybehandlung von Grabvasen eine abstoßende Wirkung auf eiablagebereite Weibchen der Asiatischen Tigermücke ausübt.

### 6.3.2 MATERIAL UND METHODEN

Für den Versuch wurden unter Standardlaborbedingungen (siehe Kapitel 2) jeweils 30 frischgeschlüpfte Weibchen und Männchen von *Ae. albopictus* in einen Käfig (60 x 40 x 50 cm) überführt. Nach einer Paarungszeit von drei Tagen wurden die verbliebenen Weibchen blutgefüttert. Für die Eiablage wurden den Weibchen 120 Stunden nach der Blutmahlzeit unterschiedlich präparierte Eiablagebehältnisse angeboten.

Für die Eiablage wurden handelsübliche schwarze Filmdosen (Höhe 4,9 cm, Durchmesser 3 cm) verwendet (PLUSKOTA 2011). Um verschiedene Eiablagebedingungen herzustellen und die Anzahl der abgelegten Eier besser auswerten zu können, wurden die Folienrückseiten von handelsüblichen Schnellheftern (Brunnen, DIN-A 4) in verschiedenen Farben verwendet. Diese wurden so geschnitten und gerollt, dass sie die Innenseiten der Eiablagedosen komplett auskleideten und mit dem oberen Rand der Eiablagedosen bündig abschlossen.

Insgesamt wurden in zwei aufeinanderfolgenden Versuchsdurchgängen sieben unterschiedlich modifizierte Eiablagemöglichkeiten (Versuchsgruppen) bereitgestellt (Tab. 16). Als „Standard“ dienten mit schwarzer Folie ausgekleidete Eiablagedosen. In den Versuchsgruppen „Orange“ und „Braun“ wurden die Eiablagedosen mit Folien ausgekleidet, welche in etwa den Farben der beiden Kupferspraybehandelten Versuchsgruppen entsprachen. Die Folie der Versuchsgruppe „Kupfer neu“ wurde ein Tag vor der Eiablagephase flächendeckend mit Kupferspray eingesprüht. Die Folien der Versuchsgruppe „Kupfer alt“ wurden zwei Wochen vor der Eiablagephase eingesprüht und zwischenzeitlich für zehn Tage mit Wasser überflutet. Aufgrund des höheren Alters und der Überflutung der Folie wurde die Kupferschicht dunkler und brauner im Vergleich zur Versuchsgruppe „Kupfer neu“. In die Eiablagedosen dieser zuvor beschriebenen Versuchsgruppen wurden jeweils 10 ml abgestandenes Leitungswasser zugefügt, welches sich für einen Tag in einer mit Kupferspray behandelten Grabvase befand.

**Tabelle 16: Zusammenfassung der Unterschiede der Versuchsgruppen bei der Farbe der Eiablageoberfläche und der Kupferbehandlung des eingefüllten Wassers oder der Eiablageoberfläche.**

Versuchsgruppe	Versuchsdurchgang	Folienfarbe	Kupferbehandlung	
			Folie	Wasser
<i>Kupferwasser schwarz 1</i>	1	schwarz	-	1 Tag
<i>Kupfer neu 1</i>	1	kupferfarben, orange	neu	1 Tag
<i>Standard</i>	1+2	schwarz	-	-
<i>Braun</i>	2	braun	-	-
<i>Orange</i>	2	orange	-	-
<i>Kupfer alt 3</i>	2	kupferfarben, braun	alt	3 Tage
<i>Kupfer neu 3</i>	2	kupferfarben, orange	neu	3 Tage
<i>Kupferwasser schwarz 3</i>	2	schwarz	-	3 Tage
<i>Kupferwasser braun 3</i>	2	braun	-	3 Tage

Um den Einfluss der Farbe des Kupfersprays auf die Brutstättenauswahl festzustellen, wurden die beiden zusätzlichen Versuchsgruppen „*Kupferwasser schwarz*“ und „*Kupferwasser braun*“ angelegt. Die Folien dieser beiden Gruppen entsprachen denen der Versuchsgruppen „*braun*“ und „*Standard*“. Als Wasser wurden jedoch 10 ml Wasser hinzugefügt, welches sich für drei Tage in einer mit Kupferspray behandelten Grabvase befand. Dadurch sollte sich in diesen beiden Versuchsgruppen über den gesamten Versuchszeitraum in etwa dieselbe Kupferionenkonzentration im Wasser der Eiablagedosen befunden haben, wie zur Haupteiablagephase (PLUSKOTA 2011) des Versuches in der Versuchsgruppe „*Kupfer neu*“.

Für beide Versuchsdurchgänge wurden jeweils fünf Eiablagedosen desselben Typs angefertigt und randomisiert in der Mitte des Käfigs angeordnet. Den jeweils 30 Weibchen der beiden Versuchsdurchgänge wurde neben dem Wasser in den Eiablagebehältern zusätzlich eine 10 % Haushaltszuckerlösung zur Nahrungsaufnahme angeboten. Nach einem Eiablagezeitraum von 120 Stunden wurden alle Eiablagebehältnisse aus dem Käfig entfernt und die jeweilige Anzahl der abgelegten Eier ausgezählt.

### 6.3.3 ERGEBNISSE

Im ersten Versuchsdurchgang wurden von den 30 Weibchen der Asiatischen Tigermücke insgesamt 1647 Eier in den bereitgestellten 15 Eiablagedosen abgelegt. Mit insgesamt 77 Eiern und durchschnittlich 15,4 Eiern pro Eiablagedose wurden die wenigsten Eier in der Versuchsgruppe „*Kupfer neu 1*“ abgelegt (Tab. 17). Eine signifikant höhere Eiablage rate, mit durchschnittlich 170 und insgesamt 850 Eiern, konnte in den Eiablagedosen der Versuchsgruppe „*Standard*“, ohne jegliche Art der Kupferbehandlung, nachgewiesen werden. Die Eiablage rate in der Versuchsgruppe „*Kupferwasser schwarz 1*“ unterschied sich nicht signifikant von den beiden anderen Versuchsgruppen.

**Tabelle 17: Gesamtanzahl und durchschnittliche Anzahl der im 1. Durchgang in den verschiedenen Versuchsgruppen abgelegten Eier von *Ae. albopictus*. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen je Kontrollwoche (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0.05$ ).**

Versuchsgruppe	Gesamtanzahl Eier	Mittel Eier/Eiablagedose	
<b>Kupfer neu 1</b>	77	15,4 ±11,9	A
<b>Kupferwasser schwarz 1</b>	620	124,0 ±119,8	AB
<b>Standard</b>	850	170,0 ±124,5	B

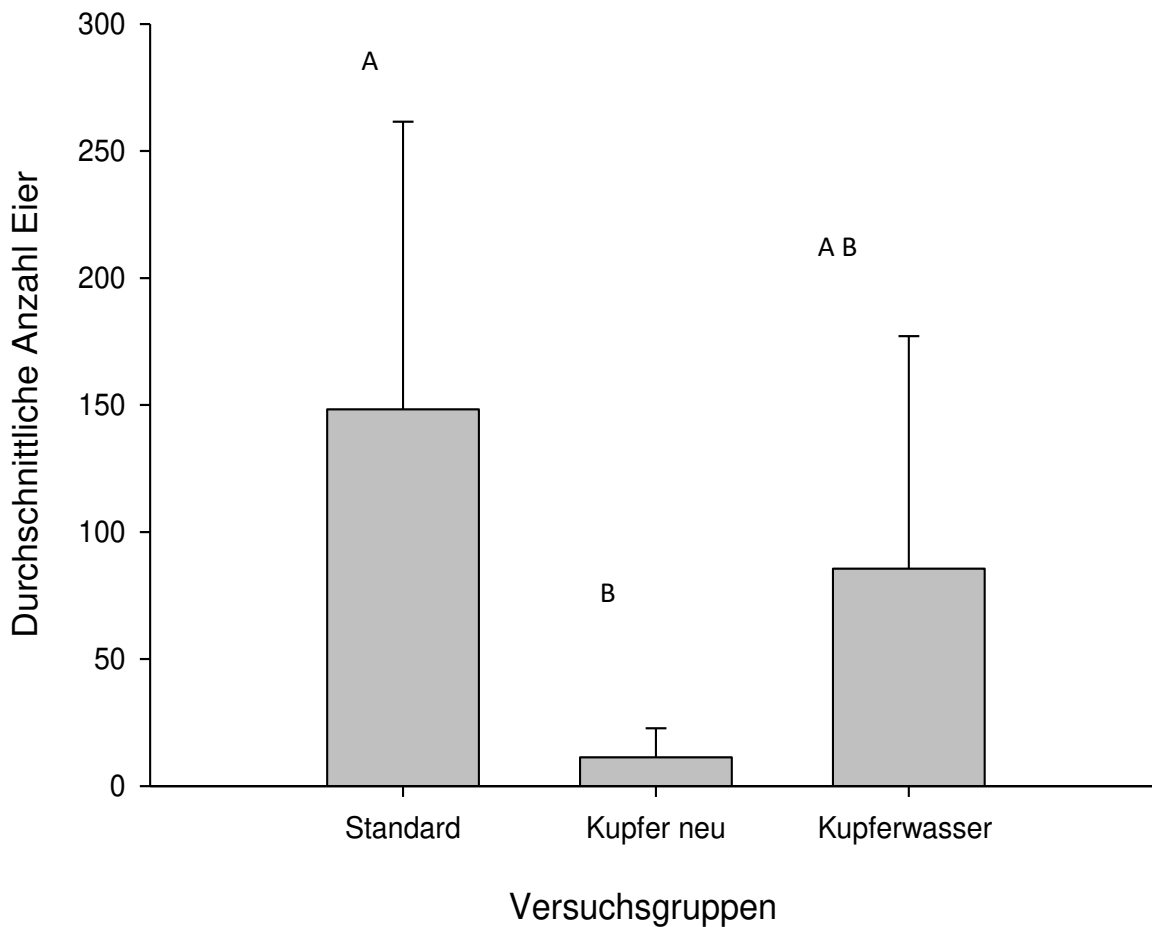
Im zweiten Versuchsdurchgang wurden von den 30 Weibchen der Asiatischen Tigermücke insgesamt 1990 Eier in den bereitgestellten 35 Eiablagedosen abgelegt. Mit insgesamt 36 Eiern und durchschnittlich 7,2 Eiern pro Eiablagedose wurden wie in Versuchsdurchgang 1 die wenigsten Eier in der Versuchsgruppe mit der neu kupferspraybehandelten Eiablageoberfläche („Kupfer neu 3“) abgelegt (Tab. 18). Ebenfalls wie im ersten Versuchsdurchgang wurde, mit durchschnittlich 126,6 und insgesamt 633 Eiern, die höchste Eiablage rate in den unbehandelten Eiablagedosen der Versuchsgruppe „Standard“ festgestellt.

**Tab. 18: Gesamtanzahl und durchschnittliche Anzahl der im 2. Durchgang in den verschiedenen Versuchsgruppen abgelegten Eier von *Ae. albopictus*.**

Versuchsgruppe	Gesamtanzahl Eier	Mittel Eier/Eiablagedose
<b>Braun</b>	507	101,4 ±85,9
<b>Orange</b>	46	9,2 ±11,4
<b>Kupferwasser braun 3</b>	335	67 ±61,5
<b>Kupferwasser schwarz 3</b>	236	47,2 ±27,7
<b>Kupfer neu 3</b>	36	7,2 ±10,4
<b>Kupfer alt 3</b>	197	39,4 ±46,4
<b>Standard</b>	633	126,6 ±110,2

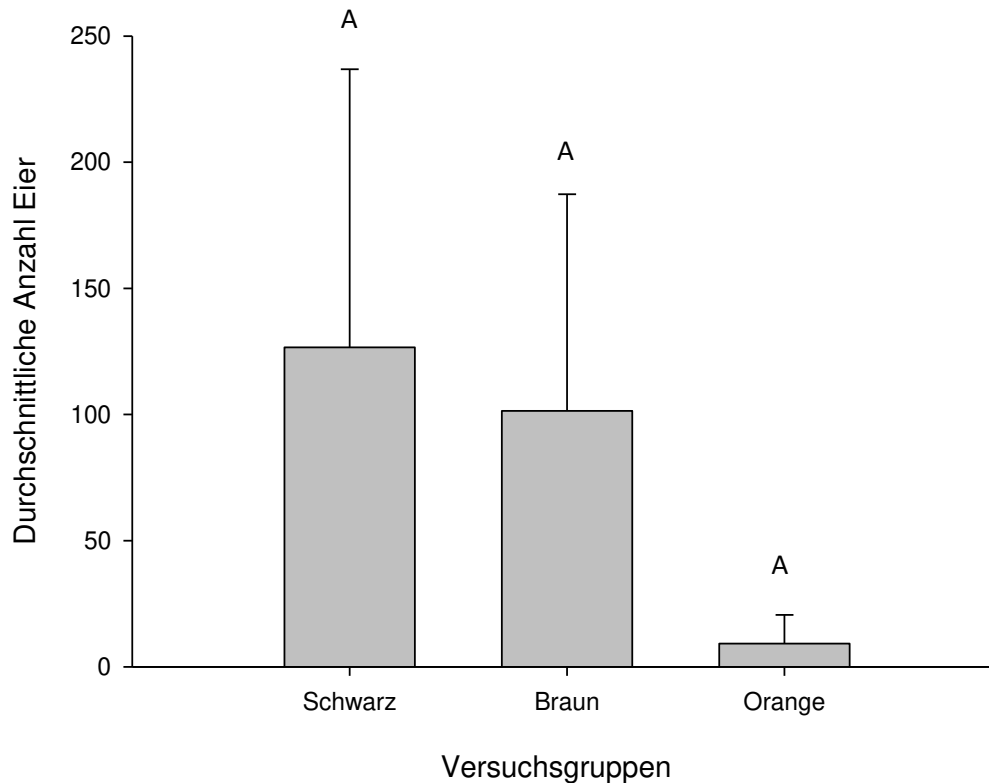
In Abbildung 20 wurden aus beiden Versuchsdurchgängen die Anzahl der abgelegten Eier in den Eiablagedosen mit schwarzem Eiablageuntergrund („Standard“, „Kupferwasser schwarz“) und die mit Kupfer behandelten („Kupfer neu“, „Kupferwasser schwarz“) zusammengefasst. In den Eiablagedosen des Standards konnte mit durchschnittlich 148,3 Eiern die höchste Eiablage rate ermittelt werden. Deutlich weniger Eier, und signifikant zum Standard verschieden, wurde mit durchschnittlich nur 11,3 Eiern in den mit Kupferspray behandelten Eiablagedosen abgelegt. Die Eiablage rate auf dem schwarzen Eiablage substrat der Versuchsgruppe „Kupferwasser schwarz“ nahm mit durchschnittlich 85,6 Eiern pro Eiablagedose eine Mittelstellung

zu den beiden anderen Versuchsgruppen ein. Aufgrund der insgesamt hohen Standardabweichungen war dieser Wert zu keiner der beiden anderen Gruppen signifikant verschieden.



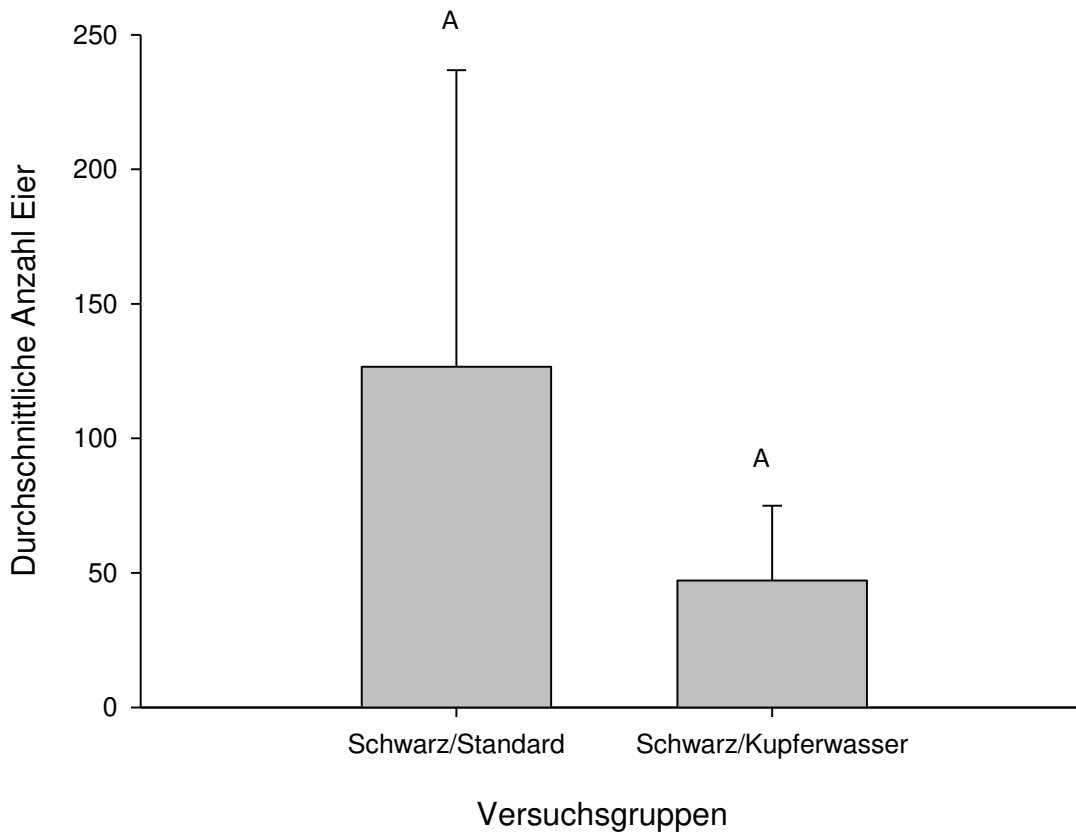
**Abbildung 20: Durchschnittliche Anzahl an Eiern in den Eiablagedosen verschiedener Versuchsgruppen aus beiden Versuchsansätzen. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA on Ranks, Tukey-Test,  $P < 0.05$ ).**

Auch zwischen den Eiablagern der verschiedenfarbigen und nicht kupferbehandelten Versuchsgruppen „schwarz“ (Standard), „braun“ und „orange“ konnten aufgrund der insgesamt hohen Standardabweichungen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Trotzdem unterschied sich die Anzahl der abgelegten Eier in den jeweiligen Gruppen teilweise erheblich (Abbildung 21). So konnten auf den beiden dunklen Eiablageuntergündern der Versuchsgruppen „schwarz“ und „braun“ durchschnittlich 126,6 bzw. 101,4 Eier gefunden werden. Auf dem deutlich helleren Untergrund der Versuchsgruppe „orange“ wurden hingegen nur durchschnittlich 9,2 Eier von den Weibchen der Asiatischen Tigermücke abgelegt.



**Abbildung 21: Durchschnittliche Anzahl an Eiern in den Eiablagedosen verschiedener Versuchsgruppen im zweiten Versuchsansatz. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA,  $P < 0.05$ ).**

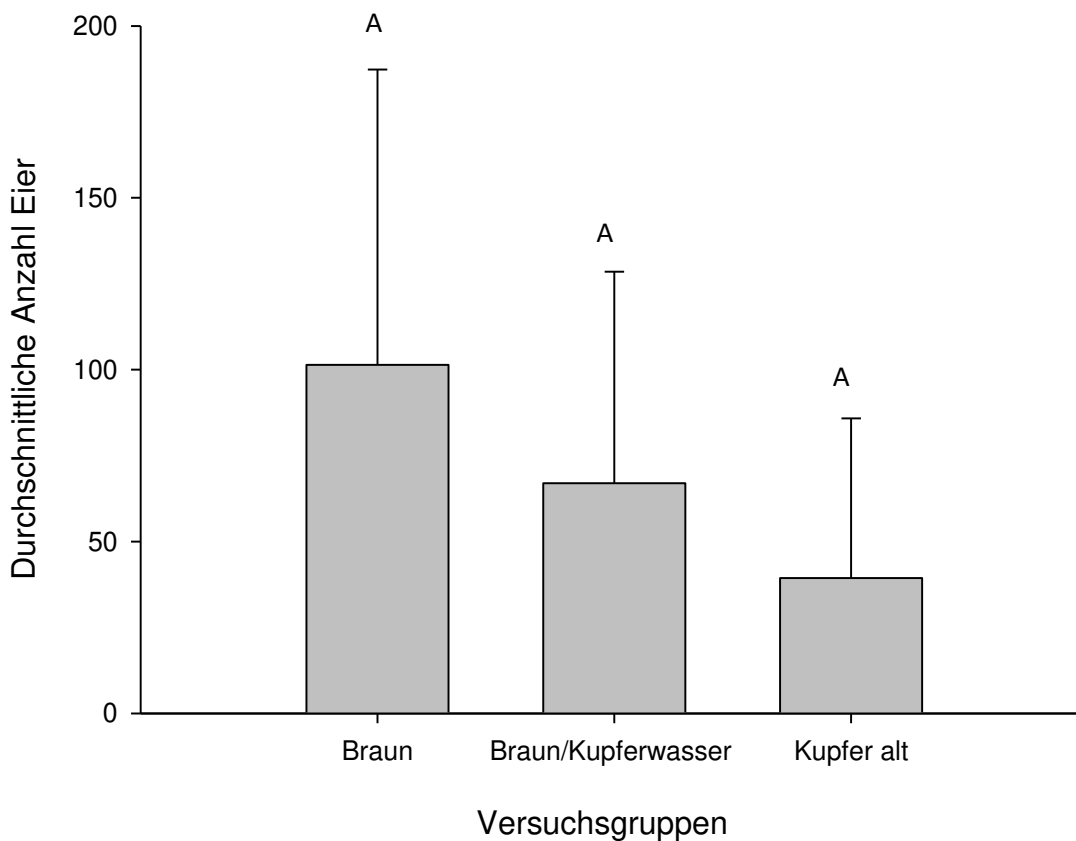
Bei den beiden Versuchsgruppen mit der rein schwarzen Eiablagefläche konnten die höchsten Eiablageraten mit durchschnittlich 126,6 Eiern pro Eiablagedose beim „Standard“ festgestellt werden (Abbildung 22). Blieb die Eiablagefläche gleich und wurde kupferhaltiges Wasser in den Eiablagedosen verwendet, nahm die Eiablage rate auf durchschnittlich 47,2 Eier pro Eiablagedose ab. Diese mehr als doppelt so geringe Eiablage rate war jedoch wieder, aufgrund der insgesamt hohen Standardabweichungen der Versuchsreihe, nicht sig nifikant zum Standard verschiedenen.



**Abbildung 22: Durchschnittliche Anzahl an Eiern in den Eiablagedosen verschiedener Versuchsgruppen aus beiden Versuchsansätzen. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (Mann-Whitney-U-Test,  $P < 0.05$ ).**

Die drei Versuchsgruppen „braun“, „Kupferwasser braun“ und „Kupfer alt“ waren bezüglich der Farbe und auch der Helligkeit nahezu identisch. Im direkten Vergleich der Eiablagelraten konnten die höchsten Werte in den nicht mit Kupfer behandelten Eiablagedosen der Versuchsgruppe „braun“ festgestellt werden. Die hier durchschnittlich 101,4 abgelegten Eier unterschieden sich jedoch nicht signifikant von den anderen Gruppen, obwohl mit einer durchschnittlichen Eiablagelrate von 39,4 Eiern pro Eiablagedose deutlich weniger Eier in den älteren kupferspraybehandelten Eiablagedosen festgestellt wurde. Wie zuvor bei den schwarzen Eiablagedosen, ist auch bei dem Vergleich der braunen Eiablagedosen die Versuchsgruppe mit dem kupferhaltigen Wasser niedriger als bei der völlig unbehandelten Versuchsgruppe und nimmt insgesamt eine Mittelstellung ein.





**Abbildung 23: Durchschnittliche Anzahl an Eiern in den Eiablagedosen verschiedener Versuchsgruppen aus beiden Versuchsansätzen. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA,  $P < 0.05$ ).**

#### 6.3.4 DISKUSSION

Im vorliegenden Versuch konnte eine deutlich abstoßende Wirkung von Kupfer innerhalb von Grabvasen auf eiablagebereite Weibchen der Asiatischen Tigermücke nachgewiesen werden. Dafür reichte es, wie auch schon von ROMI et al. (2000) zuvor nachgewiesen, aus, wenn das Kupfer in Form von gelösten Kupferionen nur im Wasserkörper, jedoch nicht auf den Seitenwänden der Brutstätte vorhanden war. So zeigte das hergestellte Kupferwasser im vorliegenden Versuch in beiden Versuchsdurchgängen und bei allen Farben die geringere Eiablage rate in den bereitgestellten Eiablagedosen.

Diese teilweise deutlichen Unterschiede waren jedoch aufgrund der großen Standardabweichung, vor allem innerhalb der nicht kupferbehandelten Versuchsgruppen, nur teilweise signifikant. Vermutlich wäre aber durch eine größere Anzahl an Weibchen der Anteil in den nicht kupferbehandelten Gefäßen abgelegten Eiern höher und die Standardabweichung wiederum geringer ausgefallen.

So wurden in den beiden Versuchsdurchgängen von jedem der 30 Weibchen durchschnittlich rund 54,9 bzw. 66,3 Eier abgelegt. Vergleichbare Gelegegrößen innerhalb einer einzelnen Eiablage wurden mit durchschnittlich 62,5 Eiern (GUBLER 1970) und 53,1 Eiern (PLUSKOTA 2011) auch von anderen Autoren festgestellt. Bei der Eiablage von *Ae. albopictus* werden jedoch die Eier eines Eiablagezyklus nicht innerhalb einer Brutstätte abgelegt, sondern meist auf mehrere verteilt (HAWLEY 1988). Bei zu großer Anzahl an verfügbaren Brutstätten fällt der Anteil der Eier, welche in günstige Brutstätten abgelegt werden, verhältnismäßig gering aus.

Dies dürfte vor allem im zweiten Versuchsdurchgang mit insgesamt 35 bereitgestellten Brutstätten der Fall gewesen sein.

Waren durch die Kupferspraybehandlung, neben dem Wasser, auch die Seitenwände der Eiablagedosen mit Kupfer behandelt, nahm die Eiablage weiter ab. Ein Teil dieses Effektes dürfte jedoch auf die Farbe der Oberfläche zurückzuführen sein, was der Vergleich der unbehandelten, jedoch unterschiedlich gefärbten Eiablagedosen zeigt. Dass jedoch auch den im Spray enthaltenden Kupferionen ein zusätzlich abschreckender Effekt zuzuordnen ist, zeigt der Vergleich aller braungefärbten Eiablagedosen.

Vor allem die hellere Farbe der Versuchsgruppe „orange“ hatte eine sehr geringe Anziehungskraft auf die eiablagebereiten Weibchen der Asiatischen Tigermücke. Es ist bekannt, dass dunklere Farben eine positive Wirkung auf die Eiablage rate bei *Ae. albopictus* haben und diese den helleren Eiablagemöglichkeiten vorgezogen werden (YAP et al. 1995). So wiesen auch bei HOEL et al. (2011) hellere orangene Ovitrapps geringere Eiablage rates auf. Im vorliegenden Versuch war erstaunlicherweise die Eiablage in der Versuchsgruppe „orange“ nahezu genauso gering wie in der frisch mit Kupferspray behandelten und vergleichbar hellorange gefärbten Versuchsgruppe. Anhand dieser Ergebnisse könnte man annehmen, dass die Repellentwirkung des Kupfers durch die abstoßende Wirkung der hellen orangenen Farbe überdeckt wurde. So dürfte auch der Unterschied zwischen den Versuchsgruppen „Kupfer neu“ und „Kupfer alt“ wahrscheinlich auf die hellere orangene Farbe der neubehandelten Folien zurückzuführen sein.

Bei einer Freilandanwendung der Kupferspraybehandlung auf Friedhöfen ist davon auszugehen, dass nahezu die kompletten ausgebrachten Kupfervasen die längste Zeit die braune, deutlich dunklere Kupferfarbe aufweisen würden. Jedoch geht auch von diesen dunkleren kupferbehandelten Grabvasen, wie bei der Versuchsgruppe „Kupfer alt“ zu sehen, noch eine Repellentwirkung auf eiablagebereite Weibchen der Asiatischen Tigermücke aus. Diese würden unter Freilandbedingungen einen Anteil ihrer Eier in andere auf dem Friedhof vorhandene und vermeintlich unbehandelte Brutstätten legen. Zwar standen im vorliegenden Versuch alle Eiablagedosen in direkter Konkurrenz zueinander, so dass unmittelbar neben eher ungeeigneten, also kupferbehandelten, auch ausreichend geeignete Eiablagemöglichkeiten für die Weibchen zu finden waren. Aber auch auf Friedhöfen ist eine größere Anzahl an nicht kupferspraybehandelten Brutstätten in Form von z.B. Töpfen, Gießkannen, Untersetzern zu finden, weshalb zusätzlich zur prophylaktischen Kupferspraybehandlung Brutstätten-Vermeidungsmaßnahmen durch die Besucher oder die Friedhofsverwaltung nötig werden.

Eine vollständige Vermeidung solcher zusätzlichen Brutstätten in Form von eigenverantwortlichen Selbsthilfe-Maßnahmen wird auf Friedhöfen jedoch nicht umzusetzen sein. Durch menschliche Versäumnisse (Kapitel 4) und nicht vermeidbare bzw. unbehaltbare Dauerbrutstätten wie z.B. Weihwasservertiefungen und Vogelbäder an den Grabsteinen stehen der sehr anpassungsfähigen Art *Ae. albopictus* immer einige Brutstätten als Ausweichmöglichkeit zur Verfügung.

Ob bei einer 100-prozentigen Kupferspraybehandlung aller vorhandenen Grabvasen eiablagebereite Weibchen der Asiatischen Tigermücke solche noch verstreut verfügbaren, unbehandelten „Ausweichbrutstätten“ für längere Zeit suchen oder ob letztendlich die Eiablage der Eier gezwungenermaßen rasch in die häufig vorhanden Kupfervasen erfolgen würde, kann nicht gesagt werden. Wäre ersteres der Fall und die Eiablage rate innerhalb der kupferbehandelten Grabvasen ähnlich gering wie im vorliegenden Laborversuch, wäre alleine aufgrund der Repellentwirkung eine 100% Bekämpfung von *Ae. albopictus* auf Friedhöfen durch diese Methode nicht gewährleistet.

## 6.4 FELDVERSUCH ZUR BEKÄMPFUNG VON *AE. J. JAPONICUS* AUF FRIEDHÖFEN

### 6.4.1 EINLEITUNG

Die im Labor nachgewiesene abtötende Wirkung von präventiver Kupferspraybehandlung auf Larven der Asiatischen Tigermücke (BECKER et al. 2015) kann unter Freilandbedingungen durch mehrere Faktoren beeinträchtigt werden. Neben biotischen und abiotischen Einflüssen ist der Erfolg vor allem von der Umsetzung der Maßnahmen seitens der Friedhofsverwaltung und der Bevölkerung abhängig. Für das Ziel einer ausreichenden Bekämpfung von *Ae. albopictus* ist ein möglichst vollständiges Umsetzen der empfohlenen Maßnahmen eine Grundvoraussetzung. Dabei ist durch die Begleitung oder sogar vollständige Durchführung der Maßnahmen durch kommunale Behörden im Allgemeinen von einer guten Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen auszugehen.

Um den Einfluss der biotischen und abiotischen Faktoren auf die präventive Kupferspraybehandlung unter Freilandbedingungen zu überprüfen, wurden auf einzelnen ausgewählten Friedhöfen in Baden-Württemberg Feldtests durchgeführt. Mit diesen Tests sollte der Bekämpfungserfolg unter möglichst realen Bedingungen an lokalen Populationen der Japanischen Buschmücke (*Aedes japonicus*) überprüft werden.

### 6.4.2 MATERIAL UND METHODEN

Für den Versuch wurden insgesamt sechs Friedhöfe im Rhein-Neckar-Kreis ausgewählt, welche sich in mehreren Kriterien generell ähnlich waren (Tab. 19). So wurde durch Voruntersuchungen sichergestellt, dass alle Friedhöfe eine ausreichende Besiedelung mit der Japanischen Buschmücke (*Aedes j. japonicus*) aufwiesen. Durch Vergleich von Luftbilddaufnahmen und bei der Begehung vor Ort wurde auf einen ausreichenden Bewuchs mit Bäumen und Buschwerk bzw. auf einen ausreichenden Grad der Beschattung des Friedhofsbereiches geachtet. Außerdem sollten die Friedhöfe von den nächsten Waldgebieten gleich entfernt sein. Die Japanische Buschmücke ist eine sehr mobile Stechmückenart, die auch größere Entfernungen zurücklegt und in Waldbereichen in größeren Dichten auftritt. Daher wurde, um eine Zuwanderung zu verringern, auf eine möglichst große Entfernung der ausgewählten Friedhöfe zu den Waldgebieten geachtet.

Da innerhalb eines so kleinen regionalen Bereichs die Friedhöfe innerhalb der ausgewählten Parameter Abweichungen zeigen, wurde darauf geachtet, dass die Friedhöfe, die sich besonders ähnlich waren, nicht beide in die Kontroll- oder Kupfergruppe eingeteilt wurden. Nach den Parametern wurden Paarungen mit größter Ähnlichkeit erstellt. Diese waren die Friedhöfe in Dossenheim und Leimen, Schlierbach und Schönau sowie Neckarsteinach und Meckesheim.

**Tabelle 19: Übersicht der Versuchsfriedhöfe.**

<b>Ort</b>	<b>Größe</b>	<b>Bewuchs</b>	<b>Entfernung Wald</b>
<b>Dossenheim</b>	groß	dicht	400 m
<b>Leimen</b>	groß	dicht	300 m
<b>Schlierbach</b>	klein	sehr dicht	150 m
<b>Schönau</b>	klein	sehr dicht	150 m
<b>Neckarsteinach</b>	mittel	locker	400 m
<b>Meckesheim</b>	mittel	locker	600 m

Friedhof „Dossenheim“ und Friedhof „Leimen“ waren bezüglich der Grabvasenanzahl die beiden größten Friedhöfe. Friedhof „Dossenheim“ war etwas weiter vom angrenzenden Wald entfernt (Leimen ca. 300 m, Dossenheim ca. 400 m). Beide Friedhöfe hatten bei der Vegetation und der Anzahl an Grabvasen viele Gemeinsamkeiten. So wiesen beide teils dichten Bewuchs und viele Schattenstellen auf, andererseits jedoch auch offene Flächen mit viel Sonneneinstrahlung.

Die Friedhöfe „Schlierbach“ und „Schönau“ zählten in der Auswahl zu den kleinsten Friedhöfen. Sie waren die beiden Friedhöfe mit der geringsten Entfernung zum anliegenden Wald (ca. 150 m) und vom Charakter sehr typisch für einen Waldfriedhof. Das bedeutet, dass dichte Vegetation und daraus resultierend viele Schattenstellen den überwiegenden Teil des Friedhofs ausmachten.

Die letzte Paarung waren die Friedhöfe in Neckarsteinach und Meckesheim. „Neckarsteinach“ hatte einen Abstand zum Wald von 400 m, „Meckesheim“ war zu einem zusammenhängenden, größeren Wald fast 600 m entfernt. Jedoch lag in unmittelbarer Nähe ein kleineres Waldstück. Beide Friedhöfe waren von mittlerer Größe und im Vergleich zu den anderen vegetationsärmer, womit sie dem stärksten Einfluss der Sonne von den ausgewählten Friedhöfen ausgesetzt waren.

Um auf den Friedhöfen mit Kupferbehandlung eine annähernd 100-prozentige Kupferbehandlung aller Grabvasen zu erreichen, wäre für den Feldversuch eine unverhältnismäßig lange Vorbereitungszeit und ein hoher Aufwand nötig gewesen, da neben der Friedhofsverwaltung letztendlich alle Friedhofsbesucher hätten ausreichend informiert werden müssen. Vor allem um eine möglichst hohe Beteiligung bei den Friedhofsbesuchern zu erreichen, die meist unregelmäßig und nur wenige Male pro Jahr auf den Friedhof aufsuchen, hätten Aushänge lange vor dem Start des Feldversuches aufgehängt werden müssen. Ebenfalls ist davon auszugehen, dass nicht auf allen ausgewählten Friedhöfen die Beteiligung der Friedhofsbesucher durch die Informationsmaßnahmen bzw. die Umsetzung der Kontrollmaßnahmen durch die Friedhofsverwaltung gleich ausfallen würde.

Daher wurden auf den Friedhöfen mit Kupferanwendung die Grabvasen gezählt und im Nahbereich jeweils eine kupferbehandelte Grabvase platziert und mit Leitungswasser der entsprechenden Friedhöfe befüllt. Dadurch ergab sich auf den Friedhöfen mit Kupferbehandlung ein Verhältnis von 50:50 von behandelten zu unbehandelten Grabvasen. Die kupferbehandelten Grabvasen (Floristik 24.de Eigenmarke 31cm hoch, Kunststoff) wurden vor der Ausbringung wie bei BECKER et al. (2015) zehn Sekunden mit dem Kupferspray

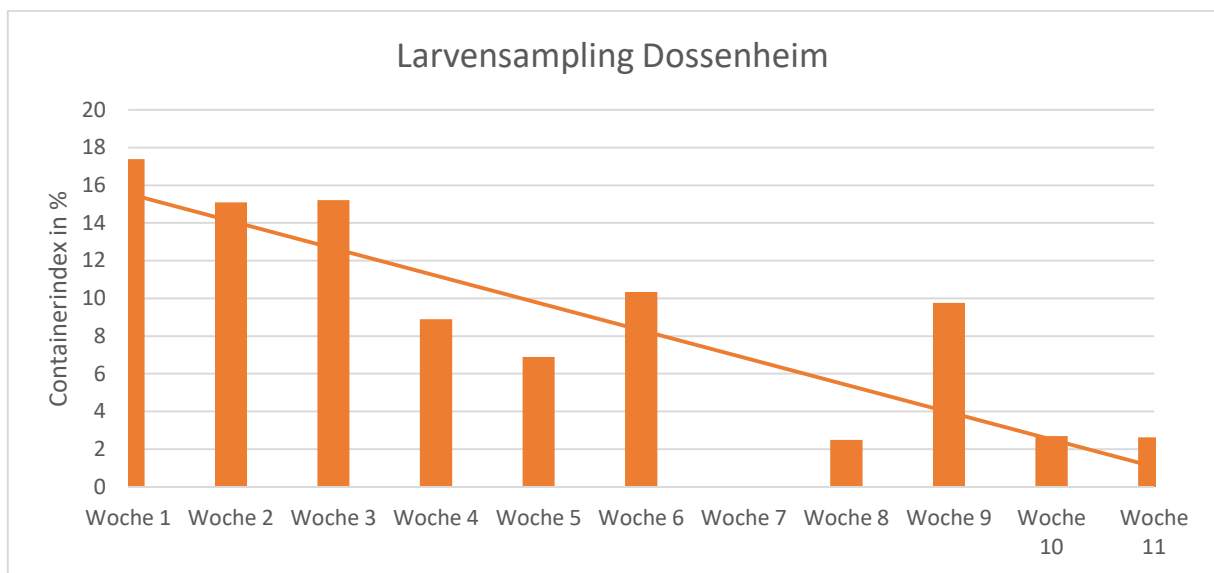
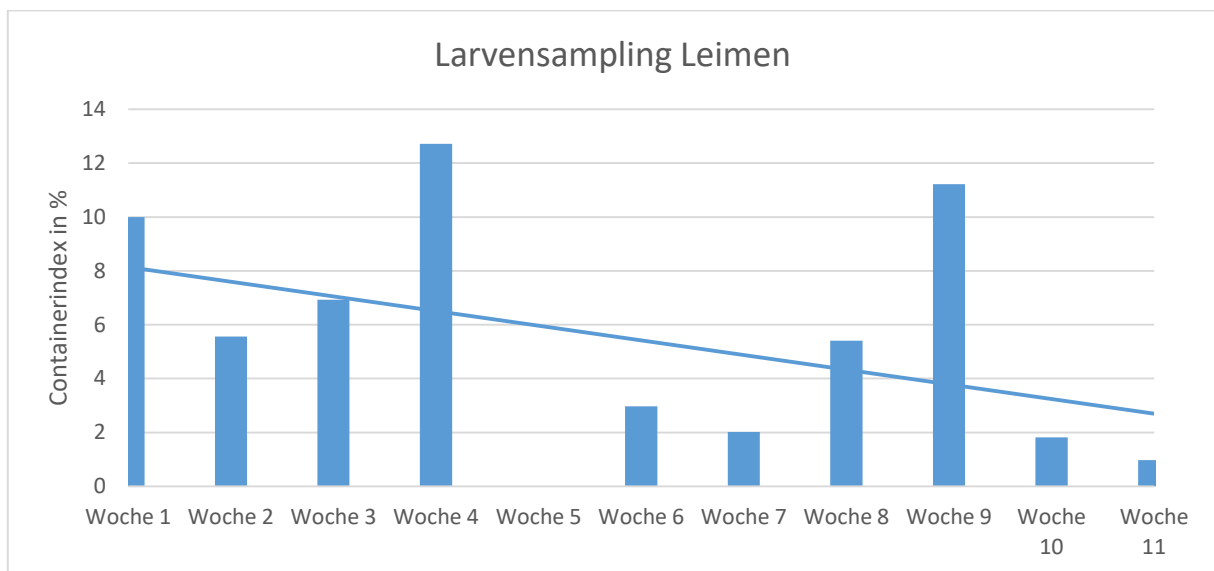
(Kupfer-Lack-Spray Fritz International Ltd) eingesprüht. Damit wurde eine Kupfermenge von ca. zwei Gramm pro Grabvase erreicht. Die eingesprühten Vasen trockneten über Nacht und wurden vor ihrem Einsatz mit Leitungswasser ausgespült.

Um die Populationsentwicklung der Japanischen Buschmücke beurteilen zu können, wurden auf jedem Friedhof fünf Eiablagefallen innerhalb stark bewachsener Bereiche verteilt. Zusätzlich wurde an jedem Friedhof ein Regenschirm ausgebracht, um lokale Regenereignisse zu berücksichtigen

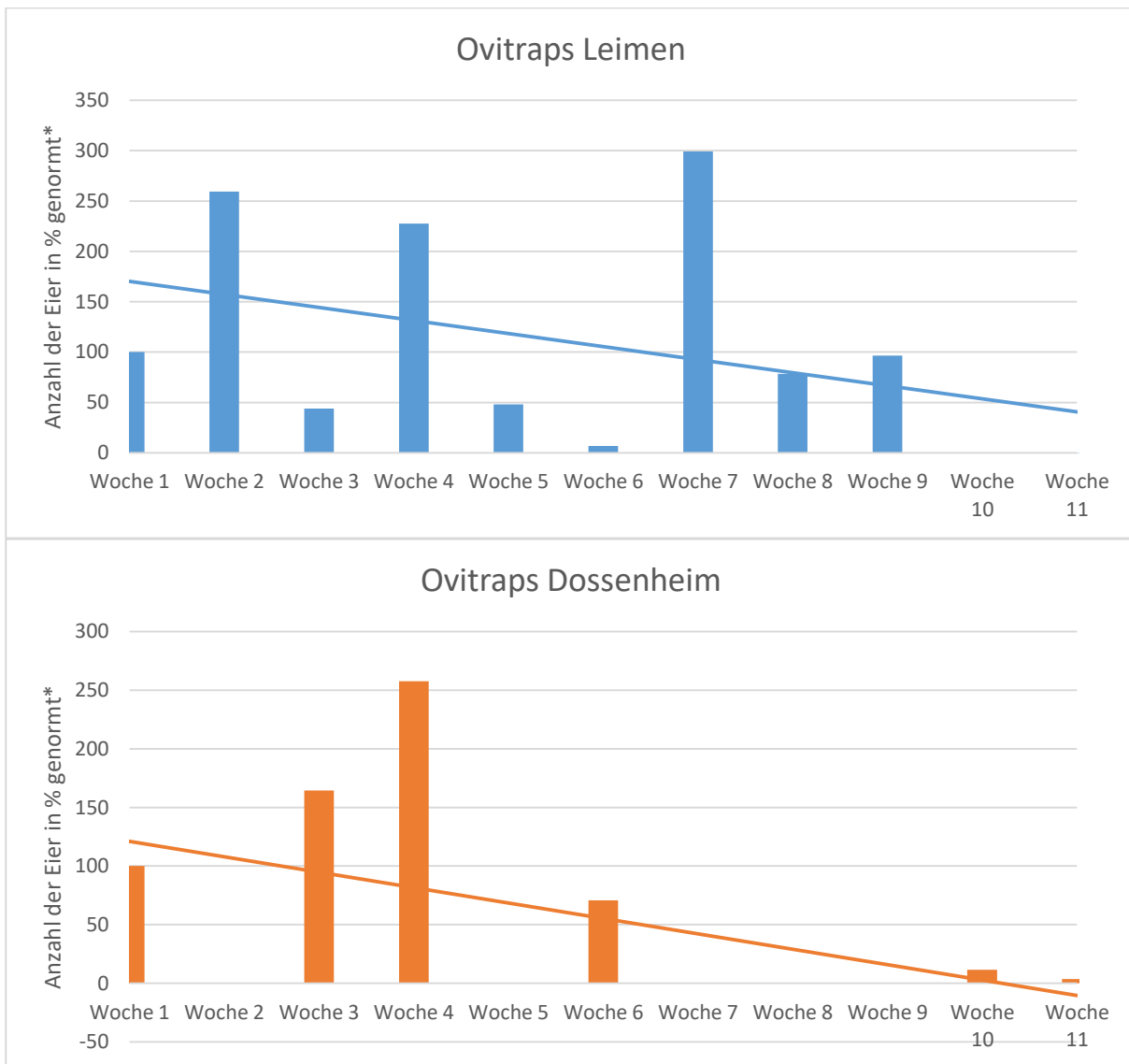
Im Zeitraum vom 24.7.17 bis 10.10.17 erfolgte einmal wöchentlich eine Kontrolle aller Grabvasen der Friedhöfe auf Larvenbesatz sowie ein Austausch und eine Untersuchung der Stäbchen der Eiablagefallen. Sollten sich in einer Kupfervase Larven befinden, wurden diese entfernt und die Vase durch eine neue Kupfervase ersetzt.

#### **6.4.3 ERGEBNISSE**

Die zwei größten Friedhöfe (Abbildung 24 und 25) des Freilandversuches sind sich sehr ähnlich bezüglich des Larvenindex, obwohl der Friedhof „Leimen“ über 86 zusätzliche Kupfervasen verfügte. Das zeigt die generell niedrige Populationsdichte von *Ae. j. japonicus* auf dem „Dossenheimer“ Friedhof, was sich auch in der geringen Eiablage rate auf den Ovitrap widerspiegelte. Beide Friedhöfe haben bei den Ovitrap und dem Containerindex einen Rückgang zu verzeichnen, welcher auf dem Kontrollfriedhof „Dossenheim“, ohne Kupferbehandlung, etwas stärker ausfällt.

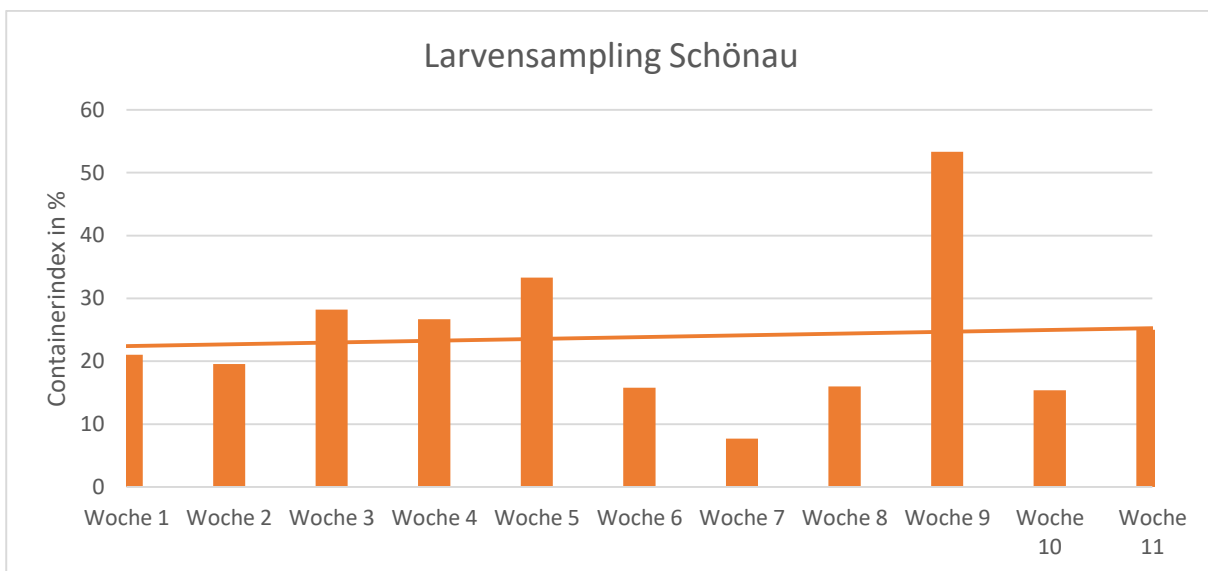
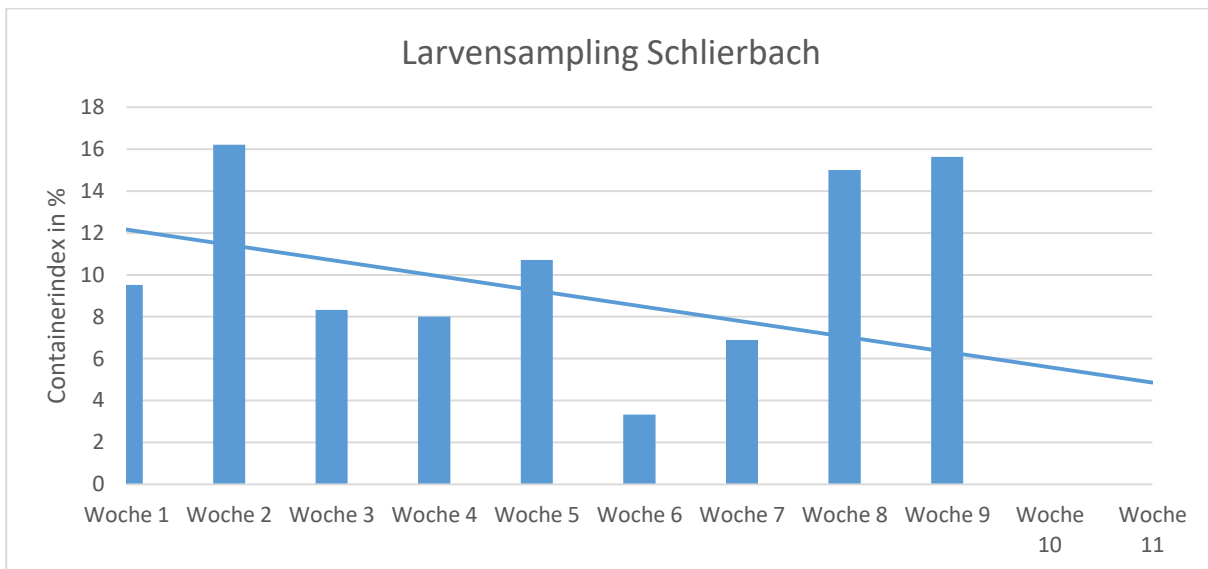


**Abbildung 24: Ergebnis des Larvensamplings auf den Friedhöfen „Leimen“ (mit 50 % Kupfervasen) und „Dossenheim“ (Standard ohne Kupfervasen) im Zeitraum 24.7.–10.10.2017.**



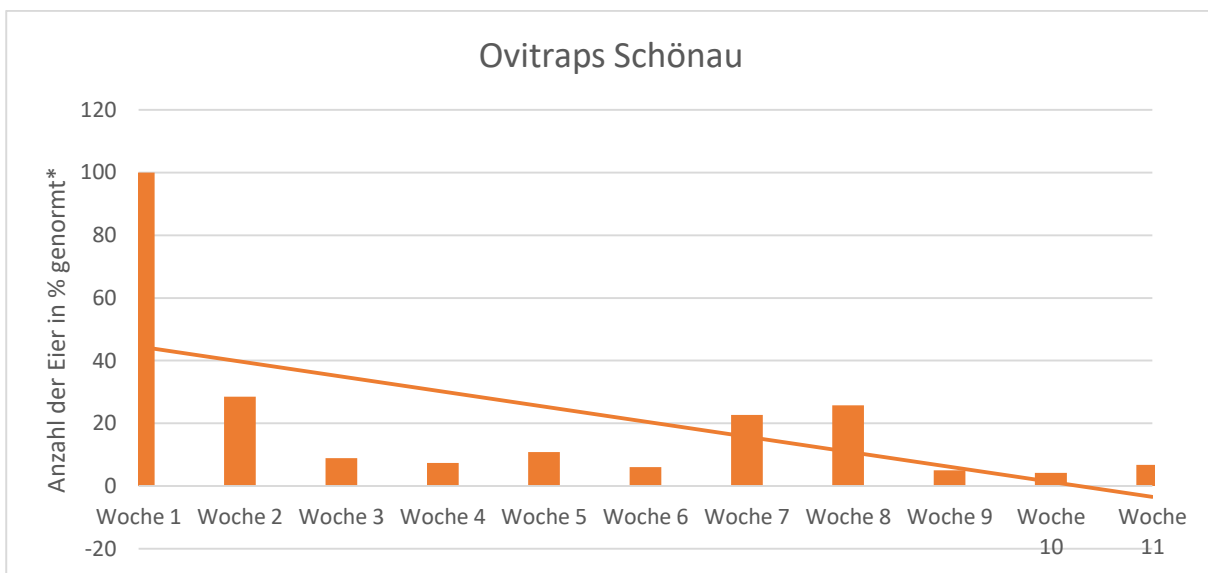
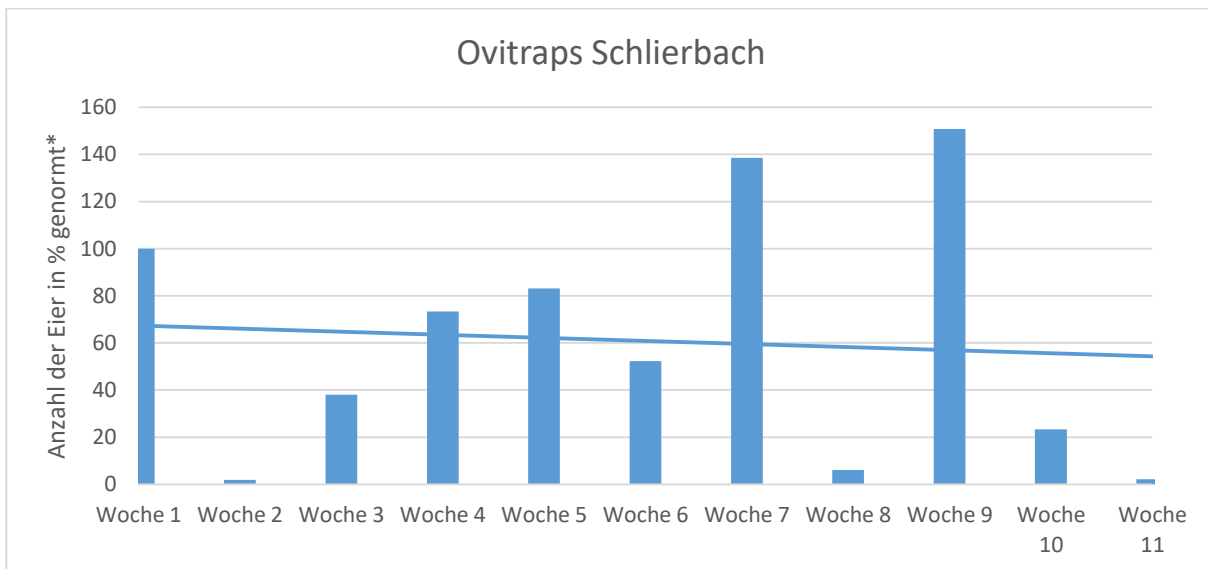
**Abbildung 15: Prozentualer Anteil der im Verhältnis zur ersten Kontrollwoche in den Eiablagefällen abgelegten Eier auf den Friedhöfen „Leimen“ (mit 50 % Kupfervasen) und „Dossenheim“ (Standard ohne Kupfervasen) im Zeitraum 24.7.–10.10.2017.**

Der Friedhof „Schönau“ (Abbildung 26 und 27) zeigt einen Anstieg des Containerindex in der Regressionsgeraden. Im Vergleich dazu sinkt die Eiablage innerhalb der Ovitraps schneller als auf dem Friedhof „Schlierbach“. Auffällig sind die zwei starken Anstiege der Eiablagen in der siebten und neunten Woche des Experiments.



