

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN  
DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT  
INSTITUT IUNR

# Entwicklung einer neuen Falle für die biologische Bekämpfung der marmorierten Baumwanze (*Halyomorpha halys*)



Masterarbeit  
HS18

**Von  
Müller Richard**

Masterstudiengang 2017  
Abgabedatum 14.02.2018

Studienrichtung Umwelt und natürliche Ressourcen

Fachkorrektoren:  
Dr. Grunder Jürg  
ZHAW Wädenswil  
Mathis Alex  
ZHAW Wädenswil  
Dr. Fischer Esther  
ZHAW Wädenswil

### Abkürzungen

PHER:	Pheromon von <i>H. halys</i>
MDT:	Methyl(E,E,Z)-2,4,6-decatrienoate
N1-N5:	Nymphenstadien 1 bis 5 von <i>H. halys</i>
V, P, L:	Vibrations-Pheromon-, Pheromon- bzw. Leere Falle
TRECE :	Pheromon-Kombination der Pheromone von <i>H. halys</i> und <i>Acrosternum hilare</i>

### Danksagung

Ich möchte mich bei Prof. Dr. Christoph Stamm und Dr. Thomas Zurbrügg für die Unterstützung bei der Erstellung der Falle bedanken. Weiter möchte ich mich bei Dieter Häussler, Beat Häcki, Jürg Waltisberg, Ursula Löffel und allen weiteren beteiligten Mitarbeitern der ZHAW Wädenswil, sowie David Bassler für die Unterstützung beim Erstellen und der Durchführung des Feldversuchs an der ZHAW bedanken. Dank geht auch an die Agroscope Wädenswil für das Bereitstellen der Klimaräume für die Wanzenzucht.

Besonderer Dank geht an Volker Sczepek für die Mithilfe beim Versuch auf seinem Betrieb - insbesondere der täglichen Auszählung der Wanzenfänge - an Sheila Hofer für die Zusammenarbeit bei der Wanzenzucht und das Durchführen der Vorversuche im Labor, Alex Mathis, Prof. Dr. Jürg Grunder und Dr. Esther Fischer für die Betreuung der Arbeit, sowie Prof. Dr. Bert Müller und Silke Renner-Müller für das Korrekturlesen der Arbeit.

**Sofern nicht anders vermerkt, stammen die Abbildungen vom Autor selbst.**

### Zitiervorschlag:

Müller, R., 2019. Entwicklung einer neuen Falle für die biologische Bekämpfung der marmorierten Baumwanze (*Halyomorpha halys*), Wädenswil: ZHAW

## Abstract

The thesis deals with the biological control of the brown marmorated stink bug (*Halyomorpha halys*) by means of a trap developed for this purpose. Empty traps (L) were compared with traps with TRECE-pheromone-strips (P) and traps with TRECE-pheromone-strips and a vibrating element (V). The traps were placed in greenhouses of a large organic vegetable producer, in cucumber, block-pepperoni and sweetbite-pepperoni cultures. Also, they were used in insect tunnels in which male *H. halys* were released. In order to compare the trap types, the number of catches of each trap was counted and the age and sex of the trapped *H. halys* were determined.

The attracting effect of the TRECE-pheromone-strips was experimentally confirmed. In particular, second stage nymphs were lured into the traps, thus reducing the subsequent vegetable damages. The vibrating elements increased the number of catches even more if the traps were more than 15 m placed from the path, i.e. far enough from the source of the disturbance. At days with an average solar radiation above  $150 \text{ W/m}^2$ , many catches were found in the traps indicating a high activity of *H. halys*. The vibration-pheromone-traps will be insufficient as an independent control. In combination with other control measures, however, they may reduce the population of *H. halys* and, therefore, the related vegetable damages.

## Zusammenfassung

Diese Arbeit behandelt die biologische Bekämpfung der marmorierten Baumwanze (*Halyomorpha halys*) mithilfe einer dafür entwickelten Falle. Dabei wurden leere Fallen (L) mit Fallen mit TRECE-Pheromonstreifen (P), sowie Fallen mit TRECE-Pheromonstreifen und einem Vibrationselement (V) miteinander verglichen. Die Fallen wurden einerseits in Gewächshäusern eines grossen Bio-Gemüseproduzenten, in Gurken-, Block-Peperoni- und Sweetbite-Peperoni-Kulturen aufgehängt. Andererseits wurden sie in Insektentunneln eingesetzt, in welchen männliche *H. halys* freigelassen wurden. Um die Fallentypen miteinander vergleichen zu können, wurde die Anzahl Fänge jeder Falle gezählt, sowie Alter und Geschlecht der gefangenen *H. halys* bestimmt.

In den Versuchen wurde die gute Anlockwirkung der TRECE-Pheromonstreifen bestätigt. Insbesondere Nymphen des zweiten Stadiums wurden dadurch in die Falle gelockt, wodurch der Folgeschaden reduziert wurde. Die zusätzlichen Vibrationselemente erhöhte die Fangzahl zusätzlich, sofern die Fallen mehr als 15 m vom Weg, und damit der Störungsquelle in den Gewächshäusern, entfernt waren. Besonders grosse Aktivität, und somit grosse Fangzahlen der Fallen, zeigt *H. halys* ab einer durchschnittlichen Sonneneinstrahlung von  $150 \text{ W/m}^2$  pro Tag. Als eigenständige Bekämpfungsmassnahme werden die Vibrations-Pheromon-Fallen vermutlich nicht ausreichen, jedoch könnten sie gemeinsam mit anderen Bekämpfungsmassnahmen die Population von *H. halys*, und damit die durch sie verursachten Schäden, reduzieren.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
2	Literatur .....	2
2.1	Die marmorierte Baumwanze ( <i>Halyomorpha halys</i> ).....	2
2.1.1	Aussehen .....	2
2.1.2	Verbreitung .....	3
2.1.3	Biologie .....	7
2.1.4	Pheromone .....	9
2.1.5	Vibrationen .....	10
2.1.6	Wirtspflanzen .....	13
2.1.7	Schäden.....	13
2.1.8	Weitere negative Auswirkungen von <i>Halyomorpha halys</i> .....	15
2.1.9	Positive Nebeneffekte .....	15
2.2	Bekämpfung der marmorierten Baumwanze ( <i>H. halys</i> ) .....	16
2.2.1	Nützlinge .....	16
2.2.2	Insektizide .....	16
2.2.3	Licht .....	16
2.2.4	Fallen .....	16
2.2.5	Weitere Bekämpfungsmöglichkeiten .....	17
3	Material und Methoden.....	18
3.1	Material .....	18
3.2	Zeitplan .....	18
3.3	Fallen .....	19
3.4	Versuch bei der BioFresh AG.....	20
3.4.1	Zeitplan .....	20
3.4.2	Fallen .....	21
3.4.3	Versuchsaufbau .....	21
3.4.4	Datenerhebung .....	22
3.5	Versuch an der ZHAW .....	23
3.5.1	Zeitplan .....	23
3.5.2	Gurkenpflanzen.....	23
3.5.3	Insektentunnel.....	23
3.5.4	<i>Halyomorpha halys</i> .....	24
3.5.5	Fallen .....	25
3.5.6	Versuchsaufbau .....	25
3.5.7	Versuchsdurchführung und Datenerhebung.....	26

4	Ergebnisse .....	27
4.1	Versuch bei der BioFresh AG .....	27
4.1.1	Anzahl Fänge pro Tag .....	27
4.1.2	Wanzen bestimmt nach Art, Alter und Geschlecht .....	29
4.1.3	Klimatische Daten .....	31
4.1.4	Weitere Beobachtungen .....	33
4.2	Versuch an der ZHAW .....	34
4.2.1	Wiederfangquote .....	34
4.2.2	Fallenfänge .....	34
4.2.3	Auf den Tunneln beobachtete Wanzen .....	34
4.2.4	Klimatische Daten .....	35
4.3	Weitere Beobachtungen .....	36
5	Diskussion .....	37
5.1	Versuch bei der BioFresh AG .....	37
5.2	Versuch an der ZHAW .....	40
5.3	Reflexion zu dieser Arbeit .....	41
6	Fazit .....	42
7	Literaturverzeichnis .....	43

# 1 Einleitung

Die marmorierte Baumwanze (*Halyomorpha halys*) hat sich in den letzten Jahren fast in der ganzen Schweiz ausgebreitet. Der durch sie, mittels Saugaktivität, verursachte Schaden an verschiedenen Kulturpflanzen hat vor allem in den letzten drei Jahren in der Schweiz zugenommen. Diese Schäden führten weltweit zu grossen Ernteaussfällen. Einerseits sind die essbaren Pflanzenteile, wie beispielsweise Peperoni, nicht mehr verkaufsfähig, da sie nicht gut aussehen und schneller schlecht werden. Andererseits sind sie, wie beispielsweise Birnen, nicht mehr geniessbar wegen der harten Stellen im Fruchtfleisch, die der durch eine Viruskrankheit ausgelösten Steinfrüchtigkeit gleichen. Insgesamt sind weltweit mehr als 300 Arten Wirtspflanzen von *H. halys* bekannt.

Die Literaturrecherche im ersten Teil der Arbeit befasst sich mit *H. halys*, ihrer Physiognomie, ihrem Lebenszyklus und den von ihr geschädigten Wirtspflanzen. Ebenfalls wird der aktuelle Forschungsstand aufgezeigt. Der zweite Teil der Arbeit beschreibt die Bekämpfungsversuche, welche im Laufe dieser Arbeit durchgeführt wurden. Diese werden - im Gegensatz zu einer studentischen Arbeit an der ZHAW Wädenswil (Hofer, 2018) - nicht in einer Klimakammer durchgeführt.

Die Versuche wurden einerseits in Insektentunneln an der ZHAW in Wädenswil und andererseits auf dem Betrieb der BioFresh AG in Tägerwilen durchgeführt. Durch diese Versuche soll eine Möglichkeit gefunden werden, die Population von *H. halys* zu reduzieren. Dabei werden Vibrations-Pheromon-Fallen mit Pheromon-Fallen, sowie Kontroll-Fallen verglichen. Das zusätzliche Vibrationselement an den Vibrations-Pheromon-Fallen soll deren Fangzahl gegenüber der Fangzahl, der zu Monitoringzwecken verwendeten, Pheromon-Fallen erhöhen. Mit dieser Vibrations-Pheromon-Falle soll also eine effektive Methode zur Reduktion der Population von *H. halys* gefunden werden.

## 2 Literatur

### 2.1 Die marmorierte Baumwanze (*Halyomorpha halys*)

*Halyomorpha halys* wurde vermutlich 1998, bei der Sanierung des Chinagartens in Zürich, von China nach Europa eingeschleppt (Oppliger, 2018). Erstmals nachgewiesen wurde sie jedoch erst im Jahr 2007, auch wenn später die ersten Funde auf das Jahr 2004 zurückdatiert wurden (Wermelinger, et al., 2008) (Haye, et al., 2014a). Nach Nordamerika wurde sie schon Mitte der 1990er Jahre aus Japan, Korea oder China eingeschleppt (Hoebeke & Carter, 2003), wo sie 2010 grosse Schäden im Wert von 37 Mio. US\$ im Apfelanbau verursachten (Leskey & Nielsen, 2017). Europäische und nordamerikanische Populationen von *H. halys* unterscheiden sich genetisch. Deshalb wird angenommen, dass sie auf unterschiedlichen Wegen eingeschleppt wurden. Im Gegensatz zu den amerikanischen und kanadischen Populationen, welche aus der Gegend rund um Peking stammen, ist es aufgrund der Genetik unklar woher die in der Schweiz vorkommenden Populationen stammen (Garipey, et al., 2013). Auch nach Europa wurde *H. halys* auf mehreren Wegen eingeschleppt. In Griechenland tauchten 2015 Haplotypen auf, welche zuvor nicht bekannt waren. Insgesamt sind mittlerweile neun verschiedene Haplotypen in Europa bekannt (Garipey, et al., 2015).

Pro 1 °C Temperaturerhöhung sinkt die Mortalitätsrate um 15 % (Kiritani, 2007). Als Folge des Klimawandels, und der damit einhergehenden wärmeren Winter, ist mit einer Zunahme des Populationsdrucks und der Verbreitung von *H. halys* in ganz Europa zu rechnen.