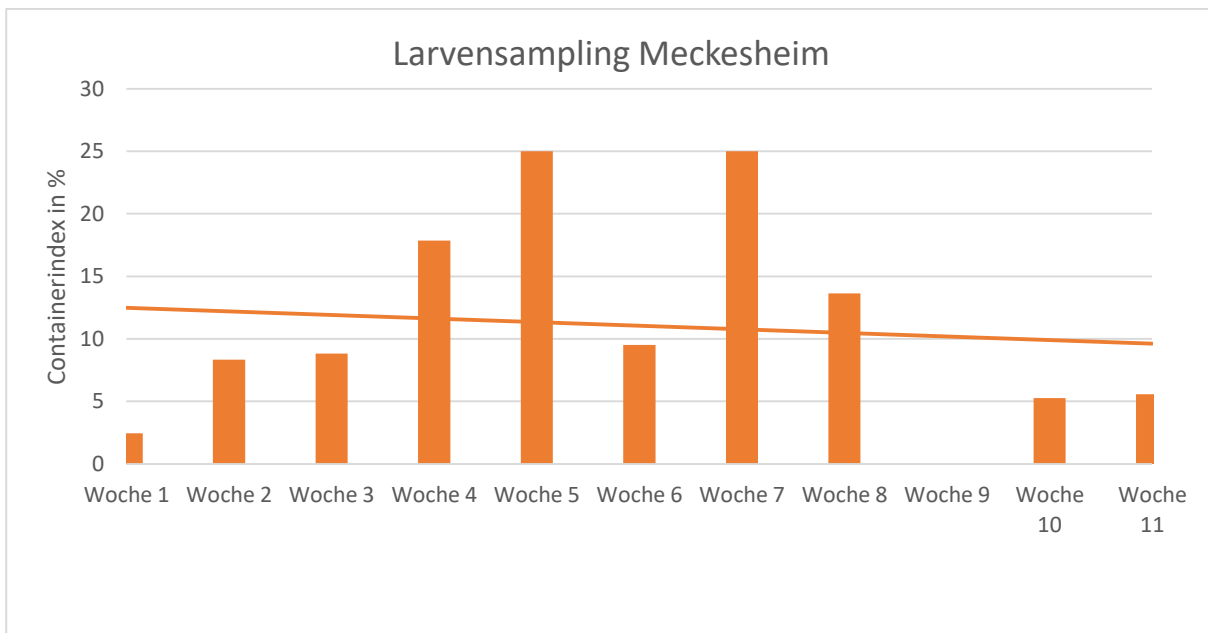
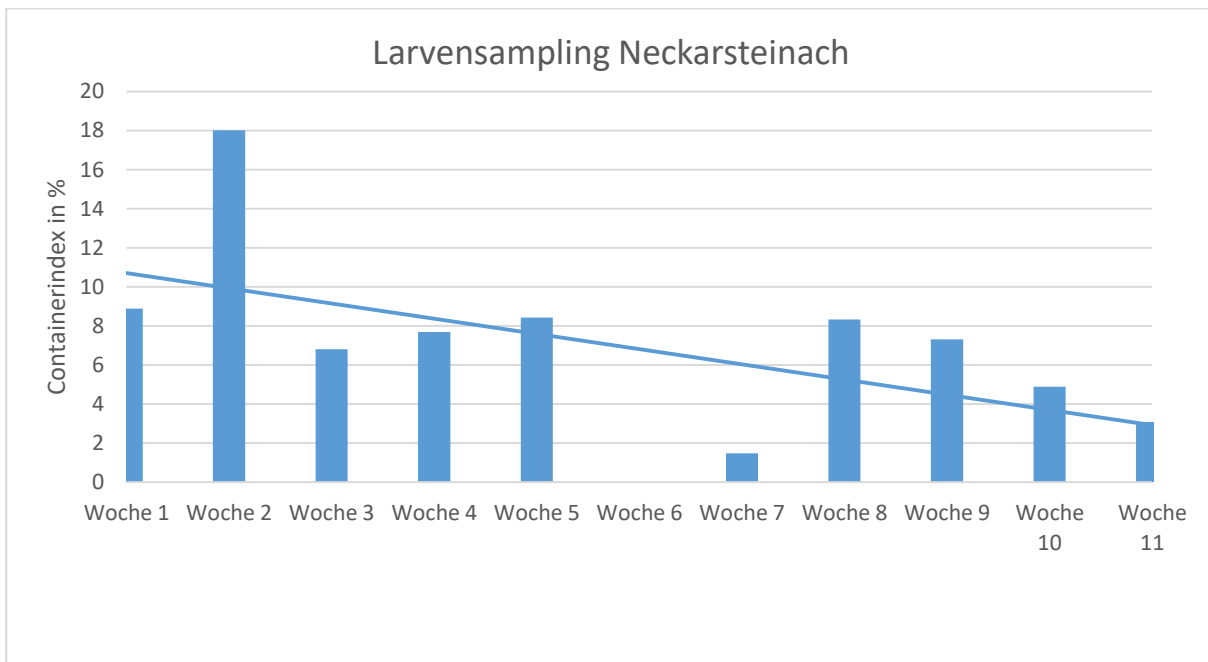
**Abbildung 26: Ergebnis des Larvensamplings auf den Friedhöfen „Schlierbach“ (mit 50 % Kupfervasen) und „Schönau“ (Standard ohne Kupfervasen) im Zeitraum 24.7.–10.10.2017.**



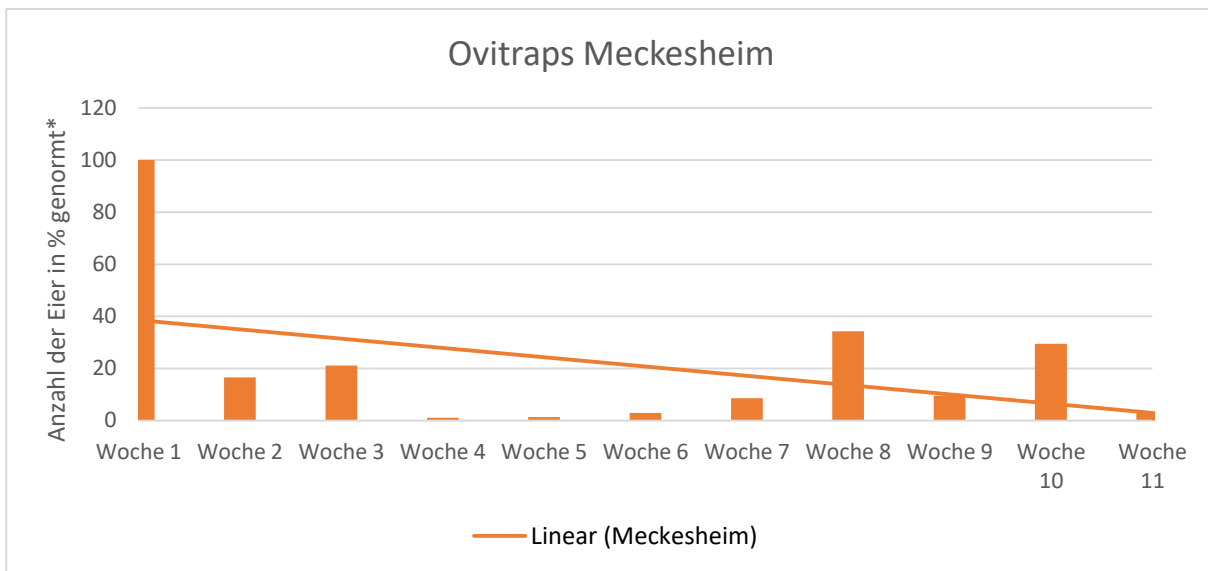
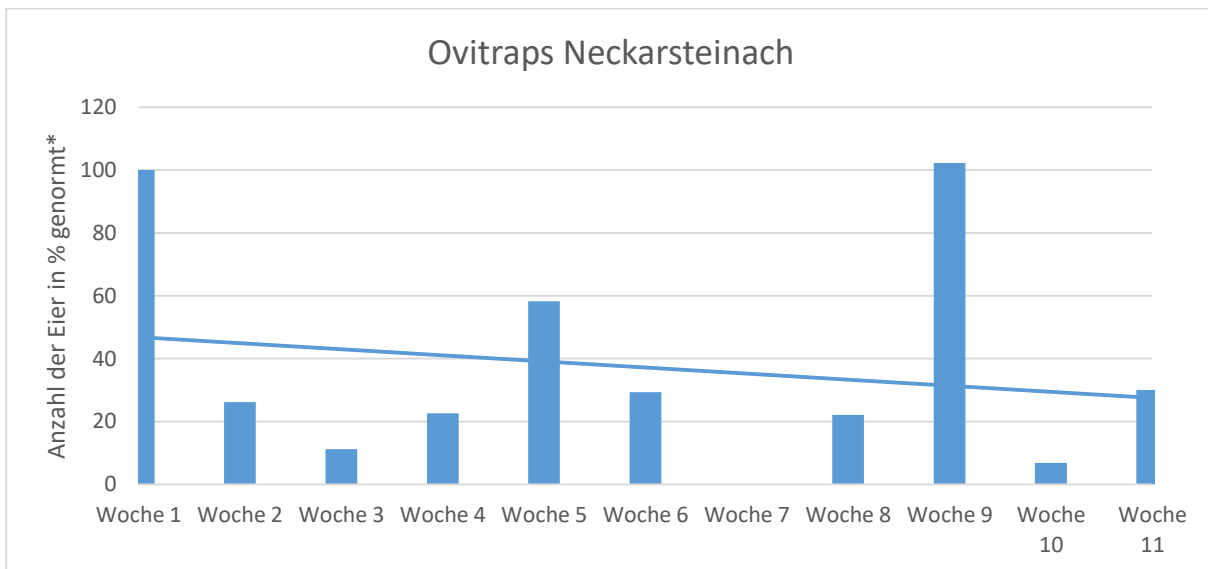


**Abbildung 27: Prozentualer Anteil der im Verhältnis zur ersten Kontrollwoche in den Eiablagefallen abgelegten Eier auf den Friedhöfen „Schlierbach“ (mit 50 % Kupfervasen) und „Schönau“ (Standard ohne Kupfervasen) im Zeitraum 24.7.–10.10.2017.**

Die Friedhöfe „Neckarsteinach“ und „Meckesheim“ (Abbildung 28 und 29) zeigen beide einen generellen Rückgang der Eiablage und des Containerindex. Die Regressionsgerade von Neckarsteinach ist beim Containerindex steiler, bei den Ovitrap jedoch flacher als die Regressionsgerade der Kontrolle des Friedhofes „Meckesheim“.



**Abbildung 28: Ergebnis des Larvensamplings auf den Friedhöfen „Neckarsteinach“ (mit 50 % Kupfervasen) und „Meckesheim“ (Standard ohne Kupfervasen) im Zeitraum 24.7.–10.10.2017.**



**Abbildung 29: Prozentualer Anteil der im Verhältnis zur ersten Kontrollwoche in den Eiablagefällen abgelegten Eier auf den Friedhöfen „Neckarsteinach“ (mit 50 % Kupfervasen) und „Meckesheim“ (Standard ohne Kupfervasen) im Zeitraum 24.7.–10.10.2017.**

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein genereller Rückgang des Containerindex und der Anzahl der in den Ovitrap abgelegten Eier sowohl auf den Friedhöfen mit kupferbehandelten Grabvasen als auf den Kontrollfriedhöfen des Containerindex zu verzeichnen war. Diese werden teilweise und abhängig vom Friedhof durch kurzzeitige Anstiege unterbrochen, wobei der langfristige Trend trotzdem abfallende Tendenzen aufweist. Einzige Ausnahme stellt hier der leicht ansteigende Containerindex auf dem Kontrollfriedhof ohne Kupferbehandlung „Schönau“ dar.

Betrachtet man über die gesamte Versuchsdauer nur die Friedhöfe mit Kupferbehandlung, so ist ein deutlicher Unterschied des Containerindex der kupferbehandelten und unbehandelten Grabvasen zu erkennen (Tab. 20). Die zuvor schon auf den Gräbern vorhandenen Grabvasen, welche als unbehandelte Kontrollgruppe verwendet wurden, wiesen je nach untersuchtem Friedhof einen durchschnittlichen Containerindex während des gesamten Versuches von 12,0 % bis 24,2 % auf. Hingegen konnten nur in 0,2 % bis 0,7 % der kupferbehandelten Grabvasen Dritt- oder Viertlarven der Japanischen Buschmücke gefunden werden. Dabei wurden die ersten größeren Larvenstadien in kupferbehandelten Grabvasen schon in der vierten Kontrollwo-

che auf dem Friedhof in Leimen registriert. Auf den anderen Friedhöfen kam es in den kupferbehandelten Grabvasen frühestens nach acht Wochen zur erfolgreichen Entwicklung älterer Larvenstadien von *Ae. japonicus*.

**Tabelle 20: Gesamtanzahl und der für *Ae. japonicus* positive Anteil der während der gesamten Versuchsdauer kontrollierten kupferbehandelten und schon zuvor vorhandenen, unbehandelten Grabvasen auf den Friedhöfen mit Kupferbehandlung.**

Friedhof	Kontrollvasen		Kupfervasen	
	Gesamt	positiv	Gesamt	positiv
Leimen	559	12,0%	819	0,2%
Schlierbach	144	24,2%	286	0,7%
Neckarsteinach	497	13,7%	572	0,3%

Insgesamt gab es während des gesamten Versuches nur fünf Kupfervasen, die Larven im Drittlarvenstadium oder höher aufwiesen und somit in der Bekämpfung als unzureichend anzusehen waren. Eine auffällige Gemeinsamkeit war die höhere Belastung dieser trotz Kupferbehandlung positiven Grabvasen mit Detritus, was deutlich an dem typischen Geruch und der bräunlichen Färbung des Wassers zu erkennen war.

Auf den Kontrollfriedhöfen ohne Kupferbehandlung wiesen die schon auf den Gräbern vorhandenen Grabvasen je nach untersuchtem Friedhof einen durchschnittlichen Containerindex während des gesamten Versuches von 9,5 % bis 22,6 % auf.

**Tabelle 21: Gesamtanzahl und der für *Ae. japonicus* positive Anteil der während der gesamten Versuchsdauer kontrollierten schon zuvor vorhandenen, unbehandelten Grabvasen auf den Friedhöfen ohne Kupferbehandlung.**

Friedhof	Kontrollvasen	
	Gesamt	positiv
Dossenheim	453	9,5 %
Schönau	297	22,6%
Meckesheim	263	10,3%

Insgesamt fiel der durchschnittliche Containerindex des jeweiligen Kontrollfriedhofes zu dem entsprechenden Friedhof mit Kupferbehandlung (Neckarsteinach-Meckesheim, Schlierbach-Schönau, Leimen-Dossenheim) etwas niedriger aus.

#### 6.4.4 DISKUSSION

Das eigentliche Ziel des durchgeführten Freilandversuches, einen Einfluss der Kupfervasen auf die Populationsentwicklung von *Ae. japonicus* nachzuweisen, konnte nicht erbracht werden. Dies ist jedoch hauptsächlich den Umständen des Versuchsaufbaus bzw. der Versuchsbedingungen und nicht einer fehlenden Wirkung der Kupferbehandlung geschuldet.

So kam es, obwohl bei den ausgewählten Friedhöfen auf eine waldferne Lage geachtet wurde, vermutlich zu vermehrten Einwanderungen der sehr mobilen Stechmückenart aus den umliegenden Gebieten. Eine weitere Ursache für die geringe Abnahme der Populationsgröße auf den kupferbehandelten Friedhöfen ist der späte Start des Freilandversuches. Aufgrund dessen konnte sich die Population zunächst bis zu ihrem Maximum aufbauen. Durch den generell, auch auf den Kontrollfriedhöfen einsetzenden Populationsrückgang ab Ende Juli (DAMIENS et al. 2014) konnten durch die begonnene Bekämpfung mit Kupfergrabvasen keine registrierbaren Unterschiede mehr erzielt werden.

Trotzdem konnten durch den Freilandversuch mehrere wichtige Erkenntnisse gewonnen werden. So zeigte zunächst die Kupferbehandlung den erwartenden Effekt (BECKER et al. 2015), so dass während der gesamten Versuchsdauer von elf Wochen nur in fünf der insgesamt 175 kupferspraybehandelten Grabvasen größere Larven der Japanischen Buschmücke gefunden werden konnten. In Hinblick auf die in Versuch 6.3 aufgezeigte Repellentwirkung der Kupferbehandlung auf eiablagebereite Stechmückenweibchen muss dieses Ergebnis jedoch etwas relativiert werden. So ist davon auszugehen, dass der Anteil der in den Kupfervasen abgelegten Eier eher gering ausfiel, da die Weibchen auf die benachbarten unbehandelten Grabvasen und andere temporäre Brutstätten auswichen. Das lässt sich auch daran erkennen, dass am Anfang des Versuches der Containerindex in den Kontrollvasen und die Eiablagerrate in den Eiablagefallen trotz der zusätzlich gestellten Kupfervasen, die zusätzliche Konkurrenzbrutstätten darstellen, nicht abnahm. So dürfte neben der letalen Wirkung der Kupferspraybehandlung auch die abstoßende Wirkung ein Grund für die insgesamt sehr wenigen Larvenfunde in den kupferbehandelten Grabvasen gewesen sein. Dies verdeutlicht auch die im Laborversuch verringerte Mortalität in den älteren kupferbehandelten Grabvasen und innerhalb der Grabvasen mit Detritus (Versuch 6.2). So ist letztendlich davon auszugehen, dass bei einer vollständigen Kupferspraybehandlung aller Grabvasen und einer gründlichen Entfernung aller übrigen temporären Kleinstbrutstätten, aufgrund mangelnder Alternativen die Anzahl der in den Kupfervasen abgelegten Eier und letztendlich auch die Anzahl der überlebenden Larven ansteigen würde.

Eine sehr wichtige Erkenntnis des Freilandversuches ist der negative Einfluss des sich in den Grabvasen ansammelnden Detritus bzw. der zunehmenden mikrobiologischen Aktivität in den Grabvasen auf den letalen Effekt der Kupferspraybehandlung. So konnten die ersten überlebenden Viertlarven nach nur vier Wochen registriert werden. Aufgrund dieser Beobachtung wurden im Labor zwei Versuche zum Einfluss von Detritus auf die letale Wirkung der Kupferspraybehandlung durchgeführt (siehe Versuch 6.1).

#### 6.5 GESAMTBEURTEILUNG

Die Asiatische Tigermücke ist eine in Deutschland neu auftretende Stechmückenart, deren momentanes Vorkommen aus lediglich lokal begrenzten Populationen besteht. Daher sollte eine Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg zum momentanen Zeitpunkt das Ziel haben, eine völlige Auslöschung dieser noch kleinen Populationen zu erreichen. Zu diesem Zwecke ist eine sehr intensive und möglichst kurzzeitige Bekämpfung vonnöten, um eine rasche Reduktion der Populationsdichte zu erreichen und eine weitere Ausbreitung der Art in umliegende Bereiche zu verhindern. Daher wird aufgrund der Erkenntnisse

aus diesem Forschungsprojekt als Basisbekämpfung eine regelmäßige, intensive *B.t.i.*-Applikation durch externe Fachkräfte im gesamten Befallsgebiet zur Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg vorgeschlagen (Kapitel 11.5). Die Basisbekämpfung soll durch andere komplementäre Bekämpfungsmethoden, wie der Freilassung steriler Männchen (Kapitel 8), ergänzt werden. Aufgrund der vorgeschlagenen intensiven *B.t.i.*-Applikation wird eine prophylaktische Kupferspraybehandlung von Grabvasen auf Friedhöfen nicht in Betracht gezogen.

So muss mit dem Ziel einer 100-prozentigen Bekämpfung auf Friedhöfen schon alleine aufgrund der neben den Grabvasen zusätzlich in großer Anzahl vorkommenden künstlichen Brutstätten wie z.B. Gießkannen, Eimer, Töpfe, Untersetzer, und Schalen, eine regelmäßige *B.t.i.*-Applikation auf dem gesamten Friedhofsgebäude durch externe Fachkräfte erfolgen. Von einer ausreichenden Beseitigung oder Vermeidung dieser Brutstätten durch angeleitete Selbsthilfemaßnahmen ist auch wie auf privaten Grundstücken (Kapitel 4) nicht auszugehen. Weiterhin befindet sich auf Friedhöfen ein nicht unerheblicher Anteil an Brutstätten, welcher nicht entfernt oder wie Grabvasen mit dem Kupferspray behandelt werden kann. Hierbei handelt es sich z.B. um festmontierte Weihwasserbecken an Gräbern, Vertiefungen und Vogelbäder in Grabsteinen, kleine Gullys auf den Zwischenwegen, Baumhöhlen, Wasseransammlungen in den Regenrinnen der Friedhofsgebäude und Brunnen. Ein Aufwachsen von Larven der Asiatischen Tigermücke in diesen „unvermeidbaren“ Brutstätten muss für einen 100-prozentigen Bekämpfungserfolg durch regelmäßige *B.t.i.*-Behandlung verhindert werden. Im Zuge der Begehung und Bekämpfung der „unvermeidbaren“ und nicht beseitigten übrigen Brutstätten ist eine *B.t.i.*-Applikation in den vorhandenen Grabvasen ohne größeren Arbeits- und Zeitaufwand zu realisieren.

Da die Zeitabstände zwischen den einzelnen *B.t.i.*-Applikationen so gewählt werden sollten, dass auch bei hochsommerlichen Temperaturen ein erfolgreiches Heranwachsen von Larven der Tigermücke bis zum Puppenstadium zu 100 % verhindert wird, ist eine zusätzliche Behandlung der Grabvasen mit Kupferspray nicht nötig. Eine zusätzliche Kupferbehandlung der Grabvasen würde nur dann eine Verbesserung des Bekämpfungserfolges bedeuten, wenn es zu längeren, unerwarteten Ausfällen bei der *B.t.i.*-Applikation kommt oder die Begehung der Friedhöfe nachlässig erfolgt, so dass einzelne Grabvasen übersehen werden. Beides sollte jedoch für einen bestmöglichen Bekämpfungserfolg dringend vermieden werden und würde in beiden Fällen auch die übrigen und unvermeidbaren Brutstätten betreffen.

Ebenfalls müssten bei einer zusätzlichen Anwendung der prophylaktischen Kupferspraybehandlung für eine dauerhafte 100-prozentige Bekämpfung von *Ae. albopictus* die Kupfervasen mindestens alle vier Wochen ausgetauscht werden. So betrug selbst für die kupfersensitive Stechmückenart *Ae. japonicus* unter Feldbedingungen die effektive Wirkungsdauer der Kupfervasen nur knapp vier Wochen (Versuch 6.4). Ansonsten wäre trotz Kupferspraybehandlung, abhängig von der organischen und mikrobiologischen Belastung der Grabvasen, mit einer durchschnittlichen Überlebensrate von bis zu 20 % zu rechnen (Versuch 6.2). Ein regelmäßiger 3-4 wöchiger Austausch heißt Einsammeln, Reinigen, Trocknen und erneutes Einsprühen aller kupferbehandelten Grabvasen über die gesamte Reproduktionsperiode, stellt jedoch einen erheblichen Arbeitsaufwand dar.

Auch wenn die Kupferspraybehandlung von Grabvasen nicht für gezielte, direkte Bekämpfung von schon bestehenden Population der Asiatischen Tigermücke in Betracht gezogen wird, könnte diese Methode eventuell zur prophylaktischen Behandlung von Grabvasen auf Friedhöfen im Umfeld von Einschleppungsorten der Asiatischen Tigermücke verwendet werden, um die Wahrscheinlichkeit eines Aufbaus von neuen Gründerpopulationen zu verhindern. Ob trotz des nachgewiesenen deutlichen negativen Einflusses von Detritus

auf die Mortalitätsrate der Larven (Versuch 6.2) und der Repellentwirkung der Kupferspraybehandlung auf eiablagebereite Weibchen (Versuch 6.3) die prophylaktische Kupferspraybehandlung ausreichend und praktikabel ist, müsste jedoch zuvor unter Feldbedingungen überprüft werden.

# 7 Effektivität von Fallensystemen für Monitoring- und Bekämpfungsmaßnahmen

## 7.1 EINLEITUNG

Bei Bekämpfung von Stechmückenpopulationen sollte zur Beurteilung des Bekämpfungserfolges ein Monitoring der Populationsdichte erfolgen. Dabei ist bei neuentdeckten Populationen mit anfänglich meist hoher Individuendichte die Wahl des Fallensystems von eher untergeordneter Rolle, da es auch bei Fallensystemen mit nicht optimalen Fangraten möglich ist, langfristige Veränderungen in der Populationsdichte und damit die Effektivität der Bekämpfung aufzuzeigen. Bei ausreichendem Bekämpfungserfolg und stetig abnehmender Populationsdichte spielt jedoch ab einem bestimmten Punkt die Fangrate des verwendeten Fallensystems eine entscheidende Rolle. Ist die Fang- bzw. Nachweisrate der Monitoringfalle zu gering, können insgesamt minimale Populationsdichten oder verbliebene Inselvorkommen der Asiatischen Tigermücke innerhalb des Bekämpfungsgebiets nicht erfasst werden. Werden dadurch die Situation unterschätzt und die Bekämpfungsmaßnahmen reduziert oder sogar eingestellt, kann es bei Stechmücken, welche als r-Strategen ein hohes Reproduktionspotenzial aufweisen (FAVIER et al. 2006), wieder zu einem zügigen Anwachsen der Population kommen.

Die meisten Fallensysteme werden eingesetzt, um das Vorkommen, die Ausdehnung und die Dichte von Stechmückenpopulationen zu erfassen. Ein zusätzlicher Nutzen kann die Reduktion der untersuchten Stechmückenpopulation durch Abfangen bzw. Absammeln von verschiedenen Stechmücken-Lebensstadien sein. Während bei einem Monitoring auch Fallensysteme mit mittlerer Effektivität zum Einsatz kommen können, um Populationen auszuspiüren oder langfristige Veränderungen in der Populationsdichte festzustellen, müssen gezielt zur Reduktion eingesetzte Fallensysteme möglichst hohe Fangraten aufweisen. So wäre bei Letalfallen ein 100-prozentiges Abfangen aller Stechmückenweibchen in einem definierten Umkreis als optimal anzusehen.

Während des Projektes wurden in beiden Jahren mehrere Versuche in unterschiedlichen Ansätzen durchgeführt, um die Effektivität verschiedener Fallensysteme in Hinblick auf verschiedene Fragestellungen zu vergleichen.

## 7.2 FALLENTYPEN UND METHODEN

### 7.2.1 GRAVID *Aedes* TRAP (BG-GAT)

Bei der Verwendung der passiven GAT-Fallen (Abbildung 30) sollen weibliche Tiere, die nach ihrer Blutmahlzeit auf der Suche nach einem Eiablageplatz sind, eingefangen werden. Dabei spielen sowohl olfaktorische als auch optische Reize beim Einsatz dieser Falle eine entscheidende Rolle. Die Falle selbst besteht aus drei Hartplastikkomponenten und besitzt in aufgebautem Zustand eine Größe von 27 cm x 38 cm. Das unterste, größte Segment besteht aus einem schwarzgefärbten Eimer der mit Wasser oder Heuaufguss befüllt wird. Darüber befindet sich ein durchsichtiger Deckel, in den eine schwarze Röhre eingesetzt wird. Durch diesen können die Stechmücken in die Falle fliegen, um im Inneren mit einem Alpha-Cypermethrin behandelten Netz in Kontakt zu gelangen. Dieses Netz wird durch ein zweites schwarzes Netz fixiert, welches das durchsichtige Plastiksegment zum schwarzen Eimer und dem darin enthaltenen Wasser abschließt. Zusätz-



lich wird ein weiteres mit Alpha-Cypermethrin behandeltes Netz als Reuse im Inneren um den schwarzen Einstiegstunnel gespannt, um zu verhindern, dass eingeflogene Tiere aus der Falle entkommen können. Aufgrund dieser Fangmethode werden die weiblichen Tiere nicht nur an einer erfolgreichen Eiablage gehindert, sondern durch das Insektizid abgetötet und so aus der bestehenden Population entfernt (JOHNSON et al. 2016).

Da die Konstruktion der Falle einfach zusammengebaut werden kann, können in regelmäßigen Abständen die am Netz verstorbenen Tiere aus der Falle abgesammelt und morphologisch bestimmt werden.

### 7.2.2 BG-SENTINEL FALLE (BG-S)

Bei der BG-Sentinel-Falle werden stechwillige weibliche Tiere, welche sich auf der Suche nach einer Blutmahlzeit befinden, aktiv angelockt (Abbildung 31). Als Lockstoff dient dabei ein Duftstoff (BG Lure), bestehend aus Ammoniak, Capronsäure und Milchsäure, der menschliche Hautausdünstungen imitiert (FARAJOLLAHI et al. 2009). Zusätzlich kann durch den Einsatz eines CO<sub>2</sub>-Emitters die Attraktivität der Falle gesteigert werden. Stechwillige weibliche Tiere werden neben dem Lockstoff auch aufgrund des optischen Reizes zur 36 cm x 40 cm großen Fallen gelockt. Auf einem schwarzen Körper, welcher innen mit einem strombetriebenen Ventilator ausgestattet ist, sitzt ein weißer Deckel, dessen Poren für den nötigen Luftaustausch sorgen. Mittig im Deckel befindet sich eine schwarze, tunnelförmige Öffnung mit Verschlussklappe, durch die der Ventilator Luft in das Innere des Fallenkörpers zieht. Werden Stechmücken von den olfaktorischen und optischen Reizen zur Fallenöffnung gelockt, werden diese eingesogen und können aufgrund dieser Sog-Kraft nicht wieder aus der Falle entkommen. Sollte die Stromversorgung unterbrochen werden, schließt sich der Deckel des Verschlusses aufgrund eines Gegengewichtes und hält die bereits gefangenen Individuen im Inneren des Netzes gefangen.



Abbildung 30: Gravid Aedes Trap.

Die Netze der Falle können leicht und ohne Verlust des Fanges in einem regelmäßigen Rhythmus ausgetauscht, die Stechmücken eingesammelt und beispielsweise für virologische und morphologische Untersuchungen weiterverwendet werden.



**Abbildung 31: BG-Sentinel Falle. Neues Modell mit dem schwarzen Fallenkörper links. Altes Modell rechts.**

### 7.2.3 STANDARD-EIABLAGEFALLE

Standard-Eiablagefallen bieten graviden Stechmücken-Weibchen die Möglichkeit zur Oviposition ohne diese abzutöten (Abbildung 32). Als Standard-Eiablagefallen wurden schwarze Plastikbecher mit einer Höhe von



**Abbildung 32: Standard-Eiablagefalle**

11,5 cm (HORNBY et al. 1994) und einem Volumen von ungefähr 500 ccm verwendet (GOTTFRIED et al. 2002). Die Becher selbst können mit Wasser oder ähnlichen attraktiven Flüssigkeiten wie Heuaufgüssen befüllt und aufgestellt oder aufgehängt werden. Die Fallen wurden innerhalb geschlossener Busch- und Baumbestände oder, falls nicht vorhanden, in beschatteten Bereichen platziert (GUBLER 1971).

Zusätzlich ausgestattet werden diese mit einem Holzstäbchen wie Hartfaserplatten (TOMA et al. 2003), welche als attraktive Oberfläche für die Eiablage dienen. Die Hölzer können per Draht oder mit Büroklammern fixiert werden, um zu verhindern, dass diese von nahrungssuchenden Vögeln aus den Bechern herausgezogen werden.

Die Holzstäbchen werden in einem regelmäßigen Rhythmus gewechselt und unter Verwendung eines Stereomikroskops auf Eier von *Aedes*-Arten untersucht. Ebenfalls wird bei den Kontrollen die Flüssigkeit aus den Bechern

entnommen und auf geschlüpfte Stechmückenlarven untersucht. Um ein Ausfliegen von Imagines zu verhindern, wurde bei einem Kontrollrhythmus von mehr als sieben Tagen zusätzlich das biologische Larvizid *B.t.i.* dem Fallenwasser beigelegt.

#### **7.2.4 ANFLUGKONTROLLEN**

Durch das tagaktive und aggressive Stechverhalten der Asiatischen Tigermücke können potenzielle Bereiche sehr leicht durch Anflugkontrollen auf blutsuchende Weibchen der Art überprüft werden. Anflugkontrollen werden nicht an sehr windigen Tagen und nur bei Temperaturen über 20 °C durchgeführt. Die sich exponierende Person trägt am Tage der Kontrolle etwas dunklere Kleidung, weiterhin wurde auf Parfüm oder stark riechende Kosmetika verzichtet.

Die Asiatische Tigermücke hält sich bevorzugt in schattigen Buschbereichen oder in hoch aufgewachsenem Pflanzenbewuchs auf. Innerhalb von Gebieten mit vermuteten Vorkommen der Asiatischen Tigermücke wurde daher zunächst Ausschau nach solch buschig bewachsenen Bereichen gehalten. Die Anflugkontrolle wurde jedoch nicht in, sondern am Rande der Gebüsche, in etwa 1-2 Meter Entfernung durchgeführt. Die Weibchen der Asiatischen Stechmücke werden dabei durch den Körpergeruch, die Atemluft und die Körperwärme der kontrollierenden Person aus den Büschen heraus angelockt.

An geeigneten Stellen wurde für drei Minuten abgewartet, um den Stechmückenweibchen Zeit für einen Anflug auch aus tieferen Gebüschbereichen zu ermöglichen. Bei größeren Pflanzen- und Buschbereichen wurden während der Kontrollzeit einige Meter der Gebüschkante sehr langsam abgelaufen.

Mit Hilfe eines feinmaschigen Vogelkeschers oder direkt mit Probegläsern wurden anfliegende Stechmückenweibchen eingefangen und lebend ins Labor für die Artbestimmungen und weiterführende Versuche überführt.

### **7.3 FALLENNETZWERK IM KERNGEBIET ZUR ERMITTLUNG DER EFFEKTIVITÄT VERSCHIEDENER FALLENSYSTEME**

#### **7.3.1 EINLEITUNG**

Im vorliegenden Versuch, welcher im Rahmen einer Masterarbeit der Universität Heidelberg durchgeführt wurde (STELZNER 2016), wurden innerhalb der Bereiche mit sehr hoher Bekämpfungintensität im Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ und daher mit deutlich reduzierter Populationsdichte, die Nachweisraten für Individuen der Asiatischen Tigermücke von verschiedenen Fallensystemen bzw. Monitoringmethoden miteinander verglichen.

#### **7.3.2 MATERIAL UND METHODE**

Im Jahr 2016 wurden insgesamt 14 BG-Sentinel (Lure plus CO<sup>2</sup>), 92 BG-GAT-Fallen und 34 Standard-Eiablagefallen als Fallennetzwerk gleichmäßig über den gesamten Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ verteilt. Um direkte Beeinflussung zu vermeiden, wurde ein Mindestabstand von 50 Metern zwischen den verschiedenen Fallen eingehalten. Insgesamt wurde auf eine gleichmäßige Verteilung der Fallensysteme über das gesamte Untersuchungsgebiet geachtet. Da jedoch beim Stellen der Fallen auf einen möglichst optimalen Standort geachtet wurde, konnten keine einheitlichen Abstände innerhalb des Netzwerkes und auch keine alternierende Reihenfolge eingehalten werden. So wurden Standard-Eiablagefallen und GAT-Fallen innerhalb oder im Randbereich von aufgewachsenen Pflanzenbeständen aufgestellt. Hierbei kamen wiederum für die auffälligen GAT-Fallen in öffentlichen Bereichen nur größere bzw. dichtere Pflanzenbestände in Betracht.

Der Standort der BG-Sentinel-Falle lag offener, jedoch stets im Umfeld von aufgewachsenen Pflanzenbeständen und nicht auf freien Flächen, wie z.B. größeren Parkplätzen oder Rasenanlagen. Weiterhin musste bei der Wahl des Standortes für die BG-Sentinel auf einen verfügbaren Stromanschluss geachtet werden, was entweder die Auswahl erheblich beschränkte oder teilweise deutlichen Mehraufwand für das Legen der nötigen Verlängerungskabel bedeutete.

Von Ende Juni bis Ende August erfolgte wöchentlich eine Kontrolle aller Fallen, wodurch sich insgesamt zehn Fangwochen ergaben. Aufgrund der großen Menge an Fallen und den nicht für alle Fallentypen gleich geeigneten Standorten verblieben die Fallen über den gesamten Versuchszeitraum an ihrem jeweiligen Standort, sodass kein Rotieren der Fallensysteme erfolgte.

Von Mitte bis Ende Juli wurde an 30 zusätzlichen Standorten innerhalb zweier zusammenhängender Fangwochen jeweils eine Anflugkontrolle auf blutsuchende Weibchen der Asiatischen Tigermücke durchgeführt. Die Anflugkontrollen erfolgten dabei an einem Tag der jeweiligen Fangwoche, an dem die Witterungsbedingungen geeignet erschienen.

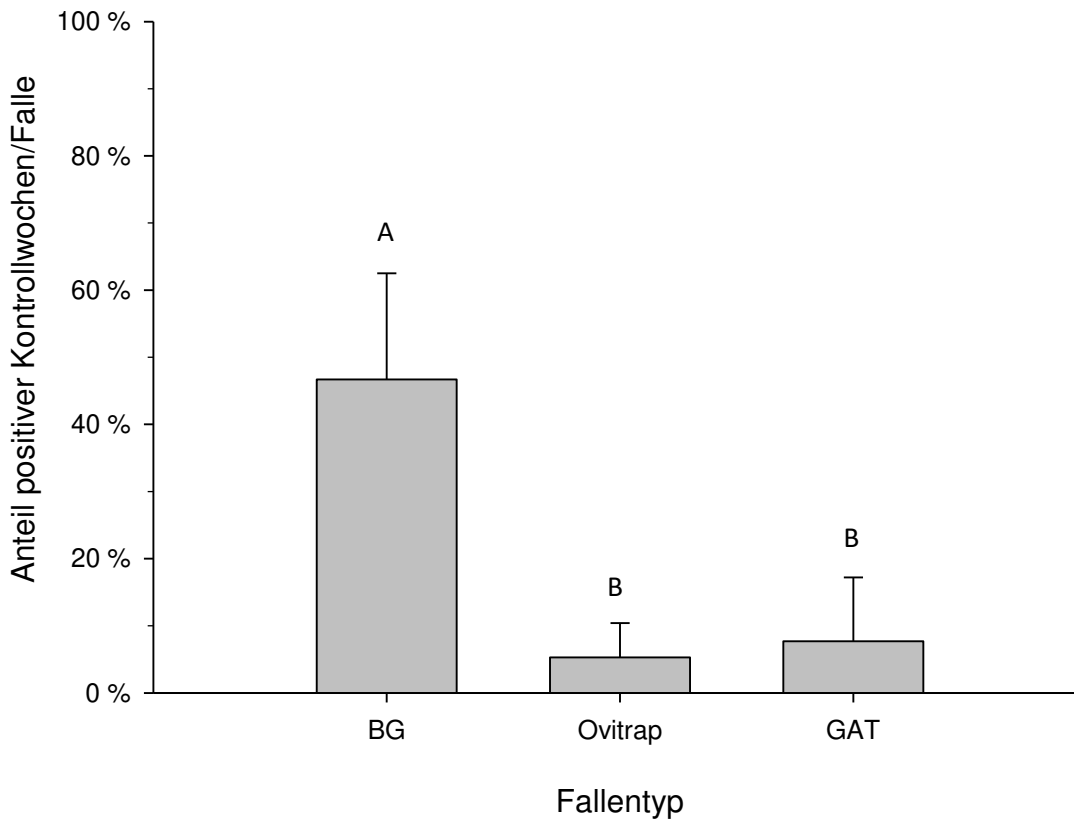
Für die spätere Auswertung wurde auf der Basis der Fangergebnisse des Versuches und den Ergebnissen aus anderen Versuchen des Projektes ein Kerngebiet definiert, welches definitiv Vorkommen der Asiatischen Tigermücke beherbergte. Zwar wies dieser Kernbereich von 260 x 220 Metern keine gleichmäßige Populationsdichte, jedoch ein durchgängig geschlossenes Verbreitungsgebiet der Art auf. Für den Vergleich der Nachweisraten wurden nur Fallen gewertet, welche innerhalb dieser Kernzone lagen.

Für den gesonderten Vergleich der Nachweisraten der Fallensysteme mit den Nachweisraten der Anflugkontrolle wurden wiederum nur Fallen gewertet, welche im näheren Umfeld der Kontrollpunkte der Anflugkontrolle standen.

### 7.3.3 ERGEBNISSE

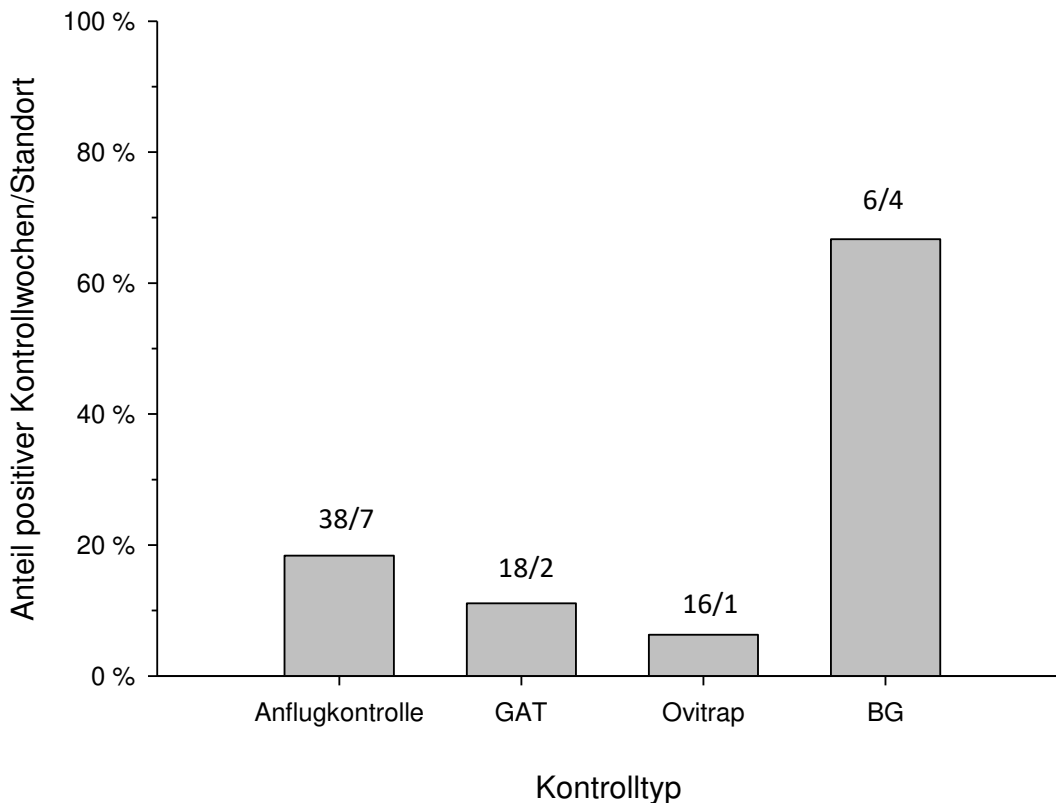
Aus dem gesamten Fallennetzwerk wurden insgesamt neun BG-Sentinel-Fallen, 17 Eiablagefallen und 26 GAT-Fallen ausgewählt, welche innerhalb der Kernzone mit dem geschlossenen Vorkommen der Asiatischen Tigermücke lagen. Bezogen auf den gesamten Untersuchungszeitraum konnte bei den BG-Sentinel-Fallen durchschnittlich bei 46,7 % ( $\pm 15,5$  %) der Kontrollen ein oder mehrere Individuen von *Ae. albopictus* nachgewiesen werden (Abbildung 33). Für die Eiablagefalle und die GAT-Falle lag der Anteil der positiven Kontrollwochen mit 5,3 % (5,1 %) bzw. 7,7 % (9,5 %) jeweils signifikant niedriger.

Über den gesamten Versuchszeitraum wurden in allen BG-Sentinel-Fallen mindestens in einer Kontrollwoche *Ae. albopictus*-Individuen nachgewiesen. Dabei waren schon nach zwei Wochen etwas mehr als die Hälfte und nach nur sechs Kontrollwochen alle BG-Sentinel-Fallen positiv für die Art. Im Gegensatz erfolgte der erste Nachweis der Asiatischen Tigermücke in einer der 26 GAT-Fallen erst in der dritten Kontrollwoche. Insgesamt konnten in 50 % der GAT-Fallen und 47 % der Eiablagefallen über den gesamten Untersuchungszeitraum keine Imagines bzw. Eier der Asiatischen Tigermücke nachgewiesen werden.



**Abbildung 33: Durchschnittlicher Anteil der positiven Kontrollwochen pro Falle über den gesamten Versuchszeitraum von Ende Juni bis Ende August 2017 im Bereich mit geschlossenem Vorkommen der Asiatischen Tigermücke im Siedlungsgebiet Ochsenkopf. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0.05$ ).**

Auch bei dem Vergleich der Nachweisraten während der zweiwöchigen Kontrollphase mit zusätzlichen Anflugkontrollen zeigte die BG-Sentinel-Falle mit 66,7 % positiven Kontrollen die besten Fangergebnisse im Bereich mit den zusätzlich durchgeführten Anflugkontrollen (Abbildung 34). Mit sieben für die Asiatische Tigermücke positiven Standorten bei insgesamt 38 Einzelkontrollen wies mit 18,4 % positiven Kontrollen die Anflugkontrolle die zweithöchste Nachweisrate auf. Die geringste Nachweisrate wies die Eiablagefalle mit nur 6,3 % positiven von insgesamt 16 Kontrollen auf.



**Abbildung 34: Durchschnittlicher Anteil der positiven Kontrollen pro Kontrolltyp über den Versuchszeitraum vom 18.7 bis zum 01.08.2017 im Bereich mit Vorkommen der Asiatischen Tigermücke im Siedlungsgebiet Ochsenkopf. Für die Auswertung wurden nur Fallensysteme herangezogen, welche im Umfeld der Standorte der Anflugkontrolle lagen. Die Zahlen über den Balken geben die Anzahl der Einzelkontrollen und die Anzahl der positiven Einzelkontrollen pro Kontrolltyp an.**

#### 7.3.4 DISKUSSION

Im vorliegenden Versuch wurden innerhalb der Bereiche mit sehr hoher Bekämpfungsintensität im Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ und daher deutlich reduzierter Populationsdichte der Asiatischen Tigermücke, die Nachweisraten verschiedener Fallensysteme bzw. Monitoringmethoden miteinander verglichen. Dabei war nicht die Anzahl der insgesamt oder pro Fallenwoche gefangenen Individuen ausschlaggebend, sondern einzig der Nachweis von vorhandenen Individuen der Asiatischen Tigermücke. Dadurch sollte die Eignung der verschiedenen Fallen getestet werden, um auch bei reduzierten Populationsdichten, welche am Populationsrand auftreten oder durch Bekämpfungsmaßnahmen hervorgerufen werden, das Vorkommen von *Ae. albopictus* zu detektieren.

Im Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ wurde die Population der Asiatischen Tigermücke durch die verschiedenen in diesem Projekt durchgeführten Bekämpfungsmaßnahmen stark reduziert. In keinem Bereich des Gebiets kam es zur Stichbelästigung von Anwohnern und keine der Fallen hatte bedeutend hohe Fangzahlen aufzuweisen. Insgesamt handelte es sich um ein diffuses Vorkommen der Asiatischen Tigermücke mit geringen Populationsdichten.

Unter diesen Bedingungen zeigte die BG-Sentinel-Falle die eindeutig höchsten Nachweisraten, welche 6- bis 11-fach über den Nachweisraten der beiden anderen Fallensysteme lag. Dies bedeutet z.B. auf die Standard-Eiablagefalle bezogen, dass für dieselbe Nachweiswahrscheinlichkeit eines *Ae. albopictus*-Vorkommens am

selben Standort entweder die 11-fache Menge an Fallen aufgestellt werden oder eine Falle über einen 11-fach längeren Zeitraum stehen müsste. Auch wenn die Materialkosten und der Arbeitsaufwand für die Standard-Eiablagefalle im Vergleich zu BG-Sentinel-Falle deutlich geringer ausfallen und auch die Auswahl eines geeigneten Fallenstandortes bei der BG-Sentinel-Falle mit erheblichem Mehraufwand verbunden ist, so sind die Nachweisraten bei der Standard-Eiablagefalle viel zu gering, um zuverlässige Informationen über noch vorhandene Restvorkommen der Asiatischen Tigermücke bei insgesamt niedriger Populationsdichte zu erhalten. Trotz der etwas höheren Nachweisraten kann dies auch für die GAT-Fallen gesagt werden. Diese fallen im Vergleich zu der Standard-Eiablagefalle nicht nur etwas teurer aus, sie sind auch aufgrund ihrer Größe deutlich auffälliger, was wiederum die Wahl des Fallenstandortes in öffentlichen Bereichen einschränkt.

Dass sowohl bei der Standard-Eiablagefalle als auch der GAT-Falle rund die Hälfte der Fallen über den gesamten Kontrollzeitraum von zehn Wochen ohne jeglichen Nachweis des *gesicherten* umliegenden *Ae. albopictus*-Vorkommens blieben, verdeutlicht die schlechte Eignung der beiden Fallensysteme bei geringen Populationsdichten. Sowohl die GAT- als auch die Standard-Eiablagefalle weisen Weibchen nach, welche auf der Suche nach einer geeigneten Brutstätte für die Eiablage sind. Es ist davon auszugehen, dass die größere Anzahl anderer Brutstätten im Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ (Kapitel 4) die Nachweisrate der beiden Fallensysteme erheblich beeinflusste und vermutlich in Gebieten mit geringerem Brutstättenangebot etwas höher ausfallen würde.

Während der zweiwöchigen Kontrollphase von Mitte bis Ende Juni, welche wegen der zusätzlichen Anflugkontrollen extra ausgewertet wurde, konnte aufgrund der zu diesem Zeitpunkt leicht angestiegenen Populationsdichte der Asiatischen Tigermücke mit allen Fallen eine etwas höhere Nachweisrate erbracht werden. Trotzdem zeigten die Standard-Eiablagefalle und die GAT-Falle auch in diesem Zeitraum die verhältnismäßig vergleichbar schlechteren Nachweisraten gegenüber der BG-Sentinel-Falle.

Im Gegensatz dazu weisen die BG-Sentinel-Falle wie auch die Anflugkontrollen Stechmückenweibchen nach, welche auf der Suche nach einer Blutmahlzeit sind. Auch wenn die Asiatische Tigermücke eine große Bandbreite an möglichen Blutwirten aufweist, sind geeignete Blutwirte im menschlichen Siedlungsbereich zeitlich beschränkt vorhanden und stehen nicht wie künstliche Brutstätten permanent in Konkurrenz zu den Monitoring-Fallen. Zusätzlich ist bei der BG-Sentinel-Falle und der Anflugkontrolle durch das abgegebene CO<sub>2</sub> und der Körper- bzw. Lure-Duftstoffe von einer größeren Fernwirkung auf Weibchen der Asiatischen Tigermücke auszugehen.

Die 3,6-fach höhere Nachweisrate der BG-Sentinel-Falle gegenüber der Anflugkontrolle ist dabei auf den längeren Einzelkontrollzeitraum zurückzuführen. Während zwischen den Kontrollen der BG-Sentinel-Falle diese für sieben Tage aktiv war, erfolgte der Nachweis mittels Anflugkontrolle an einem bestimmten Standort nur für drei Minuten. Durch diesen kurzen Zeitabschnitt der Anflugkontrolle kann der Moment verpasst werden, an dem in einem bestimmten Bereich noch nicht blutvollgesogene Weibchen der Asiatischen Tigermücke vorhanden sind, was vor allem bei sehr geringen Populationsdichten entscheidend sein kann. Dies ist ein entscheidender Vorteil der stationären Fallensysteme, welche über den kompletten Kontrollzeitraum für blutmahlzeitsuchende Stechmückenweibchen bereitstehen. Da jedoch die Asiatische Tigermücke eine sehr aggressive Stechmückenart ist, die mehrfach und schon vor der Eiablage jeden potenziellen Blutwirt hartnäckig anfliegt (HAWLEY 1988, NASCI et al. 1989), bedeutet der kurze Kontrollzeitraum für die Durchführung von Anflugkontrollen keinen allzu großen Nachteil. Dieser wird durch die vielen Vorteile einer ordentlich durchgeführten Anflugkontrolle kompensiert. So kann mittels Anflugkontrollen ohne größeren Ma-

terial- und Arbeitsaufwand mit hoher Flexibilität eine große Anzahl „verdächtiger“ Bereiche gezielt und mit unmittelbarem Ergebnis auf Vorkommen der Asiatischen Tigermücke untersucht werden. Dies stellt vor allem in größeren Bekämpfungsgebieten einen bedeutenden Vorteil gegenüber der teuren und arbeitsaufwendigen BG-Sentinel-Falle dar. Vor allem hier wäre ein flächiges Monitoring mittels BG-Sentinel-Fallen nur sehr schwer zu realisieren und zusätzlich sehr teuer, was jedoch durch die nur 3,6-fach höheren Nachweisraten nicht zu rechtfertigen wäre. Um rein rechnerisch auf dieselbe Nachweisrate zu kommen, müssten im weiteren Umfeld des entsprechenden Standortes nur vier geeignete Bereiche mittels Anflugkontrolle abgesucht werden. Durch die regelmäßige Begehung aller Bereiche im Zuge der empfohlenen Bekämpfungsmaßnahmen (Kapitel 11) ist zeitgleich ein flächendeckendes Monitoring mittels Anflugkontrolle kostengünstig durchzuführen.

#### **7.4 FALLENTRANSEKT ZUR ERMITTLUNG DER EFFEKTIVITÄT VERSCHIEDENER FALLENSYSTEME UND MONITORINGMETHODEN**

##### **7.4.1 EINLEITUNG**

Im vorliegenden Versuch, der im Rahmen einer Masterarbeit der Universität Heidelberg erfolgte (AUGSTEN 2018), wurden innerhalb des Siedlungsbereiches „Ochsenkopf“ und der Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ mehrere Fallentransekte aufgebaut, um während der gesamten Reproduktionsperiode die Nachweisrate verschiedener Fallensysteme für noch verbliebene Restpopulationen der Asiatischen Tigermücke miteinander zu vergleichen und Erkenntnisse zum optimalen Abstand der Fallensysteme zu erhalten.

##### **7.4.2 MATERIAL UND METHODEN**

Im Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ sollte die Falleneffizienz von GAT-Fallen, BG-Sentinel-Fallen und Standard-Eiablagefallen ermittelt werden. Daher wurde ein zwischen Standard-Eiablagefallen und GAT-Fallen alternierendes Transekt (Transekt A) entlang des Ochsenkopfes entworfen (Abbildung 35). Dabei sollte die gesamte Länge des Ochsenkopfes berücksichtigt werden, um so die Effektivität des jeweiligen Fallentyps für eine Identifizierung von Restpopulationen zu ermitteln. Dabei wurden die Fallen in einem Abstand von durchschnittlich 10 m zueinander aufgestellt, ein engeres Raster war durch Einfahrten oder Straßenkreuzungen nicht möglich.

Die BG-Sentinel-Fallen mussten aufgrund der notwendigen Stromversorgung auf Grundstücken von Bewohnern aufgestellt werden, welche bereit waren, eine externe Steckdose dauerhaft zur Verfügung zu stellen. Aufgrund der Bekämpfungserfahrung im Jahr 2016 und der Zuverlässigkeit einzelner Bewohner (STELZNER 2016) wurden fünf bereits etablierte Standorte erneut verwendet. Dadurch war es möglich, einen Vergleich mit den Daten des vorherigen Jahres durchzuführen. Lediglich ein neuer Standpunkt im zentralen Bereich des Fallentransekts wurde aufgrund vermehrt auftretender Individuen der Asiatischen Tigermücke neu etabliert.

Neben der Falleneffizienz war ein weiteres Ziel, Einblicke in die Detektionsentfernung und Populationsdynamik von *Ae. albopictus* zu gewinnen, daher wurde das Transekt im westlichen Bereich des Ochsenkopfes um drei weitere Transektlinien (Transekt B-Komplex) erweitert (Abbildung 35). Dabei wurde auf eine Spiegelung jeweils zweier Transekte zueinander geachtet. Als Achse diente dabei die Straße „Wieblinger Weg“, welche von Westen bis Osten durch den gesamten Ochsenkopf verläuft. Nördlich des „Wieblinger Wegs“ wurde das bereits bestehende Transekt A um eine Linie (Transekt B-n) in einem 50 m-Abstand erweitert. Die Fallen in diesem Transekt B-n wurden in einem Radius von 7 m pro Falle zueinander aufgestellt. Südlich der



Straße wurden zwei neue Transekte etabliert. Parallel zum Transekt A verlief dabei das Transekt B-s1, in welchem die Fallen mit einem Abstand von durchschnittlich 10 m zueinander an das bereits etablierte Transekt A angeglichen wurden. Parallel in einem 50 m-Abstand zu Transekt B-s1 wurde ein südlicheres Transekt (Transekt B-s2) angelegt. In diesem besaßen die Eiablagefallen und GAT-Fallen einen Abstand von 7 m und ähneln damit den Bedingungen des Transekts B-n.



**Abbildung 35.** Luftbild ©LUBW des Siedlungsgebietes „Ochsenkopf“. Mit roten (GAT-Fallen) und blauen (Standard-Eiablagefallen) Punkten dargestellt sind alle vier Transekte des Bereiches. Neben des, den gesamten Ochsenkopf durchspannenden, Transekts A, befinden sich die Transekte des B-Komplexes im westlichen Teil. Diese unterteilen sich in eine nördliche Linie (Transekt B-n) sowie zwei südliche Linien (Transekt B-s1 und Transekt B-s2). Die BG-Sentinel-Fallen wurden außerhalb dieses Transekt-Komplexes aufgestellt und verteilten sich im restlichen zentralen und östlichen Teil der Siedlung (gelbe Farbpunkte).

Bei der Etablierung jedes Transekts wurde explizit darauf geachtet, die Fallen auf der vorgegebenen Straßenseite aufzustellen und immer zwischen Eiablagefalle und GAT-Fallen zu variieren. Durch die Platzierung der Fallen auf den Grundstücken und nicht im öffentlichen Raum mussten, um Diebstähle zu verhindern, jedoch die Bewohner miteinbezogen werden. Fand sich keine geeignete Stelle oder wurde eine Installation der Falle untersagt, musste auf nahegelegene Grundstücke ausgewichen werden, weshalb es in einigen Abschnitten zum Wechsel der Straßenseite oder der Platzierung zweier Eiablagefallen nebeneinander kam.