Wichtige Kommunikationsmittel von *H. halys* sind Pheromone und Vibrationen, die wie die Kommunikationsarten von anderen Tieren und Insekten der Paarung, der Brutpflege, der Futtersuche, dem Konkurrenzkampf oder der Erkundung dienen (Hill & Wessel, 2016).

#### 2.1.1 Aussehen

Die Eier von *H. halys* sind 1.6 mm lang und haben einen Durchmesser von 1.3 mm. Die *H. halys* Nymphen sind zwischen 2.4 und 12.0 mm lang. Ab dem dritten Nymphenstadium haben sie schwarz-weiss gebänderte Beine (siehe Abbildung 1). Die Adulten *H. halys* sind 12 bis 17 mm lang, 7 bis 10 mm breit und braun-grau marmoriert. Hinter dem Halsschild befinden sich fünf mehr oder weniger stark ausgeprägte gelbe Punkte, die Antennen sind schwarz-weiss gebändert. Die Membran, der dünnhäutige, durchsichtige Teil der Flügel, hat längliche schwarze Flecken. Die Unterseite ist hell und hat zum Teil, insbesondere bei den Männchen, eine rötliche Färbung. Die Männchen haben zusätzlich Klammern am letzten Bauchsegment (siehe Abbildung 2). (Rice, et al., 2014) (Hoebeke & Carter, 2003), (Haye, 2018).





Abbildung 1: Die 5 Nymphenstadien von *Halyomorpha halys*; Ab N3 ist die weiße Bänderung der Beine vorhanden.



Abbildung 2: Adulte von *H. halys*, Männchen links und Weibchen rechts (Jaccard, 2015)

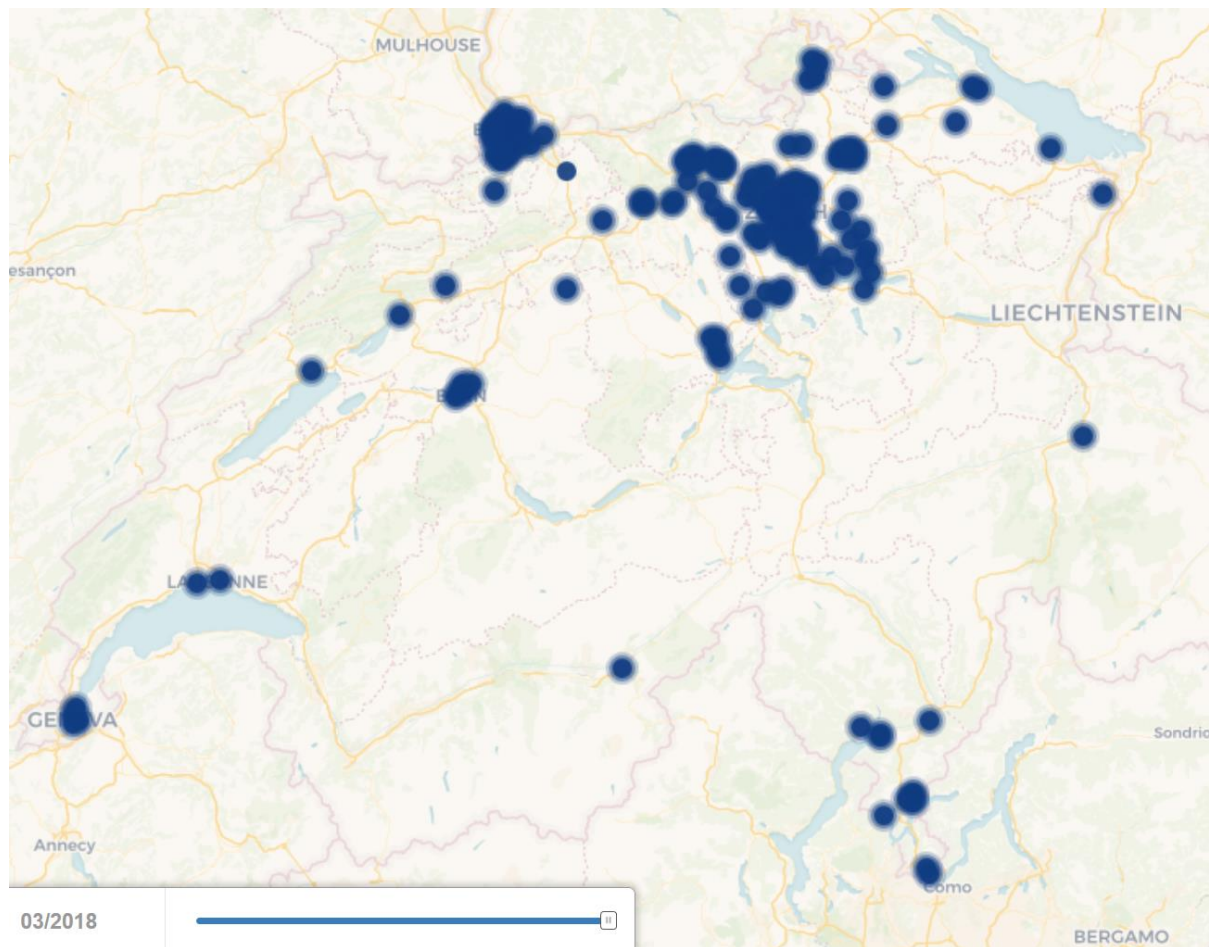
### 2.1.2 Verbreitung

Von 2004 bis 2007 wurden in der Schweiz nur einzelne Funde rund um Zürich gemeldet. Danach wurde sie aus mehreren Kantonen und Städten der Schweiz gemeldet (siehe Tabelle 1). Vor allem im Kanton Zürich, rund um Basel und im Tessin hat sich *H. halys* seit den ersten Funden massiv ausgebreitet (Michel, 2018). Siehe dazu auch Abbildung 3, wo die Verbreitung von *H. halys* in der Schweiz im März 2018 dargestellt ist.

Tabelle 1: Erstmalige Funde von *H. halys* in verschiedenen Städten und Kantonen der Schweiz; nach (Michel, 2018)

Jahr	Fundort
2004	Zürich
2008	Schaffhausen
2009	Basel und Grenznähe zu Lichtenstein
2012	Bern, Biel und Tessin
2013	Genf
2016	Lausanne
2017	Wallis





**Abbildung 3: Verbreitung von *H. halys* in der Schweiz im März 2018 (Michel, 2018)**

Auch in anderen europäischen Ländern wurde sie seit dem ersten Fund in der Schweiz nachgewiesen: 2004 in Liechtenstein (Arnold, 2009), 2011 in Deutschland (Heckmann, 2012), 2013 in Frankreich (Callot & Brua, 2013) und Italien (Pansa, et al., 2013), sowie 2015 in Österreich (Rabitsch & Friebe, 2016). Somit sind alle Nachbarstaaten der Schweiz von *H. halys* befallen. Vermutlich war *H. halys* aber schon viel früher in den verschiedenen Nachbarländern vorhanden. Sie wurde jedoch nicht bemerkt, da die Symptome der Wanzenschäden anderen Schäden gleichen und das Wissen über *H. halys* noch nicht verbreitet war (Thoss, 2018).

Weltweit ist *H. halys* mittlerweile fast auf der gesamten Nordhalbkugel, sowie in Chile vertreten (siehe Abbildung 4). Somit nutzt sie fast ihr komplettes potenzielles Verbreitungsgebiet (siehe Abbildung 5). Laut einer neueren Studie (Kistner, 2017) ist das potenzielle Verbreitungsgebiet jedoch wesentlich grösser (siehe Abbildung 6), weshalb auch Südamerika und das südliche Afrika durch *H. halys* bedroht sind.

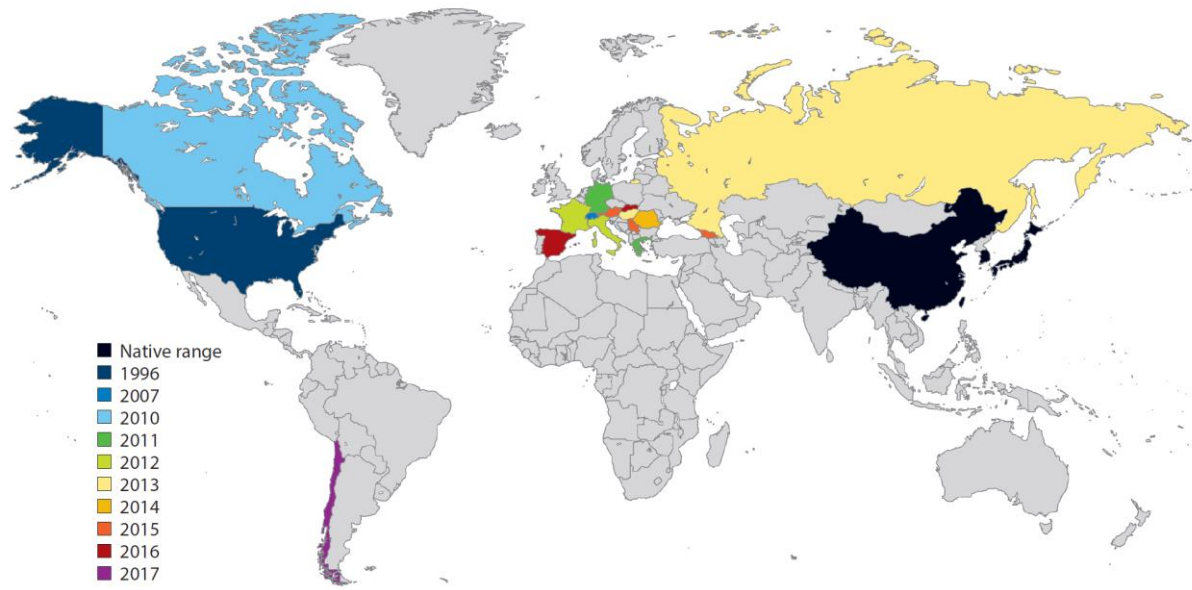


Abbildung 4: Erstfunde von *H. halys* in den verschiedenen Ländern weltweit (Leskey & Nielsen, 2017)

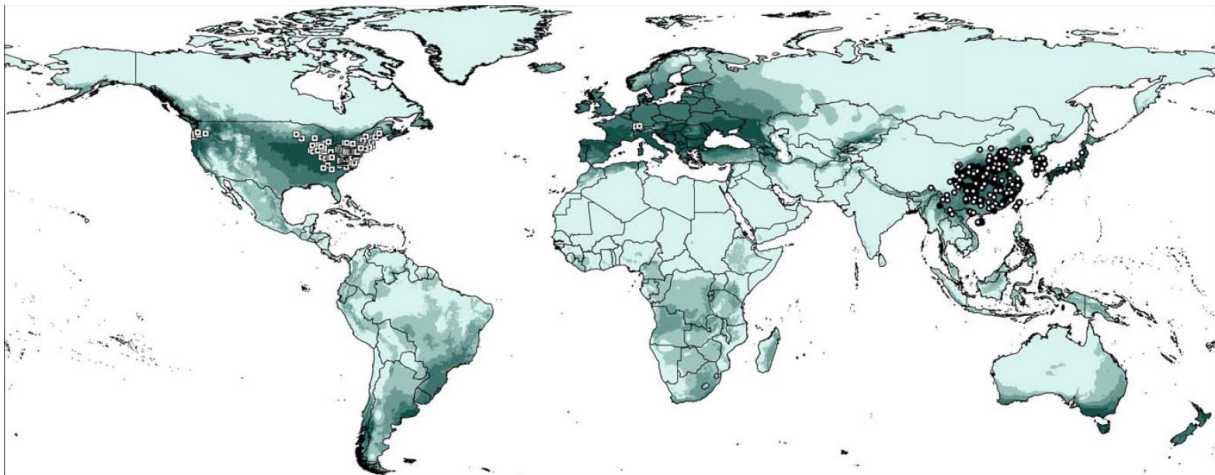
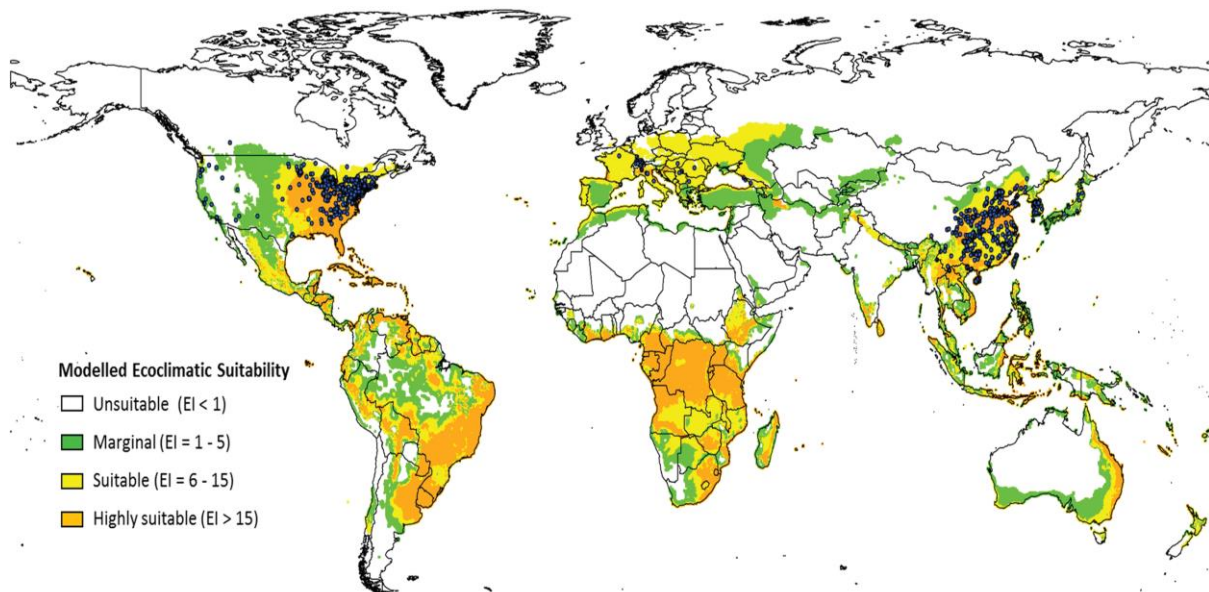