Insgesamt konnten im Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ sechs BG-Sentinel Fallen, 35 GAT-Fallen und 36 Eiablagefallen installiert werden, welche von Anfang Ende Mai bis Anfang November 2017 aktiv im Einsatz waren.

### 7.4.3 ERGEBNISSE

#### Nachweis der Populationsentwicklung im Bereich des Fallentransekts

Die ersten Nachweise der Wildpopulation erfolgten durch GAT-Fallen (n=1) und BG-Sentinel-Fallen (n=2) in der Kalenderwoche 24. Der erste Nachweis auf Eier der Asiatischen Tigermücke erfolgte in der Kontrolle der folgenden Woche (KW 25). Gegen Ende Juli (KW 30) ließen sich vermehrt Individuen in den GAT-

Fallen (n=5) auffinden. Mit Beginn des Monats August wurde ein deutlicher Anstieg mittels BG Sentinel gefangener *Ae. albopictus*-Imagines verzeichnet, der in den Kalenderwochen 35 und 36 in einem Höhepunkt von je 19 bzw. 20 Exemplaren gipfelte (Abbildung 36). Auch bei den Eiablagefällen ließ sich in der 35. Kalenderwoche das Maximum gesammelter Eier (n=61) feststellen. Während ab der 36. Kalenderwoche keine Eier mehr durch Eiablagefällen nachgewiesen werden konnten, wiesen GAT-Fallen in der 37. Kalenderwoche noch fünf Exemplare der Asiatischen Tigermücke auf. Der letzte Nachweis mit diesem Fallentyp erfolgte in der darauffolgenden Woche (KW 38), in welcher noch ein Individuum aufgefunden werden konnte. Durch die BG-Sentinel Fallen konnten noch bis Ende Oktober (KW 43) vier *Ae. albopictus*-Individuen nachgewiesen werden. Selbst in der letzten Fangwoche vom 03. November konnte ein weiteres Exemplar in diesem Fallentyp nachgewiesen werden.

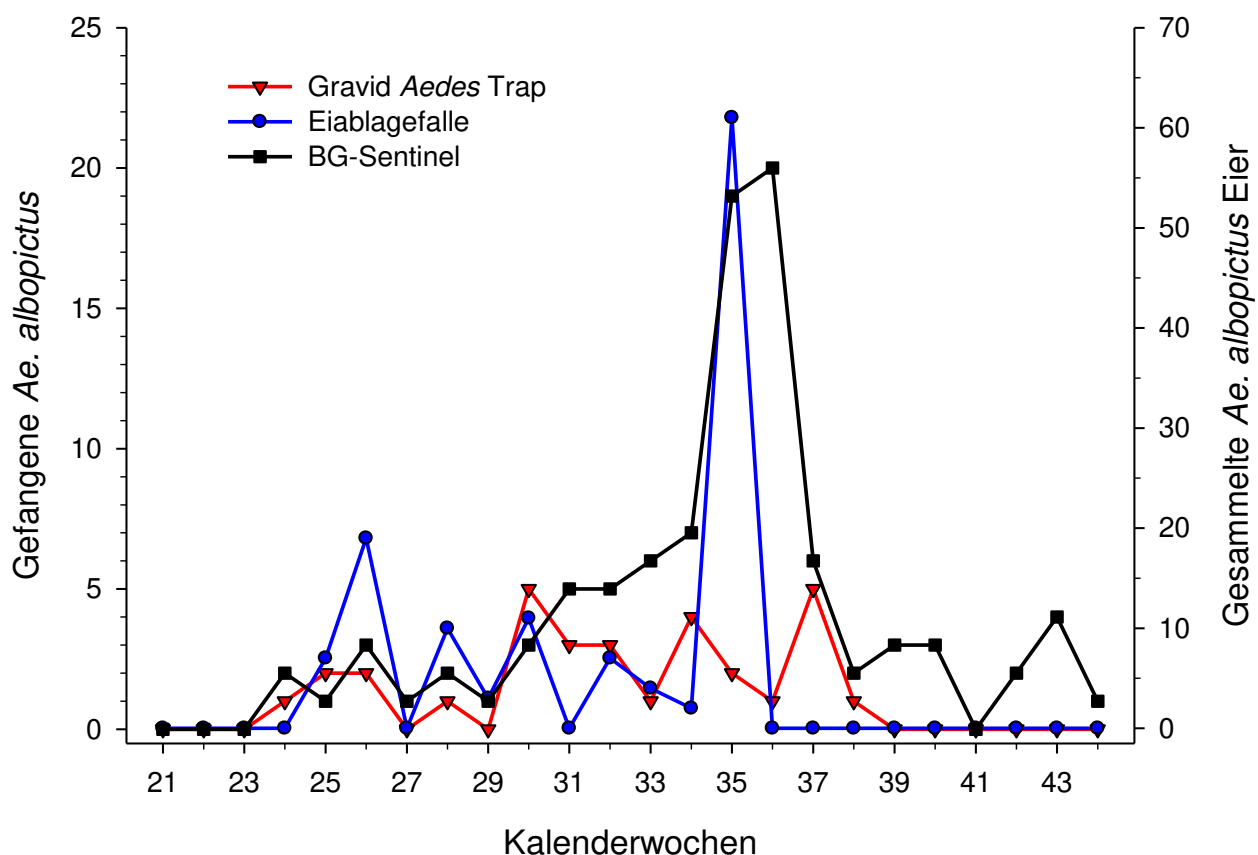


Abbildung 36. *Aedes albopictus* Fänge und Anzahl abgelegter Eier über den Verlauf der Reproduktionsperiode 2017 im Ochsenkopf. Dargestellt sind alle mit den 35 GAT-Fallen (rot) und den sechs BG-Sentinel-Fallen (schwarz) gefangenen *Ae. albopictus*-Imagines der Wildpopulation, sowie die Anzahl der in den 36 Standard-Eiablagefällen (blau) abgelegten Eier.

### Falleneffizienz

Für eine vergleichbare Bewertung der Fallen muss eine ähnlich optimale Positionierung dieser im untersuchten Gebiet gegeben sein. Um zu gewährleisten, dass alle drei Typen in ihren Transekten optimale Standorte aufwiesen, wurde eine Bewertungsskala bestehend aus fünf Aspekten etabliert. Damit wurde die Positionierung jeder aufgestellten Stechmückenfalle evaluiert. Ausschlaggebende Kriterien waren dabei die vorhandene Vegetation, die optische Sichtbarkeit trotz eines vor Regen geschützten, schattigen Standortes und die

Konkurrenz zu anderen potenziellen Brutstätten. Maximal konnten von jedem Standort somit fünf Punkte für ihre Lage erreicht werden. Einzig durch die Lage innerhalb eines Transekts mit vorgegebenen Abständen waren die Fallen, was die Qualität ihrer Lage betrifft, eingeschränkt, dabei zeigte sich jedoch, dass dies für alle drei Fallentypen gleichermaßen zutrifft. Sowohl GAT-Fallen wie auch Standard-Eiablagefallen wiesen eine Punktwertung von durchschnittlich 3,4 auf. Die BG-Sentinel-Fallen ähnelten diesen mit einer Wertung von 3,5 Punkten (Tab. 22).

**Tabelle 22. Anzahl der Fallen pro Wertungsgruppe der Positionierung. Für die jeweiligen Fallen wird aufgezählt, wie viele der jeweiligen Wertung (1-5 Punkte) zugeordnet werden können. Dabei wurden insgesamt 35 GAT-Fallen, 36 Standard-Eiablagefallen und sechs BG-Sentinel-Fallen in die Wertung miteinbezogen.**

	Anzahl	Gesamt	Positionswertung und Anzahl Fallen				
			5	4	3	2	1
<b>GAT</b>	35	3,4	6	10	13	5	1
<b>Eiablagefallen</b>	36	3,4	4	12	16	3	1
<b>BG-Sentinel</b>	6	3,5	1	3	1	0	1

Im weiteren Verlauf der Ermittlung der Falleneffizienz wurden explizit die GAT-Fallen und Eiablagefallen des Transekt-Komplexes B begutachtet. Dabei wurden durchschnittlich zwei Fallen, je eine jeder Sorte, in einem Abschnitt kombiniert. Diese Abschnitte (Abbildung 37) wurden subjektiv erstellt und orientierten sich primär an der vorhandenen Siedlungsstruktur, an Parallelität zueinander und der Vorgabe, möglichst je eine Falle des jeweiligen Typs zu integrieren. Dabei gab es zwei Sonderfälle: Der Abschnitt B des Transekts B-s1 wies nur eine Eiablagefalle und keine GAT-Fallen auf. Ein gegenteiliges Beispiel findet sich bei Abschnitt E des Transekts B-s2, welchem aufgrund der Struktur des Siedlungsgebietes eine Eiablagefalle fehlte.

Bei der Betrachtung der einzelnen Abschnitte wird die hohe Rate an *Ae. albopictus*-Nachweisen durch GAT-Fallen im Transekt B-s2 auffällig (Abbildung 38). In diesem wurden 21 Ereignisse mittels GAT-Falle und ein weiteres Ereignis durch die dortigen Standard-Eiablagefallen ermittelt. Das einzige weitere Ereignis positiver GAT-Fallen lässt sich im nördlichen Transekt B-n vorfinden, bei welchem insgesamt drei Asiatische Tigermücken durch diesen Fallentyp nachgewiesen werden konnten. Nachweise durch Eiablagefallen lassen sich in allen vier Transekten mit recht ähnlicher Intensität feststellen. Diese liegt dabei bei einem Eiablage-Ereignis je Falle während der gesamten Reproduktionsperiode (B-n: Abschnitte B und D, Transekt A: Abschnitt E, Transekt B-s1: Abschnitt D und Transekt B-s2: Abschnitt B).



Abbildung 37. Luftbild ©LUBW. Transekt-Komplex B und die darin enthaltenen Abschnitte A-E. Die Abschnitte sollten sich möglichst an die vorhandene Siedlungsstruktur anpassen, in ihrer Position zueinander jedoch so parallel wie möglich bleiben, um eine Auswertung zwischen den Transekten zu ermöglichen.

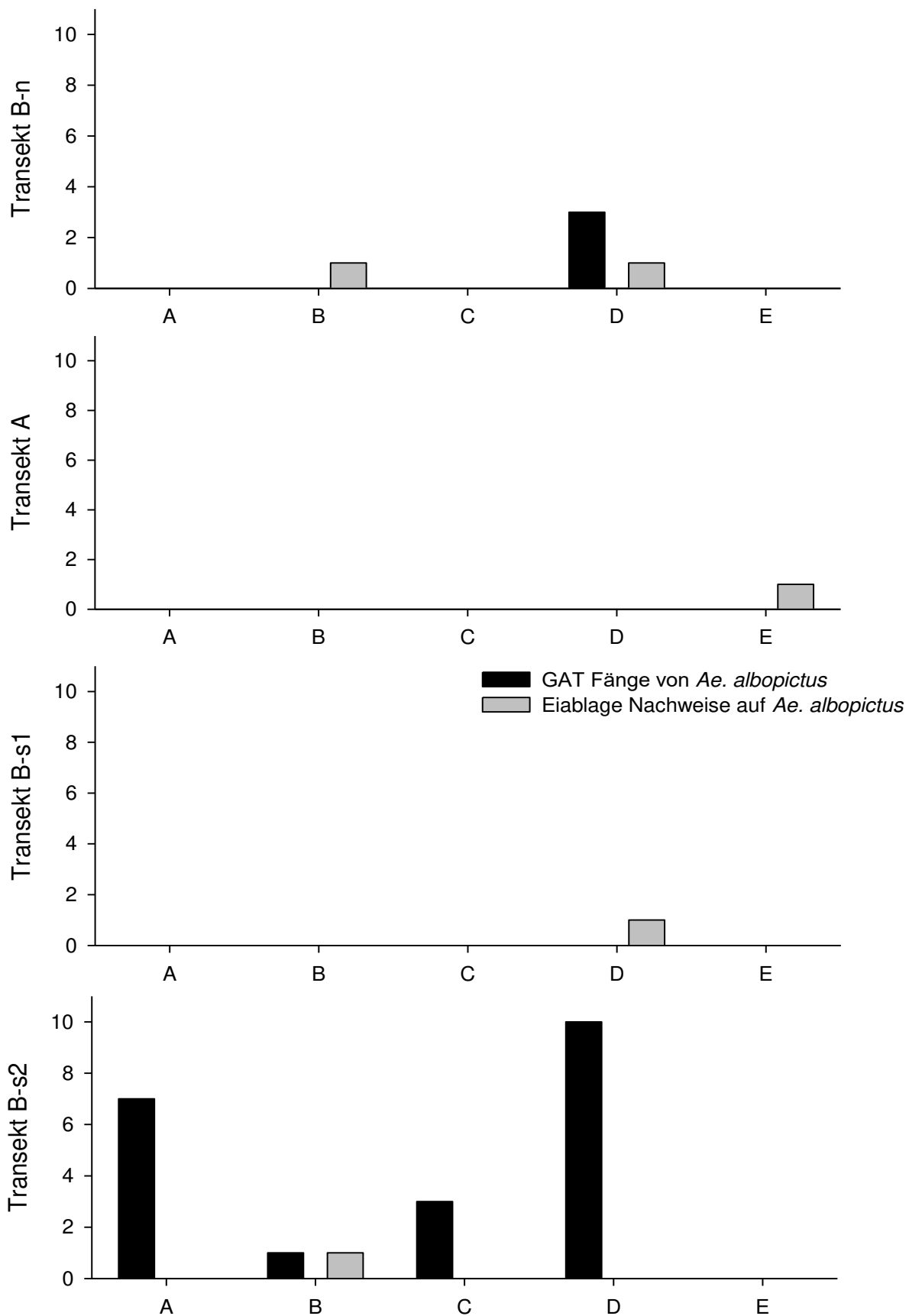
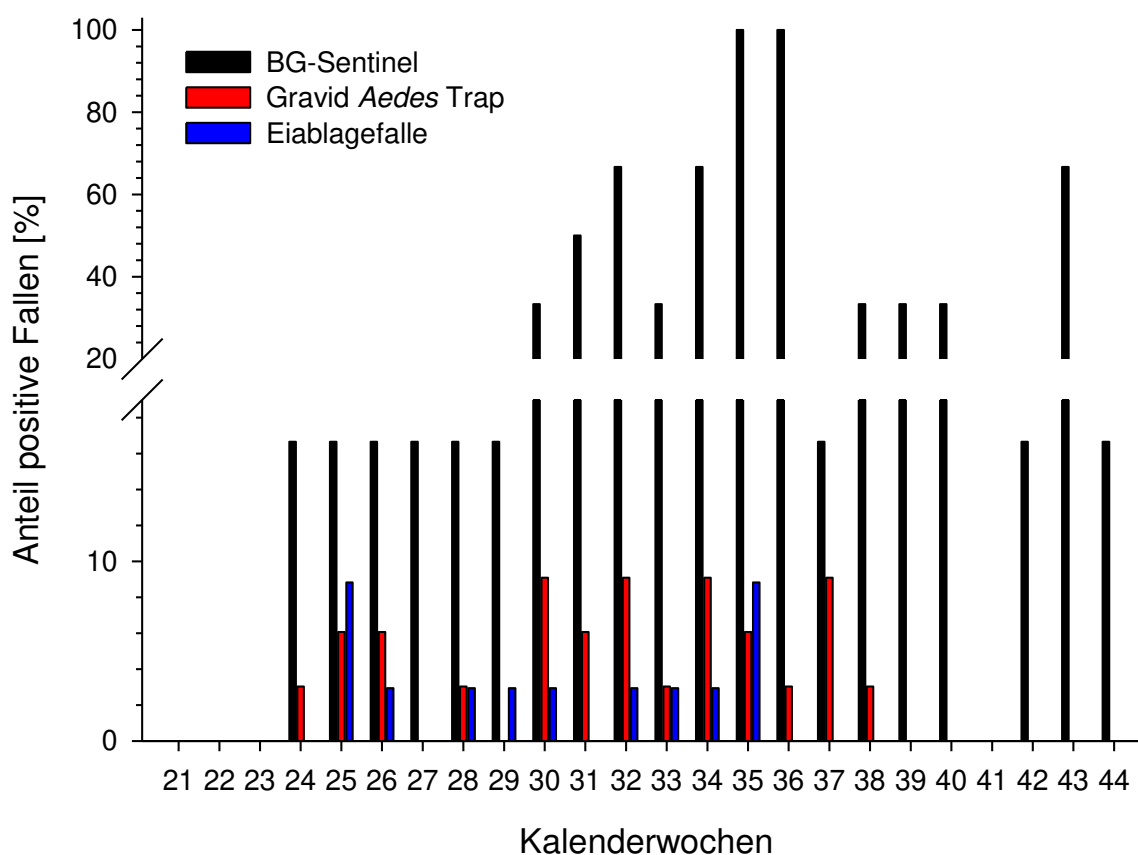


Abbildung 38. Für *Aedes albopictus* positive Fangereignisse pro Falle im Transekt-Komplex B über den gesamten Fallenzeitraum. Dargestellt sind die jeweils fünf Abschnitte (A-E) innerhalb der vier Transekte, welche jeweils mehrere Fallen eines Fallentyps aufwiesen und miteinander verglichen wurden.

Erweitert wurde die Ermittlung der Falleneffizienz durch einen Vergleich aller drei verwendeten Fallentypen über die gesamte Fläche des Ochsenkopfes. Dabei wurde die Anzahl der positiven Fallen in der jeweiligen Kalenderwoche ermittelt (Abbildung 39). Somit waren pro Woche jeweils maximal 35 positive GAT-Fallen und 36 Nachweise mittels Eiablagefallen möglich. Bei BG-Sentinel Fallen war aufgrund der geringeren Anzahl ein Maximum von sechs positiven Fallen pro Woche möglich. In diesem Kontext stellen die BG-Sentinel Fallen den einzigen verwendeten Typ dar, der dieses Maximum erreicht. In den Kalenderwochen 34 und 35 konnten in 100 % der platzierten BG-Sentinel-Fallen *Ae. albopictus* der Wildpopulation nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu lag der Anteil der für *Ae. albopictus* positiven GAT- und Standard-Eiablagefallen immer unter 10 %.



**Abbildung 39.** Anteil der für *Ae. albopictus* positive Fallen der jeweiligen Fangwoche in einem Zeitraum vom 22. Mai (KW 21) bis zum 03. November (KW 44) 2017 im Siedlungsbereich „Ochsenkopf“.

Ab dem ersten Auftreten der Art im Jahr 2017 konnten, bis auf die Kalenderwoche 41, immer Individuen der Asiatischen Tigermücke mit mindestens einer der BG-Sentinel-Fallen nachgewiesen werden. Hingegen konnten trotz der größeren Anzahl an gestellten Fallen bei den GAT-Fallen in acht und bei den Standard-Eiablagefallen in sogar zwölf Fangwochen keinerlei Nachweise für das Vorkommen der Asiatischen Tigermücke erbracht werden. Diese Diskrepanz wird besonders am Ende der Reproduktionsperiode deutlich. So erfolgte der letzte Nachweis der Fangperiode mit Standard-Eiablagefallen neun Wochen und mit GAT-Fallen noch sechs Wochen vor dem letzten positiven Nachweis innerhalb der BG-Sentinel-Fallen.

#### 7.4.4 DISKUSSION

Bei der Auswahl von Stechmückenfallen für die Durchführung von Monitoringmaßnahmen spielt neben der Handhabung und den Materialkosten vor allem die Fang-Effektivität eine entscheidende Rolle. Zur Ermittlung der Effizienz von drei Fallensystemen wurden im vorliegenden Versuch insgesamt fünf Fallen-Transekte in einem Gebiet mit stark dezimierter Populationsdichte der Asiatischen Tigermücke aufgestellt.

Bei der Betrachtung der positiven Fangereignisse innerhalb der Teilabschnitte des Transekt-Komplexes B wird deutlich, dass ein Abstand von 50 m zwischen den einzelnen Transekten bereits deutliche Unterschiede bei den gefangenen Asiatischen Tigermücken erzeugt. Im Transekt B-s2 lassen sich vor allem in den Abschnitten A (n=7) und D (n=10) eine größere Menge gefangener *Ae. albopictus*-Individuen vorfinden. Das dazu parallel verlaufende Transekt B-s1 weist hingegen keinen einzigen positiven Fund durch GAT-Fallen auf. Ähnliche Ergebnisse werden bei der Betrachtung der positiven Standard-Eiablagefallen innerhalb der Transekte deutlich. Für ein flächendeckendes Monitoring mit GAT-Fallen oder Eiablagefallen, um zum Beispiel einzelne Restpopulationen nach einer Bekämpfung oder den genauen Populationsrand von Populationen mit geringer Populationsdichte nachzuweisen, müssen diese in deutlich geringeren Abständen als 50 m zueinander aufgestellt werden. Dies bedeutet vor allem bei größeren Populationen der Asiatischen Tigermücke bzw. bei einem größeren Befallsgebiet einen erheblichen Aufwand. Würde man zum Beispiel von einem Abstand von 10 m (FARAJOLLAHI et al. 2009, JOHNSON et al. 2016) oder 20 m zwischen den Fallen ausgehen und dies auf eine Fläche des Ochsenkopfes extrapolieren, müssten rund 1400 bzw. 700 Fallen aufgestellt werden. Der Arbeitsaufwand für die regelmäßigen Kontrollen dieser Fallen steht in keinem Verhältnis zu den gewonnenen Monitoring-Daten aus dem nur knapp 15 ha großen Gebiet.

Bei der Betrachtung der positiven Fallen in den jeweiligen Fangwochen wird deutlich, dass es Fangwochen ohne positive Fänge bei den GAT-Fallen und den Standard-Eiablagefallen gibt. Zum einen weist dies auf eine niedrige Populationsstärke hin, was eine Detektion von Individuen über Fallen mit geringer Fangeffizienz erschwert. Dennoch konnten in diesen Zeiträumen über BG-Sentinel-Fallen mehrere *Ae. albopictus*-Exemplare gefangen werden. Hier spielt die hohe Attraktivität der BG, bedingt durch starke olfaktorische Reize, mitunter eine entscheidende Rolle. Dass BG-Sentinel-Fallen über eine bessere Fängigkeit verfügen als GAT-Fallen, wurde bereits von JOHNSON (2016) festgestellt. Die in dieser Studie gewonnenen Ergebnisse entsprechen ebenfalls dieser Beobachtung.

Besonders in den Herbstmonaten Oktober und November konnten Nachweise der Asiatischen Tigermücke nur durch Fänge der BG-Sentinel-Fallen erbracht werden. Sowohl GAT-Fallen als auch Standard-Eiablagefallen konnten nur bis Ende September Nachweise über die vorhandene Population der Asiatischen Tigermücke erbringen. Zu diesem Zeitpunkt des Jahres kommt es durch die vermehrte Bildung von Diapause-Eiern und deren Schlupfhemmung (MORI & ODA 1981) zu einem natürlichen Ausklingen der Reproduktion, was sich durch die verminderten Fänge aller verwendeten Fallentypen erkennen lässt. Anscheinend ist die ohnehin schon geringe Populationsdichte im Siedlungsbereich „Ochsenkopf“ aufgrund dieser jahreszeitlichen Entwicklung auf ein so niedriges Niveau gesunken, dass sie mit den GAT-Fallen und den Standard-Eiablagefallen nicht mehr nachweisbar war.

Betrachtet man die Erstnachweise der Reproduktionsperiode, so verfügen GAT-Fallen und BG-Sentinel-Fallen über den entscheidenden Vorteil, dass diese Imagines abfangen. Unter Einbezug des natürlichen Entwicklungszyklus stehen diese bereits vor der Produktion und Ablage der ersten Eier zur Verfügung, was in der ersten positiven Woche (KW 24) beobachtet werden kann. Erst in der nachfolgenden 25. Kalenderwoche erfolgt der erste Nachweis von Eiern der Asiatischen Tigermücke.

GAT-Fallen und Standard-Eiablagefallen sind in ihrer Handhabung recht einfach, werden jedoch sehr stark von anderen potenziellen Brutstätten im entsprechenden Umkreis beeinflusst. So stehen beide Fallentypen in Konkurrenz zu benachbarten Brutstätten, wie z.B. Regentonnen, Eimern oder Gießkannen, was bei einer geringen Populationsdichte einen starken Einfluss auf den Anteil gefangener Individuen zur Folge hat. Dies ist vielleicht auch der Grund, warum bei GAT-Fallen und Standard-Eiablagefallen trotz einfacher Positionierung die Nachweisraten deutlich durch die Wahl eines schlechten Installationsstandorts beeinflusst werden. So wies keine der Standard-Eiablagefallen mit einer Positionswertung von 1-2 Punkten Eier der Asiatischen Tigermücke auf. Auch die GAT-Fallen mit einer Wertung von einem Punkt konnte keine *Ae. albopictus*-Individuen über den gesamten Zeitrahmen dieser Studie fangen. Hingegen konnte auch bei scheinbar schlecht positionierten BG-Sentinel-Fallen kein Unterschied zu den anderen Fallen erkannt werden. Dies zeigt, dass auch bei den im Verhältnis zu den BG-Sentinel vermeintlich leicht zu platzierenden GAT-Fallen und Standard-Eiablagefallen die Auswahl des Fallenstandortes sorgsam erfolgen muss, um die ohnehin schon geringere Nachweisraten für eiablagebereite Weibchen nicht noch mehr zu beeinträchtigen.

## **7.5 FALLENVERGLEICH VON MODIFIZIERTEN BG-SENTINEL-FALLEN**

### **7.5.1 EINLEITUNG**

Im vorliegenden Projekt wurden verschiedene Fallensysteme überprüft, inwieweit sie zum Erfassen und zur Reduktion der Asiatischen Tigermückenpopulation in Heidelberg geeignet sind. Dabei wurde während des Sommers 2016 mehrfach beobachtet, dass bei Anflugkontrollen im direkten Umfeld von BG-Sentinel-Fallen die Anzahl der gefangenen *Ae. albopictus*-Individuen vergleichsweise hoch gegenüber dem Anteil der in den Fallen gefangenen Tiere war. Basierend auf diesen Beobachtungen wurden einige Vorversuche mit chemisch wärmegenerierenden Handwärmern durchgeführt, in denen durch den zusätzlichen Wärmereiz eine ca. dreifach höhere Fangrate für *Ae. albopictus*-Weibchen erzielt werden konnte.

Im vorliegenden Versuch, der im Rahmen einer Bachelorarbeit der Universität Heidelberg durchgeführt wurde (TOKATLIAN 2017), wurden verschiedene Modifikationen der BG-Sentinel-Falle vorgenommen, um unter Freilandbedingungen den Einfluss des zusätzlichen thermalen Reizes auf die Fangraten von *Ae. albopictus*-Weibchen zu untersuchen.

### **7.5.2 MATERIAL UND METHODEN**

Für den Freilandversuch wurde je ein Bereich im Siedlungsgebiet „Wellengewann“ und „Ochsenkopf“ ausgewählt, welcher annähernd gleich starke Populationsdichten von *Ae. albopictus* aufwies. Die mit Fallen zu besetzenden Gebiete wurden mit Hilfe von Anflugkontrollen untersucht, um einen idealen Fallenstandort mit ausreichend starker *Ae. albopictus*-Präsenz zu finden. Weiterhin wurden die Fallen in schattigen Bereichen ohne direkte Sonneneinstrahlung und mit ausreichend Pflanzen- und Buschbeständen im näheren Umfeld aufgestellt. Da das Feldexperiment auf privaten Grundstücken in Heidelberg ausgeführt wurde, waren die Fallenpositionen weiterhin durch die Kooperationen der Grundstückbesitzer und die Verfügbarkeit eines Stromnetzanschlusses eingeschränkt. Damit die Fallen sich untereinander nicht beeinflussten, wurde auf einen Mindestabstand zwischen den verschiedenen Standorten von 50 Metern geachtet. Eine Unterschreitung des Mindestabstands von 50 Metern wurde nur dann akzeptiert, wenn größere Gebäude zwischen den Fallen eine Barriere darstellten.

Als Fallen wurden BG-Sentinel-Fallen in einer ursprünglichen Form und in zwei unterschiedlich modifizierten Varianten verwendet. Bei den modifizierten Fallen wurden zwei verschiedene Wärmematten (Abbildung



40) als thermischer Reiz zur Anlockung von *Ae. albopictus*-Imagines in die BG-Sentinel-Fallen eingebaut. Sowohl die 10 Watt als auch die 30 Watt Wärmematten hatten laut Herstellerangaben ein Temperaturmaximum von 42 C bei direktem Kontakt, wobei die maximale Temperatur weiterhin von der Umgebungstemperatur abhängig ist.



**Abbildung 40: Zur Modifikation der BG-Sentinel verwendete Wärmematten in großer, 30 Watt (links) und kleinerer 10 Watt (rechts) Ausführung.**

Beim modifizierten Fallentyp „SH“ wurde eine 10 Watt-starke Wärmematte (Thermo Mat Pro, 10W, Firma Lucky Reptile) am Einströmungszylinder der Falle angebracht (Abbildung 41). Der Fallentyp „SH“ erzeugte dadurch hauptsächlich in der Nähe der Fangöffnung der Falle einen deutlichen Temperaturgradienten und durch die eingesaugte und wieder ausgeblasene, erwärmte Luft wiederum einen geringeren, großflächigen Temperaturgradienten im oberen Bereich der Falle.



**Abbildung 41: Modifizierter Fallentyp „SH“ des älteren (links) und neueren (rechts) Modelles der BG-Sentinel-Falle.**

Der zweite modifizierte Fallentyp „BH“ zeichnet sich durch eine 30 Watt-starke Wärmematte (Thermo Mat Pro, 30W, Firma Lucky Reptile) im Inneren des Fallenkörpers aus (Abbildung 42). Der Fallentyp „BH“ erwärmte dadurch zunächst das Innere der Falle. Da die erhitzte Luft über die großflächige Ausströmöffnung aus der Falle geblasen wurde, kam es zu einem Temperaturgradienten außerhalb der Falle im oberen Bereich der Falle mit der Fangöffnung in der Mitte.



**Abbildung 42: Modifizierter Fallentyp „BH“ mit abgenommener Abdeckung des älteren (links) und neueren (rechts) Modells der BG-Sentinel-Falle.**

Im Vorfeld des Freilandversuches wurde ein Testlauf ohne Fallenmodifikationen im Zeitraum vom 10. August bis 18. August 2017 an jedem Fallenstandort durchgeführt. Ziel des Testlaufes war es, nochmals das Vorkommen von *Ae. albopictus* an jedem Standort zu verifizieren und gegebenenfalls auftauchende standort-spezifische Probleme frühzeitig zu erkennen. Nach dem erfolgreichen Testlauf wurden die Fallen mit den jeweiligen Modifikationen besetzt.

Die jeweilige Ausführung des Freilandversuches in den Siedlungsgebieten „Wellengewann“ und „Ochsenkopf“ erfolgte parallel zur gleichen Zeit. Die Fallenstandorte wurden mit den Zahlen 1, 2 und 3 für den Untersuchungsbereich „Wellengewann“ und mit A, B und C für den Untersuchungsbereich „Ochsenkopf“ markiert. Damit der Einfluss des Standortes minimiert werden konnte, wurde eine Rotationsperiode von 6 Tagen bestimmt. Da für die Kontrollen bzw. die Rotation der Fallenmodifikationen jeweils die Privatgrundstücke nur nach Absprache mit den Anwohnern betreten werden konnten, erfolgte die Rotation zwischen den einzelnen Fangperioden nicht immer exakt zur selben Tageszeit, wodurch die Länge der drei Fangperioden minimal abweichen konnte. Während der Rotation wurden nur die Modifikationen rotiert, nicht die komplette Falle selbst, um weiterhin einzelne Effekte individueller Fallen auszuschließen (Tab. 23).

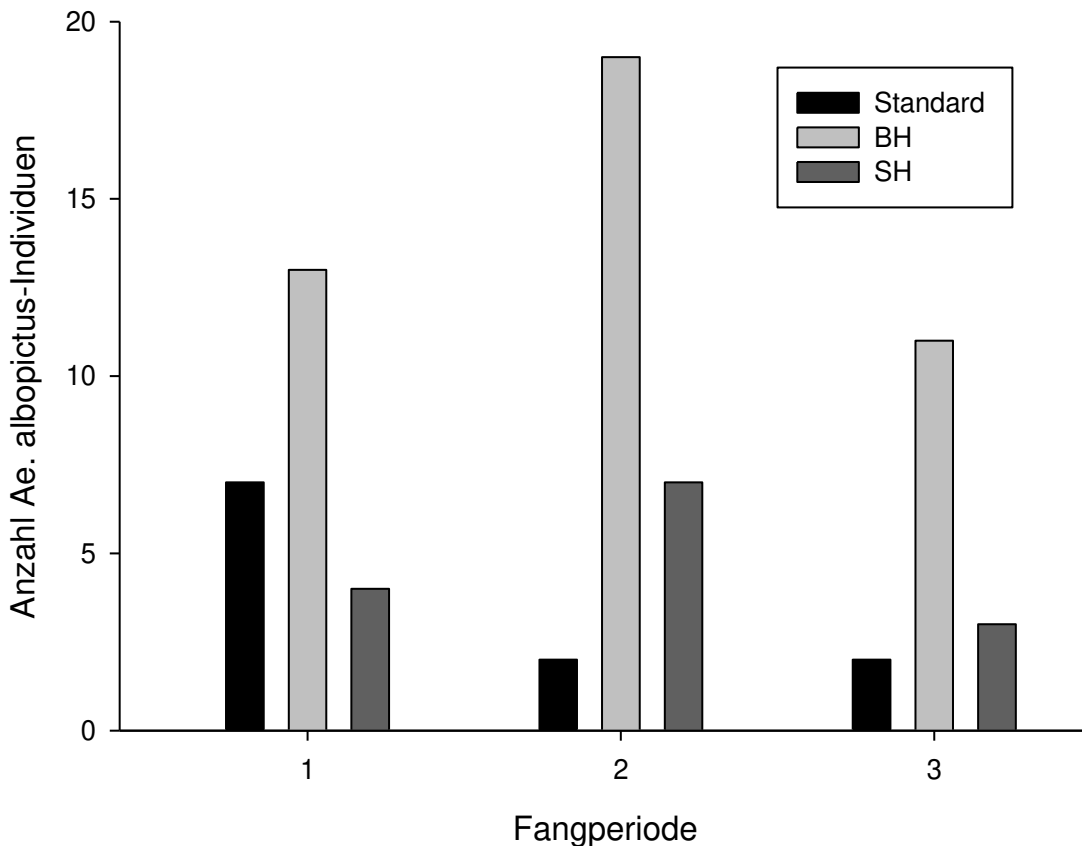
**Tabelle 23: Rotationschema der verschiedenen Fallentypen in Bezug zum Fallenstandort und Fangzeitraum.**

Fallenstandort	Fangperiode 1	Fangperiode 2	Fangperiode 3
Wellengewann 1 (W1)	BH	C	SH
Wellengewann 2 (W2)	C	SH	BH
Wellengewann 3 (W3)	SH	BH	C
Ochsenkopf 1 (A)	SH	BH	C
Ochsenkopf 2 (B)	BH	C	SH
Ochsenkopf 3 (C)	C	SH	BH

Die statistische Analyse wurde mithilfe des Programms SigmaPlot (Version 11.0) durchgeführt. Alle Daten wurden mithilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests nach Normalverteilung sowie mit Hilfe des Levene-Median-Tests auf gleiche Varianz überprüft. Eine mehrfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) wurde verwendet, um die verschiedenen Fallenstandorte, Feldexperimente (Ochsenkopf/Wellengewann) sowie Fallen-Modifikationen und Rotationsperioden zu vergleichen. Um die verschiedenen Fangraten der einzelnen Modifikationen nach signifikanten Unterschieden im Ochsenkopf und Wellengewann zu untersuchen, wurden die Ergebnisse mittels einfaktorieller Varianzanalyse überprüft. Weitere einfaktorielle Varianzanalysen wurden verwendet, um die verschiedenen Fallenstandorte (1, 2, 3 und A, B, C) zu vergleichen sowie statistisch signifikante Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen gefangenen Stechmücken aufzudecken. Als Post-Hoc-Test wurde die Holm-Sidak-Methode verwendet. Die Stärke der jeweiligen Tests wurde auf einem Alpha von 0,05 festgelegt.

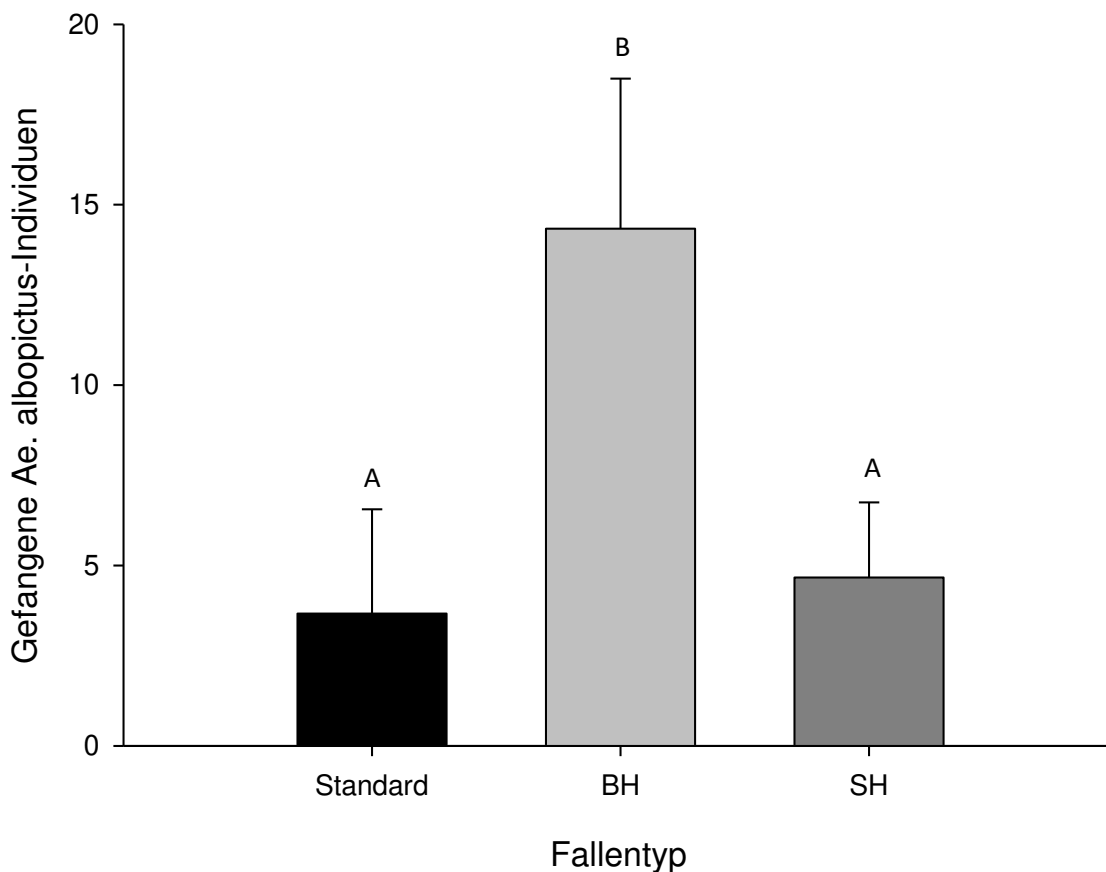
### 7.5.3 ERGEBNISSE

Im Untersuchungsbereich „Wellengewann“ wurden insgesamt elf Individuen von *Ae. albopictus* in der nicht modifizierten Standardfalle (C), 43 Individuen in der mit der 30-Watt-Wärmematte modifizierten Falle (BH) und 14 in der mit den 10-Watt-Wärmematten modifizierten Falle (SH) gefangen. Etwa 20 % der gefangenen Individuen waren männlich. In allen Fangperioden zeigte die Fallenmodifikation „BH“ die höchsten Fangraten (Abbildung 43).



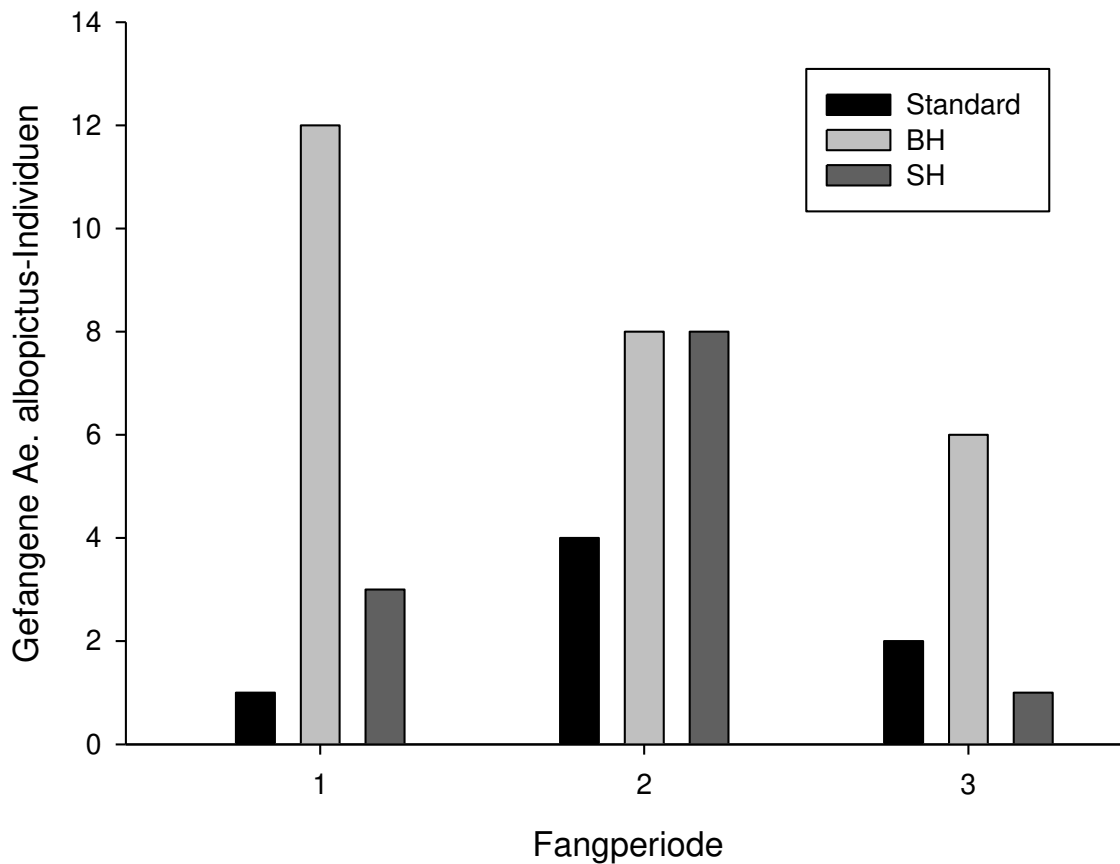
**Abbildung 43: Fangergebnisse der einzelnen Fallentypen während der verschiedenen Fangperioden im Untersuchungsbereich Wellengewann.**

Dabei weist auf den gesamten Untersuchungszeitraum bezogen lediglich der Fallentyp „BH“ mit einer 3,9-fach höheren Anzahl an gefangenen *Ae. albopictus*-Individuen eine signifikant höhere Fangrate ( $p = < 0,004$ ) als der Standardfallentyp (C) auf (Abbildung 44). Das Fangergebnis des Fallentyps „BH“ war ebenfalls signifikant besser im Vergleich zum Fallentyp „SH“ ( $p < 0,009$ ). Es wurde kein signifikanter Unterschied bezüglich der verschiedenen Fallenstandorte (1, 2 und 3) im Untersuchungsbereich „Wellengewann“ über den experimentellen Zeitraum gefunden.



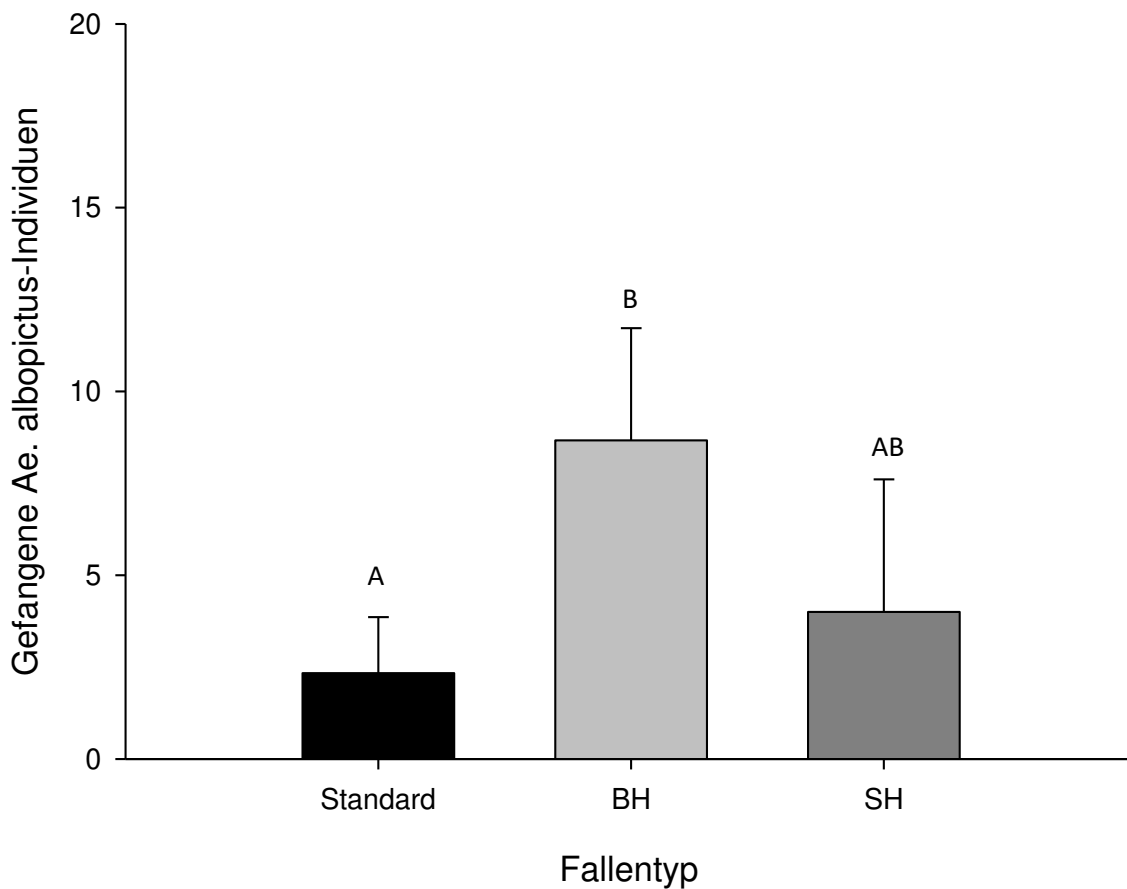
**Abbildung 44:** Anzahl der während des gesamten Versuchszeitraums im Untersuchungsbereich Wellengewann durchschnittlich pro Fangperiode gefangenen Individuen von *Ae. albopictus* je Fallentyp. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0.05$ ).

Im Untersuchungsbereich Wellengewann wurden insgesamt sieben Individuen von *Ae. albopictus* in der nicht modifizierten Standardfalle (C), 26 Individuen in der mit der 30-Watt-Wärmematte modifizierten Falle (BH) und 12 in der mit den 10-Watt-Wärmematten modifizierten Fallen (SH) gefangen (Abbildung 45). 19 % der in dem Fallentyp „BH“ gefangenen Stechmücken waren männlich, während in den „SH“ modifizierten Fallen 17 % männliche Individuen gefangen wurden. In der Standardfalle wurden keine Männchen gefunden. Die Differenz war jedoch nicht groß genug, um einen signifikanten Unterschied zwischen der Anzahl der in den verschiedenen Fallentypen gefangener Männchen feststellen zu können.



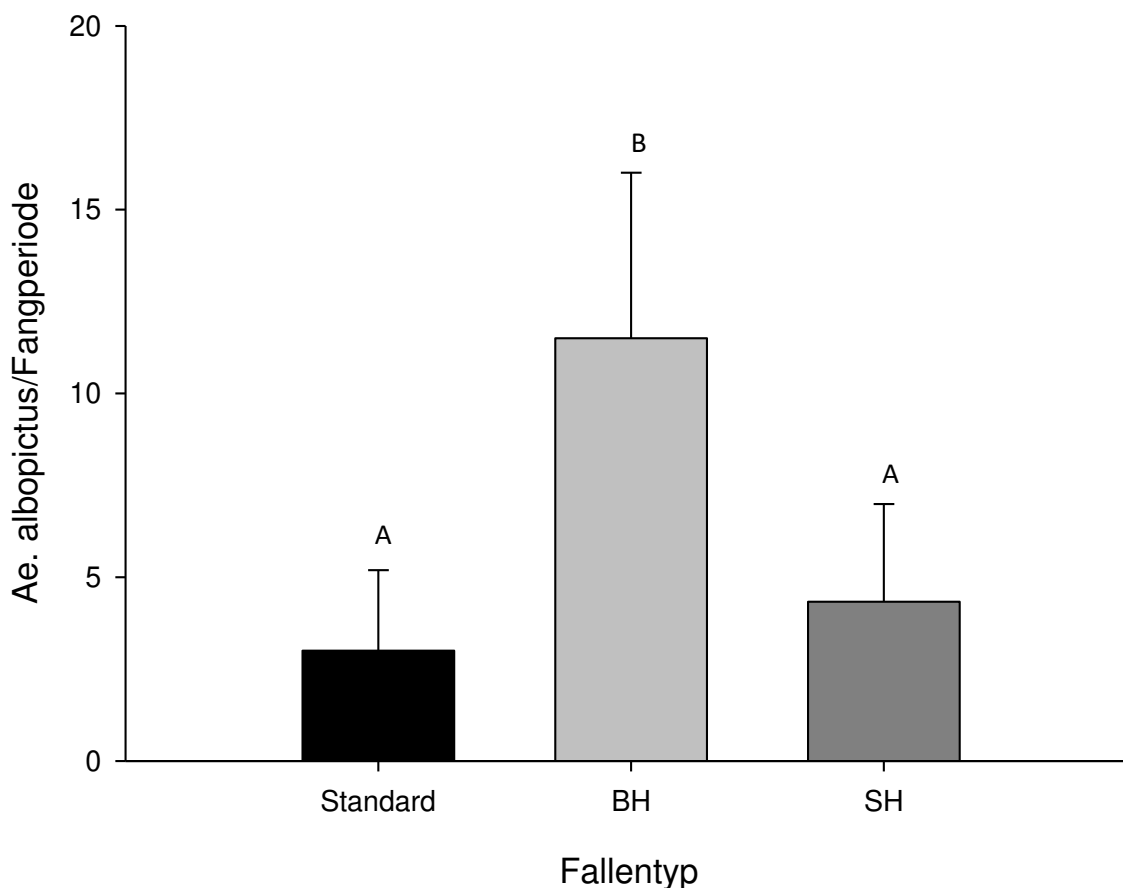
**Abbildung 45: Fangergebnisse der einzelnen Fallentypen während der verschiedenen Fangperioden im Untersuchungsbereich Ochsenkopf.**

Im Vergleich zur Standardfalle zeigte Fallentyp „BH“ mit einer 3,7-fach höheren Anzahl an gefangenen Imagines eine signifikant bessere Fangrate ( $p = < 0,032$ ). Kein signifikanter Unterschied wurde zwischen den Fallentypen „SH“ und der Standardfalle oder den Fallentypen „SH“ und „BH“ gefunden. Wie auch zuvor im Untersuchungsbereich „Wellengewann“ wurde auch im Untersuchungsgebiet „Ochsenkopf“ über den gesamten experimentellen Zeitraum kein signifikanter Unterschied bezüglich der verschiedenen Fallenstandorte (A, B und C) gefunden.



**Abbildung 46:** Anzahl der während des gesamten Versuchszeitraums im Untersuchungsbereich Ochsenkopf durchschnittlich pro Fangperiode gefangenen Individuen von *Ae. albopictus* je Fallentyp. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0.05$ ).

Über den gesamten Untersuchungszeitraum wurden in beiden Untersuchungsgebieten insgesamt 113 Imagines der Asiatischen Tigermücke gefangen. Mit 61 % der gefangenen Individuen bzw. insgesamt 69 Individuen hatte der Fallentyp „BH“ die höchste Anzahl an Imagines der Asiatischen Tigermücken abgefangenen. Mit 18 Individuen bzw. 16 % wurden am wenigsten Individuen mit der nicht modifizierten BG-Sentinel-Standardfalle gefangen. Die Gesamtfangmenge der Fallenmodifikation „SH“ lag mit insgesamt 26 Individuen bzw. 26 % nur leicht über der Gesamtfangmenge der Standardfalle. So war auch insgesamt die durchschnittliche Fangrate je Fangperiode für die Standardfalle ( $3,0 \pm 2,2$ ) und den Fallentyp „SH“ ( $4,3 \pm 2,7$ ) nicht signifikant voneinander verschieden (Abbildung 47). Hingegen unterschied sich mit  $11,5 \pm 4,5$  gefangenen Individuen pro Fangperiode die Fangrate des Fallentyps „BH“ signifikant von den beiden anderen Fallentypen.



**Abbildung 47: Durchschnittliche Anzahl der in beiden Untersuchungsgebieten während des gesamten Versuchszeitraums pro Fangperiode gefangenen Individuen von *Ae. albopictus* je Fallentyp. Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen (ANOVA, Holm-Sidak-Test,  $P < 0.05$ ).**

Während der einzelnen Fangperioden wurden durchschnittlich 6,7 Individuen von *Ae. albopictus* in der ersten Periode gefangen und entsprechend durchschnittlich 8 und 4,2 Individuen für die zweite bzw. dritte Fangperiode. Die Differenz zwischen den einzelnen Fangperioden war nicht statistisch signifikant verschieden. Auch bezüglich der Fallenpositionen (1, 2, 3, und A, B, C) und der beiden Untersuchungsgebiete konnten keine signifikanten Unterschiede bestimmt werden.

Der Anteil männlicher Individuen in den Kontrollfallen lag bei 16,7 %, während in den Fallentypen „BH“ und „SH“ entsprechend 20,3 % und 26,9 % männliche Imagines der Asiatischen Tigermücke gefangen wurden. Es konnte jedoch kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Fangmengen männlicher Individuen zwischen den verschiedenen Fallentypen gefunden werden.

#### 7.5.4 DISKUSSION

In dem vorliegenden Versuch wurde die Effektivität der BG-Sentinel-Falle hinsichtlich der Fangraten an *Ae. albopictus*-Imagines in einem Gebiet mit einer relativ schwachen Populationsdichte der Art untersucht. So kann es theoretisch durch gezieltes regelmäßiges Abfangen von blutsuchenden Weibchen zu einer langfristigen Reduktion der Stechmückenpopulation kommen. Hierfür müssten die verwendeten Fallen jedoch eine hohe Fangrate aufweisen, wobei ein 100-prozentiges Abfangen aller Stechmückenweibchen in einem definierten Umkreis als optimal anzusehen wäre.



Im Jahr 2016 wurde mehrmals beobachtet, dass bei Anflugkontrollen im direkten Umfeld von BG-Sentinel-Fallen die Anzahl der gefangenen *Ae. albopictus*-Individuen vergleichsweise hoch im Vergleich mit den in den Fallen gefangenen Tieren war. Die daraufhin durchgeführten ersten Tests mit durch chemische Handwärmer ergänzten BG-Sentinel-Fallen bestätigten den ersten Eindruck, dass die durch die herkömmliche Falle abgefangenen Asiatischen Tigermücken nur einem kleinen Teil der umliegenden Population entsprechen.

Durch die Ergebnisse des vorliegenden Freilandversuchs konnten diese ersten Ergebnisse bestätigt werden und sogar nochmals höhere Fangraten mit einem der beiden Fallenmodifikationen erreicht werden. So lag die durchschnittliche Fangrate des Fallentyps „BH“ über den gesamten Versuchszeitraum um den Faktor 3,8 über dem der unveränderten Standardfalle. Dies bedeutet, dass durch Verwendung der BG-Sentinel-Fallen es maximal möglich ist, rund 26 % der vorhandenen Tigermückenpopulation im Einflussbereich der Falle abzufangen. Da zu vermuten ist, dass der zum Vergleich herangezogene modifizierte Fallentyp „BH“ ebenfalls keine 100-prozentige Abfangrate der umliegenden Tigermückenpopulation gewährleistet, dürfte die tatsächliche Abfangrate der umliegenden Tigermückenpopulation durch die herkömmliche BG-Sentinel-Falle nochmals niedriger liegen.

Die deutlich gesteigerten Fangergebnisse durch den modifizierten Fallentyp „BH“ sind das Ergebnis des zusätzlichen Wärmereizes, welcher die durch den Duftstoff der BG-Sentinel angelockten blutsuchenden Weibchen zusätzlich in den Nahbereich der Fallenöffnung lockt oder ihre Aufenthaltsdauer im Bereich der Fallenöffnung verlängert.