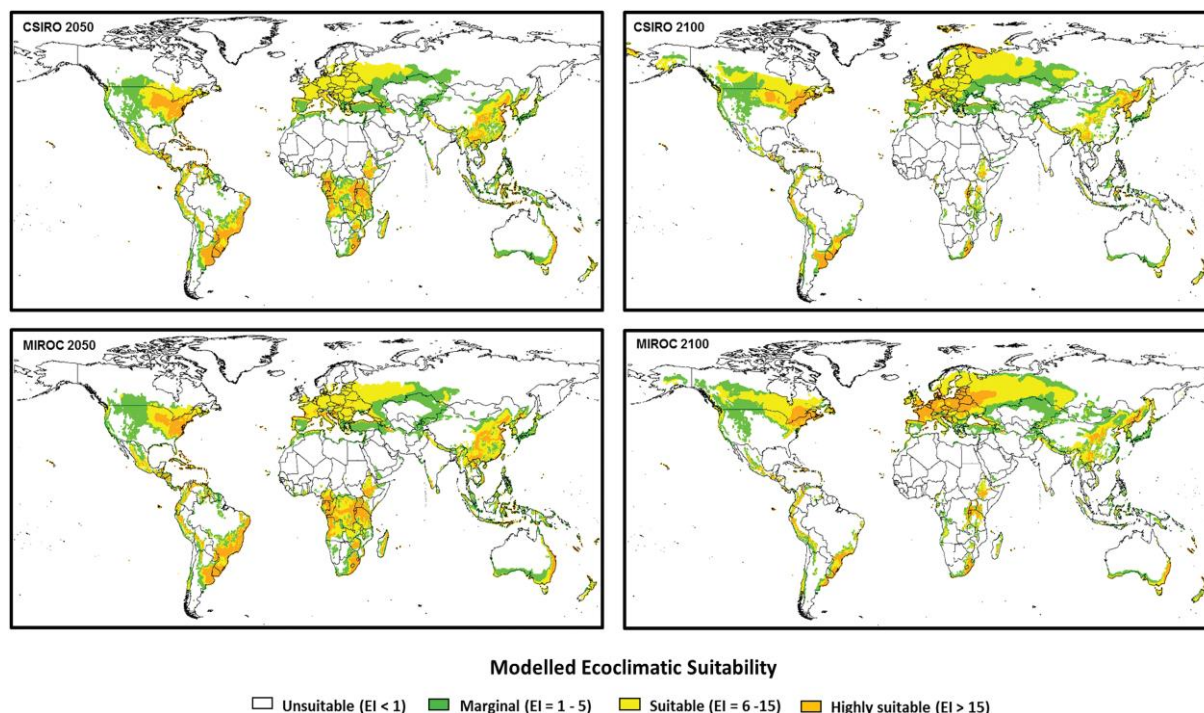
Abbildung 5: Eignungskarte von *H. halys*; weisse und schwarze Punkte zeigen Funde, dunkelgrün gut geeignete Regionen, hellgrün schlecht geeignete Regionen (Zhu, et al., 2012).



**Abbildung 6: Eignungskarte von *H. halys*; die schwarzen Punkte zeigen die heutige Verbreitung (Kistner, 2017)**

In Zukunft wird sich das Verbreitungsgebiet von *H. halys*, wegen des Klimawandels, weiter vergrössern und verschieben. Grosse Teile Südamerikas, der südliche Teil der USA und grosse Teile des südlichen Afrikas werden für *H. halys* im Laufe der nächsten 100 Jahre wegen steigender Temperaturen und sinkendem Niederschlag ungeeignet. Dafür werden Gebiete im Norden der USA, im Süden Kanadas und insbesondere der grösste Teil Europas sowie die westlichen Teile Russlands geeignet oder sehr gut geeignet für *H. halys* sein. Insbesondere beim Klimamodell MIROC fallen die beschriebenen Änderungen des Verbreitungsgebiets von *H. halys* stärker aus, da dieses Modell von einer weltweiten durchschnittlichen Temperaturerhöhung um 4.31 °C und einer Reduktion des weltweiten durchschnittlichen Niederschlags um 1 % ausgeht. Das Modell CSIRO geht hingegen von einer weltweiten durchschnittlichen Temperaturerhöhung um 2.11 °C und einer Reduktion des weltweiten durchschnittlichen Niederschlags um 14 % aus (siehe dazu auch Abbildung 7) (Bebber, et al., 2013), (Kistner, 2017). Zudem wird die Population von *H. halys* weiter zunehmen, da sich die Umweltbedingungen für sie verbessern werden (Bale, et al., 2002) und dadurch mehr Generationen als bisher möglich sein werden (Tobin, et al., 2008), (Ziter, et al., 2012). In diesem Jahr durchlief *H. halys* in der Schweiz bereits zum ersten Mal zwei Generationen nördlich der Alpen (Strickhof & Bachmann, 2018). Dies, obwohl sie laut (Kistner, 2017) erst 2050 zwei Generationen pro Jahr ausbilden können sollte. Somit werden die landwirtschaftlichen Schäden (siehe 2.1.7 Schäden) durch *H. halys* in Zukunft weiter zunehmen (Porter, et al., 1991), (Ziska, et al., 2010).





**Abbildung 7: Mögliche zukünftige Verbreitungsgebiete von *H. halys* im Jahr 2050 (links) bzw. 2100 (rechts) und zwei Berechnungsmethoden CSIRO (oben) und MIROC (unten) (Kistner, 2017)**

### 2.1.3 Biologie

In natürlicher Umgebung überwintert *H. halys* in dickrindigen, toten, stehenden Bäumen mit einem Durchmesser von mehr als 19 cm auf 1.3 m Höhe. Bevorzugt werden Eiche (*Quercus* spp.) und Robinie (*Robinia* spp.) zur Überwinterung genutzt. Der Götterbaum (*Ailanthus* spp.) und die Ulme (*Ulmus* spp.) werden wesentlich weniger häufig als Überwinterungsquartier genutzt (Lee, et al., 2014).

Aber auch in und an menschengemachten Strukturen, wie zum Beispiel Gebäuden, überwintert *H. halys* gerne, da es dort etwas wärmer als an den umliegenden Bäumen ist (Inkley, 2012).

Nach der Diapause, welche von Oktober bis April dauern kann, ernähren sich die adulten *H. halys* von wilden Wirtspflanzen, u.a. Waldpflanzen, welche zum Teil noch Früchte tragen. Von dort aus bewegen sie sich zur Eiablage und weiteren Frasstätigkeit in Richtung von Kulturpflanzen, sobald diese reife Früchte tragen. Die Adulten und Nymphen der späteren Stadien halten sich lieber auf Bäumen mit reifen Früchten als solchen mit unreifen Früchten oder ohne Früchte auf. Wenn keine Früchte vorhanden sind, halten sie sich am liebsten auf der Rinde oder den Blättern auf. Bei Bäumen mit unreifen Früchten am liebsten auf den Blättern, aber auch auf der Rinde und den Früchten. *H. halys* ist also ein Generalist mit einer Spezialisierung auf reife Früchte (Martinson, et al., 2015). Je nach Futterangebot und Temperatur kann sie ihren Standort um durchschnittlich weniger als 5 km pro Tag verschieben, falls es nötig ist aber sogar um bis zu 117 km (Lee & Leskey, 2015).

Unter natürlichen Bedingungen wird *H. halys* in Europa von März bis April aktiv und legt nördlich der Alpen von Mitte Juni bis Ende September Eier, in Italien bereits ab Mitte Mai - ab einer Photoperiode von etwa 12.7 h (Haye, et al., 2014a), (Costi, et al., 2017), (Nielsen, et al., 2017). Diejenigen überwinterten *H. halys*, welche schon vorher, bei Temperaturen von unter 14 °C ausschwärmen, sterben innerhalb von einer Woche. Insgesamt überleben nur etwa 28 % der Adulten die Überwinterung, von denen aber nur etwa die Hälfte die Reproduktionsphase erreicht, was einer Überwinterungsmortalität von 86 % entspricht. Das liegt vor allem daran, dass *H. halys* nur Wintertemperaturen bis etwa -16 °C erträgt (Cira, et

al., 2016). Nach etwa 36 Tagen legen die Weibchen ihre ersten Eier, im Gegensatz zur folgenden ersten Generation, welche bereits nach etwa zwölf Tagen Eier legen. Die Überwinterungsgeneration legt im Schnitt 285 Eier, die erste Generation 214 Eier. Eine Generation benötigt in der Schweiz 60 bis 131 Tagen zur kompletten Entwicklung, in Italien etwa 50 Tage. Dabei durchläuft sie fünf Nymphenstadien (N1-N5), bevor sie das Adultstadium erreicht. Dieses erreichen jedoch nur ungefähr 1/3 der Eier (Haye, et al., 2014a), (Costi, et al., 2017).

Während der Eiablage geben die Weibchen Symbionten auf die Oberfläche der Eigelege. Nach dem Schlüpfen bleiben die Nymphen des ersten Stadiums auf dem Eigelege, um die Symbionten aufzunehmen. Falls die Symbionten nicht vorhanden sind, bleiben sie länger auf dem Eigelege. Ohne diese Symbionten erreichen wesentlich weniger *H. halys* das Adultstadium, zudem dauert ihre Entwicklung länger. Auch dauert es länger bis die Weibchen Eier legen, und es werden nur etwa 1/6 der normalen Anzahl Eier gelegt. Die Folgegeneration der *H. halys* ohne Symbionten stirbt schon nach dem Erreichen des zweiten Nymphenstadiums fast komplett aus (Taylor, et al., 2014).

*H. halys* haben eine grössere Überlebenschance und sind grösser und schwerer, wenn sie während ihren Nymphenphasen an unterschiedlichen Nahrungsquellen saugen können (Acebes-Doria, et al., 2016).

Ab Mitte August, bei einer Photoperiode von unter 15 h, setzt bei den neu geschlüpften Adulten direkt die Diapause ein, und sie legen somit keine Eier. Die Eier, welche erst gegen Ende August, bei einer Photoperiode von unter 13 h, gelegt werden, erreichen das Adultstadium nicht mehr. Nördlich der Alpen sollte es pro Jahr nur eine Generation von *H. halys* geben, im Gegensatz zu Italien wo es bereits zwei Generationen pro Jahr gibt. Erst 2050 sollen im Grossraum Zürich eine teilweise zweite Generation möglich sein und 2100 ist sicher eine komplette zweite Generation vorhanden. In Italien liegt die Reproduktionsrate der überwinternden Generation bei 24.04 und die der ersten Generation bei 5.44 (Haye, et al., 2014a), (Hoebeke & Carter, 2003) (Costi, et al., 2017) (Kistner, 2017).