Physische Reize, Wärme- und visuelle Reize, zur Wirtssuche sind weit weniger an Stechmücken untersucht worden als zum Beispiel chemische Reize, wie z.B. CO<sub>2</sub>. Des Weiteren sind die meisten Studien zu physischen Reizen unter einer multimodalen Perspektive betrachtet worden, in welcher der Einfluss von zwei oder mehreren Stimuli auf das Wirtfindungsverhalten untersucht worden ist (MCMENIMAN et al. 2014; VAN BREUGEL et al. 2015). Auch wenn wenig über die Wärmerezeptoren von *Ae. albopictus* bekannt ist, wurde eine sehr ähnliche Spezies, *Ae. aegypti*, genauer untersucht. Durch die Ähnlichkeit beider Spezies (CHRISTOPHERS 1960) können Rückschlüsse auf das Verhalten von *Ae. albopictus* aus Studien für *Ae. aegypti* gezogen werden.

In neueren molekularen und physiologischen Studien wurden Gene für ein TRP (transient receptor potential), welches für die Wahrnehmung eines thermalen Stimulus in *Ae. aegypti* und *Anopheles gambiae* verantwortlich ist, gefunden (WANG et al. 2009, BOHBOT et al. 2014; CORFAS & VOSSHALL 2015). Diese Ergebnisse bestätigen vorherige Studien, die zwei Wärmerezeptoren in den Antennen von *Ae. aegypti* gefunden haben (DAVIS & SOKOLOVE 1975, MCLVER & SIEMICKI 1979). Ähnliche Rezeptoren wurden auch etwas später in *Anopheles stephensis* entdeckt (Boo 1980). OLANGA et al. (2010) zeigte, dass bei einem zusätzlichen Wärme und Feuchtigkeitsreiz die Reaktion auf chemische Lockdüfte verstärkt wird. Des Weiteren ist bekannt, dass allein ein Wärmereiz im Bereich der Körpertemperatur des Wirtes ausreichend für eine Orientierung ist (ZERMOGLIO et al. 2017). Ebenfalls wurde aufgezeigt, dass unter Anwesenheit von chemischen Reizen, wie z.B. CO<sub>2</sub>, ein verstärktes Suchverhalten nach visuellen Reizen ausgelöst wird, wodurch die menschliche Figur für eine wirtssuchende Stechmücke auf etwa 5 bis 15 Metern sichtbar wird (BIDLINGSMAZER et al. 1980). Es wird angenommen, dass aus größerer Entfernung durch den chemischen Reiz von Duftstoffen und CO<sub>2</sub> der Blutwirt erkannt und aufgesucht wird und in unmittelbarer Nähe, neben dem chemischen Reiz des Hautgeruchs, zusätzlich Wärme und Feuchtigkeitsreiz benutzt werden, um einen optimalen Landeplatz zur

Blutaufnahme aufzusuchen (LACEY et al. 2014; DEKKER et al. 2001; DEKKER et al. 2002; SKINNER et al. 1965).

Im Falle der Fallenmodifikationen in dieser Studie könnte der Wärmereiz nicht nur als Reiz im Nahbereich der Wirtssuche (Zermoglio et al. 2017) dienen, sondern auch das komplette Wirtsfindungs- und Landeverhalten bezüglich anderer Reize verstärken (CARDE 2015). Darunter fallen der chemische Reiz aus der BG-Lure sowie der visuelle Reiz, bestehend aus dem Kontrast des Fallenkörpers und der Abdeckung (MCMENIMAN et al. 2014, VAN BREUGEL et al. 2015). Dabei spielt die Größe des Wärmereizes eine untergeordnete Rolle (Zermoglio et al. 2017). Jedoch könnte die insgesamt abgegebene Wärme einen Einfluss auf die Wahrnehmung der thermalen Konduktion und Konvektion haben (PETERSON & BROWN 1951). Nach aktuellem Stand der Forschung wird vermutet, dass Wärmeradiation keine Rolle im Wirtsfindungsverhalten spielt (ZERMOGLIO et al. 2017). Obwohl die entsprechenden Wärmerezeptoren sowohl in männlichen wie auch in weiblichen Stechmücken vorhanden sind, konnte kein Einfluss eines Wärmereizes auf Männchen nachgewiesen werden (ZERMOGLIO et al. 2017; VAN BREUGEL 2015). Dies zeigen auch die Ergebnisse des vorliegenden Versuches, bei dem kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Fangraten von Männchen zwischen den modifizierten Fallen und der Kontrolle gefunden werden konnte. Die etwas höhere Anzahl gefangener Männchen bei dem modifizierten Fallentyp „BH“ ist vermutlich ein Folgeeffekt der erhöhten Fangrate von Weibchen beim selben Fallentyp. So ist bekannt, dass männliche Stechmücken durch die Fluggeräusche der weiblichen Stechmücken angelockt werden (GOPFERT et al. 1999). Durch die höhere Präsenz der Weibchen beim Fallentyp „BH“ im direkten Umfeld der Falle bzw. der Fallenöffnung könnten somit ebenfalls mehr Männchen in die Falle geraten sein.

Im Falle der kleineren 10 Watt-starken Wärmematte, welche unmittelbar an der Einstromöffnung platziert worden war, wurden weniger Individuen gefangen als zu erwarten gewesen wäre. Obwohl die Wärmematte laut Herstellerangabe auf zwischen 38 °C und 42 °C bei direktem Kontakt erhitzen kann, schaltete sie sich oftmals bei höheren Tagestemperaturen (>26 °C) in der Mittags- und Nachmittagszeit aus. Die 30 Watt-starke Wärmematte, welche im Inneren des Fallenkörpers platziert worden war, blieb trotz höherer Tagestemperaturen stets mit 38 °C bis 42 °C angeschaltet. Mehrere Studien zeigen, dass es Stechmücken möglich ist, einen thermalen Reiz auf eine Distanz von etwa 20 cm zu erkennen. In Kombination mit dem Hautgeruch erfolgt so eine Bestimmung des Landesplatzes zur Blutaufnahme (EIRAS et al. 1994, VAN BREUGEL 2015). Ein weiterer wichtiger Reiz zur Auffindung des Wirtes und Landeplatzes auf dem Wirt ist Wasserdampf, welcher natürlicherweise vom Wirt durch Transpiration erzeugt wird (EIRAS et al. 1994). Studien zeigen, dass die Kombination eines Wärmereizes mit Wasserdampf die Reizstärke drastisch erhöhen kann. Dies könnte eine Adaptation sein, um bestimmte wärmestrahlende, aber trockene Objekte, wie z.B. aufgewärmte Felsen vom eigentlichen Säugetier-Wirt zu unterscheiden (VAN BREUGEL 2015). Während des Zeitraumes des Experimentes kam es mehrmals zu Regenfällen, wodurch sich innerhalb der Fallenkörper häufig eine kleine Menge an Wasser ansammelte. Durch das Erhitzen des Inneren des Fallentyps „BH“ wurde sehr wahrscheinlich mehr Wasserdampf generiert als in den anderen Fallentypen. Diese könnte ein Grund der deutlich besseren Effizienz der 30-Watt-Wärmematte im Vergleich zu den anderen Fallentypen gewesen sein. Des Weiteren war der Fallentyp „BH“ zu jeder Zeit aktiv, während Fallentyp „SH“ während der Mittags- und Nachmittagszeit nicht aktiv war.

Zu erwähnen ist noch, dass der Fallentyp „SH“ trotz nicht signifikant höherer Fangraten dennoch rund 69 % mehr Individuen über den gesamten experimentellen Zeitraum gefangen hat als die Standardfalle. Ohne die Unterbrechung des thermalen Reizes, vor allem während des abendlichen Aktivitätsmaximums von *Ae.*

*albopictus*, wären die Fangraten eventuell höher und letztendlich signifikant zum Standardfallentyp ausgefallen.

BG-Sentinel-Fallen gelten derzeit weltweit als Standard für die Bekämpfung und das Monitoring von *Ae. albopictus* und *Ae. aegypti* (KRÖCKEL et al. 2006; MEERAUS et al. 2008). Eine neuere Studie in Cesena im Norden Italiens hat den Nutzen der BG-Sentinel-Falle als Bekämpfungsstrategie zur Verringerung der Belästigung durch *Ae. albopictus* untersucht (ENGELBRECHT et al. 2015). In dieser Studie wurde eine Reduktion der Anflugeraten um 87 % durch Verwendung der BG-Sentinel-Fallen als Bekämpfungsmittel im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle erzielt. Für Deutschland wurde jedoch keine vergleichbare Studie gefunden.

Das auffällige und sperrige Design der BG-Sentinel-Falle erschwert das Auffinden eines sicheren Fallenstandorts in öffentlichen Gebieten, in denen Menschen die Falle nicht finden und stören könnten. Des Weiteren ist für eine langfristige Nutzung der Falle z.B. über eine gesamte Reproduktionsperiode die Verfügbarkeit eines Stromanschlusses unentbehrlich, da ein langfristiger Betrieb mit regelmäßig zu wechselnder Batterie die Handhabung sehr aufwendig gestaltet. Mit den vorherig genannten Einschränkungen wird die Benutzung der Falle hauptsächlich auf die Nutzung in Privatgrundstücken mit Stromversorgung eingeschränkt. Zusammengefasst ist die Nutzung der BG-Sentinel-Falle komplex und sehr aufwendig. Nur eine exzellente Fangrate und damit eine starke Verringerung der *Ae. albopictus*-Population im besetzten Gebiete würde den Arbeitsaufwand rechtfertigen. Wie die Ergebnisse des vorliegenden Versuches zeigen, ist jedoch davon auszugehen, dass lediglich ein Viertel und vermutlich noch weniger der Asiatischen Tigermücken-Population im Einflussbereich der Falle abgefangen werden. Als alleiniges Bekämpfungsmittel zur nachhaltigen Reduktion oder letztendlich sogar zur Auslöschung einer Tigermückenpopulation reichen die Fangraten sicher nicht aus. Nur eine große Anzahl an Fallen und eine sehr hohen Fallendichte innerhalb der Tigermückenpopulation könnte die Fangraten steigern, was in Anbetracht der bemerkenswert hohen Standorttreue der Tigermückenpopulationen bzw. geringen Migrationsbewegungen der einzelnen Individuen (JIGGINS 2017) vor allem bei größeren Populationsausdehnung durch den extrem gesteigerten Material- und Arbeitsaufwand nicht zu realisieren wäre.

Im Bereich noch sehr kleiner, lokal begrenzter Populationen der Asiatischen Tigermücke und bei ausreichend verfügbaren Stromanschlüssen sowie geeigneten Fallenstandorten, können auch trotz der ermittelten Fangraten durchaus BG-Sentinel-Fallen zur Unterstützung der übrigen Bekämpfungsmaßnahmen aufgestellt werden. Wird die Population durch andere Bekämpfungsmaßnahmen auf ein sehr niedriges Niveau bzw. an den Rand der minimal überlebensfähigen Populationsgröße (MVP) reduziert, kann jedes weitere abgefangene Weibchen den vollständigen Zusammenbruch der Asiatischen Tigermücken-Population beschleunigen. Dies trifft insbesondere zu, wenn durch einen späten Bekämpfungsstart im Frühjahr schon ein Teil der Tigermückenpopulation ausgeflogen ist. Bis zur welcher Populationsausdehnung BG-Sentinel-Fallen als zusätzliches Bekämpfungsmittel in Betracht gezogen werden können, ist letztendlich nicht nur eine Frage des Bekämpfungs-Budgets, sondern mit zunehmender abzudeckender Populationsfläche aufgrund der Notwendigkeit einen geeigneten Standortes für die anspruchsvolle Falle zu finden, immer schwerer zu realisieren. So stünde bei einem größeren Bekämpfungsgebiet durch die nicht lückenlose Abdeckung mit BG-Sentinel-Fallen, der bemerkenswert hohe Standorttreue der Tigermückenpopulationen und letztendlich der in diesem Versuch ermittelten Fangraten der BG-Sentinel-Fallen der Nutzen durch die zusätzlich abgefangenen Tiger-

mücken-Weibchen in keinem Verhältnis zu dem nötigen Arbeitsaufwand und den anfallenden Kosten, welche in effektivere Bekämpfungsmethode investiert werden können.

# 8 Sterile Insekten Technik (SIT)

Die Sterile Insekten Technik stellt eine biologische Bekämpfungsmethode dar, die artspezifisch wirkt und durch die Ausbringung einer großen Zahl steriler männlicher Tiere eine genetische Kontrolle einer vorhandenen Population erzeugt (KNIPLING 1955). Durch die Paarung mit männlichen sterilen Individuen soll das reproduktive Potenzial fertiler weiblicher Individuen reduziert und so eine Suppression oder gar Elimination der Wildpopulation ermöglicht werden (ALPHEY et al. 2010). Dipteren wie die Mittelmeerfruchtfliege *Ceratitis capitata* (DE LONGO et al. 2000) oder die Neuwelt-Schraubenvurmfliege *Cochliomyia hominivorax* werden durch entsprechende Programme effektiv kontrolliert, wodurch bereits größere Ausbrüche eingedämmt werden konnten (LINDQUIST et al. 1992).

Bereits auf La Réunion und in Italien wurde die Sterile Insekten Technik explizit für die Bekämpfung von *Aedes albopictus* eingesetzt (BELLINI et al. 2013B, OLIVA et al. 2012). Ergebnisse von BELLINI (2013) verweisen dabei auf eine ansteigende Rate unbefruchteter Eier, welche jedoch aufgrund der in Italien vorherrschenden hohen Populationsdichten bisher zu keiner signifikanten Reduktion der Wildpopulation führen konnte.

Im vorliegenden Projekt sollte in mehreren Labor- und Freilandversuchen, die im Rahmen zweier Masterarbeiten der Universität Heidelberg durchgeführt wurden (STELZNER 2017, AUGSTEN 2018), die Effektivität und die praktische Anwendung von SIT-Freilassungen unter den infrastrukturellen und klimatischen Bedingungen in Baden-Württemberg untersucht werden.

## 8.1 BEURTEILUNG DER PAARUNGSRATE UNTER FREILANDBEDINGUNGEN VON SIT-MÄNNCHEN DER ASIATISCHEN TIGERMÜCKE.

### 8.1.1 MATERIAL UND METHODE

#### SIT-Freilassungen

In Zusammenarbeit mit dem Centro Agricoltura Ambiente „Giorgo Nicoli“ (CAA) wurde eine Ausbringung von sterilen männlichen Tieren unter Anwendung der Sterilen Insekten Technik (SIT) etabliert. Dabei stand der bereits 2016 verwendete *Ae. albopictus* Stamm aus Heidelberg für die Massenzucht zur Verfügung. Aufzucht, Sortierung der männlichen Tiere sowie die Bestrahlung (BELLINI et al. 2013a, BELLINI et al. 2013b) erfolgte im Rahmen der Arbeiten am CAA. Der Versand der 21 Chargen in Styropor-Kühlboxen erfolgte 2017 über den Postweg (Übernacht Express-Versand) oder eigene Abholung mit dem PKW.

Zur Anlieferung der sterilen Tiere wurden diese in Petrischalen innerhalb weißer Boxen angezogen, aus denen nach dem Schlupf, noch vor Beginn des Transportes die verbliebene Flüssigkeit abgesaugt wurde. Als Verschluss wurden die Boxen mit einem dichten Netz verschlossen, wodurch die Luftzufuhr der Kartons sichergestellt werden konnte. Eine Versorgung der Stechmücken mit 10 % Zuckerlösung erfolgte über die Verwendung von Watte pads, welche für den Transport mittels Kreppband auf den Netzen befestigt wurden.

Die Kartons mit jeweils rund 1000 Tieren wurden nach Ankunft entsprechend auf die jeweiligen Untersuchungsgebiete aufgeteilt und in einem wöchentlichen Rhythmus freigelassen. Bei der Freilassung wurde darauf geachtet, dass diese nicht in unmittelbarer Nähe zu einem Gebüsch erfolgte. Nach der Entfernung des Netzes wurden die sterilen *Ae. albopictus* an festgelegten Punkten freigesetzt. Um eine größere Verteilung der Tiere zu gewährleisten, wurden während der Freisetzung bzw. dem Ausfliegen der Männchen mehrere Meter Fußweg zurückgelegt.

Im Jahr 2017 erfolgte während der gesamten Reproduktionsperiode eine Freilassung von sterilen Männchen im Bereich der Kleingärten „In den zwölf Morgen“ (Abbildung 48). Im Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ erfolgte im westlichen Teil ebenfalls SIT-Freilassungen von wöchentlich 2000 Männchen über die gesamte Reproduktionsperiode im Rahmen der Wiederfangexperimente (Versuch 8.2). Hingegen erfolgten zusätzliche SIT-Freilassungen im östlichen Teil des Gebietes erst im Laufe der Reproduktionsperiode aufgrund vermehrt auftretender Asiatischer Tigermücken. Die Zahl der Standorte schwankte dabei wöchentlich und war von der Zahl der verfügbaren Käfige abhängig, wobei in einer Woche maximal 6000 sterile Männchen im östlichen Teil des Siedlungsbereiches „Ochsenkopf“ freigelassen wurden.

Auch im Siedlungsgebiet Wellengewann des Stadtteils Pfaffengrund wurden regelmäßig sterile Männchen freigelassen, deren Anzahl zwischen 1000-4000 Tiere schwankte und wiederum von den insgesamt verfügbaren Käfigen pro Woche abhängig war.

Ein erst im Jahr 2017 entdeckte Tigermückenpopulation im Stadtteil Bahnstadt, diente als Standardkontrolle, da dort über den gesamten Verlauf der Reproduktionsperiode kein Einsatz der Sterilen Insekten Technik stattfand.



**Abbildung 48: Bereiche der SIT-Freisetzung (grün) in der Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“.** Luftbild ©LUBW.

## Kontrolle der Befruchtungsrate und Populationsentwicklung mittels Eiablage-Monitoring

Die Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ diente im Jahr 2017 in seiner gesamten Fläche nahezu ausschließlich der Effizienzermittlung der Sterilen Insekten Technik, weshalb andere Bekämpfungsmaßnahmen stark eingeschränkt wurden. Ebenfalls wurde die Kleingartenanlage nicht mit GAT-Fallen oder BG-Sentinel-Fallen versehen. Diese hätten neben einer erwünschten Reduktion der Wildpopulation auch zu einem Abfangen der freigelassenen SIT-Individuen in größeren Mengen geführt. Als Alternative zur Erfassung der Populationsentwicklung und zur Ermittlung der Befruchtungsrate wurde in der Kleingartenanlage explizit auf Standard-Eiablagefallen zurückgegriffen, da diese keinen Einfluss auf bereits vorhandene Imagines besitzen.

Da kein Zugang zu den einzelnen Parzellen vorhanden war, wurden die Fallen auf sämtlichen begehbaren Wegen und dem Gemeinschaftsparkplatz sowie im Umfeld des Vereinshauses aufgebaut (Abbildung 49). Somit konnten in der Kleingartenanlage 80 Standard-Eiablagefallen mit einem durchschnittlichen Abstand von 7 m zueinander aufgestellt werden. Die Fallen wurden alternierend mit Wasser oder Heuaufguss befüllt, wobei keine Rotation dieser Flüssigkeiten während der Reproduktionsperiode erfolgte. Der Heuaufguss wurde in Kanistern zwei Wochen vor Ausbringung angesetzt. Dabei wurden drei Gramm Heupellets (Best Nature Zwergkaninchen Pellets, Dehner) (FERSTL 2014) in fünf Liter Leitungswasser gelöst und ohne Verschluss unter Freilandbedingungen gelagert. Bei der wöchentlichen Kontrolle der Eiablagefallen und dem Austausch der 15 cm x 1,7 cm Holzstäbchen (Einmal-Holzspatel, neoLab) wurden die Becher entleert und mit neuem Heuaufguss oder Wasser befüllt.



**Abbildung 49: Luftbild ©LUBW der Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“. Fallenkonzept mit 80 Standard-Eiablagefallen (blau) mit einem Abstand von 7 m zueinander. Zusätzlich in Grün die 14 Kontrollpunkte der Anflugkontrolle.**

Neben der Installation des Standard-Eiablagefallen-Transekts wurden an 11 Standorten innerhalb der Kleingartenanlage, zusätzlich Anflugkontrollen (NIEBYLSKI & CRAIG 1994) durchgeführt. Die Anflugkontrollen wurden wöchentlich, gleichzeitig mit den Kontrollen der Standard-Eiablagefallen durchgeführt.

In den anderen Gebieten mit SIT-Freilassungen wurden Eier der Asiatischen Tigermücke aus den bestehenden Fallentransekten („Ochsenkopf“, Versuch 7.4) oder durch Einfangen von Weibchen bei der Anflugkontrolle („Bahnstadt“) gewonnen.

### Überprüfung der Befruchtungsrate

Neben der Untersuchung des Befruchtungsstatus der bei den Anflugkontrollen eingefangenen *Ae. albopictus*-Weibchen, wurden auch die in den Standard-Eiablagefällen abgelegten Eier im Labor untersucht. Nachdem diese unter Verwendung eines Stereomikroskops als Eier der Asiatischen Tigermücke identifiziert werden konnten, wurden diese für ein erweitertes Schlupfreiz Experiment bis zum Abschluss ihrer Embryogenese für vier Tage (HAWLEY 1988) inkubiert.

Das bestehende Protokoll der Erfolgskontrolle von SIT-Freisetzung (BELLINI et al. 2007) sieht einen Schlupfreiz mit Nährbrühe mit einer Dauer von 24 h vor. Diese Erfolgskontrolle wurde erweitert: Statt einen Schlupfreiz zu durchlaufen wurden sämtliche im Freiland gesammelte Eier einer Reihenfolge von jeweils drei aufeinander folgenden Schlupfreizen ausgesetzt. Dabei erfolgte der erste Schlupfreiz, angelehnt an BELLINI et al. (2007) unter Verwendung eines Futterreizes. Dieser wird jedoch mit Larvenfutter für Erststadien (60 % Hefe, 40 % Fischfutter) nach PLUSKOTA (2011) durchgeführt.

Der zweite Schlupfreiz wurde durch die Zugabe von 50 % kaltem (5 °C) abgestandenem Leitungswasser eingeleitet (HIEN 1975), um eine kurzzeitige Senkung der Wassertemperatur in den Aufzuchtbecken auf ungefähr 15 °C zu ermöglichen. Dazu wurden die Holzstäbchen mit Eiern zuerst in Larvenaufzuchtbecken mit 25 °C warmem Wasser geflutet. Nach 30 Minuten erfolgte die Zugabe des kalten Wassers.

Im dritten Schlupfreiz wurden die Eier mit einer Heuaufguss-Suspension (3 g/5 Liter) geflutet. Die Inkubation der Eier nach jedem Schlupfreiz erfolgte für 48 h. Anschließend wurden die Holzstäbchen aus den Larvenaufzuchtbecken entfernt und für 24 h feucht gelagert. Die in den Aufzuchtbecken geschlüpften Larven konnten im weiteren Verlauf gezählt und in die Zucht überführt werden.

Nach Abschluss des dritten Schlupfreizes erfolgte, nach einer Lagerung von 24 h, das Bleichen mit 10 % Wasserstoffperoxid-Lösung (HOKAMA & JUDSON 1963). Dafür wurden die Holzstäbchen in kleine Filmdosen überführt und diese bis zur Kante mit der Bleichlösung aufgefüllt (PLUSKOTA 2011). Nach 24 h konnte unter einem Stereomikroskop der Zustand der gebleichten Eier bewertet werden.

Neben der Behandlung abgesammelter Eier aus dem Freiland, fand die Methodik außerdem Anwendung bei Eiern von im Freiland (Kleingartenanlage und Bahnstadt) gefangenen weiblichen Tieren. Die Exemplare wurden während der Anflugkontrollen in Probegläsern abgesammelt und im Labor in Einzelkäfigen untergebracht. In diesen wurde eine Eiablagedose mit Holzstäbchen für die Oviposition angeboten. Eine Versorgung erfolgte über die Gabe von 10 % Zuckerlösung. Die weiblichen Tiere verblieben für 120 h in diesen Einzelboxen und konnten nach einer Blutmahlzeit in dieser Zeit einen Eiablagezyklus durchlaufen.

### Zustandsbeschreibung gebleichter *Aedes albopictus*-Eier

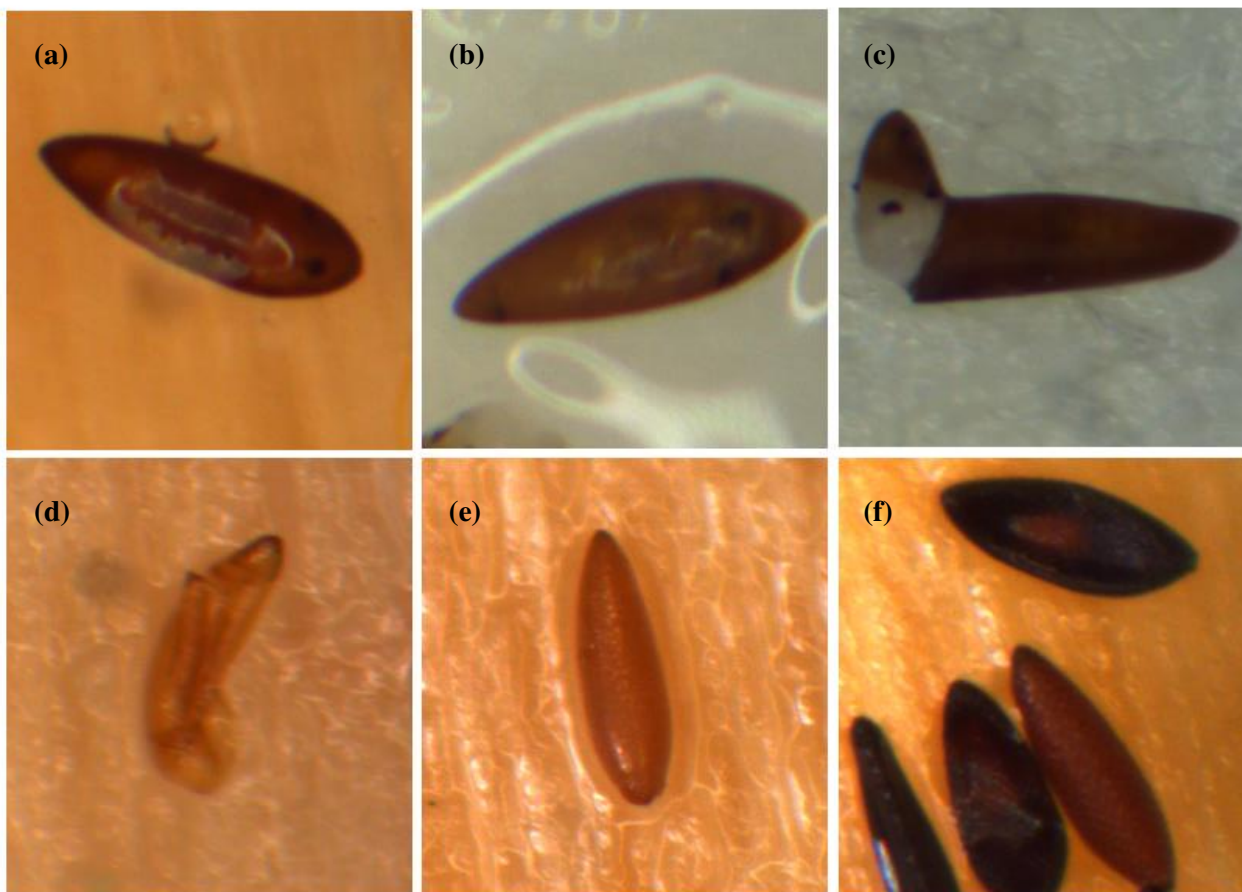
Für eine einheitliche Bewertung des Befruchtungszustandes und die spätere Auswertung wurden die Strukturzustände der Eier beschrieben und in Kategorien nach PLUSKOTA (2011) aufgeteilt:



**Befruchtete und vollständig entwickelte Eier:** Die Augen sind in vollständig ausgebildet und deutlich sichtbar. Zusätzlich lassen sich der dorsale Eizahn oder die ventrale Mundbürste als weitere Merkmalsausprägungen deutlich erkennen (Abbildung 50a und 50b). Eier, die während des Bleichprozesses mit dem Schlupfprozess begannen oder dessen intakte Larven dabei aus den Eiern gedrückt wurden, galten als vollständig befruchtet (Abbildung 50c).

**Unbefruchtet:** Das Innere des Eies verfügt über keinerlei Strukturen. Im intakten Zustand besitzen diese Eier ein leicht vergrößertes Volumen als befruchtete Eier und weisen eine hellere Färbung auf (Abbildung 50e). Wurden helle, zerfallene Eier entdeckt, wurden diese ebenfalls als unbefruchtet bewertet (Abbildung 50d).

**Mel:** Mel-Eier traten als Merkmalsausprägung bereits bei PLUSKOTA (2011) auf, die Ursache ihrer Entstehung konnte nicht zurückverfolgt werden. Die Eier sind zumeist vollständig eingefallen, weisen keinerlei Larvenstrukturen auf und wurden als unbefruchtet gewertet. Die Eier der Merkmalsausprägung „Mel“ verbleiben in ihrer schwarzen Färbung, zeigen jedoch häufig die Tendenzen eines Farbübergangs von dunkelbraunen bis hellbraunen Tönen in der Mitte des Eies (Abbildung 50f).

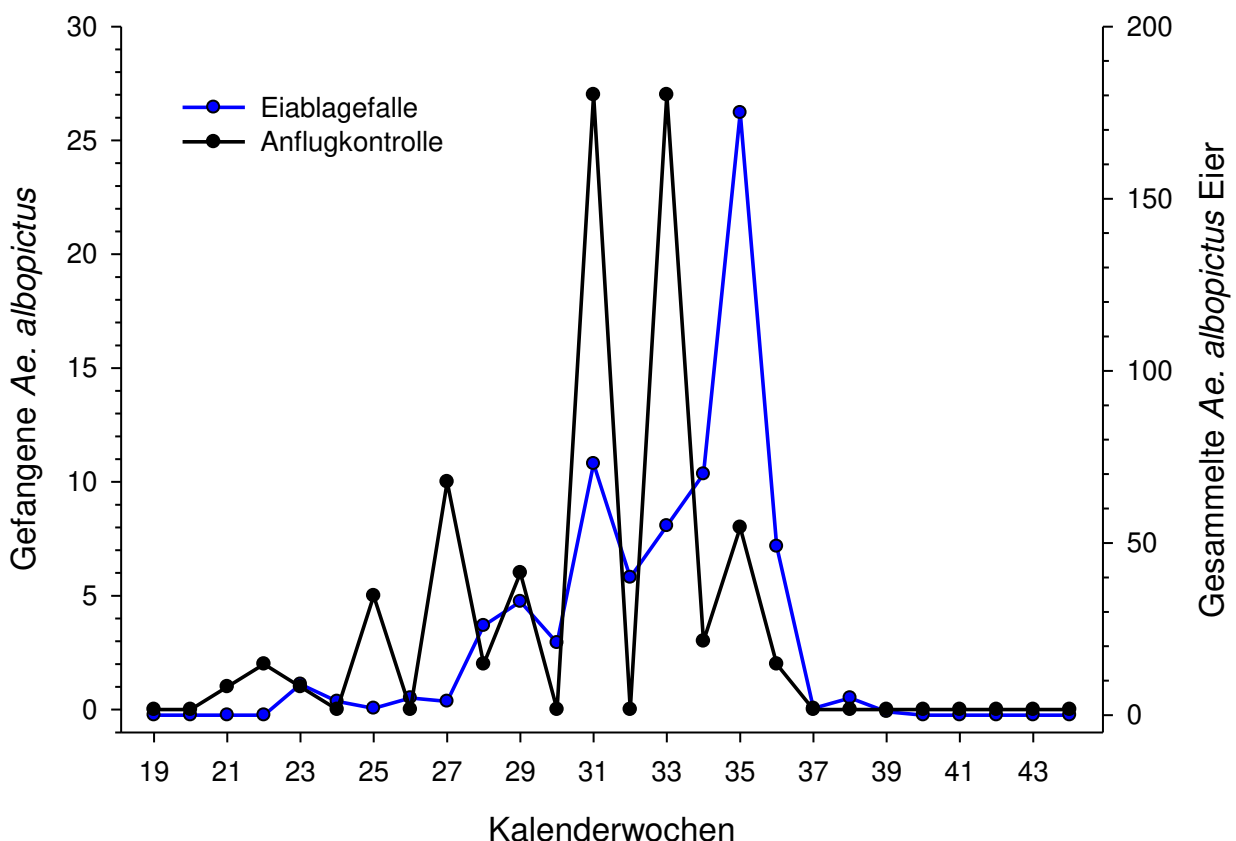


**Abbildung 50:** Merkmalsausprägungen gebleichter *Ae. albopictus*-Eier.

(a) bis (c) stellen befruchtete Eier dar. In (a) und (b) lassen sich die Augen sowie der dorsale Schlupfzahn deutlich erkennen. (c) stellt eine voll ausgebildete Larve dar, die während des Bleichprozesses schlüpft. (d) und (e) sind Ausprägungen unbefruchteter Eier, die während des Bleichprozesses deutlich aufhellen und im Falle von (d) durch eine mechanische Beschädigung zerfallen. (f) zeigt Mel-Eier welche neben einem unbefruchteten Ei auf das Stäbchen abgelegt wurden.

Populationsentwicklung in der Kleingartenanlage „In den Zwölf Morgen“

Bereits in der 21. Kalenderwoche konnte durch Anflugkontrollen eine männliche Asiatische Tigermücke aufgefunden werden (Abbildung 51). Der erste Nachweis auf Eier erfolgte in Kalenderwoche 23; zu diesem Zeitpunkt konnten auf zwei Eiablagefällen neun Eier abgesammelt werden. Auf ungefähr diesem Niveau stagnierten die Werte bis zur 28. Kalenderwoche, in welcher 26 *Ae. albopictus* Eier aufgefunden wurden. Das Maximum an Eiern in Eiablagefällen war in der 35. Kalenderwoche zu verzeichnen. Zu diesem Zeitpunkt wurden in 22 Eiablagefällen insgesamt 175 Eier gefunden. Diese Zahl sank in den zwei darauffolgenden Wochen stark ab, so dass in der 39. Kalenderwoche das letzte Ei nachgewiesen werden konnte. Die über die Saison mittels der Anflugkontrolle nachgewiesenen Imagines unterliegen dabei wöchentlich starken Schwankungen. Kleinere lokale Maxima treten dabei in der 25. (n=5), 27. (n=10) und 29. (n=6) Kalenderwoche auf. Zwei übergreifende Maxima mit jeweils 27 gezählten Exemplaren ließen sich in den Kalenderwochen 31 und 33 ausmachen. In der 35. Kalenderwoche konnten mittels Anflugkontrolle acht Imagines gezählt werden. Dieser Wert senkte sich bis zur 37. Kalenderwoche, so dass ab diesem Zeitpunkt keine Individuen mehr durch diese Methode nachgewiesen werden konnten.



**Abbildung 51:** *Ae. albopictus*-Fänge über den Verlauf der Reproduktionsperiode 2017 in der Kleingartenanlage. Dargestellt sind alle durch Eiablagefällen (blau) gesammelten Eier sowie die *Ae. albopictus*-Imagines, welche während der Anflugkontrollen (schwarz) ermittelt werden konnten.

## Befruchtungsrate der abgelegten Eier

Die aus den Untersuchungsgebieten gewonnen Eier wurden im Labor drei Schlupfreizen und einem anschließendem Bleichschritt unterzogen, um so Aufschluss über den Zustand des Embryos zu gewinnen. Dabei konnten im Laufe der Reproduktionsperiode 583 Eier aus der Kleingartenanlage und 124 Eier aus der Siedlung „Ochsenkopf“ gewonnen werden (Tab. 24). Durch den Fang von 15 weiblichen *Aedes albopictus* aus der Kleingartenanlage und zehn weiblichen Exemplaren aus der Bahnstadt (Stadt Heidelberg) konnten weitere 914 Eier (441: Kleingartenanlage, 463: Bahnstadt) gewonnen werden.

**Tabelle 24: Anzahl gesammelter Eier, gefangene Weibchen und Anteil der befruchteten Eier von *Ae. albopictus* in verschiedenen Gebieten.**

	Gebiet		
	Kleingartenanlage	Ochsenkopf	Bahnstadt
<b>Anzahl Eier Eiablagefalle</b>	583	124	
<b>Anteil unbefruchtet [%]</b>	73 ± 34,8	34,6 ± 48,5	n/a
<b>Gefangene Weibchen</b>	15		10
<b>Anzahl abgelegter Eier</b>	441	n/a	463
<b>Anteil unbefruchtet [%]</b>	35,5 ± 47,3		7,4 ± 13,0

Durch die geringe Menge an *Aedes albopictus*-Eier, die in den Eiablagefällen im Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ gefunden wurden, ist eine statistische Auswertung der Daten problematisch. Stattdessen wurde die Siedlung in zwei Teilgebiete eingeteilt, die sich durch den Zeitpunkt der Freisetzung steriler Asiatischer Tigermücken unterschieden. Dabei wurden über den gesamten Zeitraum der Reproduktionsperiode im Bereich des Transekt-Komplexes B sterile Individuen freigelassen (Versuch 7.4). Dieser Bereich wird in diesem Zuge als „Ost“ dargestellt (Tab. 25). Diesem gegenüber steht der Bereich „West“ in welchem erst ab dem 17.07.2017 sterile Stechmücken ausgesetzt wurden. Vor dem 17.07.2017 waren alle im östlichen Teil des Ochsenkopfes gesammelten Eier (n=10) von den dort positiven Eiablagefällen (n=2) unbefruchtet. Dieser Wert sinkt nach diesem Datum bei einer Anzahl von 37 gesammelten Eier aus drei positiven Eiablagefällen auf 94,6 %. Ein dem entgegengesetzter Trend lässt sich im westlichen Ochsenkopf feststellen.

Vor der Freilassung steriler Tiere in diesem Bereich waren alle 28 eingesammelten Eier befruchtet. Nach der Freilassung wiesen hingegen 75 % der 48 Eier keine typischen Strukturen eines lebensfähigen Embryos auf.

**Tabelle 25: Anteil unbefruchteter Eier vor und nach der Freisetzung steriler Männchen im Siedlungsbereich „Ochsenkopf“.**

		Vor SIT Freilassung „West“	Nach SIT Freilassung „West“
<b>Ochsenkopf Bereich „West“</b>	<b>Anzahl Eier</b>	28	48
	<b>Anteil unbefruchtet [%]</b>	0%	75 %
<b>Ochsenkopf Bereich „Ost“</b>	<b>Anzahl Eier</b>	10	37
	<b>Anteil unbefruchtet [%]</b>	100 %	94,6 %

Die Eier in der Kleingartenanlage wurden während der gesamten Reproduktionsperiode gewonnen und deckten mit 17 positiven Wochen einen Großteil dieser ab. Um einen Einblick in das Verhältnis unbefruchteter Eier innerhalb der Kleingartenanlage zu gewinnen, wurde dieser in drei Abschnitte eingeteilt (Tab. 26), die sich durch ihre Lage charakterisieren. Der vordere Teil (Abschnitt „Vorne“) fiel während des Versuchszeitraumes durch den geringen Besatz an Eiern auf. Der hintere Teil unterteilt sich in den oberen Teilbereich (Abschnitt „Oben“) und unteren Teilbereich (Abschnitt „Hinten“), welche durch einen höheren Besatz an Eiern einen größeren Anteil der Eier ausmachten.

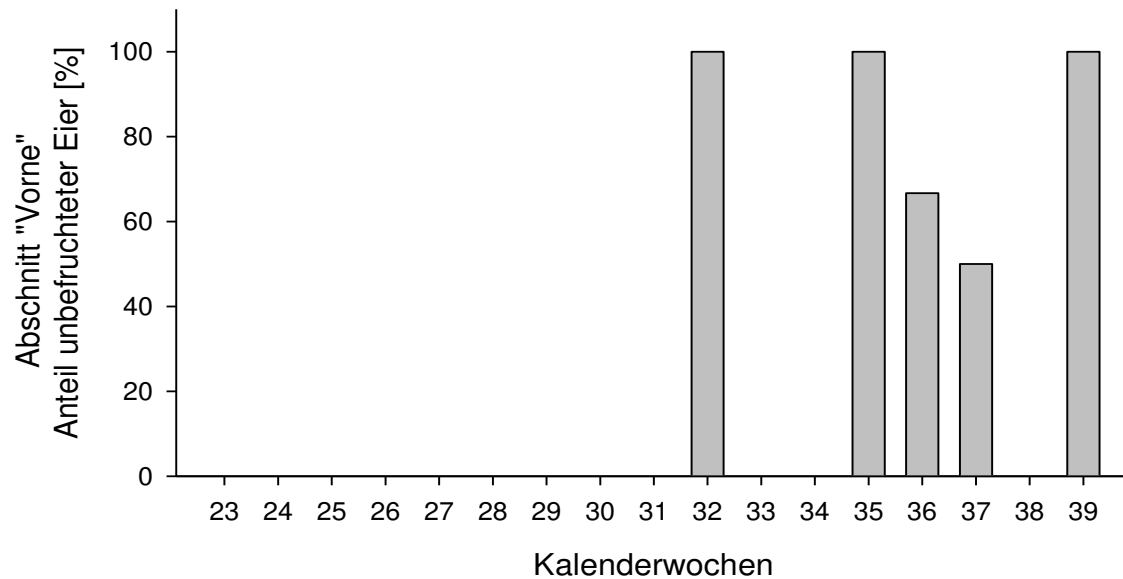
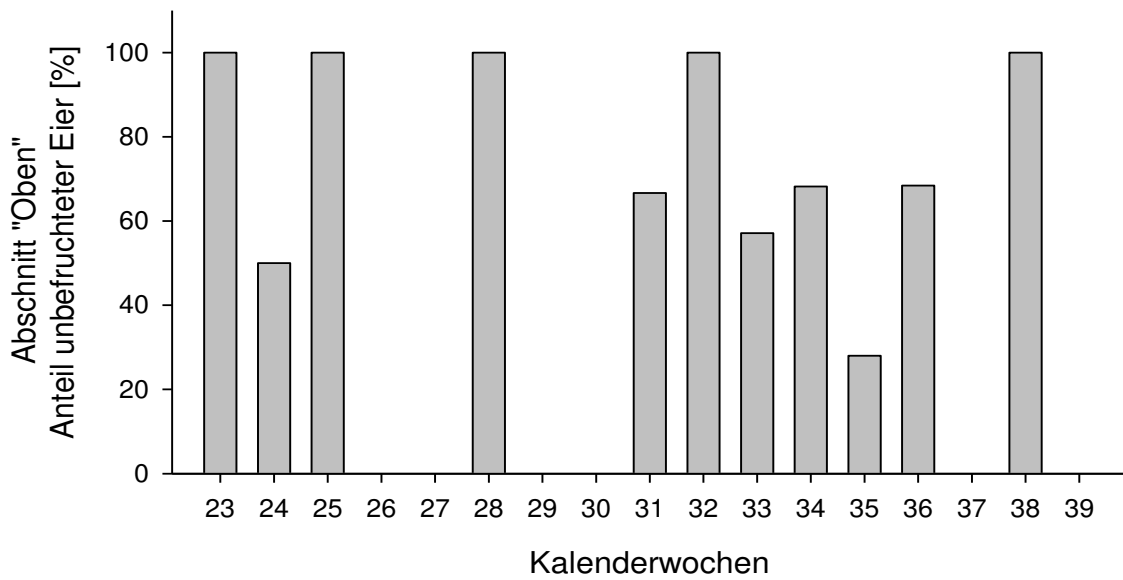
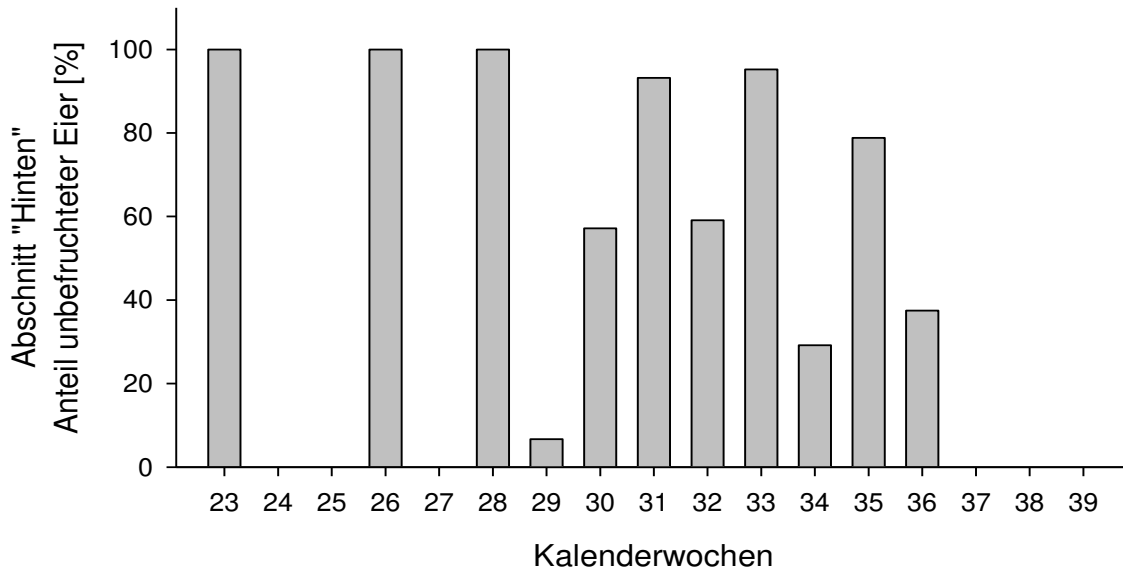
**Tabelle 26: Abschnitte der Kleingartenanlage und Anzahl der gesammelten Eier.**

	Abschnitte Kleingartenanlage		
	Vorne	Hinten	Oben
<b>Fallnummern</b>	1-19, 49-51, 73-80	20-48, 52-55	56-72
<b>Anzahl Fallen</b>	30	33	17
<b>Anzahl Eier</b>	52	345	186
<b>Anteil unbefruchtet [%]</b>	69,44 ± 40,02	54,05 ± 41,24	52,78 ± 36,8

Bei der graphischen Darstellung (Abbildung 52) hebt sich besonders der vordere Abschnitt von den beiden anderen ab. Dieser weist einen Anteil unbefruchteter Eier von durchschnittlich 69,44 % auf. Der Anteil unbefruchteter Eier in den anderen Abschnitten beträgt jeweils 54,1 % (Abschnitt „Hinten“) und 52,8 % (Abschnitt „Oben“). Dabei fällt beim Sammelzeitpunkt der Eier auf, dass die beiden hinteren Abschnitte über den gesamten Zeitraum der 17 Wochen hinweg immer wieder positive Eiablagefallen aufwiesen. Der erste positive Nachweis auf Eier von *Ae. albopictus* fand im vorderen Abschnitt erst in der Kalenderwoche 32 statt, was eine Differenz von neun Wochen darstellt.

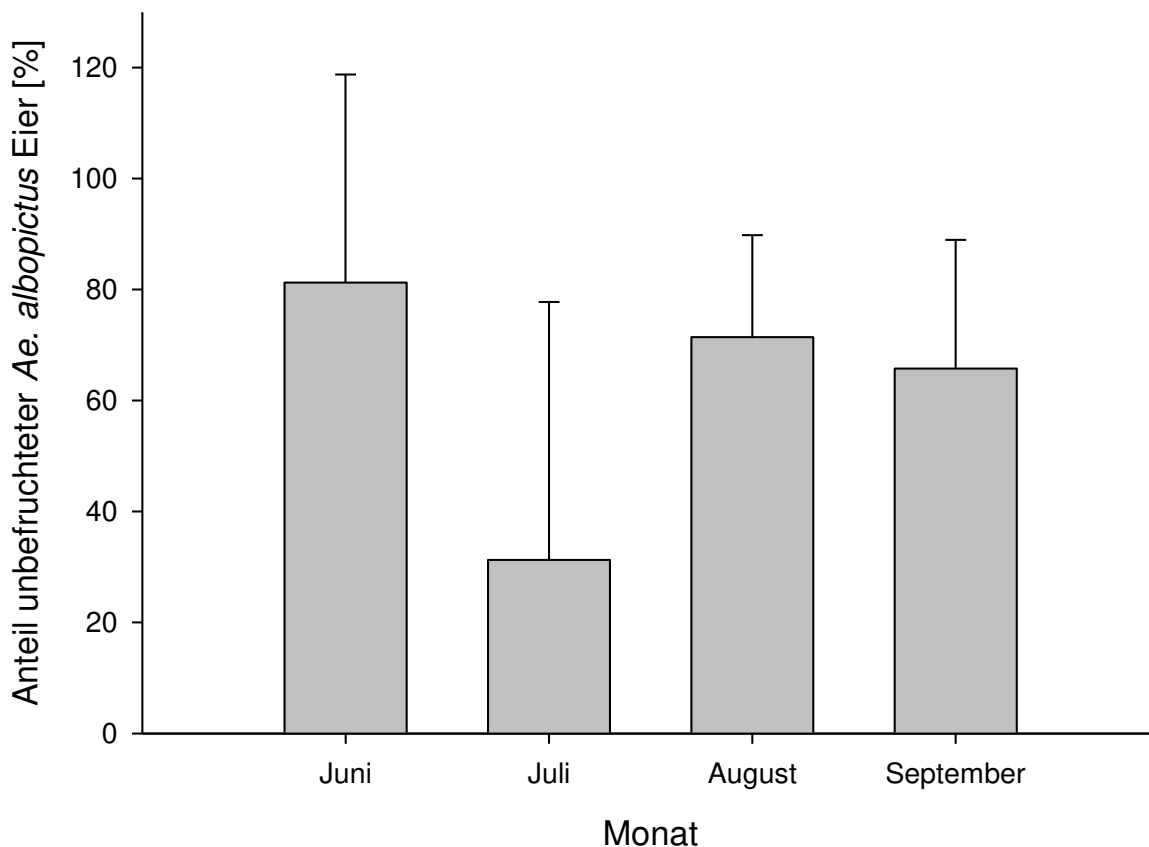
Bei der Betrachtung des jeweiligen Anteils unbefruchteter Eier lässt sich kein einheitlicher Trend zwischen den einzelnen Abschnitten feststellen. Zwar lassen sich ähnliche Sequenzen beispielsweise in den Kalenderwochen 23 oder 28 feststellen, diese erstrecken sich jedoch nicht über alle drei Abschnitte und setzen sich nicht in der folgenden Woche fort, was im Abschnitt „Hinten“ durch die geringe Rate unbefruchteter Eier in der 29. Kalenderwoche deutlich wird.

Während im oberen Abschnitt die Kalenderwochen 31 und 33 bei einem Anteil unbefruchteter Eier von ungefähr 60 % liegen, weist die dazwischen liegende Kalenderwoche einen hohen Anteil unbefruchteter Eier (100 %) auf. Ein genau gegenteiliges Bild lässt sich im parallel dazu gelegenen hinteren Abschnitt vorfinden. Dort stellt die 32. Kalenderwoche mit 59,1 % unbefruchteter Eier ein lokales Minimum zwischen den Kalenderwochen 31 (93,2 %) und 33 (95,3 %) dar.



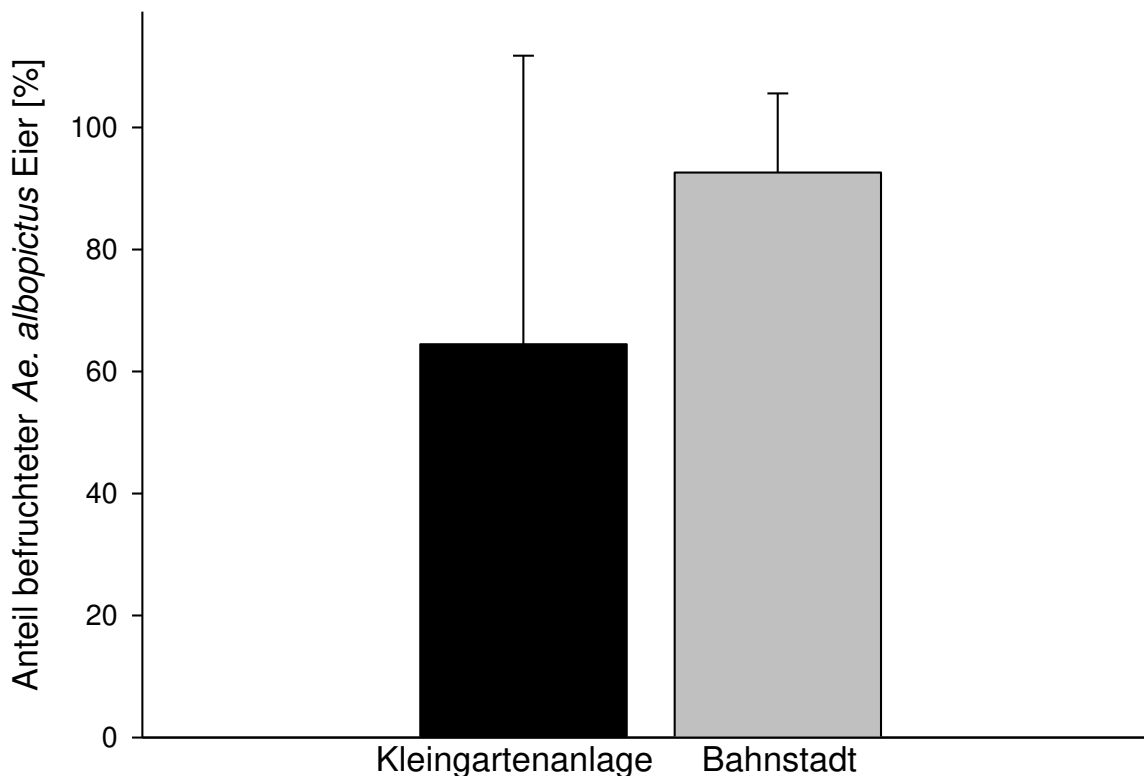
**Abbildung 52: Abschnitte des Kleingartens und Anteil unbefruchteter Eier. Der Anteil unbefruchteter Eier wird für jede Kalenderwoche (insgesamt 17 positive Kalenderwochen sind für die Reproduktionsperiode 2017 zu verzeichnen) einzeln wiedergegeben.**

Im weiteren Verlauf wurden alle drei Abschnitte zusammengefasst und die Kalenderwochen ihren jeweiligen Monaten zugewiesen (Abbildung 53). Dabei sollte analysiert werden, ob zwischen den Monaten ein Unterschied im Anteil unbefruchteter Eier festgestellt werden kann. Der Anteil unbefruchteter Eier lag im Monat Juni bei 81,3 % ( $\pm 37,5$ ). Im folgenden Monat senkte sich dieser Wert auf 31,3 % ( $\pm 46,5$ ). Im August betrug der Anteil unbefruchteter Eier in der Kleingartenanlage 71,4 % ( $\pm 18,4$ ). Im nachfolgenden Monat September senkt sich dieser Anteil auf 65,8 % ( $\pm 23,2$ ). Bedingt durch die geringe Stichprobengröße, waren diese Unterschiede jeweils nicht signifikant (ANOVA,  $p = 0,193$ ).



**Abbildung 53: Anteil unbefruchteter Eier in den Monaten Juni bis September.**

Neben der Behandlung im Freiland abgeernteter Eier wurden die Eier der mittels Anflugkontrolle gefangenen, weiblichen Tiere ebenfalls mit der gleichen Technik ausgewertet (Abbildung 54). Dabei konnten die Eier der weiblichen Tiere aus dem Stadtteil Bahnstadt als Standardkontrolle dienen, da dort über den gesamten Verlauf der Reproduktionsperiode kein Einsatz der Sterilen Insekten Technik stattfand. Dem gegenüber standen Eier, die von weiblichen Tieren, die in der Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ gefangen wurden, stammten. Dabei war jedoch nicht bekannt, ob die weiblichen Tiere von sterilen männlichen oder wildlebenden Männchen von *Ae. albopictus* begattet wurden. Unter Einbezug aller von den weiblichen Tieren gelegten Eier, wiesen die Eier der Kleingartenanlage einen Anteil von 64,5 % ( $\pm 47,3$ ) auf. In der Bahnstadt lässt sich ein Anteil befruchteter Eier von 92,6 % ( $\pm 12,9$ ) ermitteln. Beim Vergleich dieser Anteile befruchteter Eier konnten keine signifikanten Unterschiede ( $p = 0,081$ ) festgestellt werden.



**Abbildung 54: Anteile befruchteter Eier von weiblichen Tieren der Gebiete Kleingartenanlage (SIT) und Bahnstadt (ohne SIT). Aus den bei einer Anflugkontrolle gefangene, Weibchen von *Ae. albopictus* wurden Eier gewonnen. Diese wurden drei Schlupfreizen ausgesetzt und nach einem anschließenden Bleichen auf den Anteil befruchteter Eier hin untersucht wurden.**

### 8.1.3 DISKUSSION

Aufgrund der fast zweijährigen Bekämpfung befand sich die Population der Asiatischen Tigermücke im Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ auf einem sehr niedrigen Niveau. Wegen der daraufhin geringen Anzahl an abgelegten Eiern in den insgesamt 36 aufgestellten Standard-Eiablagefällen erfolgte die Auswertung der Ergebnisse im Siedlungsgebiet „Ochsenkopf“ subjektiv und diente vor allem der Ermittlung möglicher Trends, welche durch die zeitliche und auch räumliche Trennung der beiden Teilbereiche ermöglicht wurde.

Eine ausreichend Anzahl an abgelegten Eiern wäre nur mit einer unverhältnismäßig höheren Anzahl an Standard-Eiablagefällen zu erreichen gewesen, welche aufgrund weiterer Fragestellungen im Rahmen anderer Versuche ohnehin nicht möglich gewesen wäre. Dennoch lässt sich eine gewisse Tendenz zur Wirksamkeit der Sterilen Insekten Technik vor und nach einer Behandlung eines entsprechenden Gebietes mit sterilen *Ae. albopictus* erkennen.