Unter Laborbedingungen erfolgt die komplette Entwicklung von *H. halys* nur bei Temperaturen zwischen 17 und 33 °C, wobei sich die Eier schon ab Temperaturen von 15 °C entwickeln können. Die Eier benötigen, bei  $T_0 = 13.94$  °C und  $T_m = 37.73$  °C, 53.3 DD (Entwicklungsstage - siehe hierzu (Cullen & Zalom, 2000)) für ihre komplette Entwicklung. Die höchsten Überlebensraten hat *H. halys* jedoch bei Temperaturen zwischen 20 und 30 °C. Bei 30 °C starben jedoch die meisten in der Schweiz vorkommenden Adulten schon vor dem Erreichen der reproduktiven Phase. Die Anzahl Entwicklungsstage, sowie die letalen Temperaturgrenzen der europäischen und amerikanischen *H. halys* Populationen unterscheiden sich geringfügig (siehe Tabelle 2).

**Tabelle 2: Anzahl Entwicklungsstage (DD) und  $T_0$ /  $T_m$  = untere/ obere letale Temperaturgrenze von *H. halys* nach (Haye, et al., 2014a), (Nielsen, et al., 2008)**

Population	DD	$T_0$ [°C]	$T_m$ [°C]	Zusätzliche DD der Weibchen bis zur Eiablage
Amerikanische	588.2	14.17	35.76	147.7
Europäische	537.6	12.97	36.50	117.7

Die Individuen der in der Schweiz vorkommenden Population benötigen somit, je nach Temperatur, 33.2 bis 75.8 Tage zur kompletten Entwicklung, und die Weibchen zusätzlich bis zu einem Monat bis zur Eiablage (siehe Tabelle 3).

**Tabelle 3: Anzahl Tage zur kompletten Entwicklung von *H. halys* sowie zusätzliche Tage der Weibchen von *H. halys* bis zur Eiablage bei verschiedenen Temperaturen (Haye, et al., 2014a)**

Temperatur	Anzahl Tage zur kompletten Entwicklung	Anzahl Tage bis zur Eiablage
20°C	75.8	12.2
25°C	42.3	25.2
30°C	33.2	

Der Median an Eiern pro Eimasse liegt bei 28 Stück, wobei etwa 1/5 nicht schlüpft. Zwischen den Eiablagen liegen 4.3 Tage in den USA, bzw. 17 Tagen in der Schweiz. Durchschnittlich legt ein Weibchen während ihres Lebens ca. 210 Eier in den USA, bzw. 79 Eier in der Schweiz (Maximum 160). Die Mortalität der Population von *H. halys* nördlich der Alpen liegt bei 86.7 % bei einer Reproduktionsrate von 5.69, was eine stete Vergrößerung der Population bedeutet (Haye, et al., 2014a), (Nielsen, et al., 2008).

*H. halys* kommunizieren miteinander mithilfe von Pheromonen und Vibrationen. Pheromone dienen der Kommunikation auf grösseren Distanzen, Vibrationen der Kommunikation auf kurzen Distanzen. Auf diese Kommunikationsmethoden wird in den nächsten beiden Kapiteln (2.1.4 Pheromone und 2.1.5 Vibrationen) eingegangen.

#### 2.1.4 Pheromone

Das männliche Aggregationspheromon (PHER) wurde als Mischung der zwei Komponenten (3S,6S,7R,10S)-10,11-epoxy-1-bisabolen-3-ol und (3R,6S,7R,10S)-10,11-epoxy-1-bisabolen-3-ol im natürlichen Verhältnis von 3.5:1 bestimmt (Khrimian, et al., 2014). Auch die anderen, nicht im Pheromon enthaltenen, Isomere von 10,11-epoxy-1-bisabolen-3-ol zeigen Anlockwirkung auf Nymphen und Adulte, was die Produktion von Pheromon-Produkten von *H. halys* vereinfacht (Leskey, et al., 2015b). Zu einem mit diesem Pheromon bestückten Baum, die Fangpflanze, werden *H. halys*, Adulte und Nymphen, angelockt und halten sich dann in einem Umkreis von 2.5 m rund um die Quelle auf. Besonders gerne bleiben sie bei diesem Baum, wenn es sich um eine Wirtspflanze handelt (MorrisonIII, et al., 2016). Bei einem weiteren Versuch erreichte die Kombination von PHER mit methyl(E,E,Z)-2,4,6-decatrienoate (MDT) eine wesentlich höhere Fangrate als die Fangraten der einzelnen Komponenten addiert. Die Fangrate war bei Adulten 1.9 bis 3.2-mal und bei Nymphen 1.4 bis 2.5-mal grösser als erwartet. MDT wird gegen Ende der Saison attraktiver für *H. halys*, insbesondere für deren Nymphen. Diese Kombination aus MDT und PHER ist somit ideal für eine saisonale Überwachung oder sogar Bekämpfung von *H. halys* (Weber, et al., 2014). Auch eine Kombination von ethyl(E,E,Z)-2,4,6-decatrienoate (EDT) mit PHER zeigte eine gute Anlockwirkung auf *H. halys*, auch wenn sie etwas schlechter war als die der Kombination von MDT und PHER (Rice, et al., 2017a). Die Kombination dieser Pheromone ist sehr gut geeignet, um ein Monitoring von *H. halys* zu betreiben, da die verschiedenen Haplotypen entsprechend ihrer Häufigkeit gefangen wurden (MorrisonIII, et al., 2017).

Von der Firma Trece wird eine Pheromon-Kombination (TRECE) zum Monitoring von *H. halys* angeboten. Dieses besteht aus den Pheromonen von *H. halys* und *Acrosternum hilare*. (Trece, 2017)

### 2.1.5 Vibrationen

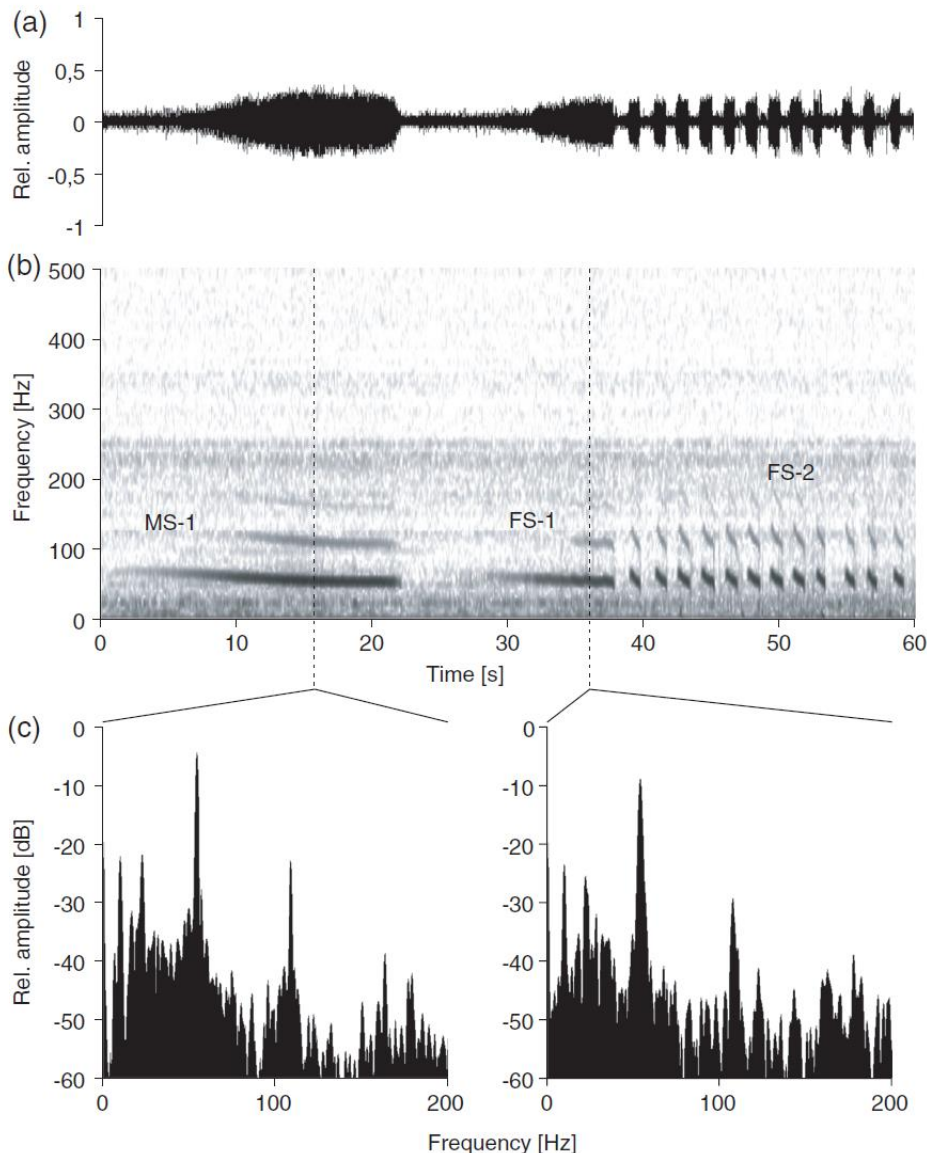
Vibrationen sind ein wichtiges Kommunikationsmittel von Arthropoden (Gliederfüßern). Mehr als 200'000 Insektenarten benutzen diese Kommunikationsart. 1949 wurden die substratübertragenen Vibrationen, also Vibrationen, die über Pflanzen oder andere Festkörper übertragen werden, erstmals vom schwedischen Entomologen Frej Ossiannilsson beschrieben. Zuvor waren vor allem über die Luft übertragene Vibrationen bekannt. Substratübertragene Vibrationen sind vor allem während der Paarungszeit wichtig, sie dienen aber auch der Kommunikation mit und zwischen dem Nachwuchs (Hill & Wessel, 2016).

Das Fortpflanzungsverhalten der Wanzenart *Euschistus heros* kann durch künstlich erzeugte Vibrationen gestört werden. Dabei werden Vibrationen im Bereich von 20 bis 200 Hz auf die Pflanzen übertragen. Die Paarung wird dadurch reduziert und verzögert. Auch wird die Fruchtbarkeit der Weibchen durch Vibrationen von 125 Hz eingeschränkt. Sie legen weniger Eier und von diesen sind weniger befruchtet. Diese substratübertragenen Vibrationen helfen möglicherweise auch bei der Bekämpfung von anderen Wanzenarten (Laumann, et al., 2018).

Die Bekämpfung von *H. halys* mittels Störung der Paarung gestaltet sich schwierig, da sie auf mehr als 200 Wirtspflanzen überleben können. Dadurch kann mit diesen Vibrationen, zumindest im Freiland, nicht konzentriert gegen *H. halys* vorgegangen werden. Aus grösserer Entfernung wird *H. halys* durch Pheromone angelockt. Diese dienen jedoch nur der Anlockung in ein bestimmtes Gebiet, können jedoch nicht genau lokalisiert werden. Deshalb sind Pheromone nur zum Monitoring und nicht zum Massenfang geeignet. Um sich während der Paarungszeit genau zu lokalisieren, kommunizieren *H. halys* mittels substratübertragener Vibrationen. Diese sind also besser geeignet für den Massenfang von *H. halys* (Polajnar, et al., 2016a).

Die Kommunikation startet immer mit der männlichen Vibration Male Song 1 (MS-1), welche weder Männchen noch Weibchen anlockt, weshalb sie kaum der Aggregation von *H. halys* dient. Auf diese antwortet das Weibchen mit seiner Kommunikation, welches nie von sich aus mit der Kommunikation beginnt. Diese Kommunikation besteht aus der Basis-Vibration Female Song 1 (FS-1) und der Balz-Vibration Female Song 2 (FS-2). Diese sind in Abbildung 8 abgebildet (Polajnar, et al., 2016b).





**Abbildung 8: Vibrationen von *H. halys*; MS-1 bzw. FS-1 ist die Basis-Vibration des Männchens bzw. Weibchens, FS-2 ist die Balz-Vibration des Weibchens (Polajnar, et al., 2016b)**

Während des Aussendens von FS-2 antworten die Männchen mit ihrem Male Song 2 (MS-2) genannten Signal, welches zum Teil die FS-2-Vibration überlappt. Darauf sucht das Männchen nach dem Weibchen, dass sich stationär verhält. Dabei erfolgt zur Orientierung immer wieder die Abfolge MS-1, FS-1, FS-2, bis das Weibchen vom Männchen gefunden wurde. Kurz vor der Paarung, in Kontakt mit dem Weibchen, sendet das Männchen seine Balz-Vibration Male Courtship Song (MCrS) aus, das Weibchen verhält sich hingegen ruhig (Polajnar, et al., 2016b).

FS-2 lockt mehr als 50 % der Männchen an, unabhängig ob auf Pflanzen oder einem künstlichen Untergrund. Diese Vibrationen können somit helfen die Männchen nicht nur in die Nähe einer Pheromon-Falle, sondern auch hinein zu locken. Jedoch können mithilfe von Vibrationen weder Weibchen noch die 30 bis 50 % inaktiveren Männchen in die Falle gelockt werden (Mazzoni, et al., 2017).

Auch bei *Nezara viridula* werden die Männchen durch die FCS genannte Vibration des Weibchens angelockt (Presern, et al., 2018).

Vibrationen werden aber auch genutzt, um das Schlüpfen der Nymphen zu synchronisieren und so, durch das Vermeiden von Ei-Kannibalismus (siehe Abbildung 9), deren

Überlebenschancen zu vergrößern. Die Vibration, welche beim Schlüpfen einer Nymphe durch das Aufbrechen des Eis entsteht, breitet sich über das gesamte Eigelege aus. Besonders ausgeprägt ist dieser Effekt, wenn die Eier aneinander kleben. Daraufhin schlüpfen diejenigen Embryos, welche fertig entwickelt sind, gleichzeitig. Dadurch kann der bei *H. halys* bekannte Ei-Kannibalismus durch die Nymphen verhindert werden. Die Nymphen bewegen sich die ersten Tage kaum vom Eigelege, da sie der Symbionten bedürfen, welche sich auf der Eioberfläche befinden. Da sie sich so längere Zeit auf den Eiern befinden, kannibalisieren sie gerne die Eier, um an deren Nährstoffe zu gelangen (Endo, et al., 2019) (Endo & Numata, 2017). Weitere Erkenntnisse zur Vibration als Kommunikationsmittel von Coleoptera-Arten findet man in der Literatur (Takanashi, et al., 2019).



**Abbildung 9: Kannibalismus einer Nymphe von *H. halys* an einem Ei (Senn, 2018)**

Es wurde festgestellt, dass das zusätzliche Anbringen von Vibratoren an die Fischerfalle (siehe 2.2.4 Fallen) die Anzahl Wanzenfänge signifikant erhöht ( $\alpha = 0.05$ ) (Hofer, 2018).

Die Vibrationen von *H. halys* befinden sich im Bereich von 0 bis 0.2 kHz und 0 bis -60 dB. Somit befinden sie sich ausserhalb der Hörschwelle des Menschen (siehe Abbildung 10) und können vom Menschen nicht wahrgenommen werden (Polajnar, et al., 2016b) (Wikipedia, 2019).

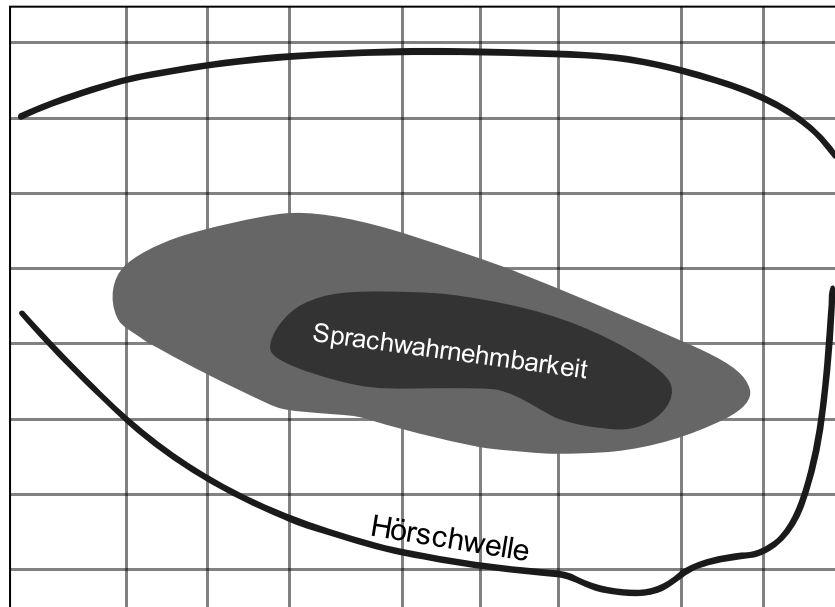


Abbildung 10: Die Hörschwelle des Menschen (User:Tehdog, 2019)

### 2.1.6 Wirtspflanzen

*H. halys* hat ein sehr breites Wirtsspektrum von mehr als 300 Wirtspflanzen weltweit. In der Schweiz wurden bis zum Jahr 2014 51 Pflanzenarten aus 32 Familien nachgewiesen (Haye, et al., 2014b), (Nielsen & Hamilton, 2009a). In Amerika wurden bis anhin mehr als 170 Wirtspflanzen nachgewiesen (Bergmann, et al., 2019). In Amerika bevorzugen alle Stadien einheimische Pflanzen gegenüber asiatischen Pflanzen (Martinson, et al., 2016).

Zu den Wirtspflanzen, welche gleichzeitig Kulturpflanzen des Menschen sind, zählen unter anderem Apfel, Birne, Kirsche, Pflaume, Aprikose, Pfirsich, Hasel, Peperoni, Gurke, Tomate, Bohne, Mais und Soja. Da insbesondere reife Früchte befallen werden, sind diese meistens nicht mehr verkäuflich (siehe dazu 2.1.7 Schäden) (Sostizzo, et al., 2018) (Martinson, et al., 2015).

### 2.1.7 Schäden

2017 gab es in einem Betrieb in Zürich mehr als 80 % Ausfall an Birnen, in Arbon am Bodensee wurden sogar 100 % der Birnen befallen (Abbildung 11). Im Gewächshaus der BioFresh AG in Tägerwilen gab es gegen Ende der Saison einen Ausfall von 70 % der Gurken (Abbildung 12), welche aber auch auf Thrips *Lygus rugulipennis* und *Nezara viridula* zurückzuführen sind, und mehr als 60 % Ausfall von Peperoni (Abbildung 13). Die Gewächshäuser mussten etwa einen Monat früher geräumt werden und es entstand ein Verlust von ca. 200'000 CHF (Thoss & Gelencser, 2018). Im Jahr 2018 wiederholte sich der Schaden bei der BioFresh AG von 2017 in Ausmass und Höhe (Sczepek, 2018).



Abbildung 11: Schaden an Birnen (Thoss & Gelencser, 2018)



Abbildung 12: Schaden an Gurken (Sczepek, 2018)



Abbildung 13: Schaden an Peperoni (Sczepek, 2018)

In den USA hat *H. halys* 2010 bereits einen Schaden von 37 Mio. US\$ im Apfelanbau verursacht. Weitere Kulturen wie Pfirsiche, Nektarinen, Tomaten, Peperoni, Mais und Soja erlitten ebenfalls grossen Schaden (Leskey & Nielsen, 2017). Genaue Zahlen zu den Schäden weltweit fehlen, da diese bis jetzt oft nicht erkannt wurden (Thoss, 2018).

Die Schäden beschreiben (Leskey & Nielsen, 2017) wie folgt:

«Die Saugtätigkeit von *H. halys* führt zu trockenem, korkhaltigem Gewebe direkt unter der Oberfläche der Frassstellen an Baumobst, kleinen Früchten, Nüssen und Gemüse. Die Futteraufnahme kann die Oberfläche von Fruchtstrukturen und Süßmaiskörnern verfärben, vertiefen und deformieren. Bei Haselnüssen kann der Frass zu Blindnüssen (einer Schale ohne Kern) führen.

Nymphen saugten deutlich häufiger an unverletzten Heidelbeeren als an Früchten, an denen kurz zuvor gesaugt wurde, da das Saugen vermutlich zu Veränderungen der Fruchtchemie und -qualität geführt hat. Ähnliche Studien mit anderen Wirtspflanzen wurden noch nicht durchgeführt.»

In (Rice, et al., 2014) sind die Schäden wie folgt beschrieben:

«Frassschäden an Bohnen (*Phaseolus* spp.) zeigen sich durch vernarbte, verblasste, eingesunkene Stellen an der Oberfläche der Hül [...] V [...] fl [...] F [...] To [...] d P [...] prika [...] fü [...] ß [...] ll [...] f d H [...] [...] Z [...] d v [...] d [...] Q [...] l ä [...] marktfähiger Produkte kann die Saugtätigkeit am Gemüse zu einer Verringerung des Fruchtansatzes und der späteren Ernte führen, da es zum Abbruch von Blütenknospen und jungen Fruchtkörpern kommt. Neben direkten Schäden können die Saugrüssel von *H. halys* auch pathogene Bakterien oder Hefen wie *Eremothecium coryli* übertragen, die Fruchtfäule verursachen können.»

«Die Frassverletzungen von *H. halys* an Steinobst, hauptsächlich Pfirsichen und Nektarinen, verursacht deformierte oder eingesunkene Stellen [...] B [...] K [...] o [...] t, einschließlich Äpfeln und Birnen, führt die Saugtätigkeit zu Vertiefungen an der Oberfläche und korkigen Stellen im Fruchtfleisch.»

«Bei Himbeeren und Brombeeren verursachen Stinkwanzenarten zwei Arten von Verletzungen. In der frühen Saison kann der Frass von *H. halys* zum Tod der Knospen führen, obwohl dieser offensichtliche Schaden noch weiter untersucht werden muss. In der späten Saison greift *H. halys* reife Beeren an [...]. D [...] F [...] fü [...] V [...] f ä [...] d [...] A [...] l [...] f [...] ü [...] . Kot, der während dem Frass von Stinkwanzen entsteht, kann den Beeren einen unangenehmen Geschmack verleihen.»

Behandlungsschwellen, ab welchen ein ökonomischer Schaden durch *H. halys* entsteht, sind noch nicht definiert. Einzig für Soja und Bohnen gibt es einen wirtschaftlichen Schwellenwert,

ab welchem eine Bekämpfung notwendig ist. Diese liegt bei 2.5 bzw. 3.5 Fängen bei 15-maligem Schwingen eines Netzes durch eng bzw. weit gesäte Soja-Bohnen. Alternativ liegt der Schwellenwert bei einem gefundenen Individuum pro Fuss (ca. 30 cm) einer Reihe (Tooker, 2012). Mithilfe von Fallen, bestückt mit den Pheromonen PHER und MDT (siehe 2.1.4 Pheromone), wurde der Behandlungszeitpunkt von Apfelanlagen, um die Schäden möglichst tief zu halten, bestimmt. Ab einer Fangquote von mehr als 20 Adulten pro Woche lohnt sich der Insektizideinsatz. Bei einer darunterliegenden Fangquote lohnt er sich nicht. Mithilfe dieses Schwellenwerts kann der Insektizideinsatz um 40 % reduziert werden (Short, et al., 2016).

Die Adulten von *H. halys* haben die grösste Frassaktivität zwischen 16 und 17 °C. Unter 3-6 °C und über 26-29 °C hören sie auf zu fressen (Wiman, et al., 2014).

Anfang Juli bis Ende August verursacht *H. halys* den grössten Schaden (Nielsen & Hamilton, 2009b). Mitten in dieser Zeit, Ende Juli, werden die meisten Eier gelegt, da dann immer noch Eier von der überwinterten Generation und die ersten Eier der Folgegeneration gelegt werden (Costi, et al., 2017).

Während der Saugaktivität können zudem Krankheiten von einer Pflanze zur nächsten übertragen werden, wie zum Beispiel der sogenannte Hexenbesen bei *Paulownia* spp. (Hiruki, 1999).

### **2.1.8 Weitere negative Auswirkungen von *Halyomorpha halys***

Invasive Arten, wie beispielsweise *H. halys*, können eine evolutionäre Falle für einheimische Parasiten sein. Dabei dient die Wanze als Wirt, in dem sich die Parasiten nicht entwickeln können. In den USA wurde nachgewiesen, dass *Telenomus podisi* seine Eier in Eier von *Podisus maculiventris* und *H. halys* ablegt, sich aber nur in den Eiern von *P. maculiventris* erfolgreich eine neue Generation von *T. podisi* entwickelt. Ein positiver Nebeneffekt war jedoch, dass bis zu 30 % der Eier von *H. halys* abstarben, obwohl sich darin kein Parasit entwickelte. Durch den eintretenden Rückgang der *T. podisi* Population könnten sich einheimische Baumwanzen, wie z.B. *P. maculiventris*, stärker ausbreiten. In Europa wurde beim einheimischen Parasit *Telenomus chloropus* Thomson derselbe Effekt wie bei der amerikanischen Art *T. podisi* nachgewiesen (Abram, et al., 2013).