Eine im Ansatz ähnliche Problematik lässt sich bei der Auswertung der Ergebnisse in der Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ erkennen. Auch hier entspricht eine Stichprobe von 583 Eiern in insgesamt 80 Standard-Eiablagefällen während der gesamten Reproduktionsperiode einer eher sehr geringen Populationsstärke, die im Bereich anderer in Deutschland auftretender Populationen, aufgrund einiger unkooperativen Kleingartenbesitzer, um ein Vielfaches höher ausfällt (FERSTL 2017).



Neben der kleinen Stichprobe stellt eine fehlende Standardkontrolle für alle im Freiland durchgeführten Experimente zur Sterilen Insekten Technik in dieser Studie ein weiteres Problem dar. Da es sich bei der Asiatischen Tigermücke um einen potenziellen Vektor zahlreicher humanmedizinisch relevanter Viruserkrankungen handelt und eine schnelle Dezimierung der Population angestrebt werden sollte, wurden aus ethischen Aspekten insgesamt in allen Bereichen des Vorkommens der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg Bekämpfungsmaßnahmen über den gesamten Projektzeitraum durchgeführt. Dadurch bedingt war es leider nicht möglich, die Populationsentwicklung von Gebieten mit und ohne SIT-Freilassungen bzw. ohne andere Bekämpfungsmethoden zu vergleichen. Nur innerhalb der spät im Jahr 2017 entdeckten Population im Heidelberger Stadtteil Bahnstadt konnten noch vor Ende der Reproduktionsperiode einige Weibchen aus dem Freiland abgefangen, und im Labor zur Eiablage gebracht werden.

Nichtsdestotrotz spricht auch ohne statistische Belege ein Anteil unbefruchteter Eier in der Kleingartenanlage von 63 %, der außerhalb der natürlichen Schwankungen einer Population liegt, für einen deutlichen Einfluss der SIT-Freilassungen. So liegen die Befruchtungsraten des aus der Heidelberger-Wildpopulation im selben Jahr gewonnenen Laborstammes im Bereich anderer aus Italien stammender Laborstämme (PLUSKOTA 2011). Dass es nach der Einschleppung der Asiatischen Tigermückenpopulation in Heidelberg zu einem genetischen Flaschenhalseffekt mit allgemeiner Reduktion der Fekundität gekommen ist, kann daher ausgeschlossen werden. So ist davon auszugehen, dass die Sterile Insekten Technik durchaus ihre Wirkung in der Kleingartenanlage entfalten konnte und unter Berücksichtigung der Befruchtungsrate des Laborstammes zu einem Anteil von rund 50 % unbefruchteter Eier bzw. einer Reduktion der Population von rund 50 % in der Kleingartenanlage geführt hat. Berücksichtigt man die signifikant reduzierte Eiablagelrate bei SIT-verpaarten Weibchen (Versuch 8.3), so wird der Anteil der unbefruchteten Eier in den Standard-Eiablagefällen, die aus den SIT-Freilassungen resultierte, und letztendlich der Bekämpfungserfolg sogar noch leicht unterschätzt. Jedoch ist auch anhand der ermittelten Populationsentwicklung der Asiatischen Tigermücke in der Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ deutlich zu erkennen, dass durch die Anwendung der sterilen Insekten-technik als einzige Bekämpfungsmethode eine Reduktion der Asiatischen Tigermückenpopulation nicht zu erreichen ist. Dies ist insbesondere bemerkenswert, da sich in den Bereichen mit alleiniger SIT-Anwendung im Jahr 2017 die Populationsstärke der Asiatischen Tigermücke durch die vorrangegangene biologische Bekämpfung im Jahr 2016 schon auf einem sehr niedrigen Niveau befand.

Auch bei der Betrachtung der einzelnen Teilabschnitte lassen sich interessante Beobachtungen machen. Während der „hintere“ und parallel dazu verlaufende „obere“ Bereich der Kleingartenanlage nahezu über die gesamte Reproduktionsperiode Eier und Anflüge der Asiatischen Tigermücke aufwies, konnte im Bereich „Vorne“ erst ab August ein Nachweis der Asiatischen Tigermücke erfolgen. Dabei unterscheidet sich der Anteil unbefruchteter Eier um mehr als 15 %. Eine mögliche Begründung lässt sich in der potenziellen Populationsdichte des jeweiligen Abschnittes finden. Durch Meldungen und persönliche Einschätzungen konnten sowohl 2016 wie auch 2017 der östlich gelegene Abschnitt („Oben“ und „Hinten“) als stärker durch *Ae. albopictus* besiedelt identifiziert werden. In Kombination mit der Freisetzung steriler Asiatischer Tigermücken im westlichen Teil im Jahr 2016 sowie der darauffolgenden Regentonnenreinigung im Frühjahr 2017 wurde im Bereich „Vorne“ der Anteil an *Ae. albopictus* bereits vor Beginn der Reproduktionsperiode 2017 stark reduziert und in einigen Bereichen möglicherweise ausgelöscht. Erst im Laufe der Saison erfolgte trotz stetiger SIT-Freilassungen eine stetige Wiederbesiedlung durch Individuen des westlichen Abschnittes, wodurch mit ansteigender Populationsgröße der Sommermonate die ersten Nachweise auch in diesem Abschnitt wieder ermöglicht wurden.

Dass die zwei im Westen der Kleingartenanlage gelegenen Abschnitte „Oben“ und „Hinten“ einem stetigen Austausch ausgesetzt sind, kann neben der kurzen Distanz von ungefähr 25 m und den vorhandenen wöchentlichen Befruchtungsraten auch durch zahlreiche Funde farbmarkierter *Ae. albopictus* im oberen Abschnitt aufgezeigt werden.

Bei näherer Betrachtung der Befruchtungsraten innerhalb der einzelnen Abschnitte erschweren einige unbekannte Faktoren gezielte Aussagen. Beispielsweise ist nicht bekannt, wie viele Weibchen Eier in den Eiablagefallen abgelegt haben. Insbesondere durch die häufig geringe Anzahl an Eiern auf den einzelnen Stäbchen rückt diese Frage in den Fokus. Die starken Schwankungen der Befruchtungsrate zwischen den jeweiligen Wochen zeigen deutlich, dass neben den sterilen männlichen Tieren weiterhin mehrere fertile männliche Tiere der Wildpopulation in der Kleingartenanlage vorhanden sind, welche in unmittelbarer Konkurrenz zu den SIT-Männchen stehen. Auch beim Monatsvergleich der Befruchtungsraten deutet der bis September vorhandene Anteil befruchteter Eier von 35,3 % darauf hin, dass die Stabilität der Wildpopulation durch den Einsatz der Sterilen Insekten Technik nicht vollständig zum Einsturz gebracht werden konnte.

Aufgrund der verhältnismäßig geringen Anzahl an Weibchen, welche bei den Anflugkontrollen festgestellt wurden, dürfte die Anzahl der Wild-Männchen, vor allem im Verhältnis zu der größeren Anzahl an freigelassenen SIT-Männchen, eher gering gewesen sein. In diesem Zusammenhang fällt die rechnerische Paarungsrate von SIT-Männchen in der Kleingartenanlage von ca. 60 % verhältnismäßig zu gering aus. Inwieweit sich bei der Paarung unter Freilandbedingungen die SIT-Männchen gegen Wild-Männchen durchsetzen können, wurde nicht untersucht und sollte Bestandteil späterer Untersuchungen sein. Zumindest bezüglich der Überlebensrate konnte kein Unterschied zwischen SIT- und Standard-Männchen festgestellt werden (Versuch 8.4), weshalb größere Defizite in der Fitness der SIT-Männchen nicht zu erwarten sind.

Eventuell lagen die SIT-Freilassungsorte auf dem zentralen Weg der Kleingartenanlage, der an der Vorderseite der Einzelgrundstücke verlief, zu weit entfernt von den meisten Brutstätten des Gebietes, welche hauptsächlich im Bereich der Gartenhütten im hinteren Teil der Grundstücke lagen. Eine kleinräumigere Verteilung könnte diesen Umstand kompensieren, wodurch jedoch ein regelmäßiger freier Zutritt zu den einzelnen Gartengrundstücken notwendig gewesen wäre.

Bei der Betrachtung des Anteils befruchteter Eier von eingefangenen weiblichen Tieren fällt der recht hohe Befruchtungsanteil von 64,5 % auf.

Diesem gegenüber steht ein Anteil von 37 % befruchteter Eier, welche in der Kleingartenanlage durch Eiablagefallen abgesammelt wurden. Diese Diskrepanz lässt sich durch die geringe Stichprobe gesammelter weiblicher Tiere erklären. Von den 15 aus der Kleingartenanlage gefangenen weiblichen Tieren wiesen zehn eine Befruchtungsrate von 87,5 % bis 100 % auf und waren daher mit Männchen der Wildpopulation verpaart (Versuch 8.3). Die weiteren fünf Exemplare legten dagegen durchgehend unbefruchtete Eier ab, was auf eine Verpaarung mit SIT-Männchen hinweist.

Grundsätzlich kann durch das Einfangen von Weibchen und die Eiablage im Labor der Anteil SIT-befruchteter weiblicher Tiere besser dargestellt werden als über den Anteil der in Standard-Eiablagefallen abgelegten Eier. In einer ausreichend großen Stichprobe hätte sich das hier potenzielle Ungleichgewicht durch eine ausreichende Anzahl weiblicher Tiere normalisiert. Nichtsdestotrotz eignet sich diese Methodik in diesem Sinne, da jedes Ei explizit dem jeweils weiblichen Exemplar zugeordnet werden kann und man trotz der geringen Menge eine Tendenz zur positiven Wirkung der Sterilen Insekten Technik erkennen kann.

### 8.2.1 MATERIAL UND METHODEN

Vor der Freisetzung der sterilen Männchen der Asiatischen Tigermücke wurden diese prinzipiell mit verschiedenen fluoreszierenden Pigmenten behandelt. Dabei unterschied sich die Farbe nach dem Ort und Zeitpunkt der Freilassung. Für die Färbung wurde ein Zerstäuber aus Plastikrohren entwickelt. Der Zerstäuber selbst bestand aus einem Mundstück und dem dahinter befindlichen Rohr von ca. 30 cm Länge, in welchen sich das klumpende Pulver auf dem Weg durch das Rohr in kleinste einzelne Pigmente verteilen sollte. Nach der Befüllung des Rohres mit einer gehäuften Spatelspitze des jeweiligen Farbpulver, wurde ein kurzer starker Luftzug durch das Rohr gestoßen, welches an das Netz einer SIT-Transportbox gepresst wurde. Dabei wurden die Partikel in den weißen Karton geblasen und somit die dort vorhandenen Imagines mit dem jeweiligen Farbpigment bestäubt.

Durch die Etablierung der Färbemethode war es gezielt möglich, mittels Anflugkontrolle, BG-Sentinel oder GAT-Fallen gefangene Tiere ihrem Ursprung (SIT oder Wildpopulation) zuzuordnen. Daher wurde der in Versuch 7.4 aufgebaute Transekt-Komplex-B des Siedlungsbereiches „Ochsenkopf“ zum Wiederfang der freigelassenen und zuvor markierten Männchen verwendet.

Dafür wurde im Mittelpunkt des Komplexes ein spezifischer Standort der Freisetzung definiert. Dieser hatte einen Abstand von etwa 5 m zu den jeweils flankierenden Transekten-A und B-s1. Bei diesem Standort wurden jede Woche 2000 zuvor farbmarkierter *Ae. albopictus*-Individuen freigelassen. Dabei kamen folgende Farben in einem fünf wöchentlichen Rhythmus zum Einsatz: Rot, Gelb, Blau, Lila und Orange. Bei der wöchentlichen Kontrolle der GAT-Fallen und BG-Sentinel-Fallen konnte so ermittelt werden, welche Distanz von zuvor freigesetzten Tieren zurückgelegt wurde. Die Untersuchung der Pigmente erfolgte unter Verwendung eines Stereomikroskops.

Neben der Freisetzung im Rahmen der Wiederfangstudie im westlichen Teil wurden im östlichen Teil des Siedlungsbereiches „Ochsenkopf“ weitere SIT-Individuen freigelassen. So wurde neben der festen Zahl von je 2000 Tieren, welche im Mittelpunkt des Transekt-Komplexes B stattfand, auch eine weitere schwankende Zahl von sterilen Stechmücken außerhalb dieses Komplexes ausgesetzt. Die Zahl der Standorte schwankte dabei wöchentlich und war von der Zahl der verfügbaren Käfige abhängig. Während der intensiven Phase der Reproduktionsperiode standen somit maximal 6000 sterile Männchen zur weiteren Ausbringung im Ochsenkopf zur Verfügung. Diese Individuen wurden, anders als die Exemplare des Markierung-Wiederfang-Experiments, grün gefärbt, um so eine Differenzierung zwischen der wildlebenden Population und dem Anteil ausgesetzter Asiatischer Tigermücken-Männchen zu ermöglichen.

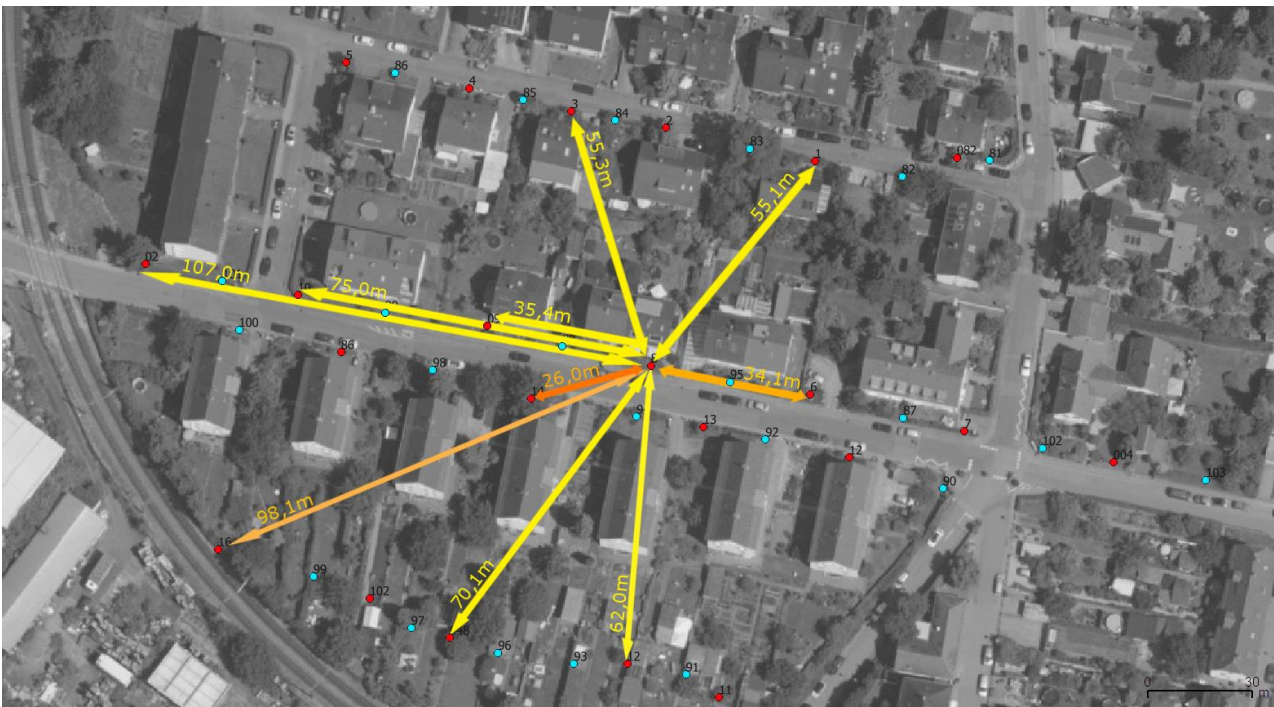
Die Standorte wurden für diese zusätzlichen sterilen Tiere nach dem imminanten Auftreten von *Ae. albopictus* ausgewählt und sollten die vorhandene Population in diesen Bereichen reduzieren (Abbildung 55). Aufgrund der Fänge der aufgestellten GAT-Fallen und BG-Sentinel-Fallen sowie durch Fundmeldungen der Anwohner wurden dabei explizit der Bereich um den zentral gelegenen Spielplatz und die südwestlich gelegenen Reihenhäuser als Fokus festgelegt.



**Abbildung 55: Orte der SIT Freisetzung im Ochsenkopf.** Auf dem Luftbild ©LUBW dargestellt sind die Fallen-Transekte des Ochsenkopfes sowie die Standorte, an denen farbmarkierte sterile Männchen der Asiatischen Tigermücke freigelassen wurden. Dabei wurden jeweils 2000 Exemplare wöchentlich in der Mitte des Transekt-Komplexes B ausgesetzt (SIT Freisetzung Farbe). Weitere Exemplare wurden je nach verfügbarer Menge an Käfigen grün markiert und an bis zu sechs Standorten im östlichen Bereich der Siedlung ausgesetzt.

### 8.2.2 ERGEBNISSE

Durch die Markierung der sterilen Männchen mit fluoreszierenden Pigmenten konnten diese von den anderen Individuen in den GAT-Fallen unterschieden werden. Neben dem Anteil wiedergefangener Exemplare konnte ermittelt werden, wie viele Meter diese Tiere vom Ort ihrer Freilassung aus zurückgelegt hatten (Abbildung 56). Dabei wurden von den 141 wiedergefangenen Individuen 126 in der GAT-Falle Nr. 8, welche in einem Abstand von 8 m zum Standort der Freisetzung liegt, gefangen. Im Zuge dieser Auffälligkeit wurde für die weitere Analyse davon ausgegangen, dass der Großteil der wöchentlich 2000 freigelassenen Individuen im ersten Schritt in Richtung des dort gelegenen Kirschlorbeer-Gewächses migrierte und erst im weiteren Verlauf eine Ausbreitung auf die umliegenden Bereiche der Siedlung erfolgte.



**Abbildung 56: Entfernung GAT Nr. 8 zu weiteren GATs in welchen farbmarkierte *Ae. albopictus* gefunden wurden. Gelbe Pfeile stellen dabei einmalige Funde dar. Die orangenen Pfeile hin zu Nr. 6 und Nr. 16 stellen zwei Fangereignisse dar. Die Entfernung zwischen Nr. 8 und Nr. 14 (orangeroter Pfeil) wurde von vier Exemplaren zurückgelegt, welche in der GAT Nr. 14 nachgewiesen werden konnten. Luftbild ©LUBW**

Insgesamt wurden 151 bzw. 0,5 % der freigelassenen und zuvor markierten Männchen in zehn verschiedenen GAT-Fallen wiedergefangen. Diese positiven Fallen erstrecken sich über alle vier Transekte innerhalb des Transekt-Komplexes B. Dabei stellt die am weitesten zurückgelegte Entfernung 107 m dar. Insgesamt 140 dieser Exemplare wurden jeweils eine Woche nach ihrer Freilassung, vor Ausbringung der nächsten farbmarkierten sterilen Tiere in den Fallen nachgewiesen. Lediglich ein Exemplar wurde nach zwei Wochen und einer zurückgelegten Entfernung von 70 m vorgefunden.

Um näher zu ermitteln, ob es gewissen Trends zwischen den zurückgelegten Entfernungen und der Anzahl wiedergefangener Individuen von *Ae. albopictus* gibt, wurden fünf Radien um die GAT-Falle Nr. 8 gezogen. Der erste Radius weist dabei eine Entfernung von 35 m auf. Alle nachfolgenden Radien bauen auf diesem auf und erweitern den nächsten um jeweils 25 m bis zu einem Maximum von 135 m. So kommen insgesamt fünf Entfernungsgruppen zustande, in welchen die gefangenen Individuen mit allen dort vorhandenen GAT-Fallen verrechnet werden (Abbildung 57). So besteht der erste Radius mit 35 m aus sieben Fallen und vier gefangenen *Ae. albopictus*, was zu einem Verhältnis von 1,8 wiedergefangenen Individuen führt. Dieser verringert sich in den nachfolgenden Abständen auf 0,5 (60 m Radius) und 0,3 (85 m Radius) *Ae. albopictus* pro Falle. Bedingt durch die Abnahme an GAT-Fallen in den äußeren Bereichen des Transekt-Komplexes B erfolgt bei einem Abstand von 110 m eine rechnerische Zunahme von Tieren pro Falle auf 0,8. Ab einer Entfernung von 135 m zum Standort der Freilassung ließen sich keine wiedergefangenen Imagines von *Ae. albopictus* mehr vorfinden (Abbildung 58).



Abbildung 57: Fünf Entfernungsradien bestehend aus anwachsenden Radien. Dargestellt ist der Transekt-Komplex B mit darüber gelagerten Radien, beginnend bei 35 m nehmen diese nach jeweils 25 m bis zu einem Maximum von 135 m zu. Luftbild ©LUBW

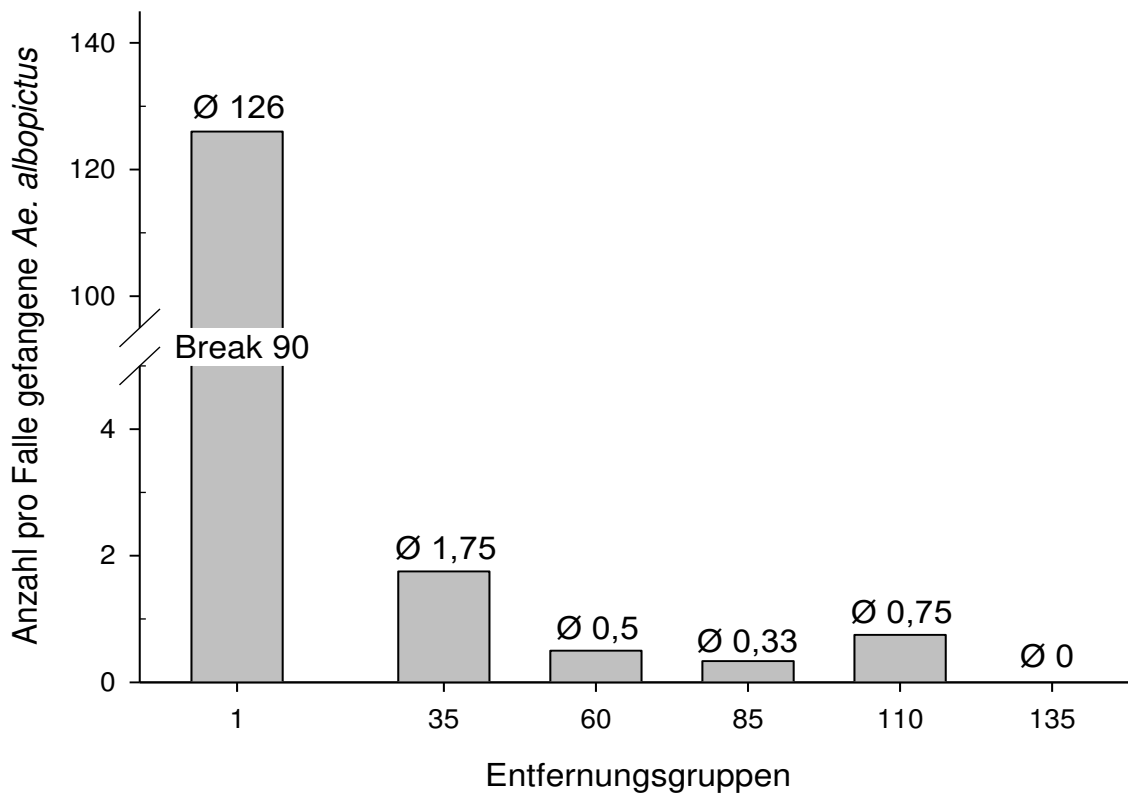


Abbildung 58: Anzahl pro Falle gefangener *Ae. albopictus*-Imagines in den jeweiligen Entfernungsradien. Die GAT Nr. 8 wurde mit einem Abstand von 1 m in diese Grafik eingebunden. Darauffolgend sind die Entfernungsradien 35 m bis 135 m sowie die durchschnittliche Anzahl der dort wiedergefangenen sterilen Tiere pro vorhandener GAT-Falle dargestellt.

### 8.2.3 DISKUSSION

Durch die farbliche Markierung der sterilen *Aedes albopictus*-Männchen sollte ermittelt werden, wie effektiv die Freisetzung dieser Individuen in einem (sub-)urbanen Siedlungsgebiet verläuft und ob von den Exemplaren eine ausreichend weite Strecke – für eine günstige Verteilung im gesamten Gebiet – zurückgelegt wird. Bereits 2005 und 2007 wurden Farbmarkierungen an *Aedes aegypti* durchgeführt. Dabei wurden zum Wiederfang der Individuen klebende Eiablagefallen oder eine Kombination von klebenden Eiablagefallen mit BG-Sentinel und CDC Fallen eingesetzt (MACIEL-DE-FREITAS et al. 2007, RUSSELL et al. 2005). MARINI (2010) führte ebenfalls unter Verwendung von klebenden Eiablagefallen eine Studie an *Ae. albopictus* im Stadtgebiet von Rom durch. Da jedoch sowohl GAT-Fallen wie auch Eiablagefallen Orte der Oviposition imitieren, kann explizit die Studie von MARINI (2010) zum Vergleich herangezogen werden.

Die in dieser Untersuchung angewandte Methodik der Farbmarkierung unterscheidet sich nur in Feinheiten von der anderer Autoren. Die Farbmarkierung erfolgte bei allen Varianten unter Verwendung von kleinen Papiergefäßen wie Kartons oder Tassen, welche durch Gaze oder Netze abgedeckt und mit fluoreszierenden Pigmenten bestäubt wurden. Dabei dienten Handbestäuber, Spritzen (VERHULST et al. 2013) oder ähnliche Körper zur Aufwirbelung der einzelnen Pigmente. In diesem Sinne knüpft die in unserer Studie angewandte Technik an diese an.

Während bei MARINI (2010) ein Anteil von 4,3 % weiblicher Asiatischer Tigermücken und 1,1 % männlicher Exemplare wiedergefangen werden konnten, wurden in dieser Studie lediglich 0,5 % der sterilen (männlichen) Asiatischen Tigermücken wieder eingefangen. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass das Fallenraster in seiner Form als Transekt mehrere Aufgaben (Versuch 7.4) erfüllte und deshalb nicht vollständig an den Markierungs-Wiederfang angepasst werden konnte. So gibt es vor allem in den Randbereichen größere Lücken, welche für eine detailliertere Auswertung nötig gewesen wären. Diese reduzierte Anzahl an Fallen wirkt sich explizit auf die Anzahl wiedergefangener Individuen der entsprechenden Entfernungsgruppen aus, was sich anhand des Anstiegs in der Entfernungsgruppe 110 m erkennen lässt.

Als weiteste Entfernung konnten farbmarkierte Individuen bis zu einem Entfernungsradius von 110 m nachgewiesen werden. Betrachtet man die Fundorte der gefärbten Individuen gibt es mehrere Ereignisse, in welchen Straßen oder Hofeinfahrten überwunden wurden, die als Hindernisse in urbanen Gebieten durchaus häufig anzutreffen sind. Jedoch beträgt ab einer Entfernung von 60 Meter die durchschnittliche Wiederfangrate nur zwischen 20-40 % der durchschnittlichen Wiederfangrate der Fallen im Umkreis von 35 m. Dies spiegelt die abnehmende Dichte der sich flächig ausbreitenden Männchen wieder. Durch einen Abstand zwischen den einzelnen Standorten der SIT-Freilassungen von ca. 50 m, wie in der Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ praktiziert, sollte daher zwischen den einzelnen Standorte aufgrund der Überlappungseffekte eine ausreichend hohe Dichte an SIT-Männchen erreicht werden. Auch am Rande von Applikationsflächen, ohne benachbarte Freilassungsstandorte, sollte deshalb ein Maximalabstand von 20 Meter zur Außenkante nicht überschritten werden, um auch hier eine ausreichend hohe Dichte an SIT-Männchen zu erreichen.

Eine Besonderheit der vorliegenden Ergebnisse stellt die GAT-Falle Nr. 8 dar, welche unweit des Freisetzungsortes positioniert war. Die mittels dieser Falle wiedergefangenen Exemplare lassen die Vermutung zu, dass die dortige Kirschlorbeer Hecke als erster Anflugpunkt der auf der Straße freigelassenen sterilen Stechmücken diene. Dabei spielte sehr wahrscheinlich die dunkle Farbe der Hecke sowie ihre Höhe von fast 3 m und Breite von knapp 10 m eine entscheidende Rolle. Die Hecke wurde vermutlich als schnell erreichbarer Rückzugsort nach der Freilassung angefliegen und diene somit als Ort der weiteren Dispersion in das umliegende Gebiet. Im Falle der Kirschlorbeerhecke lag dieser erste Rückzugsort bzw. der Startpunkt

der folgenden langsamen Ausbreitung der Männchen nicht unweit des gewählten Freilassungspunktes. Wäre die Freilassung jedoch auf einer größeren freien Fläche erfolgt, könnten weiter entfernt liegende dunkle Bereiche wie z.B. Gebüsch oder Häuser einen Großteil der freigelassenen Männchen anziehen und zu einer Verzerrung und ungleichen Verteilung der Männchen sorgen. Dies wäre insbesondere von Bedeutung, wenn der besagte dunkle Bereich in entgegengesetzter Richtung zu Bereichen mit größeren Brutstättenvorkommen läge. Aus diesen schlüpfen die noch ungepaarten Weibchen der Art, die das eigentliche Ziel der SIT-Freilassungen sind.

Es ist aber auch davon auszugehen, dass nicht alle 126 SIT-Männchen, welche in der bei der Kirschlorbeerhecke stehenden Falle Nr. 8 gefangen wurden, unmittelbar nach der Freilassung in diese Falle einflogen. Aufgrund der hohen Fangrate ist davon auszugehen, dass ein nicht unerheblicher Teil der Männchen für längere Zeit innerhalb der Kirschlorbeerhecke verblieb. Dies stellt ein weiteres Problem von größeren Busch- und Pflanzenbeständen dar, da diese eine Verteilung der Männchen im Gebiet verlangsamen, was bei zusätzlich vorhandenen Wasser- und Nahrungsangebot im direkten Umfeld des Gebüsches zusätzlich noch verstärkt wird.

Somit scheint die Wahl der SIT-Freilassungsorte ein Dilemma, bei welchem die Nähe zu Gebüschbereichen gleichzeitig gesucht und gemieden werden müsste, um eine gleichmäßige Verteilung der SIT-Männchen im Befallsgebiet zu erreichen. Eine Lösung dieses Problems kann nur eine kleinräumigere SIT-Freilassung sein, bei der die zur Verfügung stehenden Männchen auf eine größere Anzahl an Freilassungsorten verteilt werden.

### **8.3 EFFEKTIVITÄT DER EI-BLEICHMETHODE ZUR BEURTEILUNG DER SIT-BEFRUCHTUNGSRATE**

#### **8.3.1 EINLEITUNG**

Die bisherige Effizienz der Sterilen Insekten Technik wurde nach BELLINI (2007) stets durch einen Schlupfreiz aus dem Freiland eingesammelter Eier durchgeführt. Larven, welche nicht innerhalb dieser 24 h dauernden Testphase schlüpfen, fallen dabei durch ein Raster. Als einen alternativen Weg die Erfolgsrate der Sterilen Insekten Technik nachzuweisen, sollte eine neue Methode etabliert werden, die gänzlich auf den Einsatz von Schlupfreizen verzichtet. Als Grundlage diene dabei die bereits etablierte Methode, Eier der Asiatischen Tigermücke mit Wasserstoffperoxid-Lösung zu bleichen.

#### **8.3.2 MATERIAL UND METHODEN**

Für den Versuch wurde eine große Anzahl Larven aus der bestehenden Laborzucht aufgezogen. Dabei wurden Zeitpunkte wie die Verpuppung und Schlupf der Imagines an die der sterilen Tiere angeglichen. Nach der Verpuppung erfolgte die Trennung weiblicher und männlicher Tiere und die Überführung in Schlupfdosen. Nach dem Schlupf der Imagines wurden diese in Zuchtkäfige überführt. Dabei wurde der Versuchskäfig lediglich mit weiblichen *Ae. albopictus* besetzt. Im vergleichenden Standardkäfig wurden sowohl weibliche als auch männliche Tiere der Laborzucht untergebracht. Anschließend wurden sterile männliche Tiere der aktuell eingetroffenen Charge in den Versuchskäfig eingebracht. Die Tiere verblieben für 96 h ungestört in diesen Käfigen, was den männlichen Tieren in beiden Käfigen ein ausreichendes Zeitfenster gab, die weiblichen Stechmücken zu begatten. Im folgenden Schritt erfolgte eine Bereitstellung einer Blutmahlzeit ohne zeitliche Limitierung, bis sämtliche Weibchen von *Ae. albopictus* ihre Blutmahlzeit eingenommen hatten.



Anschließend wurden die blutgefütterten weiblichen Tiere vorsichtig einzeln in Probenröhrchen überführt. Die abgesammelten weiblichen Tiere wurden in Einzelkäfigen untergebracht. In diesen wurde eine Eiablage-dose mit Holzstäbchen für die Eiablage angeboten. Eine Versorgung erfolgte über Watte-pads, die mit 10 % Zuckerlösung benetzt wurde. Die weiblichen Tiere verblieben für 120 h in diesen Einzelboxen und konnten in dieser Zeit einen Eiablagezyklus durchlaufen. Nach Ablauf der fünf Tage wurden die weiblichen Tiere abgetötet und die Eiablagedosen entnommen.

Die Eier wurden für weitere 120 h bei ausreichender Feuchte gelagert um eine vollständig abgeschlossene Embryogenese zu gewährleisten. Anschließend wurden die Eiablagedosen bis zur Oberkante mit 10 % Wasserstoffperoxid-Lösung befüllt. Nach einer Inkubation von 24 h erfolgte unter Zuhilfenahme eines Stereo-mikroskops die Auswertung. Bei der Auswertung selbst wurden die Eier auf typische Merkmalsausprägungen (Kapitel 8.1.1) hin überprüft und in entsprechende Kategorien eingeteilt.

### 8.3.3 ERGEBNISSE

Um eine Alternative zum herkömmlichen Effektivitätsnachweis der Sterilen Insekten Technik mittels Schlupfreiz zu entwickeln, wurden weibliche Imagines von *Aedes albopictus* mit sterilen männlichen Tieren der SIT-Chargen verpaart. Die so gewonnenen Eier wurden mit Wasserstoffperoxid-Lösung gebleicht und so der Zustand des Embryos im Ei zur Erfolgsbewertung der Sterilen Insekten Technik angewandt.

Durch die Überführung der weiblichen Tiere in Einzelboxen für die nachfolgende Eiablage konnten explizite Eiablagerraten den einzelnen Asiatischen Tigermücken zugeordnet werden. Über den Versuchszeitraum (Tabelle 27) legten die 41 weiblichen Tieren der Kontrolle 1383 Eier, was durchschnittlich  $29,2 \pm 11,8$  Eiern pro weiblichem Tier entspricht. Bei den 77 weiblichen Tieren, welche mit männlichen sterilen Tieren der SIT-Chargen verpaart wurden, entsprach die Rate abgelegter Eier bei einer Gesamtmenge von 2565 Eier rund  $23,1 \pm 7,0$  Eiern pro Weibchen von *Ae. albopictus*.

**Tabelle 27: Anzahl im Bleichexperiment verwendeter Weibchen von *Ae. albopictus*, Gesamtanzahl und durchschnittliche Anzahl abgelegter Eier bei mit SIT- und Standard-Männchen verpaarten Weibchen.**

	Versuchsreihe								Gesamt	
	1		2		3		4			
SIT Charge Nr.	12		13		15		16			
	Standard	SIT	Standard	SIT	Standard	SIT	Standard	SIT	Standard	SIT
<b>Anzahl weibl. Tiere</b>	12	16	12	25	8	15	9	21	41	77
<b>Anzahl Eier</b>	393	546	529	968	271	459	190	592	1383	2565
<b>Eier pro weibl. Tier</b>	32,8	18,8	44,1	33,4	22,6	18,4	17,3	21,9	29,2±11,8	23,1±7,0

Die im weiteren Verlauf gebleichten Eier gaben letztlich Aufschluss über den Zustand der darin enthaltenen Embryonen. Die Zustandsbewertung erfolgte anhand des in Kapitel 8.1.1 erläuterten Schlüssels und ermöglichte eine zielgerichtete Einteilung aller untersuchten Eier. So konnte der Anteil unbefruchteter Eier der einzelnen Versuchsreihen (Abbildung 59) ermittelt werden.

Das erste Experiment der Reihe, welches mit sterilen männlichen Tieren der SIT Charge Nr. 12 durchgeführt wurde, ergab einen Anteil unbefruchteter Eier von 97,0 %. Der Anteil der vergleichenden Kontrolle wies einen Anteil von 1,4 % unbefruchteter Eier auf. Bei dieser Differenz handelt es sich um einen signifikanten Unterschied ( $p = \leq 0,001$ ). Ebenfalls signifikant waren die Ergebnisse der nachfolgenden drei Experimente der Versuchsreihe. Der Anteil der unbefruchteten Eier des 2. Versuches von 89,0 % weist einen signifikanten Unterschied ( $p = \leq 0,001$ ) zur entsprechenden Kontrolle von 6,9 % auf. Signifikant ist ebenfalls der hohe Anteil unbefruchteter Eier des dritten Ansatzes bei welchem 95,7 % unbefruchtete Eier einem Anteil von 1,7 % in der Kontrolle gegenüberstehen ( $p = \leq 0,001$ ). Auch beim vierten Ansatz (96,4 % zu 3,9 %) war der Unterschied statistisch signifikant ( $p = \leq 0,001$ ).

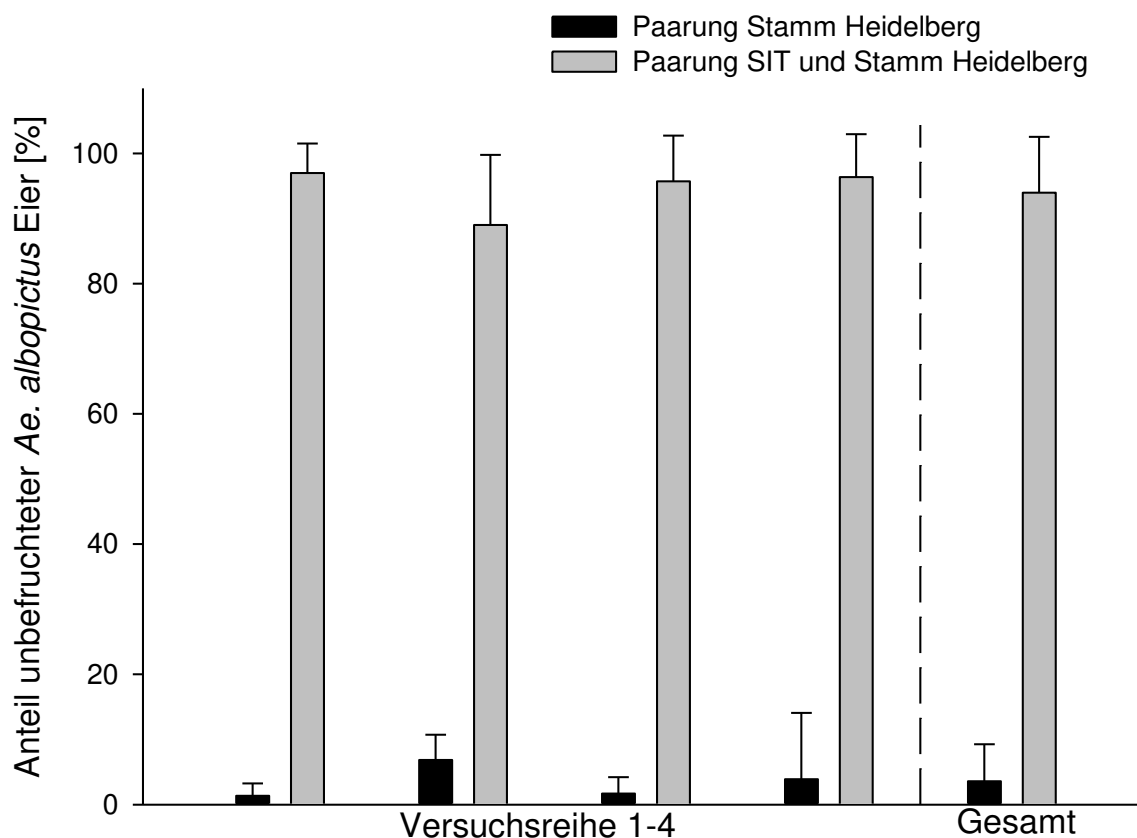


Abbildung 59: Anteil unbefruchteter *Ae. albopictus* Eier im Bleichexperiment.

Neben der Rate unbefruchteter Eier wurde die Menge pro weiblicher Stechmücke abgelegter Eier ermittelt (Abbildung 60). Dabei wird deutlich, dass Weibchen von *Ae. albopictus*, welche mit männlichen Individuen der Laborzucht verpaart wurden, eine größere Menge Eier ( $29,2 \pm 11,8$ ) legten, als die von sterilen männli-

chen Tieren begatteten Individuen ( $23,1 \pm 7,0$ ). Nach der statistischen Auswertung mittels T-Test konnte diese Differenz als signifikant ( $p = \leq 0,001$ ) eingestuft werden.

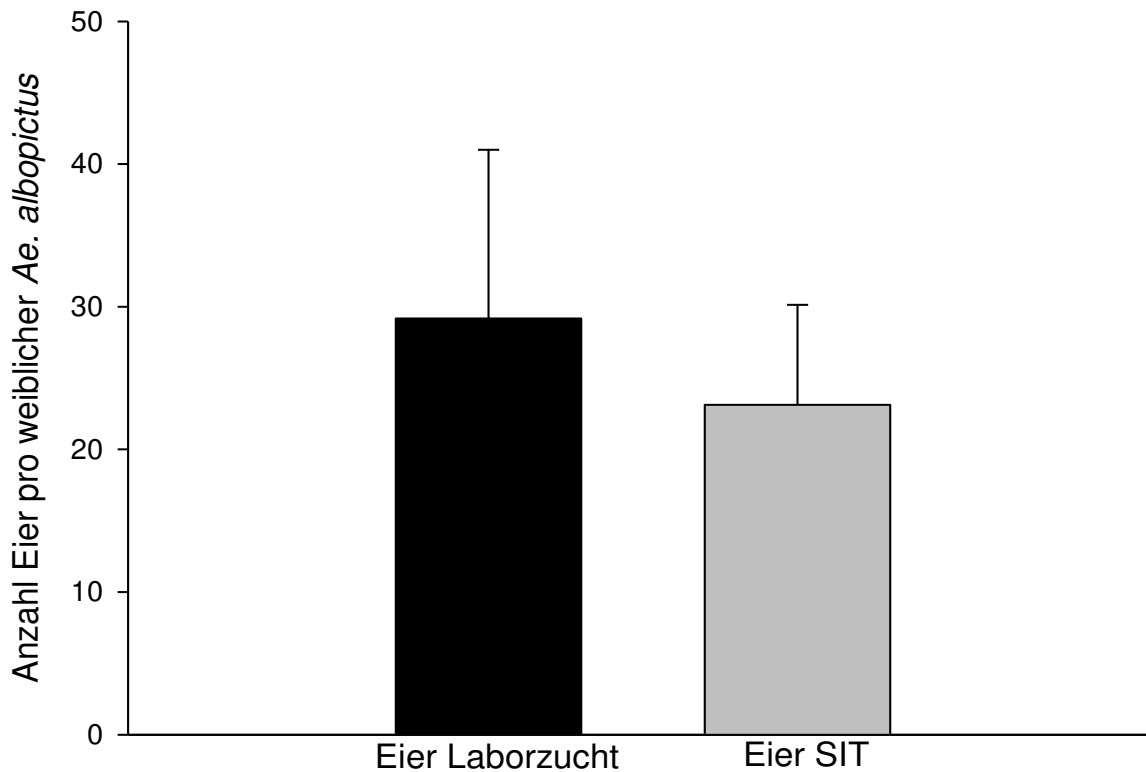


Abbildung 60.: Vergleich der während des Bleichexperiments ermittelten Eiablagerrate.

#### 8.3.4 DISKUSSION

Dem Bleichexperiment der SIT-Eier gehen mehrere Fragestellungen voraus. Im ersten Schritt sollte die durchgehende Konsistenz der Bleichmethode mit 10 % Wasserstoffperoxid-Lösung getestet werden. In diesem Zusammenhang lässt sich feststellen, dass über die gesamte Versuchsreihe hinweg sowohl Eier der Standardkontrolle als auch des Experimentes selbst einfach mit der Bleichlösung zu behandeln waren. Lediglich die in Kapitel 8.1.1 beschriebenen Eier der Merkmalsausprägung „Mel“ stellten dabei eine gewisse Komplikation dar, da diese ihre schwarze Färbung mitunter beibehalten. Nichtsdestotrotz konnten alle Eier den jeweiligen Zustandsbeschreibungen zugeordnet werden. In explizit diesem Zusammenhang stand die Fragestellung, ob sich Eier aus einer SIT-Wild-Verpaarung in ihren Strukturen von typischen unbefruchteten Eiern unterscheiden ließen und ob dadurch der Vergleich mit Eiern der Standardkontrolle eschwert würde.“. Die Untersuchungen der gebleichten Eier von *Ae. albopictus* unter dem Stereomikroskop bestätigten jedoch die ursprüngliche Annahme, dass unbefruchtete Eier aus Standard und Versuchsreihe über keine strukturellen Unterschiede verfügen, was sich durch die bei der Sterilen Insekten Technik induzierte Letalität in frühen Stadien der Embryogenese und somit fehlender Larvenbildung begründen lässt (PHUC et al. 2007). Embryonen, welche diesen Zeitpunkt überleben, fallen dementsprechend auch bei der Verpaarung mit sterilen Tieren in die Kategorie „befruchtet“.

Durch die Versuchsreihe sollte außerdem ermittelt werden, ob für die explizit an die Heidelberger Verhältnisse angepasst Bestrahlung von 35 Gy (BELLINI et al. 2013a) gewisse minimale und maximale Befruch-

tungsraten ermittelt werden konnten. Diese sollten bei Eiern der Kleingartenanlage zum Einsatz kommen und Richtwerte für eine Eingrenzung in „befruchtet“ oder „unbefruchtet“ liefern. Fasst man die Raten unbefruchteter Eier aller vier Versuche zusammen, ergeben sich als Grenzwert ein Anteil unbefruchteter Eier von 94,0 % für Eier, die der Sterilen Insekten Technik zugeordnet werden können, und ein Grenzwert von 4 % unbefruchteten Eiern, welche Ursprung einer Wildverpaarung sind. Diese Werte könnten beispielsweise dazu dienen, eine gezielte Einteilung von im Freiland eingesammelten Eiern bzw. eingefangener Weibchen der Asiatischen Tigermücke durchzuführen. Da die Anzahl der weiblichen Tiere bei der Verwendung von gängigen Eiablagefallen nicht ermittelt werden kann, können in diesem Zusammenhang die oben ermittelten Grenzwerte als Orientierungswert herangezogen werden. So kann ermittelt werden, ob das Ei-Gelege potenziell von einem oder mehreren Individuen stammt, sofern sich deutliche Diskrepanzen beim Anteil der befruchteten oder unbefruchteten Eier zeigen.

Abschließend kann gesagt werden, dass das Bleichen von Eiern eine gute Alternative ist, um zuverlässig den Befruchtungsstatus von Eiern im Rahmen von SIT-Anwendungen zu überprüfen. Der Aufwand für das Bleichen der Eier ist nur geringfügig höher als das Fluten der Eiablagestäbchen. Im Gegenzug kann dafür der Anteil unbefruchteter Eier sehr exakt ermittelt und der Erfolg der SIT-Maßnahmen sehr genau eingeschätzt werden. So wird der Nachweis von befruchteten und komplett entwickelten Eiern durch Fluten immer einen Teil nicht schlupfwilliger Larven vernachlässigen. Spätestens am Ende der Reproduktionsperiode kann durch das Einsetzen der Diapause und der Schlupfhemmung der Larven in den Diapauseeiern mit einem herkömmlichen Fluten der Anteil der befruchteten Eier bzw. der Erfolg der SIT-Bekämpfungsmaßnahmen nicht mehr nachgewiesen werden.

Als einzige Einschränkung dieser Methode bleibt die Notwendigkeit, dass die auf den Eiablagestäbchen gefundenen Eier verschiedener Stechmückenarten optisch zu unterscheiden sind. In der vorliegenden Untersuchung war eine optische Unterscheidung der Eier der verschiedenen im Gebiet vorkommenden containerbrütenden *Aedes*-Arten mit etwas Erfahrung jedoch leicht möglich. So unterscheiden sich sowohl die Eier der in Deutschland einheimischen Stechmückenart *Aedes geniculatus* als auch der frisch eingebürgerten Art *Aedes japonicus* deutlich von denen der Asiatischen Tigermücke. In anderen Gebieten kann ein Vorkommen von anderen containerbrütenden *Aedes*-Arten eine Durchführung dieser Methode erschweren.

In diesem Falle bliebe nur die Möglichkeit, wie auch im vorliegendem Projekt praktiziert, die Befruchtungsrate über im Freiland eingefangene Weibchen der Asiatischen Tigermücke zu ermitteln. Diese Methode ist zwar deutlich aufwendiger, jedoch ist es auch bei der Flutungsmethode eventuell notwendig, die Eier verschiedener *Aedes*-Arten optisch unterscheiden zu können, da sonst bei von verschiedenen Arten gleichzeitig belegten Eiablagestäbchen die geschlüpften Larven nicht den geöffneten Eiern zugeordnet werden können.

Durch das Einfangen von stechwilligen Weibchen im Bereich der SIT-Freilassungen und einer Eiablage im Labor kann jedem Weibchen exakt zugeordnet werden, ob es sich mit einem SIT- oder Wildpopulations-Männchen gepaart hat. Dies zeigen eindeutig mit hoher Signifikanz oder Regelmäßigkeit die Bleichergebnisse des vorliegenden Versuches. Durch diese eindeutige Paarungszuordnung sind bei einer ausreichend hohen Stichprobe sehr genaue Daten über den Erfolg der SIT-Freilassungen zu erhalten. So wurde im vorliegendem Versuch und auch von anderen Autoren (BELLINI 2013b) nachgewiesen, dass von sterilen Männchen begatteten Weibchen signifikant weniger Eier als mit Wild-Männchen verpaarte Weibchen legen. Dadurch wird bei der Berechnung der durchschnittlichen Befruchtungsrate der Eier auf Eiablagestäbchen die Eiablage von SIT-verpaarten Weibchen verhältnismäßig zu gering wiedergegeben.

## 8.4 ÜBERLEBENSRATE VON SIT-MÄNNCHEN

### 8.4.1 EINLEITUNG

Nach der Freilassung der sterilen Männchen verteilen sich diese im weiteren Umfeld und begeben sich auf die Suche nach Weibchen der Asiatischen Tigermücke. Die Wahrscheinlichkeit eines Männchens, sich erfolgreich mit einem Weibchen der Wildpopulation zu paaren, hängt dabei auch von der Lebensdauer der SIT-Männchen ab. Daher sollte in verschiedenen Versuchen überprüft werden, inwieweit die Bestrahlung der Puppen und der spätere Transport der Imagines einen negativen Einfluss auf die Lebensdauer der SIT-Männchen hat.

### 8.4.2 MATERIAL UND METHODEN

Für den Versuch wurde eine große Anzahl Larven aus der bestehenden Laborzucht aufgezogen. Dabei wurden Zeitpunkte wie Verpuppung und Schlupf der Imagines an die der sterilen Tiere angeglichen. Nach der Verpuppung erfolgte die Trennung männlicher Tiere und die Überführung dieser in eine Petrischale. Diese Petrischale entsprach derer, die für die Aufzucht und den Versand der sterilen Männchen vom Centro Agricoltura Ambiente verwendet wurde. Alte Boxen vorangegangener SIT-Freisetzen wurden im nachfolgenden mit dieser Petrischale bestückt und der Käfig mittels Netz verschlossen.

Beim Eintreffen der wöchentlichen Charge wurden einige der Tiere in einen zuvor präparierten Versuchskäfig überführt. Die ebenfalls frisch geschlüpften Imagines der Laborzucht dienten dabei als Standardkontrolle und wurden aus ihrer Box in den Standardkäfig überführt.

Beim ersten Versuchsansatz wurden die Käfige weder mit Zuckerlösung noch mit Wasser ausgestattet und sollten somit einen ungünstigen Standort der Freisetzung imitieren („Keine Versorgung“). Im zweiten Versuchsansatz konnten alle männlichen Tiere auf Wasser zugreifen, eine Nahrungsquelle stand nicht zur Verfügung („Wasserversorgung“). Dieser Versuchsansatz wurde zweimal, jeweils mit den SIT-Männchen verschiedener Anlieferungen durchgeführt.

Die SIT-Männchen eines weiteren Versuchsansatz („Akklimatisierung“) wurde nach der Ankunft der SIT-Lieferung, vor dem Beginn des Laborversuches zunächst für 24 Stunden bei Standardbedingungen akklimatisiert, wobei ihnen nur in diesem Akklimatisierungs-Zeitraum eine 10-prozentige Zuckerlösung zur freien Verfügung stand.

Bei allen Ansätzen erfolgte eine Kontrolle auf verstorbene Tiere alle 24 h. Nach dem Tod des letzten lebenden Exemplars wurde der Versuch abgeschlossen und ausgewertet.

Die Zeit, in der die Hälfte der Tiere unter bestimmten Bedingungen stirbt, ist ein zuverlässiges Maß, um die Widerstandskraft von Insekten auszudrücken (ANDREWARTHA 1970). Zur Berechnung dieses als  $LT_{50}$  abgekürzten Wertes wurden zunächst die Sterberaten mit der ArcSin-Quadratwurzel-Funktion transformiert und gegen die Zeit aufgetragen, um den für die weitere Berechnung benötigten linearen Zusammenhang herzustellen. Bei dieser Transformationsmethode zeigen die transformierten Daten einen geringeren konkaven Trend gegenüber der Ausgleichsgeraden als bei der häufig verwendeten Probit-Methode (RAY et al. 1996). Nach dem Bestimmen der Ausgleichsgeraden kann der  $LT_{50}$ -Wert der jeweiligen Versuchsgruppe berechnet werden.

### 8.4.3 ERGEBNISSE

Die Sterberaten aller Versuchsgruppen zeigten nach dem Auftragen gegen die Zeit den typischen, aus der Toxikologie als „Dosis-Wirkungs-Kurve“ bekannten sigmoidalen Kurvenverlauf (ANDREWARTHA 1970). So kommt es am Anfang des Experimentes zu zunächst nur wenigen Sterbeereignissen, bevor die Sterberate stark zunimmt und zu einem steil abfallenden Kurvenverlauf führt.

In dem Versuchsansatz „Keine Versorgung“, in welchem den Männchen keine Wasser- oder Zuckerversorgung zur Verfügung stand, lebten die Männchen des Standards ( $LT_{50} = 60,8$  h) im Schnitt 7,2 Stunden länger als die SIT-Männchen, für welche ein  $LT_{50}$ -Wert von 53,6 h berechnet wurde (Abbildung 61 + 62).