### **2.1.9 Positive Nebeneffekte**

Während der Saugaktivität von *H. halys* werden Kohlenhydrate freigesetzt, die dann von Insekten, welche wichtige ökologische Dienstleistungen wie Bestäubung oder Parasitierung von Schädlingen erbringen, genutzt werden können (Martinson, et al., 2012).

Die Aldehyde, welche für den Gestank von *H. halys* verantwortlich sind, haben eine antibakterielle Wirkung. Sie schränken das Wachstum von *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, und *Pseudomonas aeruginosa*, *in vitro* enorm ein. Somit könnten sie als chemisches antimikrobielles Mittel eingesetzt werden (Sagun, et al., 2016).



## 2.2 Bekämpfung der marmorierten Baumwanze (*H. halys*)

### 2.2.1 Nützlinge

Natürliche Feinde zeigten bis anhin meist nur geringe Wirkung gegen *H. halys*, wobei *Anastatus* spp. und andere Schlupfwespenarten eine Parasitierungsrate von 55 % der Eigelege in Versuchen erreichten. Siehe hierzu auch (Leskey & Nielsen, 2017), (Haye, et al., 2015) und (Haye, 2014). Auch (Rice, et al., 2014) beschreibt Parasitierungsraten von 63 bis 85 % in Asien durch *Trissolcus* spp. (Siehe hierzu auch Kapitel 2.1.8 Weitere negative Auswirkungen von *Halyomorpha halys*).

### 2.2.2 Insektizide

*H. halys* kann mithilfe von geeigneten Insektiziden auf Fangpflanzen abgetötet werden. Dazu werden Adulte und Nymphen mittels Pheromonen zu einem Baum, der Fangpflanze, gelockt. Auf dieser halten sie sich in einem Umkreis von 2.5 m um die Pheromonquelle auf. Besonders gerne bleiben sie auf dem Baum, wenn es sich um eine Wirtspflanze handelt (MorrisonIII, et al., 2016).

Meist werden *H. halys* durch starke Insektizide, welche häufig in Europa gar nicht mehr erlaubt sind, nur für kurze Zeit betäubt, woraufhin sie wieder erwachen. Dahingegen sterben viele Nützlinge, welche mitbehandelt wurden, ab. Dadurch wiederum können sich andere Schädlinge stark vermehren (Leskey & Nielsen, 2017), (Leskey, et al., 2012), (Rice, et al., 2014).

Gute Wirkung gegen *H. halys* zeigen die beiden Insektizide Spinosad (100 % Mortalität nach sechs Tagen, bei doppelter Dosis) und Chlorpyrifos-ethyl (100 % Mortalität nach sechs Tagen, bei einfacher Dosis). Kaum Wirkung zeigen die Insektizide Thiaclopride und Azadirachtine A (Tugwell, et al., 2017).

Der Insektizideinsatz kann um bis zu 40 % verringert werden, wenn die Schadschwelle (Fang von 20 Adulten pro Woche) in Apfelkulturen beachtet wird. Erst ab dieser Schadschwelle lohnt sich ein Insektizideinsatz (Short, et al., 2016).

### 2.2.3 Licht

UV-A-Licht, auch Schwarzlicht oder ultraviolettes Licht genannt, zeigt eine gute Anlockwirkung auf *H. halys* (Nielsen & Hamilton, 2009a).

Am meisten wird *H. halys* von weissem (Wellenlänge 350 bis 720 nm, Max. bei 550 und 620 nm), blauem (Wellenlänge 350 bis 550 nm, Max. bei 430 nm) und ultraviolettem (Wellenlänge 300 bis 430 nm, Max. bei 360 nm) Licht angezogen. Im Feld erfolgten bei Blaulicht-Fallen weniger Beifänge, während Weisslicht-Fallen wesentlich attraktiver für *H. halys* waren, weshalb diese Lichtquellen vermutlich am besten für das Monitoring geeignet sind. Bei beiden Lichtquellen gelangten jedoch rund zehnmals mehr Beifänge in die Fallen, wie *H. halys* (Leskey, et al., 2015a).

### 2.2.4 Fallen

Fallen, welche mit PHER und MDT (Siehe hierzu 2.1.4 Pheromone) bestückt sind, eignen sich für ein Monitoring von *H. halys* (Acebes-Doria, et al., 2018).

Während der Hauptsaison fangen Licht-Fallen mehr Adulte *H. halys*, währenddessen gegen Ende Saison Pheromon-Fallen die grössere Fangquote aufweisen. Verwendet wurden Fallen mit blauem Licht (435 nm) und dem Pheromon PHER (Rice, et al., 2017b).

Duftstoffe der Wirtspflanzen von *H. halys* in Fallen erhöhen nicht deren Fangquote. Aber durch diese Duftstoffe wird *H. halys* länger auf ihren Wirtspflanzen festgehalten (MorrisonIII, et al., 2018).

Mit Pheromonen (PHER & MDT) bestückte Fallen aggregieren *H. halys* in einem Umkreis von 2.5 m um die Falle (siehe hierzu 2.1.4 Pheromone). Mittels Vibrationen könnten die Männchen in die Falle gelockt werden (siehe hierzu 2.1.5 Vibrationen).

Beim Vergleich mehrerer Fallentypen zeigten die Coroplast Pyramiden die grösste Fangquote (Morrison III, et al., 2015). Diese sind mit 1.22 m etwa 2.5-mal höher als die Fischerfalle. Die Fischerfalle wurde von Serge Fischer, Forscher an der Agroscope in Changins, entwickelt und von der Firma Andermatt Biocontrol AG produziert. In Versuchen zeigte sie aufgrund ihrer Farbe und Form die beste Anlockwirkung auf Individuen von *H. halys* (Fischer, 2018). Diese Fallen gibt es mit einem durchsichtigen oder mit einem grünen undurchsichtigen Deckel (siehe Abbildung 14).



Abbildung 14: Die Fischerfalle, hier mit grünem, undurchsichtigem Deckel

### 2.2.5 Weitere Bekämpfungsmöglichkeiten

Es wurde nachgewiesen, dass die Aldehyde trans-2-octenal und trans-2-decenal, welche in Sekreten von *H. halys* vorhanden sind, die entomopathogenen Pilze *Metarhizium*, *Beauveria*, und *Isaria* im Wachstum hemmen und sogar abtöten können (Pike, 2014). Auch bei späteren Anwendungen zeigte der Pilz *Beauveria bassiana* keine Wirkung gegen *H. halys* (Strickhof, 2018). Somit sind entomopathogene Pilze vermutlich nicht zur Bekämpfung von *H. halys* geeignet.

Eine Möglichkeit wäre die Kompletteinnetzung von Gewächshäusern oder Obstanlagen, welche aber sehr kostspielig sind und die Durchlüftung verschlechtern, wodurch die Gefahr von Pilzkrankheiten steigt (Strickhof, 2018).

Als Fangpflanzen geeignet ist eine Kombination aus Hirse (*Sorghum bicolor*) und Sonnenblumen (*Helianthus annuus*). *H. halys* bleibt länger bei Hirse und Sonnenblume und bewegt sich von Hirse und Sonnenblumen weniger weit weg als von Peperoni (*Capsicum annuum*). Somit ist Hirse in Kombination mit Sonnenblumen geeignet, als Fangpflanze Schäden an Peperonikulturen zu reduzieren (Blaauw, et al., 2016).



### 3 Material und Methoden

Die Versuche wurden auf dem Campus Grüntal der ZHAW in Wädenswil und im Betrieb BioFresh AG in Tägerwilen durchgeführt.

#### 3.1 Material

Im Folgenden sind einzelne Materialien, die während den Versuchen bei der BioFresh AG und auf dem Gelände der ZHAW verwendet wurden, genauer bezeichnet.

- Ökohum Bio Topferde
- Anzuchterde Floradur Block Bio
- 20 Fischer-Fallen von der Firma Andermatt Biocontrol AG
- 20 durchsichtige Deckel
- 9 Vibrationseinheiten erstellt durch Thomas Zurbrügg, siehe (Zurbrügg, 2018).  
Bestehend aus dem «Adafruit FX Sound Board 2217» und dem «SparkFun ecciter». Das Vibration-Spektrogramm beruht auf (Polajnar, et al., 2016b).
- 10 Akkus von [www.PNY.com](http://www.PNY.com), Model: AD7800, Kapazität 7800mAh/3.7V/28.86Wh, Output 5V 2.4A
- 5 grüne Deckel mit und 5 grüne Deckel ohne Lichtinstallation
- 24-mal Trece-Pheromon von Andermatt Biocontrol
- Silico-Sec von Andermatt Biocontrol
- UFA-Samen Gurken Slice King F1
- Insektennetz (Maschenweite < 1 mm)
- 60 Sandsäcke
- Coco-Bohnen *Phaeseolus vulgaris ssp. Vulgaris var. Vulgaris*
- Ungesalzene, ungeröstete Erdnüsse
- Frischhalteboxen aus Polypropylen (28 cm x 18 cm x 8 cm)
- Tränke aus Polystyrol (6.5 cm x 6.5 cm x 3.6 cm)
- 5 Metallringe, Durchmesser 9 cm, Höhe 2 cm
- 5 blaue LED-Strips von [www.paulmann.com](http://www.paulmann.com), Art.-Nr. 704.56, 1.5 W (Keine weiteren Details zum Lichtspektrum vom Hersteller zu erfahren.)

#### 3.2 Zeitplan

Tabelle 4: Zeitplan der Masterarbeit

08.12.17	Startgespräch mit Volker Sczepek (BioFresh AG)
28.03.18	Aufbau der Wanzenzucht
11.04.18	Erstes Treffen wegen Vibrationen mit Thomas Zurbrügg und Christoph Stamm
23.05.18	Übergabe der Falle an ZHAW Winterthur
31.05.18	Abholung des Prototyps von der ZHAW Winterthur
01.07.18	Ergebnisse aus Vorversuchen von Sheila Hofer
10.07.18	Materialabholung ZHAW Winterthur
13.07.18	Start Versuche bei BioFresh AG
27.08.18	Start der Versuche an der ZHAW
24.09.18	Ende Versuche bei BioFresh AG
01.10.18	Ende Versuche an der ZHAW

### 3.3 Fallen

Die Fallen bestanden aus dem Grundkonstrukt der Fischer-Falle (siehe 2.2.4 Fallen), welche von der Firma Andermatt Biocontrol AG vervielfältigt wurde. Diese bestehen aus einem schwarzen aufgerauten Unterbau und einem nach unten geöffneten Kübel mit durchsichtigem Deckel. In alle Fallen wurde Silico-Sec, amorphe Kieselgur, gegeben, um die gefangenen *H. halys* abzutöten. Diese stellten auch gleich die Kontroll-Fallen dar.

Bei den Pheromon-Fallen wurden zusätzlich die TRECE-Pheromonstreifen in den Deckeln befestigt. Bei den Vibrations-Pheromon-Fallen wurde neben den Pheromonstreifen eine Vibrationseinheit mittig auf dem Deckel mit doppelseitigem Klebeband befestigt. Bei der BioFresh AG wurden die Vibrationseinheiten direkt an das Stromnetz angeschlossen. Beim Versuch an der ZHAW wurden diese mittels eines Akkus betrieben. Auf dem Sound Board befand sich der von (Zurbrügg, 2018) erstellte Nachbau der Wanzenvibration (siehe Abbildung 15).

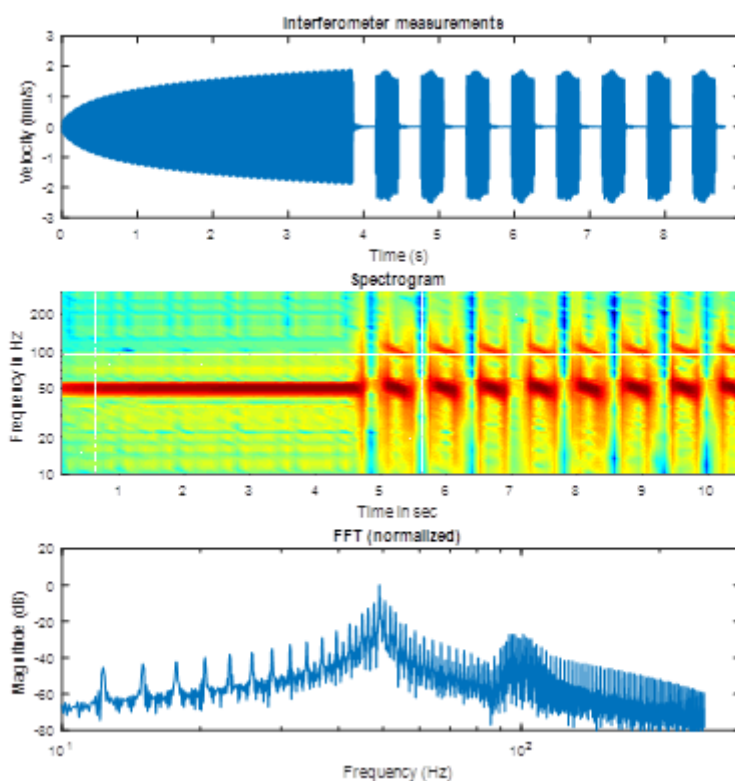


Abbildung 15: Nachgebaute Vibrationen FS-1 und FS-2 von *H. halys* (Zurbrügg, 2018)

Für die zweite Hälfte der Versuche an der ZHAW wurden grüne statt durchsichtige Deckel eingesetzt. Dabei wurden die fünf Deckel innen mit einem Metallring versehen, an welchem die LED-Strips befestigt wurden (siehe Abbildung 16). Die LED-Strips wurden ebenfalls mittels des Akkus betrieben (siehe Tabelle 5).



Abbildung 16: Grüner Deckel der Fallen mit installiertem LED-Strip

Tabelle 5: Komponenten der Fallentypen

	Durchsichtiger Deckel	Grüner Deckel	Silico-Sec	Trece-Pheromon	Vibrations-Einheit	Licht-Einheit
Kontroll-Fallen	x	x	x			
Pheromon-Fallen	x		x	x		
Vibrations-Pheromon-Fallen	x		x	x	x	
Pheromon-Vibrations-Licht-Fallen		x	x	x	x	x

### 3.4 Versuch bei der BioFresh AG

Die Versuche bei der BioFresh AG wurden in Gurken-, Block-Peperoni- und Sweetbite-Peperoni-Gewächshäusern zwischen dem 13. Juli und dem 24. September 2018 durchgeführt.

#### 3.4.1 Zeitplan

Tabelle 6: Zeitplan der Versuche bei BioFresh AG

03.03.18	Erste überwinterte <i>H. halys</i> bei Auberginen (Vorjahr Peperoni)
08.03.18	Gespräch wegen Durchführbarkeit mit Volker Sczepek
10.04.18	Erste <i>H. halys</i> bei Gurken gefunden
03.05.18	Erste Einstiche und Eiablage bei Gurken
02.06.18	Erste Einstiche bei Sweetbite-Peperoni
13.07.18	Zusammenbau von 10 Fallen und Start Versuche bei Gurken und Sweetbite-Peperoni
31.07.18	Bestimmung von Alter und Geschlecht der gefangenen <i>H. halys</i>
17.08.18	Bestimmung von Alter und Geschlecht der gefangenen <i>H. halys</i>
17.08.18	Ende Versuch bei Gurken und Start Versuch bei Block-Peperoni
29.08.18	Bestimmung von Alter und Geschlecht der gefangenen <i>H. halys</i>
24.09.18	Ende Versuche bei Block- und Sweetbite-Peperoni
28.09.18	Bestimmung von Alter und Geschlecht der gefangenen <i>H. halys</i>

### 3.4.2 Fallen

Im Versuch bei der BioFresh AG wurden insgesamt drei Kontroll-, drei Pheromon- und vier Vibrations-Pheromon-Fallen verwendet.

### 3.4.3 Versuchsaufbau

Die Fallen wurden an der Gewächshauskonstruktion so aufgehängt, dass ihr Fuss mit dem oberen Teil der Vegetation in Kontakt stand (siehe Abbildung 17). Die Vibrationseinheiten der Vibrations-Pheromon-Fallen wurden zudem mit Verlängerungskabeln an das Stromnetz angeschlossen. Weiter wurden die Pheromone am 17. August 2018, beim Umhängen der Fallen - auch bei V4, der Falle im Sweetbite-Peperoni-Gewächshaus - ausgetauscht.



Abbildung 17: Leere Falle in einem Gurkengewächshaus

Zwischen dem 13. Juli und dem 17. August 2018 hingen in den drei Gurkengewächshäusern 2 & 3 (46 a, 64 m x 72 m), 4 (32 a, 44.8 m x 72 m) und 5 (28 a, 38.4 m x 72 m) jeweils eine Kontroll-, eine Pheromon- und eine Vibrations-Pheromon-Falle (siehe Abbildung 18).

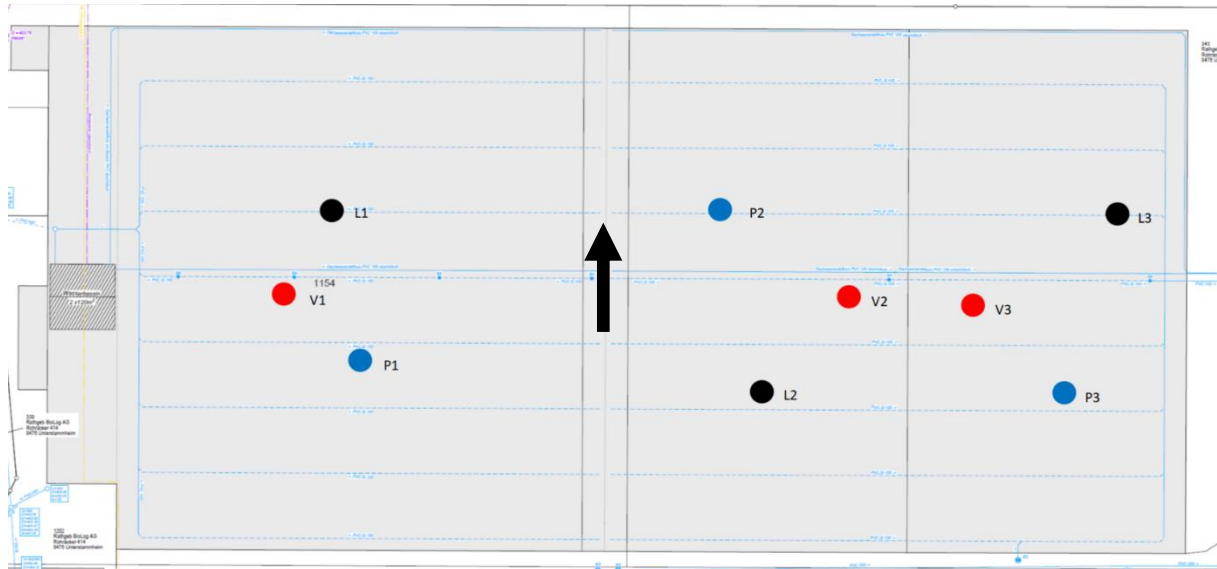
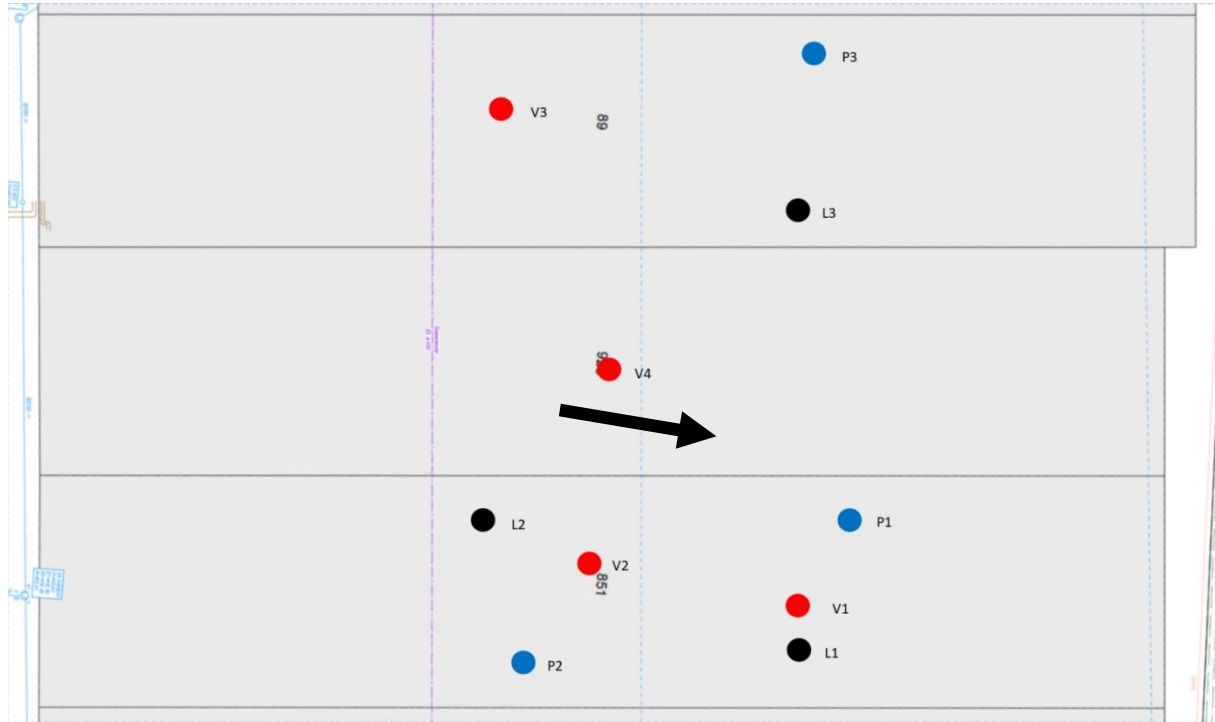


Abbildung 18: Fallenstandorte in den Gurken-Gewächshäusern; L= leere Fallen (schwarz), P=Pheromon-Fallen (blau), V=Vibrations-Pheromon-Fallen (rot); Links: Haus 2 & 3 (46 a), Mitte: Haus 4 (32 a), Rechts: Haus 5 (28 a); Norden liegt in Pfeilrichtung; angepasst anhand von (Tägerwilen, 2015)

Zwischen dem 17. August und dem 24. September 2018 hingen im Block-Peperoni-Gewächshaus 12 (22 a, 102 m x 22 m) jeweils zwei Kontroll-, zwei Pheromon- und zwei Vibrations-Pheromon-Fallen und im Block-Peperoni-Gewächshaus 14 (24 a, 105 m x 22 m) jeweils eine Kontroll-, eine Pheromon- und eine Vibrations-Pheromon-Falle (siehe Abbildung 19).

Zwischen dem 13. Juli und dem 24. September 2018 hing im Sweetbite-Peperoni-Gewächshaus 13 (22 a, 102 m x 22 m) eine Vibrations-Pheromon-Falle (siehe Abbildung 19).



**Abbildung 19:** Fallenstandorte in den Block-Peperoni-Gewächshäusern und im Sweetbite-Peperoni-Gewächshaus; L= leere Fallen (schwarz), P=Pheromon-Fallen (blau), V=Vibrations-Pheromon-Fallen (rot); Unten: Haus 12 (22 a), Mitte: Haus 13 (22 a), Oben: Haus 14 (24 a); Norden liegt in Pfeilrichtung; angepasst anhand von (Tägerwilen, 2015)

### 3.4.4 Datenerhebung

Jeden Tag wurde die Anzahl gefangener Wanzen je Falle von Volker Sczepek ausgezählt. Diese wurden am 31. Juli, 17. und 29. August sowie am 28. September 2018 nach Art, Alter und Geschlecht bestimmt.

Während der gesamten Versuchsdauer wurden zudem Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Strahlung in den Gewächshäusern automatisch aufgezeichnet.

### 3.5 Versuch an der ZHAW

Die sechs Versuchsdurchgänge an der ZHAW wurden zwischen dem 27. August und dem 1. Oktober 2018 in selbstgebauten insektendichten Tunneln durchgeführt. Die Studenten, Mitarbeiter und Besucher der ZHAW wurden mit Schildern über die Versuche informiert (siehe Anhang C und Abbildung 20).