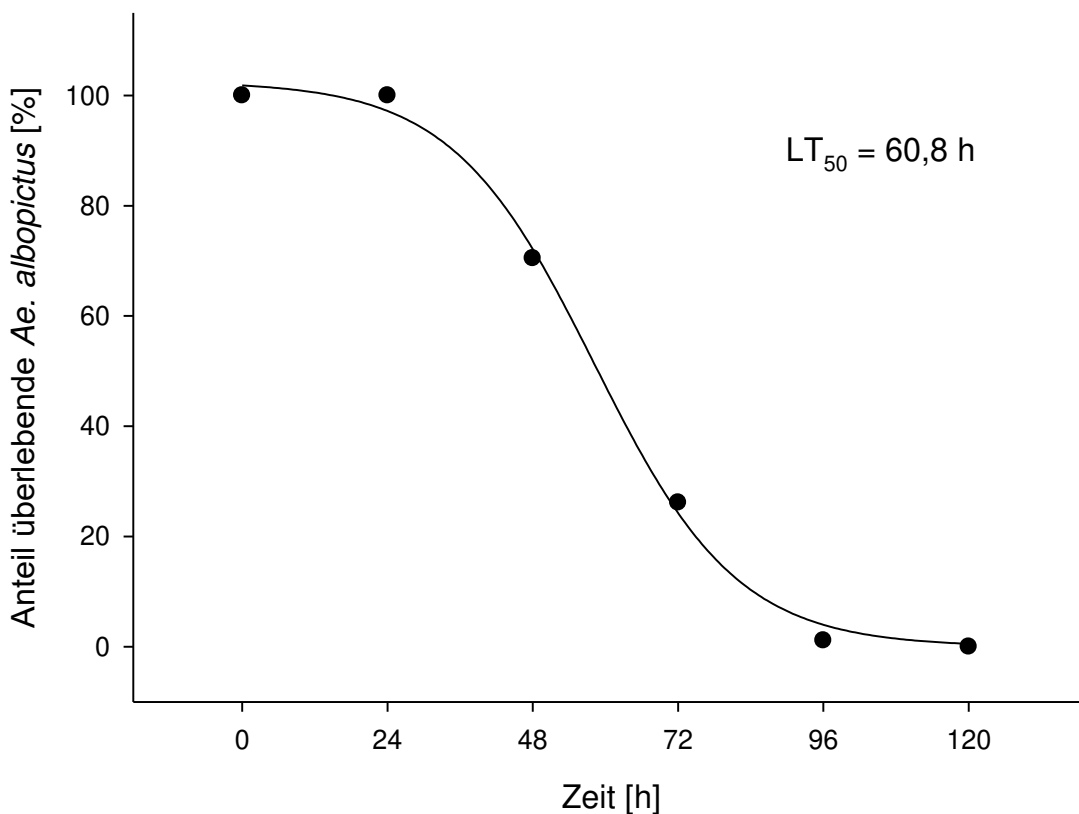
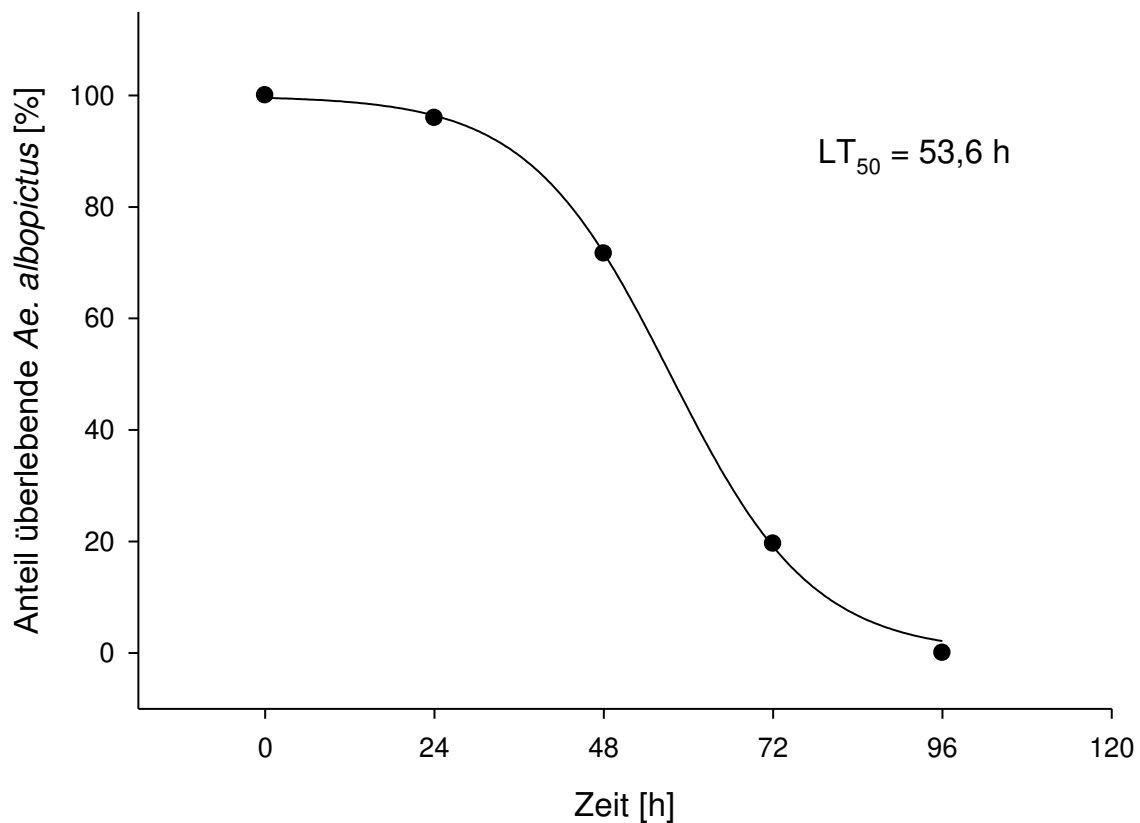


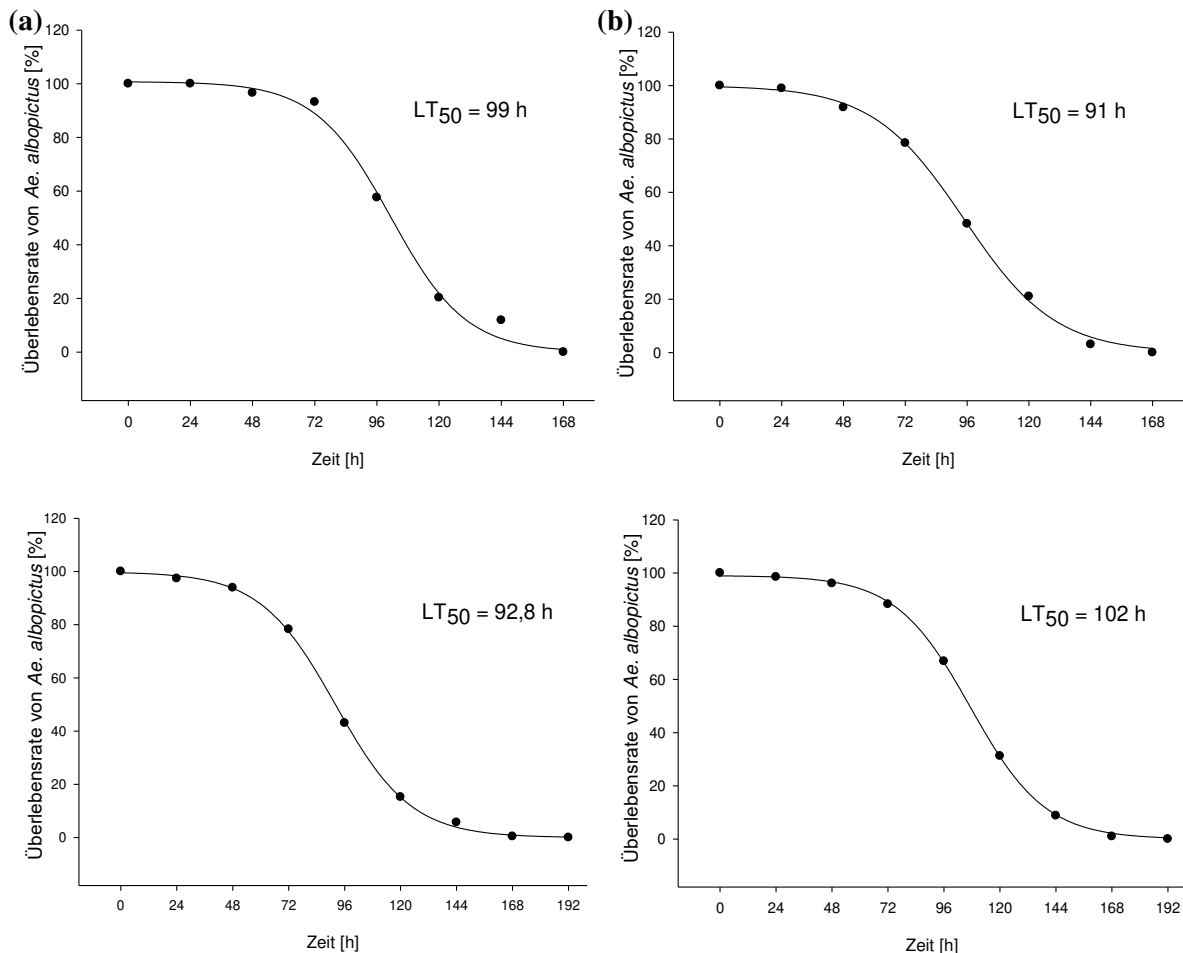
Abbildung 61: Anteil der täglich überlebenden Standard-Männchen im Verlauf der Zeit im Versuchsdurchgang „ohne Versorgung“.



**Abbildung 62: Anteil der täglich überlebenden SIT-Männchen im Verlauf der Zeit im Versuchsdurchgang „ohne Versorgung“.**

Wurde den Männchen eine Wasserversorgung, jedoch keine Nahrungsquelle, bereitgestellt, erhöhte sich die durchschnittliche Lebensdauer bei den Männchen der Standardlaborzucht auf 99,0 Stunden. Die berechneten durchschnittlichen Lebensdauern bzw. die  $LT_{50}$ -Wert der angelieferten SIT-Männchen waren für beide Chargen mit 91,0 h bzw. 92,8 h jeweils niedriger als der Standard (Abbildung 63).

Wurden den SIT-Männchen 24 h vor Beginn des Versuches eine 10-prozentige Zuckerlösung zur Verfügung gestellt, erhöhte sich die Durchschnittliche Lebensdauer auf 102 h.



**Abbildung 63:** Anteil der täglich überlebenden Männchen im Verlauf der Zeit im Versuchsdurchgang „ohne Versorgung“ und im Versuchsdurchgang „Akklimatisierung“.

- (a) Versuchsansatz „Wasserversorgung“, Standard-Laborstamm
- (b) Versuchsansatz „Wasserversorgung“, SIT-Männchen, 20. SIT-Charge
- (c) Versuchsansatz „Wasserversorgung“, SIT-Männchen, 21. SIT-Charge
- (d) Versuchsansatz „Akklimatisierung“, SIT-Männchen

#### 8.4.4 DISKUSSION

Im vorliegenden Versuch sollte überprüft werden, inwieweit die Bestrahlung der Puppen und der spätere Transport der Imagines einen negativen Einfluss auf die Lebensdauer der SIT-Männchen der Asiatischen Tigermücke hat.

Dabei zeigten bei den beiden Versuchsansätzen „Keine Versorgung“ und „Wasserversorgung“ die SIT-Männchen jeweils die höheren täglichen Sterberaten bzw. die geringere durchschnittliche Lebensdauer, was einem Fitnessverlust durch die Bestrahlung und die Anlieferung der SIT-Männchen aus Italien zuzuschreiben ist. Dieser negative Einfluss konnte durch die Bereitstellung einer Zucker-Nahrungsquelle kompensiert werden, so dass die durchschnittliche Lebensdauer der SIT-Männchen sogar über denen des Standards lag, welche jedoch keine Akklimatisierungsphase mit bereitgestellter Nahrungsquelle ausgesetzt waren.

Ist nach dem Schlupf der Imagines das Nahrungsangebot beschränkt, so dass die Männchen der Asiatischen Tigermücke keinen Zugang zu einer Zuckerquelle erhalten, kommt es zu einem raschen Anstieg der täglichen Sterberate und einer Verkürzung der durchschnittlichen Lebensdauer der Tiere (HAWLEY 1988). Je



nach Jahreszeit stehen in privaten Gartenbereichen durch die oft größere Anzahl an blühenden Zierpflanzen Stechmücken ausreichend Zuckerquellen zur Verfügung. Trotzdem kann es je nach Bewuchs des privaten Gartens oder der öffentlichen Bereiche zu einem Unterangebot an Zuckerquellen kommen. Bei einer Freisetzung der SIT-Männchen innerhalb solcher ungünstigen Bereiche wie z.B. Firmengelände oder Parkplätze bedeutet dies für die SIT-Männchen einen zusätzlichen Stress, welcher einen Einfluss auf die Lebensdauer, den Paarungs- und letztendlich den Bekämpfungserfolg hat. Durch einfache Bereitstellung einer 10-prozentigen Zuckerlösung während einer Akklimatisierungs-Phase von 24 Stunden vor der Freilassung, können trotz des negativen Einflusses der Bestrahlung und des Transportes, die freigelassenen SIT-Männchen genügend Kraftreserven aufnehmen, um in ungünstigen Bereichen mit kaum verfügbaren Nahrungsquellen gegenüber den dort geschlüpften Männchen der Wildpopulation konkurrenzfähig zu sein.

## **8.5 LABORVERSUCHE ZUR FÄRBUNG VON IMAGINES MITTELS TAGESLEUCHTPIGMENTE**

### **8.5.1 EINLEITUNG**

Vor der Verwendung der Tagesleuchtpigmente beider Hersteller wurden diese auf ihre Tauglichkeit getestet. Neben der Fragestellung, ob der Einsatz der Farbstoffe die Überlebensfähigkeit in den ersten Wochen einschränkt, wurde ebenfalls ermittelt, ob die Pigmente ausreichend lange auf den Tieren nachgewiesen werden können.

Weiterhin wurde in einem zusätzlichen Versuch überprüft, ob die verwendeten Farbstoffe negative Auswirkungen auf die Überlebensfähigkeit der damit bestäubten Tiere besitzen.

### **8.5.2 MATERIAL UND METHODEN**

#### Haftung der Tagesleuchtpigmente

Um die Haltbarkeit der Pigmente zu testen wurden zwei Ansätze präpariert. Der erste Einsatz diente dabei der Ermittlung, ob noch genügend Farbstoff auf dem Körper der Stechmücken nachgewiesen werden kann um eine eindeutige Einteilung zu gewährleisten. Hierbei spielte die Zeit den ausschlaggebenden Faktor. Im zweiten Ansatz sollte sichergestellt werden, dass die Partikel auch unter Einfluss von Feuchtigkeit lange genug erhalten bleiben, um eine eindeutige Identifizierung zu ermöglichen.

Für beide Ansätze wurden Eier der Laborzucht geflutet und die Larven aufgezogen. Nach der Verpuppung wurden sowohl weibliche als auch männliche Tiere in Petrischalen überführt. Diese Petrischalen entsprachen derer, die für die Aufzucht und den Versand der sterilen Männchen vom Centro Agricoltura Ambiente verwendet wurden. Alte Boxen vorangegangener SIT-Freisetzungen wurden im Nachfolgenden mit diesen Petrischalen bestückt und die Käfige mittels Netz verschlossen.

Nach dem Schlupf der Imagines wurde das überschüssige Wasser innerhalb der Petrischalen sorgsam entfernt. Nachfolgend wurden die Tiere in ihren Boxen jeweils mit gelben fluoreszierenden Pigmenten der Firma BioQuip oder grünen fluoreszierenden Pigmenten von Uv-Elements benetzt, dabei wurden gleiche Verhältnisse wie bei der Färbung der wöchentlichen SIT-Chargen eingehalten. Nach der Färbung wurden die Tiere in Versuchskäfige überführt. In allen Käfigen wurde sowohl Wasser als auch Zuckerlösung angeboten.

Im weiteren Verlauf wurden die Käfige je nach Fragestellung unterschiedlich behandelt:

**Haftung über Zeit:** Bei dieser Fragestellung wurde in einem wöchentlichen Rhythmus ein Teil der Tiere entnommen, auf Eis abgetötet und unter dem Stereomikroskop auf Farbpigmente untersucht. Nach einem Zeitraum von vier Wochen wurden alle verbliebenen Exemplare auf Eis abgetötet und eine statistische Endauswertung durchgeführt.

**Haftung bei Wasserkontakt:** Der wohl regelmäßigste Kontakt des gesamten Stechmückenkörpers mit Wasser stellt Morgentau dar. Um diesen zu simulieren, wurden die Versuchskäfige über einen Zeitraum von mehreren Tagen 14-mal mit einer wassergefüllten Spritzflasche eingenebelt. Nachdem ein Großteil der Feuchtigkeit vertrocknet war, wurden nach jedem Morgentau-Ereignis einige Tiere entnommen, auf Eis abgetötet und unter dem Stereomikroskop auf Farbpigmente untersucht. Nach dem 14. Ereignis wurden alle verbliebenen Tiere auf Eis abgetötet und mit diesen Exemplaren eine statistische Endauswertung durchgeführt.

Bei dieser Endauswertung erfolgte eine Einteilung einzelner Körperpartien. In diesen wurde explizit auf das Auftreten einzelner fluoreszierender Pigmente geachtet. Es wurden explizit fluoreszierende Pigmente auf folgenden Körpersegmenten ermittelt: Kopf (Antennen), Kopf (Mundwerkzeuge), Kopf (Augen), Thorax, Flügelansatz, Abdomen, Gliedmaßen (Coxa & Trochanter), Gliedmaßen (Tarsen). Neben dem Stereomikroskop wurde bei unklaren Strukturen auf eine handelsübliche Schwarzlichtlampe zurückgegriffen.

#### Überlebensraten farbmarkierter Imagines von *Aedes albopictus*

Für den Versuch wurde eine größere Anzahl Larven aus der bestehenden Laborzucht aufgezogen. Nach der Verpuppung erfolgte die Trennung männlicher Tiere und die Überführung dieser in Petrischalen. Diese Petrischalen entsprachen derer, die für die Aufzucht und den Versand der sterilen *Aedes albopictus*-Männchen vom Centro Agricoltura Ambiente verwendet wurde. Alte Boxen vorangegangener SIT-Freisetzung wurden im nachfolgenden mit diesen Petrischalen bestückt und die Käfige mittels Netz verschlossen.

Nach dem Schlupf der Imagines wurde das überschüssige Wasser innerhalb der Petrischalen sorgsam entfernt und der Versuchskäfig mit grünem Tagesleuchtpigment behandelt, dabei wurden gleiche Verhältnisse wie bei der Färbung der wöchentlichen SIT-Chargen eingehalten. Anschließend wurden die Tiere in einen Versuchskäfig überführt, der über identische Bedingungen wie der Kontrollkäfig verfügte. In beiden Käfigen wurde sowohl Wasser als auch 10 % Zuckerlösung angeboten.

Im Folgenden wurde wöchentlich die Anzahl verstorbener Individuen von *Ae. albopictus* ermittelt, die toten Individuen aus den Käfigen entfernt und die Dochtsysteme, welche zur Versorgung mit Wasser und Zuckerlösung dienten, erneuert. Nach fünf Wochen wurde die letzte Zählung der toten Individuen durchgeführt und die Anzahl der verbliebenen lebenden Tiere ermittelt.

### **8.5.3 ERGEBNISSE**

#### Haftung der Tagesleuchtpigmente

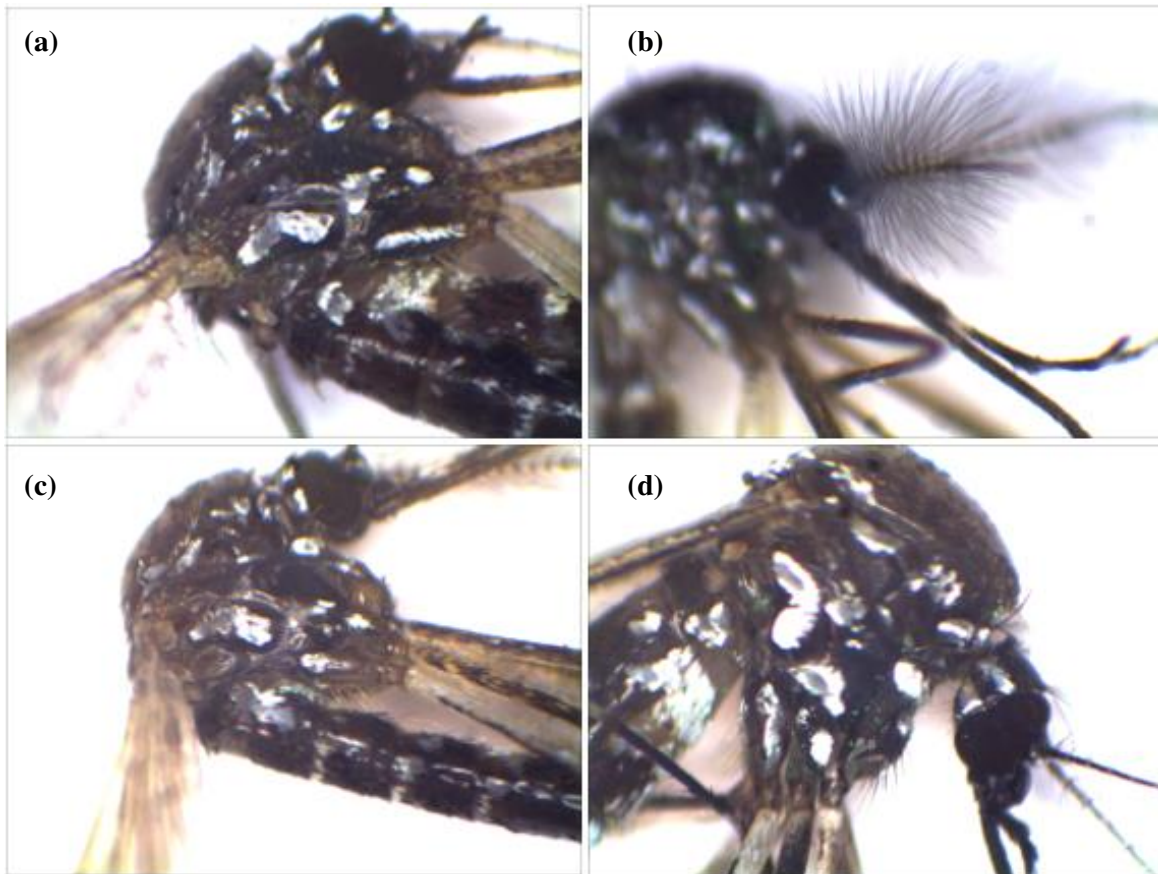
Bei beiden Faktoren konnten nach Abschluss der Endauswertung auf allen untersuchten Individuen fluoreszierende Pigmente auf dem Thorax festgestellt werden (Haftbewertung = 1,0). Anteilig wurden, je nach Individuum schwankend, weitere Pigmente auf allen untersuchten Kopfstrukturen (Antennen, Mundwerkzeuge, Augen) gefunden. Auch auf dem Abdomen, dem Ansatz der Flügel und der Coxa konnten bei vereinzelt

Tieren diese Pigmente nachgewiesen werden. Lediglich die Tarsen blieben bei beiden Faktoren stets ohne Fund der Pigmente (Haftbewertung = 0).

**Tabelle 28: Anzahl auf Pigmente untersuchte *Aedes albopictus*-Männchen und die Haftbewertung einzelner Körpersegmente.**

Faktor	Pigment	Anzahl	Körpersegment							
			Antennen	Mundwerkzeuge	Augen	Thorax	Flügelansatz	Abdomen	Coxa und Trochanter	Tarsen
Zeit	Grün	7	0,14	0,71	0,42	1,0	0,28	0,71	0,28	0
	Gelb	9	0,33	0,33	0,44	1,0	0,33	0,22	0,33	0
Wasser	Grün	9	0,11	0	0,11	1,0	0,11	0	0,33	0
	Gelb	15	0,2	0,06	0,33	1,0	0	0	0,33	0

Besonders bei männlichen Tieren konnten an den Antennen fluoreszierender Farbstoff (Abbildung 64b) nachgewiesen werden. Abbildung 64d zeigt ein besonders auffällig gefärbtes weibliches Exemplar, bei dem an den folgenden vier Segmenten grüne Pigmente gefunden werden können: Kopf (Augen), Thorax, Abdomen, Gliedmaßen (Coxa). Das männliche Tier (c) hingegen weist nur vereinzelte gelbe Pigmente am Thorax und den Coxae auf.



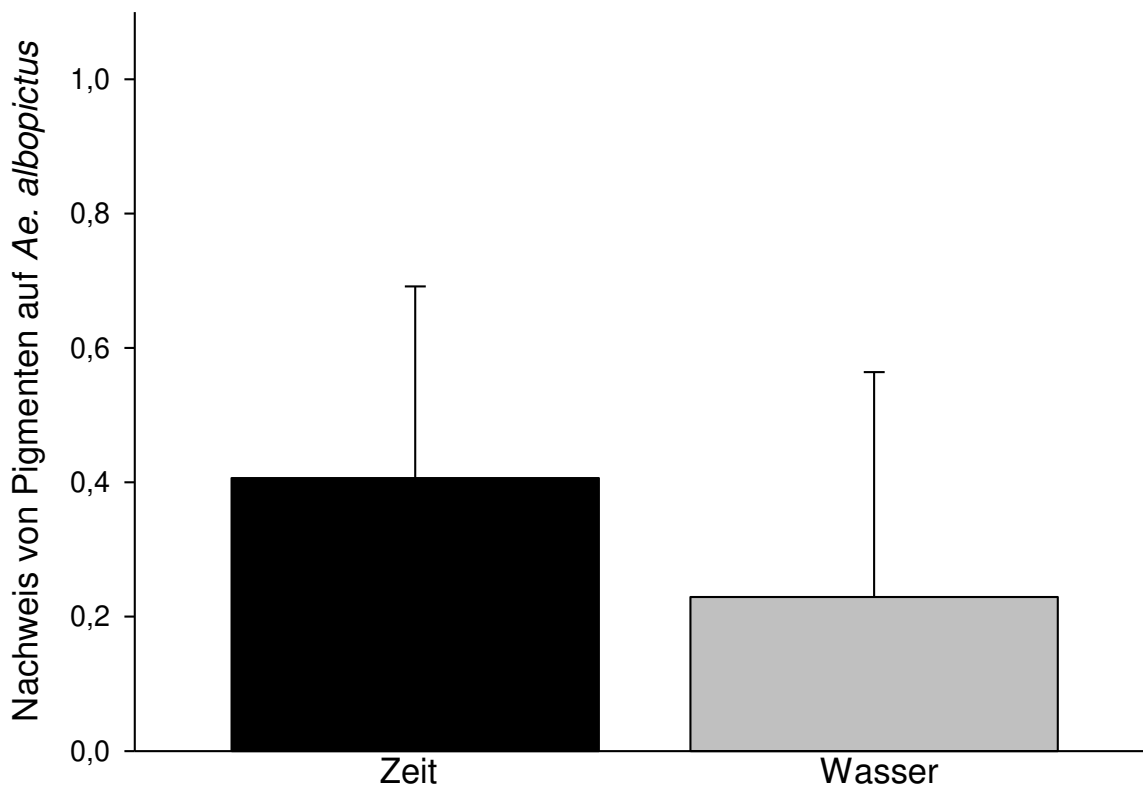
**Abbildung 64: *Aedes albopictus* mit Farbpigmenten.** Die Bilder (a) und (b) zeigen zwei Exemplare der Endauswertung des Faktors Zeit. Beim weiblichen Tier (a) sind deutlich gelbe fluoreszierende Pigmente (BioQuip) festzustellen. Das männliche Tier (b) wurde mit grünen fluoreszierenden Pigmenten (Uv-Elements) gefärbt. Die Aufnahmen (c) und (d) wurden bei der Endauswertung des Faktors Wasser aufgenommen. Das männliche Tier (c) wies gelbe und das weibliche Tier (d) grüne Farbpigmente auf.



**Abbildung 65. Pigmentnachweise der Faktoren Zeit und Wasser. Zusammenführung aller acht untersuchten Körperpartien für den jeweils untersuchten Faktor.**

Beim Vergleich (Abbildung 65) der beiden fluoreszierenden Pigmente innerhalb des Faktors Zeit konnte kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,411$ ), was die Haftung des jeweiligen Pigments betrifft, festgestellt werden. Durchschnittlich hafteten die Pigmente bei der Zusammenführung aller acht Körpersegmente mit einem Wert von 0,45 (grün) und 0,38 (gelb). Die Haftung der Pigmente innerhalb des Faktors Wasser betrug unter Einbezug aller Körpersegmente 0,21 (grün) und 0,24 (gelb). Bei dieser Differenz handelt es sich ebenfalls nicht um einen signifikanten Unterschied ( $p = 0,758$ ).

Folgend wurden grüne und gelbe Pigmente des jeweiligen Faktors kombiniert. Im weiteren Verlauf (Abbildung 66) konnte somit ermittelt werden, dass die Diskrepanz der Faktoren Zeit und Wasser zueinander signifikant ist ( $p = 0,006$ ). Im Faktor Zeit konnten Pigmente auf allen Körpersegmenten mit einer Haftungsbewertung von 0,41 nachgewiesen werden. Die Haftung der Pigmente auf den Individuen, welche im Faktor Wasser untersucht wurden, wies einen Wert von 0,23 auf. Dieser niedrigere Wert lässt sich qualitativ an den untersuchten Exemplaren festmachen: Neben den Tarsen wies keines der Exemplare im Faktor Wasser Pigmente auf dem Abdomen auf.

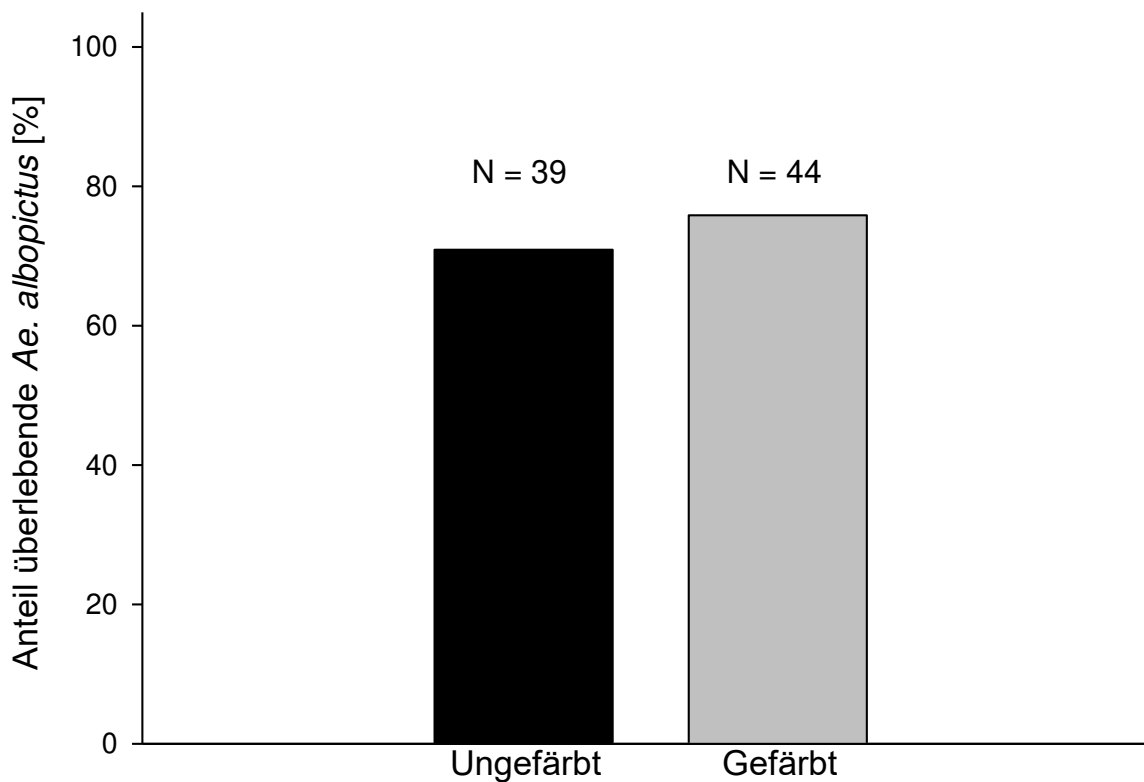


**Abbildung 66: Vergleich der Pigmentnachweise bei den Faktoren Wasser und Zeit. Kombination beider fluoreszierender Pigmente des jeweiligen Faktors für einen Vergleich der Faktoren zueinander.**

#### Überlebensraten farbmarkierter Imagines von *Aedes albopictus*

Bei der Verwendung von UV-Farbstoffen kann die Überlebensrate der eingefärbten Tiere beeinflusst werden. Um sicherzustellen, dass die in dieser Arbeit verwendete Menge an fluoreszierenden Pigmenten nicht zu einer übermäßigen Beeinflussung der natürlichen Verhaltensmuster führt, wurden ungefärbte und gefärbte *Aedes albopictus*-Männchen aus identischen Zuchtbedingungen in ihrer Überlebensfähigkeit miteinander verglichen. Dabei konnte über einen Zeitraum von fünf Wochen eine wöchentliche Sterberate ermittelt werden und Aufschluss darüber geben, ob die in dieser Studie gefärbten Organismen einen deutlichen Nachteil gegenüber den nicht gefärbten Individuen verfügten.

Insgesamt lässt sich über den gesamten Verlauf des Experiments (Abbildung 67) ein Anteil verstorbener Tiere von 29 % bei der ungefärbten Standardkontrolle ausmachen. Der Anteil verstorbener Tiere bei den gefärbten Tieren lag nach Abschluss der 840 h bei 24,1 % der Ausgangspopulation.



**Abbildung 67:** Überlebensrate nach fünf Wochen von gefärbten und nicht-gefärbten Männchen der Asiatischen Tigermücke.

#### 8.5.4 DISKUSSION

##### Haftung der Tagesleuchtpigmente

Über die Versuche zur Haftung der Pigmente sollte die Eignung der in dieser Studie verwendeten fluoreszierenden Pigmente (BioQuip und Uv-Elements) näher ermittelt werden. Dabei stand vorrangig im Raum, ob die Pigmente auch nach mehreren Wochen noch auf den markierten Individuen nachgewiesen werden konnten und ob es eine Beeinflussung durch die Feuchtigkeit, wie beispielsweise beim Auftreten von Morgentau, gab. Anhand dieser zwei Fragestellungen wurden die Pigmente der zwei Hersteller an *Aedes albopictus* des Heidelberger Zuchtstammes getestet.

Eine Haftung von fluoreszierenden Pigmenten wurde bereits bei MARINI (2010) durchgeführt. Dabei wurde in einem Semi-Freilandexperiment ermittelt, dass auch nach drei Wochen Farbpartikel nachgewiesen werden können. Auch in dieser Studie konnten nach einem Zeitraum von vier Wochen Partikel an unterschiedlichen Körperpartien der freigelassenen Stechmücken nachgewiesen werden. Auf dem Thorax jedes untersuchten Individuums konnten fluoreszierende Pigmente nachgewiesen werden, was diesen zu einem favorisierten Körpersegment zum Nachweis dieser Farbstoffe macht. Eine mögliche Begründung lässt sich in der Anatomie der Stechmücken selbst finden. Abdomen, Flügel und vordere Kopfpartien werden während der Körperreinigung mit den Tarsen abgerieben, weshalb an diesen Segmenten häufiger Partikel durch den Putzvorgang verlorengehen können. Einige Abschnitte des Thorax liegen jedoch, was die Bewegungsfunktionalität der Extremitäten betrifft, in einem schwer erreichbaren Winkel und dienen somit eher der Konservierung der Pigmente.

Anhand der durchgeführten Pigmentnachweise wird deutlich, dass sich die in dieser Studie verwendeten fluoreszierenden Farbpulver beider Hersteller für die Verwendung der Stechmücken-Farbmarkierung eignen, da kein signifikanter Unterschied festgestellt werden konnte. Auch, dass die Produkte des in Deutschland ansässigen Herstellers Uv-Elements verwendet werden können, kann als kostenreduzierender Faktor dienen, da nicht unbedingt auf bekanntes Material wie Day-Glo (Day-Glo Color Corp., Cleveland, OH) (HAGLER & JACKSON 2001) oder das in dieser Studie verwendete Pulver von BioQuip zurückgegriffen und importiert werden muss.

Vergleicht man die Haftung der fluoreszierenden Pigmente zwischen den getesteten Faktoren, wird deutlich, dass größere Mengen Feuchtigkeit durchaus die Haftung an unterschiedlichen Körpersegmenten beeinflussen können. In diesem Zusammenhang könnte jedoch ein vermehrtes Putzverhalten der farbmarkierten Stechmücken zur Entfernung von Wassertropfen auf der Körperoberfläche als Begründung herangezogen werden. Trotzdem stellt auch hier der Thorax ein geeignetes Körpersegment dar, auf welchen eine Identifikation möglicher Partikel in nahezu allen Fällen möglich sein sollte.

Die farbmarkierten Individuen von *Ae. albopictus* wurden in dieser Studie unter Verwendung eines Stereomikroskops auf einzelne Pigmente untersucht. Da im Vergleich zu anderen Autoren (VERHULST 2013) verhältnismäßig wenige Pigmente pro Individuum verwendet wurden, war eine Untersuchung unter Vergrößerung ausschlaggebend, um die feinen Farbpartikel zu erkennen. Jedoch waren diese selbst ohne Verwendung von Schwarzlicht aufgrund ihrer starken Leuchtkraft von dem umliegenden Schuppengewebe der Asiatischen Tigermücke jederzeit deutlich erkennbar. Der Bau einer Kammer, welche zwischen Schwarzlicht und weißen Lichtquellen wechselt, würde jedoch bei der Betrachtung größerer Mengen farbmarkierter Individuen durchaus als zeitsparender Faktor wirken.

#### Überlebensraten farbmarkierter Imagines von *Aedes albopictus*

Im vorliegenden Versuch konnte nach einem Zeitraum von fünf Wochen kein Unterschied in der Überlebensrate zwischen gefärbten und nicht-gefärbten Männchen der Asiatischen Tigermücke gefunden werden. Auch die von MARINI (2010) im Semi-Freiland Experiment untersuchte Mortalitätsrate zeigte keine signifikanten Einschränkungen farbmarkierter Individuen. Ebenso konnte VERHULST (2013) an *Anopheles gambia* sensu stricto bei ein bis drei Tage alten Individuen keine lebensverkürzende Beeinträchtigung durch eine Markierung mittels fluoreszierender Pigmente feststellen. Jedoch bei älteren Exemplaren fand gleicher Autor eine signifikante Reduktion der durchschnittlichen Überlebensrate von 17,9 Tagen auf 12,3 Tage. Dies deckt sich nicht mit den in diesem Versuch gewonnenen Ergebnissen und könnte an der größeren Menge an Farbpigmenten bei VERHULST (2013) gelegen haben.

Die Daten des vorliegenden Versuches zeigen deutlich, dass durch die Bestäubung mit Farbpigmenten kein negativer Einfluss auf die Überlebensrate und letztendlich den Bekämpfungserfolg bei zuvor eingefärbten SIT-Freilassungen zu erwarten ist. So lag im vorliegenden Versuch die Sterberate der nicht-eingefärbten Männchen nach fünf Wochen sogar etwas höher als die der gefärbten Tiere. Der Untersuchungszeitraum von fünf Wochen entspricht ca. der 8-fachen durchschnittlichen Überlebensdauer der Asiatischen Tigermücken-Männchen unter Freilandbedingungen (MORI 1979). Sollte sich aufgrund der Färbung nach mehr als fünf Wochen doch noch ein negativer Effekt auf die Überlebensrate der Männchen einstellen, beträfe dies nur weniger als 1 % der zuvor freigelassenen Tiere.



### Anwendung der Färbemethode

Bei der Freisetzung von sterilen Männchen ist die Beurteilung von sehr niedrigen Populationsdichten der Asiatischen Tigermücke durch den alleinigen Einsatz von Standard-Eiablagefallen nicht ausreichend möglich. Da bei jeder SIT-Freilassung auch ein sehr kleiner Anteil von ca. 0,6 % an ebenfalls unfruchtbaren SIT-Weibchen enthalten ist, kann es durch diese SIT-Weibchen zur Eiablage in die Standard-Eiablagefallen kommen. Die von den SIT-Weibchen abgelegten Eier können jedoch nicht von unbefruchteten Eiern der Wildpopulation unterschieden werden. Dadurch kann es zur Fehlinterpretation der aktuellen Situation kommen und sogar ein Zusammenbrechen der Wildpopulation unerkannt bleiben.

In diesem Versuch konnte nachgewiesen werden, dass der Nachweis von gefärbten Stechmückenimagines auch über einen längeren Zeitraum zu 100 % gewährleistet ist, ohne den Bekämpfungserfolg durch die SIT-Maßnahmen zu beeinträchtigen. Durch die Färbung von SIT-Männchen vor der Freilassung ist es daher möglich, bei den in letalen Monitoring-Fallen und bei Anflugskontrollen gefangenen Imagines sehr zuverlässig zwischen Wild- und SIT-Imagines zu unterscheiden. Dadurch ist es wiederum möglich, trotz der im Befallsgebiet freigelassenen SIT-Imagines eine Beurteilung der Populationsentwicklung vorzunehmen und einen Zusammenbruch der bekämpften Asiatischen Tigermückenpopulation aufgrund fehlender Wild-Imagines zu erkennen.

# 9 Feldversuche zur *B.t.i.*-Applikation durch Kaltvernebelung

## 9.1 EINLEITUNG

Die Grundlagen der Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke im besiedelten Gebiet ist die Ausbringung des biologischen Wirkstoffes *B.t.i.* mit der Hand. Um eine starke Reduktion der Populationsdichte bis an den Rand der überlebensfähigen Populationsgröße zu erreichen, müssen diese *B.t.i.*-Applikationen mit hoher Intensivität und Akkuratess durchgeföhrt werden. Nur bei einem sehr hohen Anteil an *B.t.i.*-behandelten Brutstätten ist es im Zusammenspiel mit anderen komplementären Bekämpfungsmaßnahmen möglich, einen Zusammenbruch der Population der Asiatischen Tigermücke zu erreichen.

Während der Bekämpfungsaktionen der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg in den letzten Jahren durch das Institut für Dipterologie kam es mehrfach zu Situationen, in denen aufgrund der speziellen Bedingungen vor Ort eine ausreichende *B.t.i.*-Behandlung der Brutstätten mit der Hand nicht zu erreichen war. So kam es im Umfeld eines Müllentsorgungsbetriebes in einer unzugänglichen, großflächigen Brombeerhecke zu einer Ansammlung hunderter künstlicher Brutstätten wie Dosen, Becher und Folien, welche von futtersuchenden Rabenvögeln regelmäßig aus dem Betriebsgelände des Müllentsorgers heraus eingetragen wurden. Im Befallsgebiet einer anderen Population der Asiatischen Tigermücke war auf dem Betriebsgelände des Amtes für Abfallwirtschaft die Ausführung der *B.t.i.*-Applikation mit der nötigen Akkuratess aufgrund der sehr hohen und unübersichtlichen Anzahl an regenwasserführenden Behältnissen nicht möglich.

Um auch für solche Sonderfälle mit unwegsamem Gelände oder unübersichtlichen Brutstättenverhältnissen bei einem sehr hohen Anteil an Brutstätten eine ausreichende *B.t.i.*-Behandlung zu erreichen, wurden zwei Feldversuche zur großflächigen Kaltvernebelung einer *B.t.i.*-Suspension (Vectobac WDG, sterilisiert, Aktivität: 2700 ITU/mg) durchgeföhrt. Neben der Frage zur prinzipiellen Eignung der Methode sollte auch die optimale *B.t.i.*-Konzentration, die Bekämpfungsdauer, die maximale Bekämpfungsentfernung und die Durchdringlichkeit des Wirkstoffes in verdeckte Bereiche ermitteln werden.

## 9.2 MATERIAL UND METHODEN

Für die großflächige Ausbringung einer *B.t.i.*-Suspension wurde ein auf dem Rücken tragbares Sprühgerät (Stihl, SR420) mit einer Düseneinstellung 4 (1,27 l/min) verwendet. Dieses Gerät erzeugt mittels Gebläse einen feinen Sprühnebel der *B.t.i.*-Suspension und verteilt diesen durch einen Luftstrom, laut Herstellerangaben bis zu einer maximalen Entfernung von 14,5 m.

Der Vorrattank des Gerätes wurde mit einer Suspension aus 60 Liter Leitungswasser und 1 kg Vectobac WDG befüllt. Bei der Applikation wurde eine parallel zur jeweiligen Versuchsanordnung verlaufende Applikationsstrecke abgelaufen. Die Austrittsdüse wurde dabei in Richtung der Versuchsanordnung gehalten und kreisförmig in einer horizontalen und vertikalen Abweichung von ca. 20° bewegt.

## Versuchsanordnung auf dem Betriebsgelände des Amtes für Abfallwirtschaft

Auf dem Betriebsgelände wurde die Applikation in einem 12 x 12 m großen Bereich durchgeführt, in welchem ca. 200 Mülltonnen (120 l) dicht an dicht stehend lagerten. An der Stirnseite des Bereiches wurde eine Applikationsstrecke von 10 m Länge definiert. Weiterhin wurden parallel zu dieser Applikationsstrecke in 5 m, 10 m und 15 m Entfernung je eine Probelinie definiert, auf welchen wassergefüllte Becher mit Larven der Asiatischen Tigermücke in unterschiedlicher Anordnung platziert wurden.

Bei der Applikation mit der zuvor beschriebenen Methode wurde eine Strecke von 10 m parallel zur Versuchsanordnung mit einer Geschwindigkeit von 10 m/min zurückgelegt.

Die Probelinien in 5 m und 10 m Entfernung liefen auf dem Betriebsgelände durch den Bereich der stehend gelagerten Mülltonnen. Hier wurden je Linie fünf Probestellen mit jeweils zwei Metern Abstand zueinander festgelegt, an welchen je ein Probegefäß in unterschiedlicher Lage zu den Mülltonnen positioniert wurde (Tab 29). So wurde an jeder Probestelle ein larvenbesetztes Probegefäß auf die geschlossenen Deckel der Mülltonnen („Oben“), in eine offene Mülltonne auf den Grund der Tonne („Innen“), zwischen zwei Mülltonnen auf den Boden („Zwischen“) oder in eine fast geschlossene Mülltonne auf den Grund der Tonne („Abgedeckt“) gestellt. Der Mülltonnendeckel der Gruppe „Abgedeckt“ war bis auf einen Spalt von 5 cm geschlossen, wobei die Spaltöffnung in Richtung der applizierenden Person ausgerichtet war. Weiterhin wurde pro Probestelle je ein während der Applikationsphase abgedecktes Probegefäß, welches als Standard diente, vor die Tonnen auf den Boden gestellt.

Die Probelinie in 15 m Entfernung befand sich außerhalb des Betriebsgeländes innerhalb des Randes eines angrenzenden Waldstückes. Hier wurde pro Probestelle nur ein offenes Probegefäß auf den Boden gestellt „oben“.

**Tabelle 29: Anzahl der Probegefäße je Probestelle und Probelinie**

Entfernung	Lage	Anzahl Probegefäße pro Position				
		Oben (OB)	Innen (IN)	Zwischen (ZW)	Abgedeckt (AB)	Standard (SD)
<b>5 m</b>	<b>Betriebshof</b>	5	5	5	5	5
<b>10 m</b>	<b>Betriebshof</b>	5	5	5	5	5
<b>15 m</b>	<b>Waldrand</b>	5	-	-	-	-

Als Probegefäße wurden 12,5 cm hohe, schwarze Hartplastikcontainer verwendet, deren runde Öffnung einen Durchmesser von 13 cm aufwies. In jedes Probegefäß wurde ein Liter Leitungswasser eingefüllt und mit je zehn Larven der Asiatischen Tigermücke im späten Drittlarvenstadium besetzt.

Eine Kontrolle der Probegefäße auf tote oder moribunde Larven erfolgte je einmal 24 und 48 Stunden nach der *B.t.i.*-Applikation.

### Versuchsanordnung auf einem Wiesen-Gebüsch-Bereich

Im Vergleich zum Feldversuch auf dem Betriebsgelände unterschied sich der Feldversuch im Wiesen-Busch-Bereich nur durch die Anordnung der einzelnen Probegefäße. Die Applikationsmethode, die Probegefäße, der Larvenbesatz und die Vorgehensweise in beiden Feldversuchen waren jedoch identisch.

Auf einer Wiesenfläche wurde parallel zu einer Buschreihe eine Applikationsstrecke von 20 m definiert. Diese befand sich in 5 Meter Entfernung zur Buschreihe, welche im Durchschnitt fünf Meter breit, fünf Meter hoch und locker belaubt war. Weiterhin wurden parallel zur Applikationsstrecke in 5 m, 10 m, 20 m und 25 m Entfernung je eine Probelinie definiert, auf welcher je fünf Probestellen in einem Abstand von jeweils fünf Metern zueinander festgelegt wurden. An jeder Probestelle wurden drei Probegefäße mit je zehn Larven positioniert.

Die Probelinie in 5 Meter Entfernung befand sich am Rand der Buschreihe, welche der applizierenden Person zugewandt war. Die Probelinie in 10 Meter Entfernung lag entlang der abgewandten Buschkante, und die beiden Probelinien in 20 und 25 m Entfernung auf der dahinter liegenden Wiesenfläche.

Bei der Applikation mit der zuvor beschriebenen Methode wurde zweimal eine Strecke von 20 m parallel zur Versuchsanordnung mit einer Geschwindigkeit von 20 m/min zurückgelegt. Eine Kontrolle der Probegefäße auf tote oder moribunde Larven erfolgte 24 Stunden nach der *B.t.i.*-Applikation.

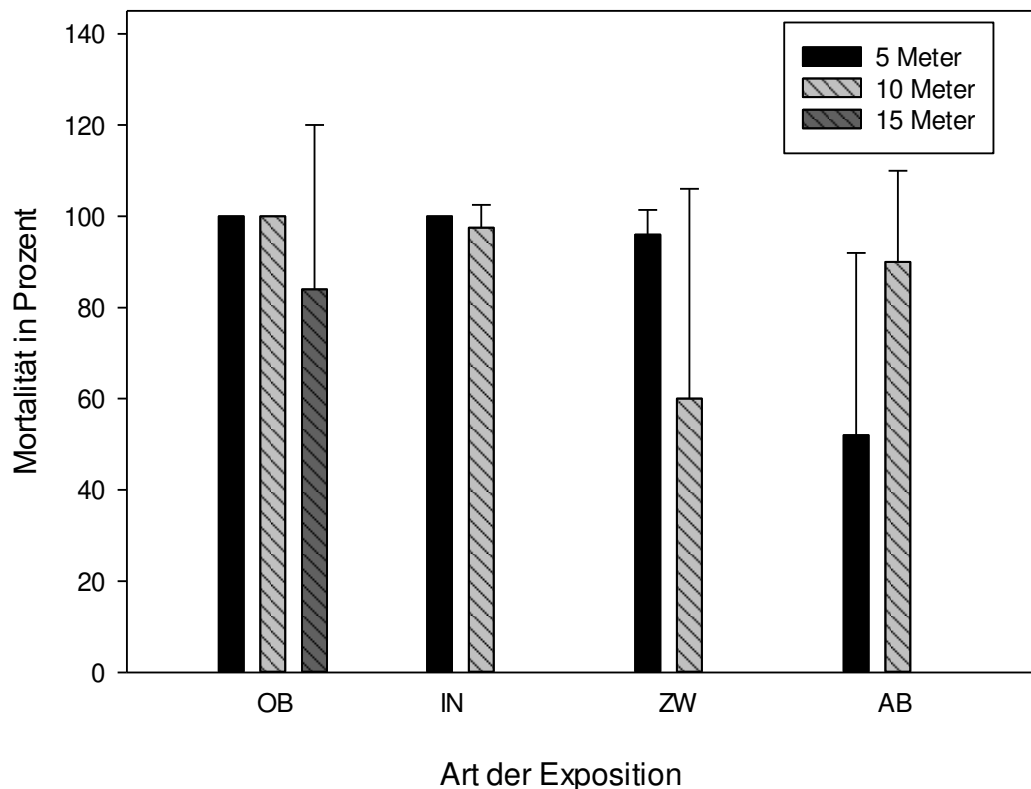
## **9.3 ERGEBNISSE**

### Versuchsanordnung auf dem Betriebsgelände des Amtes für Abfallwirtschaft

Die auf dem Betriebsgelände ermittelten Mortalitätsraten zeigten eine leichte Abhängigkeit von der Entfernung zum Applikationsort und von der Position im Bereich der gelagerten Mülltonnen.

So starben in den sehr frei stehenden Probegefäßen der Gruppe „Oben“ bei einer Entfernung von fünf und zehn Metern noch alle Larven, während entlang der Probelinie von 15 Metern, bei einer durchschnittlichen Mortalitätsrate von 84 % ( $\pm 36,7$ ), die ersten überlebenden Drittlarven zu verzeichnen waren. Bis auf die Gruppe „Abgedeckt“ traf dieser Zusammenhang auch auf alle anderen Versuchsgruppen zu.

## Nach 24 h Behandlung

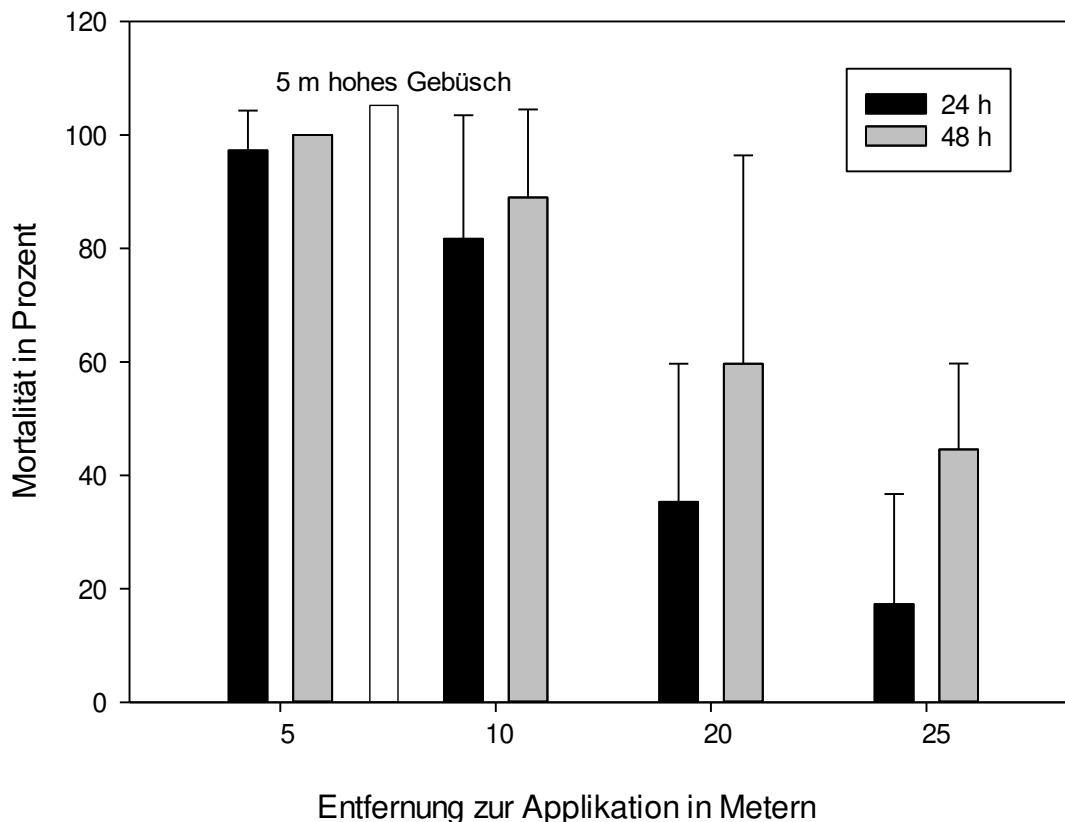


**Abbildung 68: Mortalitätsraten nach 24 Stunden bei Kaltvernebelung einer *B.t.i.*-Suspension bei unterschiedlicher Entfernung zum Applikationsort und Position der Probegefäße im Bereich der gelagerten Mülltonnen. OB = oben, IN = innen, ZW = zwischen, AB = abgedeckt.**

Betrachtet man nur die beiden Probelinien in fünf und zehn Meter Entfernung, so wurden die höchsten durchschnittlichen Mortalitätsraten in den Probegefäßen gefunden, welche nach oben völlig frei lagen. Bei der Gruppe „Oben“ auf den Mülltonnen konnte durch die Applikation eine 100-prozentige Mortalitätsrate erreicht werden. In den Probegefäßen am Boden der nach oben offenen Mülltonnen lag die Mortalitätsrate durchschnittlich noch bei 98 %. Waren die Probegefäße zwischen den Mülltonnen leicht verdeckt, nahm die Mortalitätsrate für beide Entfernungen auf durchschnittlich 77,5 % ab. Noch geringer fiel der Anteil an toten oder moribunden Larven mit durchschnittlich 70 % in den Probegefäßen innerhalb der fast verschlossenen Mülltonne aus.

## Versuchsordnung auf einem Wiesen-Gebüsch-Bereich

Bei der auf einem Wiesen-Gebüsch-Bereich durchgeführten *B.t.i.*-Vernebelung war eine deutliche Zunahme der Mortalitätsrate mit größerer Entfernung zum Applikationsort zu erkennen (Abbildung 69). Bezogen auf die Kontrolle nach 48 Stunden nahm die Mortalitätsrate von 100 % in fünf Meter Entfernung kontinuierlich auf 44 % bei einer Entfernung bei 25 Metern ab.



**Abbildung 69:** Mortalitätsraten nach 24 und 48 Stunden bei Kaltvernebelung einer *B.t.i.*-Suspension bei unterschiedlicher Entfernung zum Applikationsort und Position zur Gebüschreihe.

### 9.4 DISKUSSION

Die Bekämpfung der Larven von containerbrütenden Stechmücken kann in unwegsamem Gelände oder bei einer unübersichtlichen Brutstättensituation durch die Vernebelung einer Suspension des biologischen Wirkstoff *B.t.i.* erfolgen. So konnten auch bei der Bekämpfung von *Aedes albopictus*, *Aedes aegypti*, *Culex quinquefasciatus* und von containerbrütenden *Anopheles*-Arten in anderen Ländern gute Reduktionsraten mit einer großflächigen Anwendung durch Kalt- oder Heißvernebelung einer *B.t.i.*-Suspension erreicht werden (YAP et al. 2002, LEE et al. 2010, TAN et al. 2012).

Auch in den beiden vorliegenden Feldversuchen konnten mit der großflächigen Kaltvernebelung einer *B.t.i.*-Suspension selbst für die nachgestellten schwierigen Standortbedingungen teilweise optimale Mortalitätsraten erreicht werden. Obwohl vom Hersteller des Sprühgeräts eine maximale Entfernung von 14,5 m angege-

ben wird, konnte ein Verteilen der *B.t.i.*-Suspension bis in eine Entfernung von 25 Metern trotz dazwischenliegender Buschreihe nachgewiesen werden. Zwar reichen die in dieser größeren Entfernung ermittelnden Mortalitätsraten für eine nachhaltige Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke nicht aus, dies könnte jedoch eventuell im Notfall, falls kleinere Applikationsentfernungen nicht möglich sind, durch Erhöhen der Applikationsdauer kompensiert werden. Wie dann die Mortalitätsraten in ungünstig positionierten Brutstätten ausfallen würden, kann nicht gesagt werden.

Zumindest in Brutstätten, welche in keiner Form abgedeckt oder abgeschirmt werden, scheint bis zu einer Entfernung von 10 m eine nahezu 100-prozentige Mortalität mit der beschriebenen Methode gewährleistet zu sein. Die leicht reduzierte Mortalität in 10 m Entfernung in der Versuchsgruppe „Innen“ erfolgte bei der Kontrolle nach schon 24 Stunden. Aufgrund der betrieblichen Tätigkeit auf dem Betriebshof war eine zweite Kontrolle nach weiteren 24 Stunden nicht mehr möglich, welche jedoch, wie im zweiten Feldversuch ersichtlich, sehr wahrscheinlich noch höhere Mortalitätsraten zur Folge gehabt hätte.

Waren die Probegefäße bzw. Brutstätten im Feldversuch auf dem Betriebsgelände ungünstig positioniert, nahm selbst in einer Entfernung von 10 m oder weniger die Mortalitätsrate auf ein nicht ausreichendes Niveau ab. Diese wäre zwar bei einer weiteren Kontrolle nach insgesamt 48 sicherlich höher ausgefallen, hätte aber sicher nicht zum nahezu vollständigen Abtöten aller Larven gereicht. Es ist jedoch zu betonen, dass bei dem vorliegenden Feldversuch eine standardisierte Vorgehensweise erfolgte, um eine gleichmäßige Applikation auf die Fläche zu erreichen. Bei der Applikation wurde eine parallel zur jeweiligen Versuchsanordnung verlaufende Applikationsstrecke abgelaufen. Die Austrittsdüse wurde dabei in Richtung der Versuchsanordnung gehalten und kreisförmig in einer horizontalen und vertikalen Abweichung von ca. 20° bewegt. Bei realen Bekämpfungssituationen ist zu empfehlen, die Ausgangsdüse bzw. den Luftstrom gezielt in Richtung verwinkelter Bereiche zu halten, um eine Verwirbelung und bessere Verteilung des *B.t.i.*-Sprühnebels zu erreichen.

Hierbei ist jedoch zu erwähnen, dass bei den fast komplett abgedeckten Mülltonnen („Abgedeckt“) der kleine Spalt in Richtung der applizierenden Person zeigen musste, sodass der Suspensionsnebel direkt eingeblasen werden konnte. Wie viel oder ob überhaupt *B.t.i.* in die Mülltonnen bei einem in abweisender Richtung offenen Spalt gelangt wäre, kann nicht gesagt werden. Die eindringende Menge an Suspensionsnebel wäre sicherlich geringer ausgefallen, da hierfür eine rückwärtsgerichtete Luftströmung durch starke Verwirbelungen nötig wäre, welche jedoch situationsbedingt nur bei einem Teil der Brutstätten auftreten würde. Letztendlich sollte im Rahmen einer integrierten Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg und der dabei nötigen 100-prozentigen Mortalitätsraten in möglichst vielen Brutstätten, auch bei längerer und zielgerichteter Luftströmung, eine Applikationsentfernung von 10 m Entfernung nur in Ausnahmefällen und geeigneten Windbedingungen überschritten werden. Weiterhin ist darauf zu achten, dass eine Applikation der zu behandelnden Bereiche aus möglichst verschiedenen Richtungen erfolgen sollte, um mit dem Luftstrom des Applikationsgerätes auch in verdeckten Brutstätten oder Brutstätten mit seitlicher Öffnung ausreichend *B.t.i.*-Suspension einzublasen.

# 10 Beurteilung der durchgeführten Bekämpfungsmaßnahmen

## 10.1 EINLEITUNG

Neben der Durchführung von verschiedenen Labor- und Freilandversuchen zu den unterschiedlichen Bekämpfungs- und Monitoringmethoden wurde parallel die gesamte Population der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg bekämpft. Dadurch sollten zum einen wichtige Erkenntnisse über die Praktikabilität, Funktionalität und Effektivität der verschiedenen Bekämpfungsmethoden unter realen Freilandbedingungen gewonnen und zum anderen die weitere Ausbreitung der Art in Heidelberg verhindert werden. Da hierbei vor allem die menschliche Siedlungsstruktur und die Flächennutzung als wichtige Einflussfaktoren bei der Durchführung von Bekämpfungsmaßnahmen anzusehen sind, war die Heidelberger Population der Asiatischen Tigermücke optimal als Modellpopulation geeignet. So erstreckte sich das Vorkommen von *Aedes albopictus* in Heidelberg über eine Kleingartenanlage und einen dicht besiedelten suburbanen Siedlungsbereich mit leicht unterschiedlicher Flächennutzung.

Die Durchführung der Bekämpfung erfolgte vorrangig im Rahmen der verschiedenen Freilandversuche. In Bereichen, welche nicht durch die Maßnahmen der Freilandversuche abgedeckt wurden, erfolgte eine Bekämpfung in einer Form, welche die Versuche in angrenzenden Bereichen nicht beeinflussten. Da es sich bei der Asiatischen Tigermücke um einen potenziellen Vektor zahlreicher humanmedizinisch relevanter Virus-erkrankungen mit hohem Ausbreitungspotential handelt, wurden in allen Bereichen des Vorkommens der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg Bekämpfungsmaßnahmen über den gesamten Projektzeitraum durchgeführt. Dadurch bedingt ist es leider in einigen Versuchen nicht möglich, die Bekämpfungsergebnisse mit einem Standard bzw. der Populationsentwicklung eines nicht-bekämpften Gebiets zu vergleichen. Ein Vergleich ist daher nur zwischen verschiedenen Gebieten mit unterschiedlichen Bekämpfungsmethoden und Bekämpfungsintensitäten möglich. Weiterhin wurden die Bekämpfungsmethoden und die Intensität der Bekämpfung in einzelnen Fällen im folgenden Jahr an die Situation vor Ort angepasst, um vor allem in Bereichen mit zunehmender Tigermückenpopulationsdichte eine weitere Populationszunahme und Ausbreitung der Art zu verhindern. Ebenfalls wurden in den Jahren 2016 und 2017 unterschiedliche Arten oder Ansätze von Freilandversuchen bzw. Bekämpfungsmethoden durchgeführt, was das heterogene Gesamtbild der Bekämpfungs-Situation über den gesamten Projektzeitraum verstärkte.

## 10.2 POPULATIONSEINSCHÄTZUNG

Um den Erfolg der durchgeführten Bekämpfungsmaßnahmen einschätzen zu können, wurden über den gesamten Projektzeitraum die Ausdehnung und die Dichte der Population der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg mit verschiedenen Monitoringmethoden überwacht. Aufgrund der verschiedenen Versuche und Bekämpfungsmethoden in den unterschiedlichen Gebieten und Zeitabschnitten des Projektes war eine einheitliche Erfassung der Populationsentwicklung sowohl flächendeckend als auch über einen längeren Zeitraum nicht möglich.

Da einige Bekämpfungsarten und Monitoringmethoden sich gegenseitig beeinflussen, musste auf eine räumliche oder zeitliche Trennung bestimmter Methoden geachtet werden. So wird die Anwendung von Letal-Fallen als Monitoringmethode bei gleichzeitiger Freisetzung von SIT-Männchen eingeschränkt. Bei einem



Larvenmonitoring kann durch regelmäßige *B.t.i.*-Applikationen die tatsächliche Populationsstärke deutlich unterschätzt werden, da es selbst bei hoher Eiablage rate in den Brutstätten zu keinem Aufwachsen von Larven kommt. Wurden Fallensysteme in unterschiedlichem methodischen Ansatz (Transekt, Gitternetz) auf ihre Fängigkeit untersucht, sind andere Fallensysteme im näheren Umfeld, welche zu diesen in Konkurrenz stehen, zu vermeiden, um eine unterschiedliche Beeinflussung der verschiedenen Fallenpositionen auszuschließen. Da es weiterhin, wie zuvor angesprochen, auch zu unterschiedlichen, wechselnden Bekämpfungsmethoden kam, entstand über den gesamten Projektzeitraum auch ein sehr heterogenes Gesamtbild der Monitoring-Situation. Nur in einigen Untersuchungsgebieten und/oder Zeiträumen konnten daher systematisch erhobene Monitoringdaten erhoben werden, sodass die Populationsentwicklung der jeweiligen Gebiete durch einen qualitativen Gesamteindruck aller gewonnenen Daten eingeschätzt wurde.

So erfolgten neben der objektiven Beurteilung der Situation anhand der systematisch erhobenen Daten der einzelnen Versuche (Kapitel 3, 4, 7 und 8) auch verschiedene nicht systematische Beurteilungen der Populationsentwicklung anhand der beobachteten Anflugraten (Human bait-Methode) und des Larvenbesatzes bei den Bekämpfungsmaßnahmen. Als weitere subjektive Bewertungsmethode wurden regelmäßig Befragungen der Anwohner zu der empfundenen Belästigung bzw. Verringerung der Lebensqualität durch die Asiatische Tigermücke vorgenommen. Zusätzlich wurden die Anwohner angehalten, bei Stichbelästigung möglichst viele Individuen der Asiatischen Tigermücke einzufangen und später zur Verifizierung an Mitarbeiter des Projektes zu übergeben.

### **10.3 BEKÄMPFUNGSMAßNAHMEN**

Zur Reduktion der Asiatischen Tigermückenpopulation in Heidelberg wurden verschiedene Bekämpfungsmethoden in wiederum unterschiedlicher Intensität kombiniert. Dabei erfolgte der größte Teil der Bekämpfungsmaßnahmen im Rahmen der verschiedenen Versuchsansätze. Die Entscheidung über die angewandten Methoden und die Intensität der verschiedenen Bekämpfungsmethoden erfolgte anhand der geschätzten Populationsdichte der verschiedenen Bereiche und des Versuchsaufbaues der verschiedenen Freilanduntersuchungen.

#### **10.3.1 HILFE ZUR SELBSTHILFE**

Einer der Grundbausteine der Bekämpfung von Stechmücken in menschlichen Siedlungsbereichen ist das Einbeziehen der Bevölkerung durch Bereitstellen von Informationen und gegebenenfalls Materialien zur selbstständigen Durchführung von Maßnahmen auf dem eigenen Privatgrundstück (Kapitel 4). Diese sogenannte Hilfe zur Selbsthilfe wurde als Mindestbekämpfung angesehen und in allen Gebieten mit Vorkommen der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg angewandt.

Als Minimalintensität dieser Methode wurden zweimalig entsprechende Informationsmaterialien und kostenlose *B.t.i.*-Tabletten (Kapitel 5) an alle Haushalte der entsprechenden Bereiche als Hauswurfsendung verteilt. In Bereichen mit höchster Intensität der Hilfe zur Selbsthilfe erfolgte die Information der Bevölkerung und die Bereitstellung der *B.t.i.*-Tabletten kontinuierlich über verschiedene Informationskanäle sowie durch direkte Betreuung und Unterstützung in persönlichen Gesprächen Vorort.

#### **10.3.2 *B.t.i.*-APPLIKATION**

Ein wichtiger Baustein der biologischen Bekämpfung von Stechmücken ist die Behandlung der potenziellen Brutstätten mit unterschiedlichen *B.t.i.*-Formulierungen (Kapitel 5). Diese erfolgt zunächst im sporadischen Umfang im Rahmen der kostenlos verteilten *B.t.i.*-Tabletten hauptsächlich in Regentonnen, was zunächst

den Hilfe-zur-Selbsthilfe-Maßnahmen anzurechnen ist. Weiterhin wurden gezielte *B.t.i.*-Applikationen von Projektmitarbeitern durchgeführt, bei denen auf dem jeweiligen Grundstück alle vorhandenen potenziellen Brutstätten der Asiatischen Tigermücke mit *B.t.i.* behandelt werden.

Als Minimalintensität dieser Methode wurden im ersten Drittel der Reproduktionsperiode in den entsprechenden Bereichen einmalig auf allen Grundstücken, zu denen der Zugang innerhalb einer Zeitspanne von drei Tagen gewährt wurde, alle potenziellen Brutstätten mit *B.t.i.* in einer Dosis von mindestens 11.000 ITU/Liter behandelt. In Bereichen mit höchster Intensität erfolgte eine viermalige Behandlung aller Brutstätten und eine regelmäßige Behandlung aller Massenbrutstätten mit *B.t.i.* über die gesamte Reproduktionsperiode. Zusätzlich wurde durch Gespräche und mehrfaches Nachfragen dafür gesorgt, dass die Maßnahmen nach einiger Zeit auf nahezu allen Grundstücken des Bereiches mit hoher Intensität erfolgen konnten.

#### **10.3.3 FREILASSUNG STERILER MÄNNCHEN (SIT)**

Die sterile Insektentechnik wurde nicht in allen Bereichen angewandt. Kam diese Methode zum Einsatz, wurden als Minimalintensität im letzten Drittel der Reproduktionsperiode in den entsprechenden Bereichen ca. 1000 sterile Männchen der Asiatischen Tigermücke pro Hektar ausgesetzt. In Bereichen mit höchster Intensität erfolgte über die gesamte Reproduktionsperiode eine wöchentliche Freilassung von ca. 4000 sterilen Männchen der Asiatischen Tigermücke pro Hektar.

#### **10.3.4 LETALE FALLENSYSTEME**

Mit Hilfe von letalen Fallensystemen ist es möglich, hauptsächlich Weibchen der Asiatischen Tigermücke abzufangen und aus der Population zu entfernen.

Die beiden im Rahmen des Projektes verwendeten letalen Fallensysteme wurden nicht systematisch zur Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg eingesetzt. Die Nutzung erfolgte nur im Rahmen von Freilandversuchen, in denen die Effektivität direkt durch das Fangergebnis und nicht über die Reduktion der Tigermückenpopulation ermittelt wurde.

Nur das Fallennetzwerk des Versuches in Kapitel 7.3 könnte als flächendeckende Bekämpfung mittels Letalfallensystemen angesehen werden. Diese Fallensysteme waren aber nur über einen Teil der Reproduktionsperiode in einem Abstand von minimal 50 m über den entsprechenden Bereich verteilt. In den restlichen Bereichen waren diese Fallensysteme nur sporadisch verteilt und aufgrund der SIT-Freilassungen auch zeitlich eingeschränkt.

### **10.4 BESCHREIBUNG DER BEKÄMPFUNGSSITUATION UND DER POPULATIONSENTWICKLUNG**

Neben der objektiven Beurteilung der einzelnen Bekämpfungs- und Monitoringmethoden anhand der systematisch erhobenen Daten in den zuvor beschriebenen Freiland- und Laborversuchen kann der Einfluss der angewandten Bekämpfungsmaßnahmen auf die Populationsentwicklung der Asiatischen Tigermücke gut für Bereiche mit langfristig einheitlicher Vorgehensweise eingeschätzt werden. Aufgrund der zuvor beschriebenen heterogenen Bekämpfungssituation über den gesamten Projektzeitraum, mit verschiedenen Bekämpfungsmethoden in unterschiedlicher Intensität und den fehlenden Standardbereichen ohne jegliche Bekämpfungsmaßnahmen, kann jedoch nur eine subjektive Einschätzung der Bekämpfungssituation der unterschiedlichen Bereiche vorgenommen werden. So kann durch gleichzeitige Anwendung mehrerer Bekämpfungsmethoden eine Reduktion der Populationsdichte nicht definitiv bestimmten Maßnahmen zugeordnet werden.

Nur Mehrfachvergleiche der Unterschiede in der Intensität der verschiedenen Bekämpfungsmethoden bei unterschiedlicher Populationsentwicklung geben Hinweise auf die Effektivität der verschiedenen Maßnahmen.

Die Prozentangaben zur Intensität der jeweiligen Bekämpfungsmethode in den unterschiedlichen Bereichen oder Jahren beziehen sich auf die in Kapitel 11 empfohlene Vorgehensweise der Integrierten Bekämpfung, welche demnach als 100-prozentige Intensität der jeweiligen Bekämpfungsmethode angesehen wird.

#### Siedlungsbereich „Ochsenkopf“, westlicher Teil

Zu Beginn des Projektes war die Asiatische Tigermücke über nahezu den gesamten westlichen Bereich des Siedlungsgebiets „Ochsenkopf“ in hoher Populationsdichte verteilt. Lokal sehr hohe Populationsdichten führten schon im Jahr 2015 zur starken Belästigung zahlreicher Anwohner, was auch zur Meldung des Vorkommens über das Monitoringprojekt „Mückenatlas“ (KAMPEN et al. 2015) führte.

Im Jahr 2016 wurden neben der 100-prozentigen Information der Bevölkerung und dem Aufruf zur Selbsthilfe mehrfache *B.t.i.*-Applikationen durchgeführt, welche in etwa 60 % der in Kapitel 11 empfohlenen Vorgehensweise entsprechen. Eine Freilassung steriler Männchen (SIT) erfolgte zu 20 %. Diese Maßnahmen führten insgesamt zu einer sehr starken Reduktion der Populationsdichte, so dass *Ae. albopictus* in diesem Bereich nur noch sporadisch anzutreffen war.

Im Jahr 2017 wurden bei gleichbleibender Selbsthilfe-Intensität die *B.t.i.*-Applikation auf 20 % und die SIT-Freilassungen auf 10 % reduziert, was bezogen auf die Populationsdichte im Jahr 2016 zu einer Stagnation der Populationsentwicklung im Jahr 2017 führte.

#### Siedlungsbereich „Ochsenkopf“, östlicher Teil

Im östlichen Teil des Siedlungsgebiets „Ochsenkopf“ war zu Beginn des Projektes die Asiatische Tigermücke nur sporadisch in wenigen Bereichen vorhanden. Größere Bereiche dieses Gebietes waren ohne erkennbare Vorkommen der Art.

Ebenso wie im westlichen Teil wurden im Jahr 2016 auch die Anwohner des östlichen Teils des Siedlungsbereichs „Ochsenkopf“ zu 100 % informiert und zur Selbsthilfe angehalten. Während in diesem Bereich keine SIT-Freilassung angewandt wurde, erfolgte eine Regentonnenreinigung und *B.t.i.*-Applikation im Rahmen des später durchgeführten Larvenmonitorings, was einer empfohlenen Intensität von maximal 5 % entspricht. Aufgrund dieser Maßnahmen kam es zu einer leichten Zunahme der Populationsdichte der Asiatischen Tigermücke.

Aufgrund dieser Zunahme der Populationsdichte wurden im Jahr 2017 die Intensität der *B.t.i.*-Applikation auf 10 % und der SIT-Freilassungen auf 25 % erhöht. Trotz dieser Maßnahmen kam es weiterhin zu einem leichten allgemeinen Anstieg der Populationsdichte und einer geringen Ausbreitung in bisher unbesiedeltes Gebiet. Daraufhin wurde die Bekämpfungsintensität zum Ende des Sommers weiter erhöht, deren Auswirkung bis zum Ende des Projektes allerdings nicht mehr erfasst werden konnte. So kann bei Anwendung der SIT-Methode am Ende der Reproduktionsperiode die Auswirkung durch Reduktion der Befruchtungsrate der überwinterten Diapause-Eier erst im Folgejahr ermittelt werden.

### Siedlungsbereich „Wellengewann“

Zu Beginn des Projektes war das Vorkommen der Asiatischen Tigermücke lückig über den Siedlungsbereich „Wellengewann“ verteilt. Neben einzelnen, lokal stark begrenzten Bereichen höherer Populationsdichte trat die Art nur sporadisch und in geringer Dichte im Siedlungsgebiet „Wellengewann“ auf.

Im Jahr 2016 wurde im gesamten Siedlungsbereich „Wellengewann“ neben der 70% Information der Bevölkerung und Anregung zur Selbsthilfe eine gezielte 20 % *B.t.i.*-Applikation und eine 5 % SIT-Freilassung durchgeführt. Insgesamt führten diese Maßnahmen zu einer Stagnation der Populationsentwicklung im Jahr 2016.

Im Jahr 2017 blieb die Information und Anregung der Anwohner zu Selbsthilfemaßnahmen in etwa gleich, während die *B.t.i.*-Applikation auf 30 % und die SIT-Freilassung auf 40 % erhöht wurden. Dies führte zu einer minimalen Reduktion der Gesamtpopulation, wobei die langfristigen Auswirkungen der SIT-Methode auf die Reduktion der Befruchtungsrate der Diapause-Eier bis zum Ende des Projektes noch nicht berücksichtigt werden konnte.

### Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“

Zu Beginn des Projektes war die Asiatische Tigermücke über die gesamte Kleingartenanlage „In den zwölf Morgen“ in hoher Populationsdichte verteilt. So kam es schon im Jahr 2015 zur starken Stichbelästigung mehrerer Kleingartenpächter durch die Asiatische Tigermücke.

Im Jahr 2016 wurde neben der 100-prozentigen Information und Anregung der Pächter zur Selbsthilfe eine 50 % *B.t.i.*-Applikation und eine 5 % SIT-Freilassung vorgenommen. Dies führte zu einer sehr starken Reduktion der Asiatischen Tigermückenpopulation, so dass diese Ende des Jahres 2016 nur noch sporadisch in der Kleingartenanlage zu finden war.

Im Jahr 2017 wurde bei gleich hoher Selbsthilfe-Intensität die *B.t.i.*-Applikation auf 20 % reduziert, jedoch die Bekämpfungsintensität durch sterile Männchen auf 50 % erhöht. Dies führte zu einer weiteren, geringen Reduktion der Populationsdichte im Laufe des Jahres 2017. Auch hier ist wieder zu beachten, dass aufgrund der bis zum Ende der Reproduktionsperiode durchgeführten SIT-Maßnahmen die Reduktion der Befruchtungsrate der überwinterten Diapause-Eier erst im Frühjahr des folgenden Jahres erkennbar wird.

### Siedlungsbereich und Umfeld SB-Bahnhof „Wieblingen“

Zu Beginn des Projektes war das Vorkommen der Asiatischen Tigermücke lückig bei insgesamt geringer Populationsdichte über das Umfeld des SB-Bahnhof „Wieblingen“ und den angrenzenden Siedlungsbereich verteilt.

Im Jahr 2016 wurde in diesem Bereich neben der 20-prozentigen Information der Bevölkerung und Anregung zur Selbsthilfe eine gezielte 20 % *B.t.i.*-Applikation und eine 20 % SIT-Freilassung durchgeführt. Insgesamt führten diese Maßnahmen zu einer Stagnation der Populationsentwicklung im Jahr 2016.

Auch im Jahr 2017 wurden dieselben Maßnahmen in derselben Intensität durchgeführt, was ebenfalls eine Stagnation der Populationsentwicklung zur Folge hatte.

## Gesamtübersicht

Betrachtet man die Gesamtübersicht der durchgeführten Maßnahmen und die Populationsentwicklung in den entsprechenden Gebieten (Tab. 30), wird deutlich, dass der größte Einfluss auf den Bekämpfungserfolg der *B.t.i.*-Applikation zugeordnet werden kann. Diese ist die einzige Methode mit deutlichem Zusammenhang von Bekämpfungsintensität und Populationsentwicklung. In Gebieten mit einer *B.t.i.*-Applikation von mindestens 20 % oder mehr kam es mindestens zu einer Stagnation der Populationsentwicklung der Asiatischen Tigermücke. Lag der Anteil der *B.t.i.*-Applikation mindestens bei 30 % oder höher, hatte dies eine mehr oder weniger starke Reduktion der Populationsdichte zur Folge. Unterhalb einer *B.t.i.*-Applikation von 20 % kam es in zwei Gebieten zu einem leichten Populationszuwachs und dies in einem Fall trotz 25 % SIT-Intensität.

**Tabelle 30: Übersicht der Gebiete und der Populationsentwicklung der Asiatischen Tigermücke nach Anwendung verschiedener Bekämpfungsmethoden in unterschiedlicher Intensität.**

Gebiet	Jahr	Selbsthilfe	<i>B.t.i.</i>	SIT	Populations- Entwicklung
<b>Siedlungsbereich „Ochsenkopf“, westlicher Teil</b>	2016	100 %	60 %	20 %	↓
	2017	100 %	20 %	10 %	→
<b>Siedlungsbereich „Ochsenkopf“, öst- licher Teil</b>	2016	100 %	5 %	0 %	↗
	2017	100 %	10 %	25 %	↗
<b>Siedlungsbereich „Wellengewann“</b>	2016	70 %	20 %	5 %	→
	2017	70 %	30 %	40 %	↘
<b>Kleingartenanlage „In den zwölf Mor- gen“</b>	2016	100 %	50 %	5 %	↓
	2017	100 %	20 %	50 %	↘
<b>Umfeld SB-Bahnhof „Wieblingen“</b>	2016	20 %	20 %	20 %	→
	2017	20 %	20 %	20 %	→

Eine doppelt so hohe SIT-Intensität von 50 % bei reduzierter Intensität der *B.t.i.*-Applikation von 20 % führte wiederum im Jahr 2017 in der Kleingartenanlage zu einer leichten Reduktion der Populationsdichte. Dies verdeutlicht zunächst die Wirksamkeit der SIT-Freilassungen. Weiterhin ist insgesamt aber zu erkennen, dass der reduzierende Effekt der SIT-Methode deutlich geringer als die Reduktion durch die *B.t.i.*-Applikation ausfällt und ein deutlicher Einfluss auf die Populationsentwicklung durch die SIT-Methode erst bei sehr hoher Bekämpfungsintensität zu erwarten ist.

Am wenigsten Einfluss auf die Reduktion der Populationsdichte der Asiatischen Tigermücke hatten die Selbsthilfemaßnahmen, was schon aufgrund der Ergebnisse der Freilandversuche zu erwarten war (Kapitel 4). So kam es im östlichen Teil des Siedlungsbereichs „Ochsenkopf“ trotz intensiver Information und kostenlos bereitgestellter *B.t.i.*-Tabletten zu einem Populationsanstieg, bei niedriger Intensität der *B.t.i.*-Applikation und SIT-Maßnahmen. Erst durch die Intensivierung der BTI-Applikationsmaßnahmen im selben Gebiet kam es wieder zu einer Reduktion der Asiatischen Tigermückenpopulation.

# 11 Empfohlene Vorgehensweise zur integrierten Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Baden-Württemberg

## 11.1 ALLGEMEIN

In den letzten Jahren kam es, bedingt durch den starken Anstieg des weltweiten Klimawandels und den zunehmenden Einschleppungsdruck der Asiatischen Tigermücke aus Südeuropa, zu den ersten Etablierungen der Art in Deutschland. Jedoch sind bei allen bisher entdeckten Populationen von *Ae. albopictus* in Deutschland die Vorkommen der Art auf noch definierbare lokale Bereiche begrenzt. Dies ist zum einem auf die vermutlich erst wenige Jahre zurückliegende Einschleppung und die geringen aktiven Ausbreitungstendenzen der Asiatischen Tigermücke zurückzuführen. Zum anderen ist zu beachten, dass sich, trotz ihrer enormen Anpassungsfähigkeit, die ursprünglich tropische Art am Rande ihrer nördlichsten Ausbreitungsgrenze befindet und in Baden-Württemberg momentan zwar ausreichende, aber keine optimalen klimatischen Bedingungen vorfindet.

So ist in Südeuropa aufgrund des für die Art günstigeren Klimas und der schon großflächig besiedelten Bereiche eine vollständige Auslöschung der Populationen nicht mehr möglich. Dort ist das Ziel von Bekämpfungsmaßnahmen, die Dichte der Tigermücken-Populationen zu reduzieren, um die Belästigung der Bevölkerung und vor allem die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung von Krankheitserregern durch diesen sehr kompetenten Vektor zu verringern. Hingegen ist in Deutschland die vollständige Auslöschung lokal begrenzter Populationen noch möglich und sollte das Ziel von Bekämpfungsmaßnahmen sein.

Mit dem vorliegenden Maßnahmenkatalog wird ein Gesamtkonzept zur integrierten Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke vorgeschlagen, welches auf der Basis der Versuchsergebnisse und der nahezu zweijährigen Erfahrung bei der Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg erstellt wurde. Zusätzlich fließen in das Gesamtkonzept die Erfahrungen der Mitarbeiter des Instituts für Dipterologie (IfD) bei der Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Freiburg, Sinsheim, Karlsruhe und Lörrach mit ein. So zeigen erste Ergebnisse bei der Bekämpfung zweier kleinerer Populationen der Asiatischen Tigermücke in Freiburg (A. JÖST & I. FERSTL, pers. Mitteilung) und Sinsheim (W. FISCHER, pers. Mitteilung), dass bei gezielter Vorgehensweise prinzipiell eine Auslöschung begrenzter Vorkommen der Art in Baden-Württemberg möglich ist.

Die Intensität der empfohlenen Maßnahmen des vorliegenden Maßnahmenkataloges ist so ausgelegt, dass schon im ersten Jahr mit einer Bekämpfung über eine komplette Reproduktionsperiode die Population mit großer Wahrscheinlichkeit auf ein Niveau der kleinstmöglichen effektiven Populationsgröße reduziert wird. Um dieses Ziel zu erreichen, bei dem schon nach nur einer Bekämpfungssaison spätestens in den anschließenden Wintermonaten das vollständige Zusammenbrechen der lokal begrenzten Asiatischen Tigermückenpopulation möglich ist, wird eine sehr hohe, aber noch umsetzbare Intensität der verschiedenen Maßnahmen empfohlen. Zwar ist davon auszugehen, dass auch bei etwas geringerer Intensität der empfohlenen Maßnahmen eine Auslöschung der Population langfristig möglich ist, dies ist jedoch aus mehreren Gründen nicht anzuraten.

So sinkt bei verringerter Bekämpfungs-Intensität die Wahrscheinlichkeit einer zeitnahen vollständigen Auslöschung, wodurch ein weiteres oder sogar mehrere zusätzliche Jahre der Bekämpfung nötig wären. Dies führt auch bei reduzierter Intensität insgesamt zu erheblich längerem Arbeitsaufwand und höheren Kosten und beansprucht ebenfalls für längere Zeit das Verständnis und die Bereitschaft der Anwohner, die externen Bekämpfungsmaßnahmen auf ihrem privaten Grundstück zu unterstützen.

Und auch wenn die aktive Ausbreitung der Asiatischen Tigermücke bemerkenswert langsam erfolgt, so wird die Art durch menschliche Aktivität leicht in umliegende Bereiche verschleppt. Jede weitere Reproduktionsperiode mit Vorkommen der Asiatischen Tigermücke erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass es zu Verschleppungen und zum Aufbau neuer Gründerpopulationen im weiteren Umfeld kommt.

Letztendlich handelt es sich bei der Asiatischen Tigermücke um einen Überträger zahlreicher humanmedizinisch relevanter Erreger, wobei die Gefahr einer Übertragung mit zunehmender Populationsdichte ebenfalls zunimmt. Durch die Ausführung der empfohlenen Maßnahmen in sehr hoher Intensität schon zu Beginn der Reproduktionsperiode ist von Beginn an mit einem nur noch sporadischen Auftreten einzelner Individuen zu rechnen, was die Wahrscheinlichkeit einer Krankheitsübertragung vor allem unter den klimatischen Bedingungen in Baden-Württemberg verschwindend gering werden lässt.

#### **11.2 BEHÖRDLICHE UNTERSTÜTZUNG**

Die Asiatische Tigermücke ist als typischer Kulturfolger anzusehen, welcher in Siedlungsbereichen des Menschen, insbesondere in vorstädtischen Gebieten von zahlreichen Brutstätten, einer günstigen Habitatstruktur und einer ausreichenden Anzahl an Blutwirten profitiert. Dabei nutzt die Art im Umfeld menschlicher Aktivität vor allem die große Fülle an künstlichen Brutgefäßen und ist im besiedelten Gebiet deutlich häufiger und in größerer Dichte anzutreffen.

Bis auf die teilweise als Stechmückenbrutstätten dienenden Abwassersammelsysteme der öffentlichen Bereiche befindet sich in Kommunen der weitaus größte Teil der potenziellen Brutstätten auf privaten Grundstücken. Da eine Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke auf privaten Grundstücken durch angeleitete Selbsthilfemaßnahmen jedoch nicht ausreichend erfolgt (Versuch 4), ist in diesen Bereichen eine nachhaltige Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke nur durch ausgebildete Fachkräfte möglich und auch Teil des hier vorgeschlagenen Bekämpfungskonzepts.

Dies bedeutet jedoch, dass zur Durchführung der nötigen Bekämpfungsmaßnahmen die Zustimmung des jeweiligen Grundstückseigentümers nötig wird. Wie die Erfahrungen des Instituts für Dipterologie (IfD) bei der Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Heidelberg (STELZNER 2016, AUGSTEN 2018), Freiburg (A. JÖST & I. FERSTL, pers. Mitteilung), Sinsheim (W. FISCHER pers. Mitteilung) und Lörrach (A. JÖST & I. FERSTL, pers. Mitteilung) zeigen, wird ein Zugang zu vielen Grundstücken nur nach mehrfachen persönlichen Gesprächen mit den Anwohnern oder bei einem nicht unerheblichen Anteil sogar gar nicht gewährt. Je nach Größe und Brutstättenangebot eines nicht in die Bekämpfungsmaßnahmen eingeschlossenen Grundstückes ist das Ziel einer vollständigen Auslöschung der begrenzten Asiatischen Tigermückenpopulation jedoch nicht zu erreichen. Aber auch durch einen verzögerten Zugang zu den privaten Grundstücken ist vor allem bei einem Bekämpfungsstart zu Beginn der Reproduktionsperiode kein ausreichend hoher Bekämpfungserfolg möglich. Für diesen ist es unerlässlich, ein vermehrtes Aufwachsen der ersten Larvengeneration im Jahr und ein Ausfliegen von Weibchen der Asiatischen Tigermücke zu vermeiden.



Falls öffentliche Behörden wie Kommunen oder Gesundheitsämter die Bekämpfungsmaßnahmen nicht selbsttätig durchführen oder zumindest Auftraggeber der Bekämpfung sind, sollten diese zur offiziellen Unterstützung der Maßnahmen gewonnen werden. So sollten schon bei der Information der betroffenen Anwohner, mittels der verschiedenen Informationsmaterialien und in Gesprächen, öffentliche Behörden als Auftraggeber, Unterstützer oder Schirmherr der Bekämpfungsmaßnahmen hervorgehoben werden. Dies fördert das Vertrauen gegenüber den externen Fachkräften und steigert die Akzeptanz für die nötigen Bekämpfungsmaßnahmen auf den privaten Grundstücken.

Werden die Bekämpfungsmaßnahmen nicht von Mitarbeitern der Behörden durchgeführt, sollten diese, wenn möglich, die externen Fachkräfte bei den ersten Begehungen im Befallsgebiet begleiten. Die Erfahrungen des Instituts für Dipterologie (IfD) bei der Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke im Rhein-Neckar-Kreis zeigten (W. FISCHER pers. Mitteilung), dass durch eine solche „begleitete“ Begehung ein nahezu 100-prozentiger Zugang der externen Fachkräfte zu den privaten Grundstücken der Siedlungsbereiche schon beim ersten Kontakt möglich wird.

Inwieweit bei hartnäckiger Verweigerung des Zutritts durch einzelne Grundstückseigentümer oder Anwohner Bekämpfungsmaßnahmen ordnungsrechtlich angeordnet und vollzogen werden, ist letztendlich eine Frage der Gesetzeslage und liegt in der Zuständigkeit der Behörden. Bestehen keine gesetzlichen Grundlagen, um Bekämpfungsmaßnahmen auf privaten Grundstücken anzuordnen, sind für eine erfolgversprechende Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke in Deutschland Gesetzesänderungen nötig, wie sie schon in anderen Ländern durchgesetzt wurden (LOPEZ & MILLER 2002, IMPOINVIL et al. 2007).

### 11.3 BEREITSTELLUNG VON INFORMATIONEN

Die Bereitstellung von Informationen für die Bürger sollte so früh wie möglich vor dem Beginn der eigentlichen Bekämpfung erfolgen, um die spätere Kontaktaufnahme und die rechtzeitige Durchführung der Bekämpfungsmaßnahmen zu erleichtern. Dabei kann je nach Größe des bekannten oder vermuteten Befallsgebietes eine unterschiedliche Vorgehensweise in Betracht gezogen werden.

Bei größeren Populationen oder Vorkommen mit unbekanntem Ausmaß kann zuerst durch offizielle Pressemitteilungen der Behörden und Ämter eine breite Bevölkerungsschicht über die Sachlage und die anstehende Bekämpfungslage aufgeklärt werden. Diese Mitteilungen sollten vorrangig über die behördeneigenen Medien (Amtsblätter, Webseiten) erfolgen. Eine Veröffentlichung über lokale Printmedien ist nur bei gesicherter redaktioneller Einflussnahme zu empfehlen, um eine möglicherweise falsche oder reißerische Berichterstattung sowie Panikreaktionen in der Bevölkerung zu vermeiden.

Durch den offiziellen Charakter der Pressemitteilungen wird zum einen bei den Bürgern die Akzeptanz der Asiatischen Tigermückenbekämpfung erhöht und zum anderen die weitere Vorgehensweise erleichtert. Durch die weite Streuung der Informationen über das Befallsgebiet hinaus wird dabei auch das Auffinden anderer verstreuter Vorkommen der Asiatischen Tigermücke wahrscheinlicher (s. Kapitel 11.9).

Bei sehr kleinen, lokal begrenzten Populationen ist eine Bereitstellung von Informationen ohne vorausgehende offizielle Pressemitteilungen zu überlegen. Dadurch kann die Wahrscheinlichkeit verringert werden, dass Print- und Rundfunkmedien das Thema Asiatische Tigermücke aufgreifen und es zu den oben genannten Folgen kommt. So ist auch bei einem kleinen Befallsgebiet die passive Ausbreitung der Asiatischen Tigermücke noch recht gering, wodurch die weite Streuung der Informationen durch offizielle Pressemitteilungen

gen eher negative Folgen als positiven Nutzen hätte. Auch der Vorteil der gesteigerten Akzeptanz und Kooperationsbereitschaft, die bei den Bürgern durch die Pressemitteilung erreicht würde, ist bei einem kleinen Befallsgebiet aufgrund der geringen Anzahl an betroffenen Grundstücken leicht zu kompensieren.

Unmittelbar nach der ersten offiziellen Pressemitteilung sollte eine gezielte Information aller Anwohner im gesamten Befallsgebiet über Hauswurfsendungen an alle betroffenen Haushalte und Firmen erfolgen. Dabei sollten die Hauswurfsendungen in Form von ansprechenden Faltbroschüren oder Handzetteln folgende Informationen enthalten:

1. Allgemeine Informationen zur Asiatischen Tigermücke
  - Neue Art - Einschleppung über menschliche Aktivität
  - Brutstättenbiologie - Nutzung von künstlichen Brutstätten
  - Stechmückenart - tagaktiver Blutsauger
2. Relevanz der Bekämpfungsmaßnahmen
  - Starker Lästling - Einschränkung der Lebensqualität
  - Guter Vektor - Gefahr der Übertragung von Krankheitserregern
  - Invasive Art - hohes Verbreitungspotenzial
3. Geplante (Bekämpfungs-)Maßnahmen
  - Ausführende Organisation
  - Zeitpunkt der Maßnahmen
  - Art der Maßnahmen
  - Ziel der Maßnahmen
4. Anliegen an die Anwohner
  - Kooperation - Zugang gewähren
  - Selbsthilfemaßnahmen - Kapitel 11.7
5. Kontakte und Ansprechpartner

#### 11.4 BEFALLSGEBIET EINGRENZEN

Bei neu entdeckten Populationen der Asiatischen Tigermücke ist es wichtig, den Umfang des besiedelten Gebietes und die Populationsdichte schnell zu ermitteln, um geeignete Bekämpfungsmethoden auszuwählen und den Umfang der zukünftigen Bekämpfungsmaßnahmen besser einschätzen zu können. Vor allem die Klärung der kompletten Populationsausdehnung ist dabei von höchstem Interesse, da es nur durch Bekämpfungsmaßnahmen im gesamten von *Ae. albopictus* besiedelten Gebiet zu einer vollständigen Auslöschung der Population kommen kann. Dabei ist die Wahl der geeigneten Monitoringmethode von dem Zeitpunkt abhängig, zu welchem die Fundmeldung erfolgte bzw. ab wann mit den ersten Monitoringmaßnahmen begonnen werden kann.

Liegt der Zeitpunkt der Entdeckung oder der Meldung der neuen Populationen sehr spät am Ende der Reproduktionsperiode, können oft adäquate Monitoring-Maßnahmen nicht mehr rechtzeitig ausgeführt und die vollständige Populationsausdehnung nicht mehr komplett erfasst werden. In diesem Falle kann ein einfaches (Winter)-Ei-Monitoring durchgeführt werden, um schon während der Wintermonate und selbst bei geringer Populationsdichte die exakte Ausdehnung von neu entdeckten Populationen der Asiatischen Tigermücke einzugrenzen.

Hierfür sollten, ausgehend von den Gebieten bekannter Vorkommen, in Richtung der vermeintlichen Populationsränder möglichst viele Regentonnen auf vorhandene Eier der Asiatischen Tigermücke untersucht werden (Kapitel 3). Da mit der Methode neben lebensfähigen Diapause-Eiern auch alte, leere Hüllen ausgeschlüpfter Eier der vergangenen Reproduktionsperiode nachweisbar sind, ist die Nachweisrate sehr hoch. Zusätzlich erlaubt diese Methode es frühzeitig, in einen operativen Kontakt mit den Anwohnern der betroffenen Gebiete zu treten und rechtzeitig zu Beginn der Reproduktionsperiode mit einer umfangreichen und intensiven Bekämpfung zu beginnen.

Kann mit dem ersten Monitoring der Population noch während der Haupt-Reproduktionsperiode begonnen werden, sollte diese zusammen mit den ersten Bekämpfungsmaßnahmen im Rahmen einer intensiven *B.t.i.*-Applikation (Kapitel 11.5) durchgeführt werden. Hierbei werden bei der ersten Begehung der einzelnen Grundstücke alle potenziellen Brutstätten auf vorhandene Larven der Asiatischen Tigermücke überprüft. Anschließend sollten alle Brutstätten, auch bei nicht vorhandenen Larven, prinzipiell mit *B.t.i.* behandelt werden, um ein Aufwachsen und Ausfliegen von Weibchen der Asiatischen Tigermücke bis zur nächsten Begehung zu verhindern.

Durch die *B.t.i.*-Applikation werden jedoch alle nachschlüpfenden Erstlarven zu 100 % abgetötet, wodurch eine spätere Nachkontrolle in den zuvor negativen Brutstätten nicht möglich ist. Dadurch wird ein sicheres Eingrenzen der Populationsausdehnung aufgrund der geringeren Populationsdichte am äußersten Rand der Population erschwert. In diesen Bereichen sollte das Ergebnis des Larvenmonitorings durch gleichzeitige Anflugkontrollen auf blutsuchende Weibchen der Asiatischen Tigermücke verifiziert werden (Kapitel 7.2).

Zu Beginn der Reproduktionsperiode können jedoch aufgrund der noch nicht ausgeflogenen ersten Generation keine Anflugkontrollen durchgeführt werden. Weiterhin ist durch den ratenweisen und teilweise lang verzögerten Schlupf der ersten Larvengeneration der Anteil der mit Larven besetzten Brutstätten noch gering, wodurch ein herkömmliches Larvenmonitoring innerhalb kurzer Zeit nicht zu ausreichenden Ergebnissen führt. So sind für einen sicheren Negativ-Nachweis einer Brutstätte bzw. eines Grundstückes mehrere Überprüfungen auf Larven innerhalb eines längeren Zeitraumes nötig. Dies bedeutet vor allem bei größeren Populationen einen erheblichen Mehraufwand aufgrund der mehrfachen Begehungen, in welchen jedoch keine *B.t.i.*-Applikation erfolgen sollte. Dass solch ein längerer Zeitraum ohne *B.t.i.*-Applikation im zeitigen Frühjahr vermieden wird, ist einer der Vorteile des (Winter)-Ei-Monitorings, welches jedoch aufgrund des etwas höheren Zeitaufwandes schon während der vorausgegangenen Wintermonate durchgeführt werden sollte. Werden neue Populationen der Asiatischen Tigermücke jedoch erst im Frühjahr während des ersten Larvenschlupfes entdeckt, sollte daher vor allem bei größeren Vorkommen primär ein Larvenmonitoring mit gleichzeitiger *B.t.i.*-Applikation durchgeführt werden, welches in den unklaren Gebieten durch ein (Winter)-Ei-Monitoring ergänzt wird. Das ermöglicht auch in diesem Falle eine sofortige und intensive Bekämpfung der wichtigen ersten Larvengeneration des Jahres und eine gleichzeitige Ermittlung der Populationsausdehnung.

### Grundprinzip

Bei der *B.t.i.*-Applikation, welche die Grundlage des vorgeschlagenen integrierten Bekämpfungskonzeptes darstellt werden alle Bereiche bzw. Grundstücke des Befallsgebietes überprüft und alle potenziellen Brutstätten mit *B.t.i.* behandelt. Dabei sollten sowohl wassergefüllte Brutstätten als auch „noch“ nicht wassergefüllte potenzielle Brutstätten, in welchen beim nächsten Niederschlagsereignis ein Ansammeln von Regenwasser zu erwarten ist, behandelt werden.

Diese Behandlung der Brutstätten mit *B.t.i.* muss sehr gründlich und zuverlässig ausgeführt werden, um den Anteil der ausfliegenden erwachsenen Weibchen möglichst gering zu halten. Wie in der vorliegenden Arbeit gezeigt werden konnte (Versuch 4.3), reicht eine selbstständige *B.t.i.*-Behandlung durch die Anwohner auf dem eigenen Grundstück im Rahmen von angeleiteten Selbsthilfemaßnahmen für eine effektive Reduktion der Asiatischen Tigermückenpopulation nicht aus. Da die Asiatische Tigermücke bei der Auswahl der Larvenbrutstätten eine bemerkenswerte Anpassungsfähigkeit zeigt und selbst kleinste wassergefüllte Gefäße oder Hohlräume zur Aufzucht ihrer Larvenbrut nutzt, benötigt es einige Erfahrung und ein geschultes Auge, um alle vorhandenen Brutstätten im häuslichen Garten zu erfassen. Um eine sehr hohe Reduktionsrate durch die *B.t.i.*-Applikation zu erreichen, ist eine zuverlässige, regelmäßige Bekämpfung durch geschulte Fachkräfte unerlässlich.

Bei größeren Populationen empfiehlt es sich, das gesamte Befallsgebiet in kleinere Bereiche zu unterteilen, für welche jeweils eine einzelne Fachkraft und deren Stellvertreter für die Bekämpfung zuständig sind. Dabei dürfen die einzelnen Bereiche maximal so groß sein, dass die zuständigen Fachkräfte ihren kompletten Bereich innerhalb des Bekämpfungsintervalls von zwei Wochen bearbeiten können.

Da die Bekämpfung größtenteils auf Privatgrundstücken durchgeführt wird, kann auch bei behördlicher Unterstützung der Zugang durch externe Fachkräfte erst nach Absprache mit den Grundstückseigentümern erfolgen. Werden ständig wechselnde Personen in den privaten Gartenbereichen bzw. der Privatsphäre der Anwohner tätig, führt dies zu einer geringeren Akzeptanz für die Bekämpfungsmaßnahmen und der Forderung nach genauen Zeitabsprachen für den Zugang zu den Grundstücken. Durch die Zuordnung von zuständigen Fachkräften (Bereichsleiter) für einzelne Bereiche stehen den Anwohnern mit der Zeit vertraute Ansprechpartner zur Verfügung, wodurch meist ein unkomplizierter Zugang zu den Privatgrundstücken möglich wird. Zusätzlich können aufgrund der zunehmenden Ortskenntnisse der Fachkräfte eine schnelle und gründliche Begehung des Grundstückes und eine zuverlässige Behandlung der potenziellen Brutstätten in den zuständigen Bereichen erfolgen.

### Beginn, Zeitintervall und Ende der *B.t.i.*-Applikation

Die *B.t.i.*-Applikation muss im Frühjahr noch vor Beginn des ersten Larven-Massenschlupfs der Asiatischen Tigermücke erfolgen. Am Ende der Überwinterung der Diapause-Eier erfolgt mit den ansteigenden Lufttemperaturen der erste Schlupf der Asiatischen Tigermücken-Larven zu einem Zeitpunkt, wenn die mittlere Durchschnittstemperatur der letzten sieben Tage über einen Schwellenwert von 10 °C steigt (PLUSKOTA et

al. 2018). Bei diesen ersten geschlüpften Larven handelt es sich jedoch nur um einen kleinen Bruchteil der Gesamtpopulation, welche sich aufgrund der niedrigen Tagesmitteltemperaturen nur sehr langsam entwickelt. Daher sollte mit den Bekämpfungsmaßnahmen begonnen werden, wenn die Durchschnitts-Temperatur der Tagesmitteltemperaturen der letzten sieben Tage das erste Mal über 11 °C steigt. Dies erfolgt z.B. in den wärmebegünstigten Bereichen von Baden-Württemberg meist schon im Laufe des Monats April.

Zu diesem Zeitpunkt ist es möglich, alle zuvor geschlüpften Larven noch in einem sehr frühen Larvenstadium sicher zu bekämpfen. Zusätzlich erfolgt mit dem gewählten Starttermin die erste Bekämpfung kurz vor dem eigentlichen Massenschlupf der Asiatischen Tigermückenlarven, welcher ab einer durchschnittlichen Tagesmitteltemperatur der letzten sieben Tage von 13 °C zu erwarten ist (PLUSKOTA et al. 2018). Aufgrund der zum Zeitpunkt des Massenschlupfs immer noch als nicht optimal anzusehenden Tagesmitteltemperaturen, sollte es möglich sein, vor dem ersten möglichen Ausfliegen von erwachsenen Asiatischen Tigermücken mindestens 2-3 *B.t.i.*-Applikationen im gesamten Befallsgebiet durchzuführen. Dadurch besteht ausreichend Zeit, um eventuelle Probleme mit der Zugänglichkeit zu einzelnen Grundstücken zu klären, sich allgemein mit den Gegebenheiten des Gebietes vertraut zu machen und letztendlich eine hohe Bekämpfungsrate des vorhandenen Brutstättenangebotes zu erreichen.

Ab Beginn der *B.t.i.*-Behandlung erfolgt bis Ende September in zweiwöchigem Abstand jeweils eine erneute Behandlung des gesamten Befallsgebietes. So ist zwar bei einer Ausbringung der empfohlenen *B.t.i.*-Dosis eine 100-prozentige Mortalität der Asiatischen Tigermücken-Larven auch in stark organisch belasteten und nicht umgewälzten Brutstätten für mindestens drei Wochen gewährleistet (Versuch 5.2). Trotzdem sollte ein Bekämpfungsintervall von zwei Wochen gewählt werden, um auch in neuen oder zuvor übersehenen und daher nicht behandelten Brutstätten ein Aufwachsen von Larven sicher zu verhindern. So ist während des ersten Drittels der Reproduktionsperiode aufgrund der noch niedrigeren durchschnittlichen Wassertemperaturen bei einem zweiwöchigen Bekämpfungsintervall selbst in schon mit Eiern besetzten und frisch im Freien abgestellten Brutstätten ein Heranwachsen von Larven zu nahezu 100 % ausgeschlossen. Dadurch ist in dieser sehr wichtigen Anfangsphase der Populationsentwicklung der Bekämpfungserfolg nur von der Gründlichkeit bei der *B.t.i.*-Applikation abhängig.

Mit zunehmend sommerlichen Temperaturen ist es jedoch auch durch ein zweiwöchiges Bekämpfungsintervall nicht möglich, in bestimmten Fällen ein Heranwachsen von Larven und Ausfliegen von Imagines zu unterbinden. Bis zu diesem Zeitpunkt ist aber von einer mehrfachen Behandlung und einem Anreichern von *B.t.i.* in fast allen Brutstätten des Befallsgebietes auszugehen. Dies betrifft auch die im Vorjahr mit Eiern besetzten Gefäße, wie z.B. Blumentöpfe, Untersetzer und Gießkannen, welche über den Winter in Kellern und Gartenhütten gelagert wurden und mit steigenden Temperaturen nach und nach oder durch gezielten Hinweis des Bereichsleiters ins Freie gebracht werden.

Zusätzlich sollte die Populationsdichte der Asiatischen Tigermücke durch die Bekämpfungsmaßnahmen bis zum Hochsommer auf ein äußerst niedriges Niveau abgesunken sein. Dadurch ist die Wahrscheinlichkeit sehr gering, dass es zur Eiablage in neue, noch nicht behandelte Brutstätten kommt und weiterhin der Entwicklungszeitraum der Larven genau zwischen zwei Bekämpfungsmaßnahmen liegt.

#### Art und Menge der *B.t.i.*-Applikation

Zur schnellen und unkomplizierten Handhabung sollte als Formulierung eine *B.t.i.*-Wasser-Suspension über Rücken oder Handspritze ausgebracht werden. Als Mindestdosis sollte eine *B.t.i.*-Konzentration von 8.000 ITU/Liter in den Brutstätten erreicht werden.

Eine Ausbringung von mindestens 8.000 ITU/Liter stellt eine ca. 200-fache Überdosierung zu der im Laborversuch (Versuch 5.1) ermittelten minimal effektiven Dosis dar und gewährleistet eine 100-prozentige Abtötung auch von Viertlarven in stark organisch belasteten Brutstätten. Weiterhin ist durch diese Dosis ein vollständiges Abtöten aller nachschlüpfenden Erstlarven selbst in Brutstätten mit hoher organischer Belastung und ohne Wasserumwälzung für mindesten drei Wochen gewährleistet (Versuch 5.2).

Eine Erhöhung der Dosis, um den Langzeiteffekt zu verlängern, würde zu höheren Materialkosten, jedoch zu keiner relevanten Verbesserung des Bekämpfungserfolges führen. Durch das zweiwöchige Bekämpfungsintervall und die Langzeitwirkung der empfohlenen Dosis wird auch bei hochsommerlichen Temperaturen ein erfolgreiches Heranwachsen von Larven der Asiatischen Tigermücke bis zum Puppenstadium zu 100 % verhindert. Eine höhere Dosis bzw. längere Langzeitwirkung würde daher nur dann eine Verbesserung des Bekämpfungserfolges bedeuten, wenn das Bekämpfungsintervall bewusst verlängert wird, es zu unerwarteten Ausfällen bei der *B.t.i.*-Applikation kommt oder die Begehung der Grundstücke nachlässig erfolgt. Da dann jedoch, selbst bei höherer Langzeitwirkung in den behandelten Brutstätten, ein Aufwachsen von Larven in den neu entstandenen und daher unbehandelten Brutstätten erfolgen kann, sollte, wie schon zuvor erwähnt, ein verlängertes Bekämpfungsintervall wie auch eine nachlässige Begehung der Grundstücke vermieden werden.

Da eine genaue Dosierung aufgrund der sehr unterschiedlich großen Brutstätten nicht leicht ist, sollte im Vorfeld die nötige Applikationsmenge der *B.t.i.*-Suspension für verschiedene Brutstättengrößen (z.B. große Wassertanks, Regentonnen, Eimer, Vasen, Untersetzer) berechnet und die ausreichende Applikation der Mindestdosis vor allem für größere Brutstätten kurz eingeübt werden.

In schwer zugänglichen Bereichen oder bei einer sehr hohen, unübersichtlichen Anzahl an Brutstätten empfiehlt es sich, eine *B.t.i.*-Suspension mit einer Dosis von 3 Millionen ITU/Liter mit Hilfe eines tragbaren Sprüngerätes großflächig, in Form eines Sprühnebels, zu verteilen. Dabei sollte eine Applikationsentfernung zu den entsprechenden Bereichen mit potenziellen Brutstätten von 10 m nur in Ausnahmefällen überschritten werden. Der Sprühnebel sollte gleichmäßig über alle gewünschten Bereiche verteilt werden, wobei darauf zu achten ist, den Luftstrom mit dem Sprühnebel für längere Zeit gezielt in verwinkelte Bereiche mit eventuell abgedeckten oder abgeschirmten Brutstätten zu richten.

#### 11.6 STERILE INSEKTEN TECHNIK (SIT)

Vor allem bei größeren Populationen der Asiatischen Tigermücke sollte der Einsatz der sterilen Insekten-Technik (SIT) als komplementäre Bekämpfungsmaßnahme zusätzlich zu den *B.t.i.*-Applikationen durchgeführt werden. Durch die sich über das gesamte Befallsgebiet verbreitenden und sich paarenden sterilen Männchen wird bei einem Großteil der aus den kryptischen Brutstätten ausfliegenden Weibchen dauerhaft die Eiablage unbefruchteter Eier erreicht. Dadurch wird es nicht nur wahrscheinlicher, sondern auch schneller möglich sein, die den Bekämpfungsmaßnahmen ausgesetzte Population der Asiatischen Tigermücke innerhalb kurzer Zeit unter die Schwelle der überlebensfähigen Populationsgröße zu drücken.

Wie die Erfahrungen zeigen (A. JÖST, I. FERSTL & W. FISCHER, pers. Mitteilung), scheint dies bei sehr kleinen Populationen der Asiatischen Tigermücke auch ohne den Einsatz steriler Männchen möglich zu sein. Mit ansteigender Populationsgröße bzw. größer werdenden Befallsgebieten kommt es jedoch zunehmend zu einer Abmilderung stochastischer Zufallseffekte, welche bei Populationen am Rande der überlebensfähigen Populationsgröße letztendlich zu einem vollständigen Zusammenbruch der Population führen. Dies macht bei größeren Populationen den Einsatz steriler Männchen nötig, um eine schnelle Reduktion und einen Zusammenbruch der Population innerhalb eines Jahres zu erreichen. Gelingt dies nicht, sind im folgenden Jahr erneut flächendeckende Bekämpfungsmaßnahmen im gesamten Befallsgebiet nötig, was einen erheblichen Mehraufwand und deutlich höhere Kosten bedeutet.

Bei der Anwendung der SIT-Methode in Baden-Württemberg sollten während nahezu der gesamten Reproduktionsperiode wöchentlich mindestens 5.000 sterile Männchen je Hektar an mehreren Standorten ausgebracht werden. Die Anzahl der je Standort freigelassenen SIT-Männchen richtet sich nach der Anzahl der je Hektar zur Verfügung stehenden SIT-Männchen und nach der Anzahl der Freilassungsorte pro Hektar.

Dabei sollten die SIT-Männchen an möglichst vielen Einzelstandorten freigelassen werden, um eine homogene Verteilung der Tiere im Befallsgebiet zu erreichen. Ein Maximal-Abstand von 25 m zwischen den einzelnen Freilassungsorten ist als optimal anzusehen. Dies kann bei sehr großen Befallsgebieten jedoch einen erheblichen Aufwand darstellen, da sich im Optimalfall pro Hektar etwa 16 Freilassungsorte mit jeweils ca. 300 SIT-Männchen ergeben.

Ist es nötig, bei größeren Populationen oder schwer zugänglichen Gebieten die Anzahl der Freilassungsorte zu reduzieren, sollte ein Maximalabstand von 50 m zwischen den einzelnen Freilassungsorten nicht überschritten werden. Weiterhin sollte dann, aufgrund der fehlenden Überlappungseffekte zwischen den einzelnen Freilassungsorten, ein Maximalabstand von 20 m zur Außenkante des Bekämpfungs- bzw. Befallsgebietes ebenfalls nicht überschritten werden. Dadurch ergibt sich eine Mindestanzahl an fünf Freilassungsorten pro Hektar Befallsfläche mit je 1000 freigesetzten SIT-Männchen.

Insgesamt und vor allem bei größeren Abständen zwischen den Freilassungsorte, ist es zu empfehlen, die Anzahl der je Standort freigelassenen Tiere und den Abstand der Freilassungsorte an die jeweiligen Gegebenheiten anzupassen. So sollte z.B. in Bereichen mit sehr hoher Anzahl an Brutstätten und dichten Busch- und Pflanzenbeständen die Dichte an freigelassenen SIT-Männchen höher liegen, als in eher offenen Bereichen mit wenigen potenziellen Brutstätten.

Der Tag der ersten Freilassung muss zwingend vor dem Ausfliegen der ersten Imagines-Generation der Wildpopulation erfolgen. Diese erfolgt innerhalb der wärmebegünstigten Bereiche in Baden-Württemberg je nach Witterungsverlauf des Frühjahres ab ca. Anfang bis Ende Mai, wobei unerwartete Wetterumbrüche selbst kurzfristige Voraussagen erschweren können. Da die Anzucht, die Sterilisation und gegebenenfalls die Auslieferung der SIT-Männchen nicht spontan, sondern nur mit etwas Vorlaufzeit möglich sind, sollten daher zur Absicherung die ersten SIT-Freilassungen schon Anfang Mai erfolgen.

Um die Fitness und Überlebensrate der SIT-Männchen zu erhöhen, sollten diese für einen Tag vor der Freilassung bei einer Temperatur von 22-28 °C akklimatisiert und mit einer freiverfügbaren Menge an 10-prozentiger Zuckerlösung versorgt werden. Dies trifft insbesondere für SIT-Männchen zu, welche längere Zeit innerhalb von Kühlboxen transportiert wurden.

## 11.7 HILFE ZUR SELBSTHILFE

Durch die geringe Umsetzung von Selbsthilfemaßnahmen auf Privatgrundstücken ist eine ausreichende Reduktion von angesiedelten Populationen der Asiatischen Tigermücke nicht zu erreichen. Ohnehin ist aufgrund der regelmäßigen, intensiven *B.t.i.*-Applikationen von geschulten Fachkräften auf allen Grundstücken des Befallsgebietes eine zusätzliche *B.t.i.*-Applikation im Rahmen von Selbsthilfemaßnahmen hinfällig.

Trotzdem ist es sinnvoll, die Anwohner zusätzlich über Selbsthilfemaßnahmen zur Reduzierung bestimmter Brutstättenarten zu informieren und zur Umsetzung der selbigen zu ermutigen. Dies verdeutlicht den Anwohnern den Entwicklungszyklus und die Brutstättenbiologie der Asiatischen Tigermücke und erhöht das Bewusstsein und die Akzeptanz für die externen Bekämpfungsmaßnahmen. Zusätzlich erfolgt auch bei einer geringeren Umsetzung der Brutstättenreduzierung zum Teil eine Abnahme des Arbeitsaufwandes für die externen Fachkräfte.

Es ist aber zu beachten, dass nur bestimmte Brutstättenarten von den Anwohnern vermieden werden sollten, um einen negativen Effekt der Selbsthilfemaßnahmen auf den Bekämpfungserfolg zu vermeiden. So sollten nur unnötige Behältnisse bzw. Brutstätten, wie z.B. nach oben offene Rohre, Vertiefungen in Abdeckplanen, herumliegender Müll, Flaschen oder versteckt abgelagerte Behältnisse wie Eimer, Töpfe und Untersetzer, in denen sich vorübergehend Regenwasser ansammeln kann, vermieden oder beseitigt werden.

Im Gegensatz dazu sollten alle größeren, dauerhaft wassergefüllten Behältnisse wie z.B. Regentonnen und Wassertanks nicht entfernt und auch nicht gegen einfliegende Stechmücken abgedeckt werden. Auch andere leicht zu erkennende künstliche Brutstätten wie z.B. Vogelbäder und Wasserpflanzenbecken, auf die ungerne verzichtet wird, können und sollen sogar im Garten verbleiben. Diese zeigen eine hohe Attraktivität für die Eiablage der noch vorhandenen Tigermückenweibchen und werden regelmäßig durch die externen Fachkräfte bekämpft. Würden diese für die Stechmücken attraktiven und für die externen Fachkräfte leicht zu findenden Behältnisse abgedeckt oder entfernt, erfolgte die Eiablage durch die Asiatischen Tigermückenweibchen in eventuell nicht auffindbaren, so genannten kryptischen Brutstätten.

Prinzipiell können auch andere Gefäße und Behältnisse, wie z.B. Blumenuntersetzer, Gießkannen, Eimer und Schalen als sogenannte Köder-Brutstätten, welche regelmäßig mit *B.t.i.* behandelt werden, im Garten verbleiben. Dadurch kann leicht die Anzahl der mit *B.t.i.* behandelten Brutstätten auf einem Grundstück erhöht und die Wahrscheinlichkeit einer Eiablage in kryptischen Brutstätten verringert werden. Diese „Köder-Brutstätten“ sollten jedoch dann sowohl leicht zu erkennen als auch ohne größere Umstände zu erreichen sein, um den Arbeitsaufwand gering zu halten und ein Übersehen der „Köder-Brutstätten“ zu vermeiden.

Ebenfalls sind die Anwohner darauf hinzuweisen, dass solche temporären und mobilen künstlichen Brutstätten nicht in Bereiche außerhalb des aktuellen Befallsgebietes überführt werden, um eine passive Verschleppung von Eiern zu vermeiden.



### 11.8.1 BEGLEITENDES MONITORING WÄHREND DER BEKÄMPFUNG

Während der Bekämpfungsmaßnahmen ist ein begleitendes Monitoring anzuraten, um den Bekämpfungserfolg einschätzen und Bereiche mit größerer Anzahl an kryptischen Brutstätten aufzeigen zu können. Aufgrund der intensiven *B.t.i.*-Applikation ergeben sich für ein Monitoring zwei grundlegende Probleme.

Durch den Einsatz von *B.t.i.* wird das Aufwachsen nachschlüpfender Erstlarven verhindert, wodurch die Ausführung eines aussagekräftigen Larvenmonitorings nicht möglich ist und nur für die wenigen neuen Brutstätten, welche zuvor nicht behandelt wurden, ein Container-Index berechnet werden könnte.

Weiterhin wird durch die intensive *B.t.i.*-Applikation ab der ersten Larvengeneration die Populationsdichte äußerst gering sein, weshalb für das Monitoring nur hocheffektive Stechmückenfallensysteme benutzt werden sollten. Hierfür bietet sich zunächst die BG-Sentinel-Falle an, welche in den vorliegenden Versuchen die höchsten Fangraten und Nachweisraten aufwies (Versuch 7.4). Jedoch ist bei größeren Populationen der Asiatischen Tigermücke bzw. größeren befallenen Gebieten ein ausreichend flächendeckendes Monitoring mit BG-Sentinel-Fallen aufgrund der Notwendigkeit eines geeigneten Standortes für die anspruchsvolle Falle (Stromanschluss) nur schwer zu realisieren. Auch würden die hohen Kosten für eine größere Anzahl an Fallen in keinerlei Verhältnis zu dem erwarteten Gesamtnutzen stehen. Weiterhin können bei dem Einsatz von sterilen Männchen (SIT) die BG-Sentinel sowie auch andere letale Fallensysteme, nicht verwendet werden, da es sonst zu einem Abfangen der zuvor freigelassenen sterilen Männchen kommt.

Bei kleinen Populationen mit einer Befallsfläche unter einem Hektar, bei welcher kein Einsatz von sterilen Männchen erfolgt, und bei einer ausreichenden Anzahl geeigneter Standorte bzw. leicht verfügbarer Stromanschlüsse, kann der Einsatz der BG-Sentinel in Betracht gezogen werden. Hierbei sollte, je nach Struktur des zu untersuchenden Gebietes und Lage vorhandener Gebäude, ein Abstand von 20-30 m zwischen den Fallen prinzipiell als ausreichend anzusehen sein. Ein Maximalabstand zwischen den Fallen von 50 m sollte jedoch nicht überschritten werden. Die Fallen müssen zu Beginn der Bekämpfung an den geeigneten Standorten platziert werden und bis zum Ende der Reproduktionsperiode permanent aktiv bleiben. Eine Kontrolle auf gefangene Asiatische Tigermücken kann alle zwei Wochen im Rahmen der *B.t.i.*-Applikation erfolgen.

Bei größeren Populationen werden als Monitoringmethode Anflugkontrollen auf blutsuchende Weibchen der Asiatischen Tigermücke (Kapitel 7.2) empfohlen, welche parallel zu der *B.t.i.*-Applikation in ein bis zwei optimalen Bereichen eines jeden Grundstücks durchgeführt werden sollten. Je nach Struktur des zu untersuchenden Gebietes sollten bis zu zwölf Anflugkontrollen je Hektar durchgeführt werden. Bei einer gleichzeitigen Anwendung von sterilen Männchen macht dies jedoch eine Färbung der SIT-Tiere nötig (Kapitel 8), da sich unter diesen auch ein äußerst kleiner Anteil steriler Weibchen befindet.

Ein Einsatz von Standard-Eiablagefallen ist aus zweierlei Gründen nicht zu empfehlen. Zum einen stehen diese in Konkurrenz zu den anderen zahlreich vorhandenen, *B.t.i.*-behandelten Brutstätten (Kapitel 11.5), wodurch die Nachweisrate dieses Fallentyps bei den zu erwartenden äußerst geringen Populationsdichten sehr gering ist. Auch wenn die geringen Materialkosten und die leichte Standortauswahl bei diesem Fallentyp als sehr gut anzusehen sind, müsste aufgrund der geringen Nachweisraten für ein aussagekräftiges flächendeckendes Monitoring eine sehr hohe Anzahl an Fallen aufgestellt werden, was wiederum zu einem erheblichen regelmäßigen Kontrollaufwand führen würde.

Zum anderen wäre bei einem Einsatz von sterilen Männchen und des sehr geringen Anteils an sterilen SIT-Weibchen der Einsatz von Standard-Eiablagefallen nicht optimal. Die von den SIT-Weibchen abgelegten Eier können jedoch nicht von unbefruchteten Eiern der Wildpopulation unterschieden werden. Dadurch kann es zu einer Fehlinterpretation der aktuellen Situation kommen und sogar ein Zusammenbrechen der Wildpopulation unerkannt.

#### **11.8.2 NACHKONTROLLEN**

Am Ende der Bekämpfungsphase, nach Zusammenbruch der Asiatischen Tigermückenpopulation, sollten über einen längeren Zeitraum regelmäßige Nachkontrollen auf wieder anwachsende Restpopulationen im gesamten ehemaligen Befallsgebiet durchgeführt werden. Da die Bekämpfung der Population bis zum Ende der Reproduktionsperiode erfolgt, kann mit dem Beginn der Nachkontrolle erst im folgenden Jahr begonnen werden.

Prinzipiell sollten die während der Bekämpfungsphase geknüpften Kontakte zu den mittlerweile gut informierten Anwohnern des Befallsgebietes als Frühwarnsystem für wieder auftretende tagaktive Stechmücken genutzt werden. Zusätzlich sollte im gesamten ehemaligen Befallsgebiet monatlich ab Mitte Mai bis Mitte September jeweils ein umfangreiches Larvenmonitoring erfolgen und während der Hochsommermonate Juli und August parallel Anflugkontrollen auf jedem Grundstück durchgeführt werden. Bei ehemals sehr kleinen Populationen bzw. sehr kleinem Befallsgebiet mit ausreichend verfügbaren Stromanschlüssen ist wiederum der Einsatz von BG-Sentinel-Fallen über die gesamte Reproduktionsperiode zu empfehlen.

#### **11.9 UMFELD-MONITORING**

Auch wenn das aktive Ausbreitungspotenzial der Asiatischen Tigermücke sehr gering ist, kann die Art durch menschliche Aktivität leicht verschleppt werden. Daher sollte im Umfeld des durch die Asiatische Tigermücke besiedelten Gebietes eine Kontrolle auf verschleppte Populationen der Art erfolgen. Da sich mit zunehmender Populationsgröße und Populationsdichte auch die Wahrscheinlichkeit einer passiven Ausbreitung erhöht, sind vor allem bei größeren Populationen der Asiatischen Tigermücke der Suchradius und der Aufwand dieses Umfeld-Monitorings größer anzusetzen. Weiterhin haben auch Faktoren wie Siedlungsstruktur, Nahverkehrsverbindungen und Raumnutzungsverhalten der Bevölkerung der betroffenen Kommune einen Einfluss auf die Wahrscheinlichkeit und die Entfernung einer passiven Verschleppung. Deshalb können verlässliche Vorgaben zum maximalen Suchradius des Umfeld-Monitorings nicht gemacht werden.

Zunächst empfiehlt es sich in einem Bereich von mindestens 300 m um den äußersten Bekämpfungsrand ein stichprobenartiges Larvenmonitoring und Anflugkontrollen auf möglichst vielen Grundstücken durchzuführen. Um Larven oder Imagines sicher nachweisen zu können, sollte das Larvensampling nicht vor Ende Mai und die Anflugkontrollen nicht vor Mitte Juni erfolgen. Wird nur ein einzelnes Umfeld-Monitoring durchgeführt, sollte dies erst ab Ende Juli erfolgen, um die Nachweiswahrscheinlichkeit von kleinen Populationen zu erhöhen. Bei sehr hoher Populationsdichte der Asiatischen Tigermücke im Befallsgebiet ist es aber empfehlenswert, je ein Umfeld-Monitoring am Anfang und am Ende des Sommers durchzuführen.

Vor allem bei größeren Populationen der Asiatischen Tigermücke, welche sich schon seit mehreren Jahren vor ihrer Entdeckung im Aufbau befinden, ist die Wahrscheinlichkeit einer passiven Verschleppung und ein Auftreten versprengter, weiterer Populationen sehr hoch. Hier sollte vor allem in größeren Städten, Ballungszentren und dicht besiedelten Gebieten die Bevölkerung über das Thema Asiatische Tigermücke informiert und zur Meldung auch am Tage aggressiv stechender Stechmücken aufgerufen werden. Diese Aufrufe

sollten vorrangig in Zusammenarbeit mit den lokalen Behörden und über die behördeneigenen Kommunikationskanäle (Amtsblätter, Webseiten) erfolgen. Dabei sollten geeignetes Bildmaterial und einfache Bestimmungshinweise mit angegeben werden, um die Anzahl an Falschmeldungen möglichst gering zu halten.

# 12 Literaturverzeichnis

- Abbott, W.S. (1925), A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.*; 18 : 265-267.
- Abramides G.C., Roiz D., Guitart R., Quintana S., Guerrero I., Giménez N., Effectiveness of a multiple intervention strategy for the control of the tiger mosquito (*Aedes albopictus*) in Spain. *T Roy Soc Trop Med H.* 2011; 105:281–8. doi: 10.1016/j.trstmh. 2011.01.003.
- Adhami, J., P. Reiter (1998), Introduction and establishment of *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* skuse (Diptera: Culicidae) in Albania *J Am Mosq Control Assoc*, 14: 340-43.
- Allan, S. A., D.L. Kline (1998), Larval rearing water and preexisting eggs influence oviposition by *Aedes aegypti* and *Ae. albopictus* (Diptera: Culicidae)'. *J Med Entomol*, 35: 943-47.
- Alphey L, Benedict M.Q., Bellini R., Clark G.C., Dame D.A., Service M.W., Dobson S.L. (2010), Sterile-Insect Methods for Control of Mosquito-Borne Diseases: An analysis. *Vector Borne Zoonotic Diseases* 10: 295-311.
- Alto, B.W., S. A. Juliano: (2001). Precipitation and temperature effects on populations of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): Implications for range expansion. *J Med Entomol* 38(5): 646-656.
- Amerasinghe, F.P., T.S.B. Alagoda (1984) Mosquito oviposition in bamboo traps, with special reference to *Aedes albopictus*, *Aedes novalbopictus* and *Armigeres subalbatus*. *Insect Sci Applic*, 5: 493-500.
- Amiard, J-C, Amiard-Triquet C., Barka S., Pellerin J., Rainbow P.S. (2006), Metallothioneins in aquatic invertebrates: their role in metal detoxification and their use as biomarkers. *Aquatic Toxicology*, 76: 160-202.
- Amt für Umweltschutz GuE. (2015), Stadtklimagutachten für die Stadt Heidelberg.
- Amt für Stadtentwicklung und Statistik, Heidelberg 2016. Heidelberg auf einen Blick. 8p.
- Andrewartha, H.G. (1970, Introduction to the study of animal populations. London, Methuen. 283p.
- Armistead, J.S., Nishimura N., Arias J.R., Lounibos L.P. (2012), Community ecology of container mosquitoes (Diptera: Culicidae) in Virginia following invasion by *Aedes japonicus*. *J Med Entomol*, 49: 1318-27.
- Augsten X. (2018), Bekämpfung der Asiatischen Tigermücke *Aedes albopictus* in Heidelberg. Etablierung von Monitoringmethoden und Effektivitätsnachweisen unter Verwendung der Sterilen Insekten Technik. Masterarbeit. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. 83 pp.
- Beck M., M. Ludwig & N. Becker (1995), Efficacy of *Bacillus sphaericus* Neide against *Culex pipiens* Larvae in the Laboratory. *Journal of Vector Ecology* 21(1): 26-30.
- Becker, N., K. Huber, B. Pluskota, A. Kaiser (2011), *Ochlerotatus japonicus japonicus* – a newly established neozoan in Germany and a revised list of the German mosquito fauna. *IEur Mosq Bull*, 29: 88-102.
- Becker N, Geier M, Balczun C, Bradersen U, Huber K, Kiel E, Krüger A, Lühken R, Orendt C, Plenge-Bönig A, Rose A, Schaub G.A, Tannich E (2013), Repeated introduction of *Aedes albopictus* Into Germany, July to October 2012 *Parasitol Res.* Apr; 112 (4): 1787-90.
- Becker, N., T.T. Oo, N. Schork (2015), Metallic copper spray – a new control technique to combat invasive container-inhabiting mosquitoes. *Parasites & vectors*, 8: 575.
- Becker, N., D. Petric, M. Zgomba, C. Boase, M. Madon, Ch. Dahl, A. Kaiser (2010), *Mosquitoes and their control*. (Springer-Verlag: Berlin, Dordrecht, New York).
- Becker, N., S. Schön, A.-M. Klein, I. Ferstl, A. Kizgin, E. Tannich, C. Kuhn, B. Pluskota, A. Jöst (2017), First mass development of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae)—its surveillance and control in Germany. *Parasitol Res*, 116: 847-58.
- Becker, N., B. Pluskota, T. Thin Oo, K. Huber (2014), Untersuchungen zur Einschleppung, Ausbreitung und Bekämpfung des japanischen Buschmoskitos (*Ochlerotatus japonicus*). LUBW, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Forschungsbericht KLIMOPASS. Dezember 2014. 36p.
- Becker, N., Zgomba, M., Ludwig, M., Petric, D., Rettich, F. (1992), Factors influencing the activity of *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* treatments. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 8 (September): 285–289.
- Bellini R, Medici A, Puggiolo A, Balestrino F, Carrieri M. (2013b), Pilot Field Trials with *Aedes albopictus* Irra-

- diated Sterile Males in Italian Urban Areas. *Journal of Medical Entomology* 50: 317-25
- Bellini R., Balestrino F, Medici A, Gentile C, Veronesi R, Carrieri M. (2013a), Mating Competitiveness of *Aedes albopictus* Radio-Sterilized Males in Large Enclosures Exposed to Natural Conditions. *Journal of Medical Entomology* 50: 94-102
- Bellini R., Calvitti M, Medici A, Carrieri M, Cellis G, Maini S. (2007), Use of Sterile Insect Technique against *Aedes albopictus* in Italy: First Results of a Pilot Trial In Area-wide control of insect pests: from research to field implementation. Hg. M.J.B Vreysen, A.S Robinson, J. Hendrichs. Dordrecht, The Netherlands: Springer
- Bellini R., Carrieri M., Burgio G., Bacchi M. (1996), Efficacy of different ovitraps and binomial sampling in *Aedes albopictus* surveillance activity. *Journal of the American Mosquito Control Association* 12: 632-36
- Bellini R., Medici A., Puggiolo A., Balestrino F., Carrieri M. (2013b), Pilot Field Trials with *Aedes albopictus* Irradiated Sterile Males in Italian Urban Areas. *Journal of Medical Entomology* 50: 317-25
- Bem-Dov E, Saxena D, Wang Q, Manasher R, Boussiba S, Zaritsky A. Ingested particles reduce susceptibility of insect larvae to *Bacillus thuringiensis* *Journal of Applied Entomology* 2003; 127: 146-152.
- Bentley, M. D. und J. F. Day. (1989), Chemical Ecology and Behavioral Aspects of Mosquito Oviposition. *Annual Review of Entomology*, 34: 401-21.
- Beltrame, A., A. Angheben, Z. Bisoffi, G. Monteiro, S. Marocco, G. Calleri, F. Lipani, F. Gobbi, F. Canta, F. Castelli, M. Gulletta, S. Bigoni, V. Del Punta, T. Iacovazzi, R. Romi, L. Nicoletti, M. G. Ciufolini, G. Rorato, C. Negri, P. Viale (2007), Imported Chikungunya Infection, Italy. *Emerg Infect Dis*, 13: 1264-66.
- Bidlingmayer, W., & Hem, D. (1980), The range of visual attraction and the effect of competitive visual attractants upon mosquito (Diptera: Culicidae) flight. *Bulletin of Entomological Research*, 70(2): 321-342.
- Biogents. 2018. BG-GAT Instruction Manual.
- Bohbot, J.D., Strickman, D., Zwiebel, L J. (2014), The future of insect repellent discovery and development. *Outlooks on pest management*, 25(4): 265-270.
- Bonnet, D.D. & D.J. Worcester (1946) The dispersal of *Aedes albopictus* in the territory of Hawaii. *Am J Trop Med Hyg*, 26: 465-76.
- Boo, K. (1980), Antennal sensory receptors of the male mosquito, *Anopheles stephensi*. *Parasitology research*, 61(3): 249-264.
- Boromisa, R.D., K.S. Rai und P.R. Grimstad (1987), Variation in the vector competence of geographic strains of *Aedes albopictus* for dengue 1 virus. *J Am Mosq Control Assoc* 3(3): 378-386.
- Bowman Leigh R., S. Runge-Ranzinger, P.J. McCall (2014), Assessing the Relationship between Vector Indices and Dengue Transmission: A Systematic Review of the Evidence. *PLoS Negl Trop Dis*. 2014 May; 8(5): e2848.
- Briegel, H. und S.E. Timmermann (2001) *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): physiological aspects of development and reproduction. *J Med Entomol* 38(4): 566-571.
- Brown M.D, Mottram P, Fanning I.D, Kay B.H (1992), The peridomestic container-breeding mosquito fauna of Darnley Is. (Torres Strait) (Diptera: Culicidae), and the potential for its control by predacious *Mesocyclops* copepods. *J Australian Ent. Soc.* 31(4): 305-310
- Brown, J.H. & A. Kodric-Brown (1977), Turnover rates in insular biogeography: effect of immigration on extinction. *Ecology* 58: 445-449.
- Calado, D. C. & M.A. Silva (2002) Evaluation of the temperature influence on the development of *Aedes albopictus*. *Rev Saude Publica*, 36: 173-79.
- Cancrini, G., R. Romi, S. Gabrielli, L. Toma, D.I.P.M und P. Scaramozzino (2003), First finding of *Dirofilaria repens* in a natural population of *Aedes albopictus*. *Med Vet Entomol* 17(4): 448-451.
- Cardé, R.T. (2015), Multi-cue integration: how female mosquitoes locate a human host. *Current Biology*, 25(18): R793-R795.
- Chan, K.L., B.C. Ho und Y.C. Chan (1971b). *Aedes aegypti* (L.) and *Aedes albopictus* (Skuse) in Singapore City. 2. Larval habitats. *Bull World Health Organ* 44(5): 629-633.
- Choo, Young-Moo, Garrison K Buss, Kaiming Tan, Walter S Leal (2015) Multitasking roles of mosquito labrum in oviposition and blood feeding. *Frontiers in physiology*, 6.
- Christophers, S.R. (1960), *Aedes aegypti* (L.): the yellow fever mosquito; its life history, bionomics and structure (Cambridge Univ. Press: Cambridge).

- Clements, A.N. (1992), *The biology of mosquitoes. Vol 1, Development, nutrition and reproduction* (Chapman & Hall).
- Corfas, R.A. & Vosshall, L. B. (2015), The cation channel TRPA1 tunes mosquito thermotaxis to host temperatures. *Elife*, 4, e11750.
- Dalla Pozza, G. & G. Majori. (1992), First record of *Aedes albopictus* establishment in Italy. *J Am Mosq Control Assoc*, 8: 318-20.
- Damiens, D., A. Ayrinhac, W. van Bortel, V. Versteirt, W. Dekoninck, Th. Hance (2014), Invasive Process and Repeated Cross-Sectional Surveys of the Mosquito *Aedes japonicus japonicus* Establishment in Belgium. *PLOS ONE*, 9: e89358.
- Davis, E.E. & Sokolove, P. G. (1975), Temperature responses of antennal receptors of the mosquito, *Aedes aegypti*. *Journal of comparative physiology*, 96(3): 223-236.
- Day, Jonathan F. (2016), Mosquito oviposition behavior and vector control. *Insects*, 7: 65.
- De Longo O, Colombo A, Gomez-Riera P, Batolucci A. (2000), The Use of Massive SIT for the Control of the Medfly, *Ceratitis capitata* (Wied.), Strain SEIB 6-96, in Mendoza, Argentina. pp. 138. Penerbit Universiti Sains Malaysia, Penang.
- Dekker, T., Steib, B., Cardé, R., & Geier, M. (2002), L-lactic acid: a human-signifying host cue for the anthropophilic mosquito *Anopheles gambiae*. *Medical and veterinary entomology*, 16(1), 91-98.
- Dekker, T., Takken, W., & Carde, R.T. (2001), Structure of host-odour plumes influences catch of *Anopheles gambiae* ss and *Aedes aegypti* in a dual-choice olfactometer. *Physiological entomology*, 26(2): 124-134.
- 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.
- Eiras, A.E, & Jepson, P. (1994), Responses of female *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) to host odours and convection currents using an olfactometer bioassay. *Bulletin of Entomological Research*, 84(2): 207-211.
- Englbrecht, C., Gordon, S., Venturelli, C., Rose, A., Geier, M. (2015), Evaluation of BG-Sentinel trap as a management tool to reduce *Aedes albopictus* nuisance in an urban environment in Italy. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 31(1): 16-25.
- Farajollahi A, Kesavaraju B, Price D.C, Williams G.M, Healy S.P, et al. (2009.), Field Efficacy of BG-Sentinel and Industry-Standard Traps for *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) and West Nile Virus Surveillance. *Journal of Medical Entomology* 46: 919-25.
- Flacio, E., P. Lüthy, N. Patocchi, R. Peduzzi, F. Guidotti, S. Radczuweit (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.
- Favier, C., N. Degallier, P.T. Vilarinhos, M.S. Carvalho, M.A. Yoshizawa, M.B. Knox (2006), Effects of climate and different management strategies on *Aedes aegypti* breeding sites: a longitudinal survey in Brasilia (DF, Brazil). *Trop Med Int Health* 11(7): 1104-1118.
- Ferstl I. 2014. Vergleichende Studien zur Attraktivität verschiedener Eiablagefallen sowie verschiedener Attraktantien unter besonderer Berücksichtigung von *Ochlerotatus japonicus japonicus*. Bachelorarbeit. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. 44 pp.
- Focks, D.A., S.B. Linda, G.B. Craig, Jr., W.A. Hawley, 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.
- Fonseca, D.M, A.K Widdel, M Hutchinson, S-E Spichiger, L.D Kramer (2010), Fine-scale spatial and temporal population genetics of *Aedes japonicus*, a new US mosquito, reveal multiple introductions. *Molecular Ecology*, 19: 1559-72.
- Gilbertson, W. (1945), Sanitary aspects of the control of the 1943–44 epidemic of dengue fever in Honolulu. *Am J Public Health*. 35: 261–270.
- Ghosh, Anupam, Nandita Chowdhury, Goutam Chandra (2012), Plant extracts as potential mosquito larvicides. *The Indian journal of medical research*: 135: 581.
- Gratz, N.G. (2004), Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. *Med Vet Entomol*, 18: 215-27.
- Goldberg L.H, Margalit J (1977), A bacterial spore demonstrating rapid larvicidal activity against *Anopheles sergenti*, *Uranotaenia unguiculata*, *Culex univittatus*, *Aedes aegypti* and *Culex pipiens*. *Mosq News* 37: 355-358

- Gómez, A., Seccacini, E., Zerba, E., Licastro, S. (2011), Comparison of the insecticide susceptibilities of laboratory strains of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 106(8): 993–996.
- Gopfert, M.C., Briegel, H., Robert, D. (1999), Mosquito hearing: sound-induced antennal vibrations in male and female *Aedes aegypti*. *Journal of Experimental Biology*, 202(20): 2727-2738.
- Gottfried, K.L., R.R. Gerhardt, R.S. Nasci, M.B. Crabtree, N. Karabatsos, K.L. Burkhalter, B.S. Davis, N.A. Panella, D.J. Paulson (2002), Temporal abundance, parity, survival rates, and arbovirus isolation of field-collected container-inhabiting mosquitoes in eastern Tennessee. *J Am Mosq Control Assoc* 18(3): 164-172.
- Gubler, D.G. (1970), Comparison of reproductive potentials of *Aedes (Stegomyia) albopictus* Skuse and *Aedes (Stegomyia) polynesiensis* Marks. *Mosq News*, 30: 201-09.
- Gubler, D.J. (1971), Studies on the comparative oviposition behavior of *Aedes (Stegomyia) albopictus* and *Aedes (Stegomyia) polynesiensis* Marks. *J Med Entomol* 8(6): 675-682.
- Hanson, S.M. (1995), Field overwinter survivorship of *Aedes albopictus* eggs in Japan. *J Am Mosq Control Assoc*, 11: 354-57.
- Hanski, I. & M.E. Gilpin (1996), *Metapopulation biology: ecology, genetics and evolution*. London, Academic. xvi, 512p.
- 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, G.B. Craig, Jr. (1989), Overwintering survival of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) eggs in Indiana. *J Med Entomol*, 26: 122-29.
- Heard, P.B., M.L. Niebylski, D.B. Francy, G.B. Craig, Jr. (1991) Transmission of a newly recognized virus (Bunyaviridae, Bunyavirus) isolated from *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Potosi, Missouri. *J Med Entomol*, 28: 601-05.
- 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.
- Helleck, A.M., W.K. Hartbeck, D. Vodopich (1993), Daily survivorship and life span of the mosquito *Eretmapodites quinquevittatus* Theobald (Diptera: Culicidae) under laboratory conditions compared to *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, and *Aedes bahamensis*. *Bull Soc Vector Ecol* 18(2): 109-113.
- Hien, D.S. (1975), Biology of *Aedes aegypti* (L., 1762) and *Aedes albopictus* (Skuse, 1895) (Diptera, Culicidae). II. Effect of environmental conditions on the hatching of larvae. *Acta Parasitol Pol*, 23: 537-52.
- Hobbs, J.H., E.A. Hughes, B.H. Eichold, (2nd. 1991), Replacement of *Aedes aegypti* by *Aedes albopictus* in Mobile, Alabama. *J Am Mosq Control Assoc*, 7: 488-89.
- Hokama Y., Judson C. (196). A New Bleaching Technique with Possible General Use in Entomology. *Annals of the Entomological Society of America* 56: 407-08
- Hoel, David F., P.J. Obenauer, M. Clark, R. Smith, T.H. Hughes, R.T. Larson, J.W. Diclaro, S.A. Allan (2011), Efficacy of Ovitrap Colors and Patterns for Attracting *Aedes albopictus* at Suburban Field Sites in North-Central Florida. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 27: 245-51.
- Hornby, J.A., D.E. Moore, T.W. Jr. Miller (1994) *Aedes albopictus* distribution, abundance, and colonization in Lee County, Florida, and its effect on *Aedes aegypti*. *J Am Mosq Control Assoc* 10(3): 397-402.
- Huang, Yiau-Min (1968) Neotype designation for *Aedes (Stegomyia) albopicta* (Skuse) (Diptera: Culicidae). *P Entomol Soc Wash*, 70: 297-302.
- Huber, K., Pluskota, B., Jöst, A., Hofmann, K. & Becker, N. (2012), Status of the invasive species *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae) in southwest Germany in 2011. *J. Vector Ecol.*, Vol. 37 (2): 462-465.
- Ibanez-Bernal, S., B. Briseno, J.P. Mutebi, 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.
- Jiggins, F.M. (2017) The spread of *Wolbachia* through mosquito populations. *PLoS Biol.* 2017 Jun; 15(6): e2002780.
- Juliano, S.A. und L.P. Lounibos (2005), Ecology of invasive mosquitoes: effects on resident species and on human health. *Ecol Lett* 8(5): 558-574.
- Johnson, G.F. (1935) The early history of copper fungicides. *Agricultural History*, 9: 67-79.

- Johnson B.J, Hurst T, Quoc H.L, Unlu I, Freebaim C, Faraji A, Ritchie S.A. (2016), Field Comparisons of the Gravid *Aedes* Trap (GAT) and BG-Sentinel Trap for Monitoring *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) Populations and Notes on Indoor GAT Collections in Vietnam. *Journal of Medical Entomology*: 1-9.
- Kamgang B., S. Marcombe, F. Chandre, E. Nchoutpouen, P. Nwane, J. Etang, V. Corbel, C. Paupy (2011),. Insecticide susceptibility of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in Central Africa. *Parasites & Vectors* 2011: 4: 79.
- Kampen, H., M. Kronefeld, D. Zielke, D. Werner (2013), Further specimens of the Asian tiger mosquito *Aedes albopictus* (Diptera, Culicidae) trapped in southwest Germany. *Parasitol Res.* 2013 Feb; 112(2): 905-7.
- Kampen, H., D. Werner (2014) Out of the bush: the Asian bush mosquito *Aedes japonicus japonicus* (Theobald, 1901) (Diptera, Culicidae) becomes invasive. *Parasites & vectors*: 7: 59.
- Kampen, H., Medlock, J.M., Vaux, A.G.C., Koenraadt, C.J.M., van Vliet, A.J.H., Bartumeus, F., Oltra, A., Sousa, C.A., Chouin, S., Werner, D. (2015), Approaches to passive mosquito surveillance in the EU. *Parasites & Vectors*: 8: 9.
- Kaufman, Michael G, Dina M Fonseca (2014), Invasion biology of *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae). *Annual Review of Entomology*, 59: 31-49.
- Kittayapong, P., D. Strickman (1993) Distribution of container-inhabiting *Aedes* larvae (Diptera: Culicidae) at a dengue focus in Thailand. *J Med Entomol*, 30: 601-06.
- Kizgin A. (2016), The Asian tiger mosquito (*Aedes albopictus*): Efficiency and sustainability of *B.t.i.* fizzy tablets for operational use. Bachelorarbeit thesis. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. 54 ff.
- Knipling E. (1955), Possibilities of insect control or eradication through use of sexually sterile males. *Journal of Economical Entomology* 48: 459-62.
- Kolivas, K.N. (2006), Mosquito habitat and dengue risk potential in Hawaii: A conceptual framework and GIS application. *The Professional Geographer* 58(2): 139-154.
- Kroeckel, U., Rose, A., Eiras, Á. E., Geier, M. (2006), New tools for surveillance of adult yellow fever mosquitoes: comparison of trap catches with human landing rates in an urban environment. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 22(2): 229-238.
- Kruger, E.L., C.D. Pappas, R.W. Howard (1991). Cuticular hydrocarbon geographic variation among seven North American populations of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol* 28(6): 859-864.
- Kühnlentz, T. (201),. Metallisches Kupferspray zur Bekämpfung invasiver Stechmückenarten. Bachelorarbeit. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. 49 ff.
- Johnson B.J, Hurst T, Quoc H.L, Unlu I, Freebaim C, et al (201),. Field Comparisons of the Gravid *Aedes* Trap (GAT) and BG-Sentinel Trap for Monitoring *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) Populations and Notes on Indoor GAT Collections in Vietnam. *Journal of Medical Entomology*: 1-9.
- Lacey L.A, Oldacre S. (1983),The effect of temperature, larval ages and species of mosquito on the activity of an isolate of *Bacillus thuringiensis var. darmstadtensis* toxic for mosquito larvae. *Mosq News* 43: 176-180
- Lacey, E.S., Ray, A., Carde, R.T. (2014), Close encounters: contributions of carbon dioxide and human skin odour to finding and landing on a host in *Aedes aegypti*. *Physiological entomology*, 39(1): 60-68.
- Laird, M., L. Calder, R.C Thornton, R Syme, P.W Holder, M Mogi. (1994) Japanese *Aedes albopictus* among four mosquito species reaching New Zealand in used tires. *Journal of the American Mosquito Control Association-Mosquito News*, 10: 14-23.
- Lai, C H., K.C. Tung, H.K. Ooi, J.S. Wang (2001), Susceptibility of mosquitoes in central Taiwan to natural infections of *Dirofilaria immitis*. *Med Vet Entomol* 15(1): 64-67.
- Lee V.J., S. Ow , H. Heah , M.Y. Tan , P. Lam , L.-Ch. Ng, S.G. Lam-Phua, A.Q. Imran B. Seet (2010), Elimination of Malaria Risk through Integrated Combination Strategies in a Tropical Military Training Island. *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, 82(6), 2010: 1024–1029.
- Lindquist D.A, Abusowa M, Hall M.J. (1992) The New World screw worm fly in Libya: a review of its introduction and eradication. *Medical and Veterinary Entomology* 6: 2-8.
- Ludwig M, Beck M, Zgomba M, Becker N (1994). The impact of water quality on the persistence of *Bacillus sphaericus*. *Bull. Soc. Vector Ecol.*, 19(1): 43-48
- Maciel-de-Freitas R, Codeco C.T, Lourenco-de-Oliveira (2007), Daily survival rates and dispersal of *Aedes aegypti* females in Rio de Janeiro, Brazil. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 76: 659-65



- 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.
- Mahilum, M. (2004), Semi-Field and Field Evaluation of Vectobac DT/Culinx *Bacillus thuringiensis israelensis* (B.t.i.) Tablets on the Larvae of *Aedes aegypti*. Bericht, Kabs e.V.
- Manica M, Rosà R, Della Torre A, Caputo B. (2017) From eggs to bites: do ovitrap data provide reliable estimates of *Aedes albopictus* biting females. *PeerJ* 5
- Mattingly, P.F. (1953), The subgenus *Stegomyia* (Diptera: Culicidae) in the Ethiopian region. II. Distribution of species confined to the East South African subregion. *Bull Br Mus Entomol* 3: 1-65. McCallan, SEA. 1967. 'History of fungicides', *Fungicides, an advanced treatise*, 1: 1-38.
- Mclver, S., Siemicki, R. (1979), Fine structure of antennal sensilla of male *Aedes aegypti* (L.). *Journal of Insect Physiology*, 25(1): 21-28.
- McMeniman, C.J., Hughes, G.L., O'Neill, S.L. (2014) A *Wolbachia* symbiont in *Aedes aegypti* disrupts mosquito to egg development to a greater extent when mosquitoes feed on nonhuman versus human blood. *Journal of medical entomology*, 48(1): 76-84.
- Medlock, J., M. Kayleigh, M. Hansford, F. Schaffner, V. Versteirt, G. Hendrickx, H. Zeller, W.v. Bortel (2012), A review of the invasive mosquitoes in Europe: ecology, public health risks, and control options. *Vector-borne and zoonotic diseases*, 12: 435-47.
- Meeraus, W.H., Armistead, J.S., Arias, J.R. (2008) Field comparison of novel and gold standard traps for collecting *Aedes albopictus* in northern Virginia. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 24(2): 244-248.
- Mekuria, Y. und M.G. Hyatt (1995), Operational and scientific notes. *J Am Mosq Control Assoc* 11(4): 468-470.
- Merritt R.W., R.H. Dadd, E.D. Walker (1991), Feeding behavior, natural food, and nutritional relationships of larval mosquitoes. *Annu. Rev. Entomol.* 37: 349-76.
- Mireji, P.O., J Keating, A. Hassanali, C.M. Mbogo, M.N. Muturi, J.I. Githure, J.C. Beier (2010), Biological cost of tolerance to heavy metals in the mosquito *Anopheles gambiae*. *Medical and Veterinary Entomology*, 24: 101-07.
- Mitchell, C.J. (1991), Vector competence of North and South American strains of *Aedes albopictus* for certain arboviruses: a review. *J Am Mosq Control Assoc*, 7: 446-51.
- Mitchell, C.J. (1995a), Geographic Spread of *Aedes albopictus* and Potential for Involvement in Arbovirus Cycles in the Mediterranean Basin. *J Am Mosq Control Assoc*, 20: 44-58.
- Mitchell, C.J. (1995b) The role of *Aedes albopictus* as an arbovirus vector. *Parassitologia*, 37: 109-13.
- Mitchell, C.J., B.R. Miller (1990), Vertical transmission of dengue viruses by strains of *Aedes albopictus* recently introduced into Brazil. *J Am Mosq Control Assoc* 6(2): 251-253.
- 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.
- 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.
- Moorhouse, D.E. (1978), *Dirofilaria immitis*: A cause of human intraocular infection. *Infection* 6(4): 192-193.
- Mori, A. (1979), Effects of larval density and nutrition on some attributes of immature and adult *Aedes albopictus*. *Trop Med* 21(2): 85-103.
- Mori A, Oda T. 1981. Studies on the egg diapause and overwintering of *Aedes albopictus* in Nagasaki. *Tropical Medicine* 21: 85-103
- Müller-Westermeier, G., A. Kreis, E. Dittmann (1999), *Klimaatlas Bundesrepublik Deutschland* (DWD). 1.
- Nasci, R.S., S.G. Hare, and 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.
- Nayar, J.K., Knight J.W. (1999), *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae): an experimental and natural host of *Dirofilaria immitis* (Filarioidea: Onchocercidae) in Florida, U.S.A. *J Med Entomol* 36(4): 441-448.
- 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
- Olanga, E.A., Okal, M.N., Mbadi, P.A., Kokwaro, E.D., Mukabana, W.R. (2010), Attraction of *Anopheles gambiae* to odour baits augmented with heat and moisture. *Malaria journal*, 9(1): 6.
- Oliva C.F, Jacquet M, Gilles J, Lemperiere G, Maquart P-O, Quilici S, Schooneman F, Vreysen M.J.B, Boyer S. (2012), The Sterile Insect Technique for Controlling Populations of *Aedes albopictus* (Diptera: Cu-

- licidae) on Reunion Island: Mating Vigour of Sterilized Males. PLoS ONE 7: e49414
- O'Meara, G.F., L.F. Evans Jr., A.D. Gettman, A.W., Patteson (1995b), Exotic tank bromeliads harboring immature *Aedes albopictus* and *Aedes bahamensis* (Diptera: Culicidae) in Florida. *J Vector Ecol* 20(2): 216-224.
- O'Meara, G.F., L.F. Evans Jr., M.L. Womack (1997), Colonization of rock holes by *Aedes albopictus* in the southeastern United States. *J Am Mosq Control As-soc* 13(3): 270-274.
- O'Meara, G.F., A.D. Gettman, L.F. Evans Jr, G.A. Curtis (1993), The spread of *Aedes albopictus* in Florida. *American Entomologist*, 39: 163-73.
- Paupy, C., H. Delatte, L. Bagny, V. Corbel, D. Fontenille (2009), *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: from the darkness to the light. *Microbes Infect*, 11: 1177-85.
- Puchi N.D (2005), Factors affecting the efficiency and persistence of *Bacillus thuringiensis var. israelensis* on *Anopheles aquasalis* Curry (Diptera: Culicidae), a malaria vector in Venezuela. *Entomotropica* 20: 213-233.
- Peterson, D., Brown, A. (1951), Studies of the responses of the female *Aedes* mosquito. Part III. The response of *Aedes aegypti* (L.) to a warm body and its radiation. *Bulletin of Entomological Research*, 42(3): 535-541.
- Perez, Mario H, Fernando G Noriega (2012), *Aedes aegypti* pharate 1st instar quiescence affects larval fitness and metal tolerance. *Journal of insect physiology*, 58: 824-29.
- Peyton, E.L, Scott R Campbell, Thomas M Candeletti, Michael Romanowski, Wayne J Crans (1999) *Aedes* (Finlaya) *japonicus japonicus* (Theobald), a new introduction into the United States. Walter Reed Biosystematics Unit, Washington DC.
- Phuc H.K, Andreasen M.H, Burton R.S, Vass C, Epton M.J, et al. (2007) Late-acting dominant lethal genetic systems and mosquito control. *BMC Biology* 5
- Pluskota, B. (2011) Die Asiatische Tigermücke (*Aedes albopictus*): Thermale Ökologie und Risikoeinschätzung einer Etablierung in Deutschland. Dissertation.
- 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., A. Jöst, N. Becker (2018), Computeranwendung und Maßnahmenkatalog zur kommunalen Etablierungseinschätzung der Asiatischen Tigermücke in Bezug auf klimatische und infrastrukturelle Bedingungen in Baden-Württemberg. LUBW, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Forschungsbericht KLIMOPASS. 63p.
- Pluskota, B., V. Storch, T. Braunbeck, M. Beck, N. Becker (2008) First record of *Stegomyia albopicta* (Skuse) (Diptera: Culicidae) in Germany. *Eur Mosq Bull*: 26: 1-5.
- Pumpuni, C.B., J. Knepler, 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.
- Ray, W.-M., Y.-H. Chien, C.-H. Chen (1996), Comparison of probit analysis versus arcsine square root transformation on LC50 estimation. *Aquacult Eng* 15(3): 193-207.
- Rayms-Keller, A.S, K.E Olson, M McGaw, C Oray, J.O Carlson, B.J Beaty (1998), Effect of Heavy Metals on *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) Larvae. *Ecotoxicology and environmental safety*, 39: 41-47.
- Reiskind, M.H., and A.A. Zarrabi (2012), Water surface area and depth determine oviposition choice in *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol*, 49: 71-6.
- 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. und R.F. Darsie, Jr. (1984), *Aedes albopictus* in Memphis, Tennessee (USA): An achievement of modern transportation? *Mosq News* 44(3): 396-399.
- Reiter, P., D. Fontenille, C. Paupy (2006), *Aedes albopictus* as an epidemic vector of chikungunya virus: another emerging problem? *Lancet Infect Dis*, 6: 463-4.
- Romi, Roberto, Marco Di Luca, Walter Raineri, Maria Pesce, Antonio Rey, Silvana Giovannangeli, Fabio Zanasi, Antonino Bella (2000), Laboratory and field evaluation of metallic copper on *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) larval development. *J Med Entomol*, 37: 281-85.
- Rozeboom, L.E. und J.R. Bridges (1972), Relative population densities of *Aedes albopictus* and *A. guamensis* on Guam. *Bull World Health Organ* 46(4): 477-483.
- Russell R.C, Webb C.E, Williams C.R, Ritchie S.A. (2005), Mark-release-recapture study to measure dispersal of the mosquito *Aedes aegypti* in Cairns, Queensland, Australia. *Medical and Veterinary Entomology* 19: 451-57

- 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.
- Savage, H.M., G.C. Smith (1994), Identification of damaged adult female specimens of *Aedes albopictus* and *Aedes aegypti* in the New World. *J Am Mosq Control Assoc*, 10: 440-42.
- Schaffner, F., S. Chouin, J. Guilloteau (2003), First record of *Ochlerotatus* (*Finlaya*) *japonicus japonicus* (Theobald, 1901) in metropolitan France. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 19: 1-5.
- Schaffner, F., C. Kaufmann, D. Hegglin, A. Mathis (2009.), The invasive mosquito *Aedes japonicus* in Central Europe. *Medical and Veterinary Entomology*, 23: 448-51.
- Scott, J. (2003), *The ecology of the exotic mosquito Ochlerotatus (Finlaya) japonicus japonicus (Theobald 1901) (Diptera: Culicidae) and an examination of its role in the West Nile virus cycle in New Jersey*. Dissertation. State University of New Jersey.
- Scott, T.W., L.H. Lorenz, S.C. Weaver (1990), Susceptibility of *Aedes albopictus* to infection with eastern equine encephalomyelitis virus. *J Am Mosq Control Assoc* 6(2): 274-278.
- Schönwiese, C.-D. (2003), Jahreszeitliche Struktur beobachteter Temperatur- und Niederschlagstrends in Deutschland. Berlin und Bayreuth, Chmielewski, F.-M. 59-68.
- Shroyer, D.A. (1986), *Aedes albopictus* and arboviruses: a concise review of the literature. *J Am Mosq Control Assoc* 2(4): 424-428.
- Shroyer, D.A. (1990), Vertical maintenance of dengue-1 virus in sequential generations of *Aedes albopictus*. *J Am Mosq Control Assoc* 6(2): 312-314.
- Shroyer, D.A. (1986), *Aedes albopictus* and arboviruses: a concise review of the literature. *J Am Mosq Control Assoc*, 2: 424-28.
- Singer, S. (1973), Insecticidal activity of recent isolates and their toxins against mosquito larvae. *Nature* 244(54 1 1): 1 10.
- Skiff, J.J., & Yee, D.A. (2014), Behavioral differences among four co-occurring species of container mosquito larvae: effects of depth and resource environments. *Journal of Medical Entomology*, 51(2): 375–81.
- Skinner, W., Tong, H., Pearson, T., Strauss, W., Maibach, H. (1965), Human sweat components attractive to mosquitoes. *Nature*, 207(4997): 661-662.
- Skovmand O, Becker N. (2000), *Bioassays of Bacillus thuringiensis subsp. israelensis*. 41-47. Navon A, Ascher K.R.S eds., *Bioassays of Entomopathogenic Microbes and Nematodes*, CABI Publishing, Oxon, New York, pp 324.
- Skuse, F.A.A. (1894.), The banded mosquito of Bengal. *Indian Mus Notes*: 3: 20.
- Smith, S., M.H. Chen, R.G. Bailey, W.P. Williams (1996), Concentration and distribution of copper and cadmium in water, sediments, detritus, plants and animals in a hardwater lowland river. *Hydrobiologia*, 341: 71-80.
- Sorensen M.A., Walton W.E., Trumble J.T. (2007), Impact of Inorganic Pollutants Perchlorate and Hexavalent Chromium on Efficacy of *Bacillus sphaericus* and *Bacillus thuringiensis subsp. israelensis* against *Culex quinquefasciatus* (Diptera:Culicidae). *J Med Ent* 44:811-816.
- Sota, T., M. Mogi, E. Hayamizu (1992.), Seasonal distribution and habitat selection by *Aedes albopictus* and *Ae. riversi* (Diptera: Culicidae) in northern Kyushu, Japan. *J Med Entomol*, 29: 296-304.
- Sota, T. (1993), Response to selection for desiccation resistance in *Aedes albopictus* eggs (Diptera: Culicidae). *Appl Entomol Zool* 28(2): 161-168.
- Stelzner L. (2016) Monitoring and combat of the tiger mosquito, *Aedes albopictus*, in Heidelberg, Germany. - A five-step action plan. Masterarbeit. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. 58 ff.
- Svoboda R., D.A. Palmer (2008), Behaviour of copper in generator stator cooling-water systems. In *15th International Conference for the Properties of Water and Steam, Berlin, Germany*.
- 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.
- Tan A.W.A., Loke S.R., Benjamin S., Azirun M.S. (2012), Spray application of *Bacillus thuringiensis israelensis* (*Bti* strain AM65-52) against *Aedes aegypti* (L.) and *Ae. albopictus* Skuse populations and impact on dengue transmission in a dengue endemic residential site in Malaysia. *The Southeast Asian journal of tropical medicine and public health* 43(2): 296-310.

- Tanaka K., K. Mizusawa, E.S. Saugstad (1979), A revision of the adult and larval mosquitoes of Japan (including the Ryukyu Archipelago and the Ogasawara Islands) and Korea (Diptera: Culicidae). Army Medical Lab Pacific APO, San Francisco 96343.
- Thenmozhi V., J.G. Hiriyan, S.C. Tewari, P. Philip Samuel, R. Paramasivan, R. Rajendran, T.R. Mani, B.K. Tyagi (2007), Natural vertical transmission of dengue virus in *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Kerala, a southern Indian state. *Jpn J Infect Dis* 60(5): 245-249.
- Thavara U., A. Tawatsin, J. Chompoosri (2004), Evaluation of attractants and egg-laying substrate preference for oviposition by *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *Journal of Vector Ecology*: 29: 66-72.
- Tokatlian, A.R. (201), Efficacy of various traps to monitor host seeking of *Aedes albopictus*. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg. 35 ff.
- Toma L., Severini .F, Di Luca M., Bella A., Romi R. (2003), Seasonal patterns of oviposition and egg hatching rate of *Aedes albopictus* in Rome. *Journal of the American Mosquito Control Association* 19: 19-22.
- Turell, M.J., J.R. Beaman, R.F. Tammariello (1992). Susceptibility of selected strains of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) to chikungunya virus. *J Med Entomol* 29(1): 49-53.
- Usinger, R. L. (1944), Entomological phases of the recent dengue epidemic in Honolulu. *Public Health Report* 59: 423-430.
- Van Breugel, F., Riffell, J., Fairhall, A., Dickinson, M. H. (2015). Mosquitoes use vision to associate odor plumes with thermal targets. *Current Biology*, 25(16), 2123-2129.
- Verhulst N.O., Loonen J.A.C.M, Takken W. (2013) Advances in methods for colour marking of mosquitoes. *Parasites & Vectors* 6: 200-06.
- Vezzani, D. (2007.), Review: artificial container-breeding mosquitoes and cemeteries: a perfect match. *Trop Med Int Health*, 12: 299-313.
- Vilarinhos, P.T.R. (n.d.). Larvicidal Persistence of Formulations of *Bacillus Thuringiensis Var. Israelensis* to Control Health. San Francisco, (3).
- Walther D., D.E. Scheuch, H.Kampen. (2017), The invasive Asian tiger mosquito *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Germany: Local reproduction and overwintering. *Acta Trop.* 2017 Feb; 166: 186-192.
- Wang, J., Wu, Y., Yang, G., Aksoy, S. (2009), Interactions between mutualist *Wigglesworthia* and tsetse peptidoglycan recognition protein (PGRP-LB) influence trypanosome transmission. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(29): 12133-12138.
- Werner, D., H. Kampen (2015), *Aedes albopictus* breeding in southern Germany, 2014. *Parasitol Res*, 114: 831-4.
- 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).
- WHO (1981), WHO specifications and evaluations for public health pesticides. *Bacillus thuringiensis subspecies israelensis* strain AM65-52. WHO Standard: 1–38.
- Xue, R.D. und D.R. Barnard (1996), Human host avidity in *Aedes albopictus*: influence of mosquito body size, age, parity, and time of day. *J Am Mosq Control Assoc* 12(1): 58-63.
- Xue, R.D., D.R. Barnard und C.E. Schreck (1995), Influence of body size and age of *Aedes albopictus* on human host attack rates and the repellency of deet. *J Am Mosq Control Assoc* 11(1): 50-53.
- Yap, H.H., C.Y. Lee, N.L. Chong, A.E.S. Foo, M.P. Lim (1995), Oviposition site preference of *Aedes albopictus* in the laboratory. *Journal of the American Mosquito Control Association-Mosquito News*, 11: 128-32.
- Yap, H.H., C.Y. Lee and J. Zairi (2002), Indoor Thermal fogging against vector mosquitoes with two *Bacillus thuringiensis israelensis* formulations, VectoBac ABG 6511 Water-Dispersible Granules and VectoBac 12AS liquid. *Journal of the American Mosquito Control Association.* 18(1): 52-56.
- Yee D.A., Kesavaraju B., Juliano S.A. (2007), Direct and indirect effects of animal detritus on growth, survival, and mass of invasive container mosquito *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae). *J Med Entomol* 44(4): 580–588.
- Zermoglio, P.F., Robuchon, E., Leonardi, M.S., Chandre, F., Lazzari, C.R. (2017), What does heat tell a mosquito? Characterization of the orientation behaviour of *Aedes aegypti* towards heat sources. *Journal of Insect Physiology*, 100: 9-14.