#### 3.5.1 Zeitplan

Tabelle 7: Zeitplan der Versuche an der ZHAW

17.07.18	Aussaat Gurken
25.07.18 – 27.08.18	Aufbau der Insektentunnel
13.07.18 – 20.07.18	Start Versuchszucht für Durchgang 1
23.07.18 – 27.07.18	Start Versuchszucht für Durchgang 2
30.07.18 – 03.08.18	Start Versuchszucht für Durchgang 3
03.08.18 – 09.08.18	Start Versuchszucht für Durchgang 4
13.08.18 – 16.08.18	Start Versuchszucht für Durchgang 5
20.08.18 – 23.08.18	Start Versuchszucht für Durchgang 6
27.08.18	Start Durchgang 1
28.08.18 – 01.10.18	Bestimmung zugelaufener/ zugeflogener Wanzen
03.09.18	Ende Durchgang 1 und Start Durchgang 2
09.09.18	Ende Durchgang 2 und Start Durchgang 3
12.09.18	Zusammenbau der Pheromon-Vibrations-Licht-Fallen
14.09.18	Ende Durchgang 3 und Start Durchgang 4
19.09.18	Ende Durchgang 4 und Start Durchgang 5
24.09.18	Ende Durchgang 5 und Start Durchgang 6
01.10.18	Ende Durchgang 6 und Abbau der Insektentunnel

#### 3.5.2 Gurkenpflanzen

Die Gurken wurden am 17. Juli 2018 in 12 cm Töpfen in der Anzuchterde Floradur Block Bio ausgesät. Daraufhin wurden sie durch die Gärtner der ZHAW Wädenswil mehrmals wöchentlich gegossen. Nach dem Auspflanzen ins Freiland wurden sie zu Beginn angegossen und danach nur bei Bedarf bewässert.

#### 3.5.3 Insektentunnel

Die zehn Insektentunnel wurden zwischen dem 25. Juli und dem 27. August 2018 aufgebaut. Dafür wurde Mulchfolie in 5 m x 1 m grosse Stücke geschnitten. Diese wurden mit je sechs Plastiknägeln auf dem Boden befestigt. In den Ecken wurden nach dem Vorlochen jeweils ein ca. 1.60 m hoher Holz-Pfosten etwa 30 cm tief eingeschlagen und mit einem ca. 1.50 m hohen Holz-Pfosten, welcher wenige Zentimeter eingeschlagen wurde, gestützt. An den Längsseiten der Tunnel wurde jeweils ein Plastikdraht 1 m über der Erdoberfläche zwischen den Pfosten gespannt und mit einer Krampe pro Pfosten befestigt. Über die Plastikdrähte wurde ein insektendichtes Netz gespannt und an der Mulchfolie, ausser an einem Ende der Tunnel, mit Heftklammern befestigt. Das offene Ende wurde mit Wäscheklammern verschlossen. Zusätzlich wurden die Naht zwischen Netz und Mulchfolie an den Längsseiten mit je zwei Sandsäcken und an den Enden mit je einem Sandsack beschwert, um ein Ausreissen der Heftklammern durch Wind zu verhindern.

An einer Längsseite der Tunnel (siehe Abbildung 20) wurden je drei Gurkenpflanzen in ein 30 cm x 30 cm x 30 cm grosses Loch, gefüllt mit einem Erde-Substrat-Gemisch, bestehend aus dem Aushub und Ökohum Bio Topferde, eingesetzt. Die Triebspitzen wurden zwischen Netz und Mulchfolie in die Tunnel gezogen.





Abbildung 20: Insektentunnel 1a bis 1e auf dem Gelände der ZHAW Wädenswil

### 3.5.4 *Halyomorpha halys*

Die *H. halys* wurden in einem Klimaraum der Agroscope bei einer Temperatur von 27 °C und 70 % relativer Luftfeuchtigkeit aufgezogen. Die dafür benötigten Eier stammten aus der Erhaltungszucht, in welcher die *H. halys* bei einer Temperatur von 25 °C und 70 % relativer Luftfeuchtigkeit gehalten wurden.

In eine Frischhaltebox aus Polypropylen (28 cm x 18 cm x 8 cm) wurde ein zugeschnittenes grünes Fliesspapier als Bodenabdeckung gelegt. Als Nahrung wurde eine mit Leitungswasser gefüllte Tränke aus Polystyrol (6.5 cm x 6.5 cm x 3.6 cm), mit einem 1 cm grossen Loch im Deckel, durch welches eine Dental-Watterolle gesteckt wurde, eine Coco-Bohne (*Phaseolus vulgaris ssp. vulgaris var. Vulgaris*) und eine Petrischale mit ungesalzenen, ungerösteten Erdnüssen zur Verfügung gestellt. Auf den Tränken wurden jeweils zwei bis drei Eigelege platziert. Die Boxen wurden mithilfe von einem Netz (Maschenweite kleiner als 0.8 mm) und dem Deckel (mit rundem Loch, 15 cm Durchmesser) verschlossen. Das Futter wurde je nach Bedarf ausgewechselt.

Pro Versuchsdurchgang wurden acht Boxen zusammengestellt, um pro Tunnel etwa 20 männliche *H. halys* aussetzen zu können. Je Eigelege sollten 10 bis 15 männliche *H. halys*, also pro Versuchsdurchgang mehr als 200 männliche *H. halys* (160 bis 360 Stück) vorhanden sein. Sobald die *H. halys* eines Durchgangs das Adultstadium erreicht hatten, wurden sie aufgrund ihres Geschlechts sortiert. Die Weibchen wurden in einer geschlossenen Box mithilfe von Silico-Sec abgetötet, die Männchen in zehn, mithilfe von je einem Netz und Deckel verschlossene, Boxen aufgeteilt (ohne Futter). Diese wurden für die Versuchsdurchführung verwendet.



### 3.5.5 Fallen

Im Versuch an der ZHAW wurden insgesamt zehn Fallen verwendet. In den ersten drei Versuchsdurchgängen wurden die originalen durchsichtigen Deckel verwendet. Jeweils fünf ohne und fünf mit Pheromon und Vibration. In den zweiten drei Durchgängen wurden die undurchsichtigen grünen Deckel verwendet. Jeweils fünf ohne und fünf mit Pheromon, Vibration und Licht (siehe Abbildung 21).



Abbildung 21: Licht-Vibrations-Pheromon-Falle vor dem Tunnel 2a

### 3.5.6 Versuchsaufbau

Die im Kapitel 3.5.3 genannten Insektentunnel wurden an zehn Standorten aufgebaut (siehe Abbildung 22). Die Standorte für die Tunnel mit den Kontroll-Fallen lagen 0.5 m auseinander, die Standorte für die Tunnel mit den Pheromon-Vibrations-Fallen, bzw. Pheromon-Vibrations-Licht-Fallen lagen 50 m auseinander, damit sie sich nicht durch die Pheromone gegenseitig beeinflussten. Nahe der Tunnel 2e und 2d befand sich eine grössere Birnenanlage, nahe der Tunnel 2d und 2c ein Wald und neben den Tunneln 2a, 2b und 2c eine Reihe Hochstammbäume. Neben den Tunneln 1c und 2a bis 2e wurden jeweils zwei iButton-Logger an einem Janusstab unter einer Aluschale installiert. Diese zeichneten stündlich die Temperatur und die relative Luftfeuchtigkeit auf.

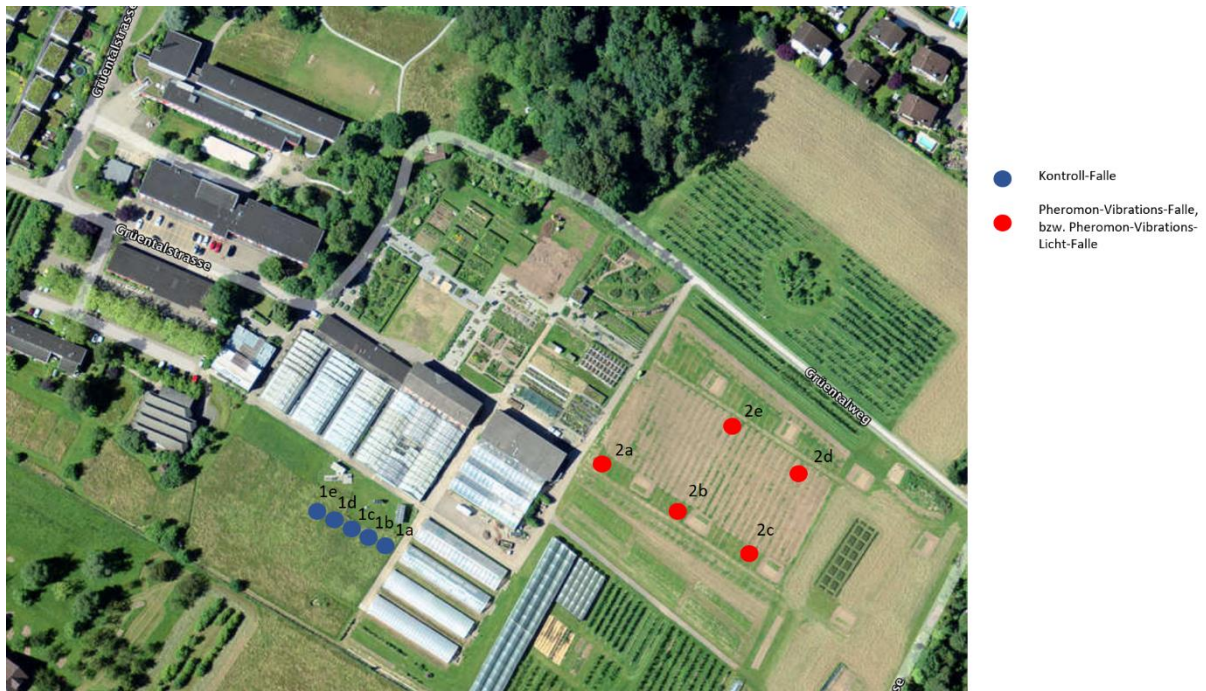


Abbildung 22: Standorte der Insektentunnel des Versuchs an der ZHAW Wädenswil; Kontroll-Fallen (blau) und (Licht-)Vibrations-Pheromon-Fallen (rot); Norden ist oben; angepasst anhand von (Mapsearch, 2018)

### 3.5.7 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Die Fallen wurden am offenen Ende der Tunnel auf der Mulchfolie installiert. Im geschlossenen Ende der Tunnel wurden die Frischhalteboxen mit den männlichen *H. halys* geöffnet und daraufhin die Tunnel verschlossen. In den einzelnen Durchgängen wurde folgende Anzahl an *H. halys* ausgesetzt (siehe Tabelle 8):

Tabelle 8: Anzahl ausgesetzte *H. halys* je Versuchsdurchgang

Versuchsdurchgang	Anzahl <i>H. halys</i>
1	13
2	11
3	13
4	8
5	8
6	8

Während fünf bis sieben Tagen wurde beobachtet, welche Stadien von *H. halys* den Tunneln zuflogen bzw. zuwanderten. Daraufhin wurde ausgezählt, wie viele *H. halys* sich in den Fallen, neben den Fallen (im 1 m x 1 m x 1 m Würfel rund um die Falle) und weiter weg von den Fallen befanden. Die wiedergefundenen *H. halys* wurden abgetötet, um sie beim darauffolgenden Durchgang nicht noch einmal zu zählen. Zudem wurden während der gesamten Versuchsdauer Lufttemperatur und -feuchtigkeit aufgezeichnet.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Versuch bei der BioFresh AG

Bei der BioFresh AG wurden die Anzahl Fänge pro Tag, Geschlecht, Alter und Art der gefangenen Individuen, sowie die Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Strahlung erhoben. Die Anzahl Fänge wurden auf ihre Normalverteilung und Varianzhomogenität hin überprüft. Da die Normalverteilung jeweils nicht erfüllt wurde, wurden die Ergebnisse mittels des Kruskal-Wallis-Test,  $\alpha = 0.05$ , auf signifikante Unterschiede überprüft. Post-Hoc wurde der Wilcoxon-Test durchgeführt.

#### 4.1.1 Anzahl Fänge pro Tag

In den Gurken-Kulturen wurden täglich zwischen 0 und 7 Wanzen (Mittelwert 0.46) in den Vibrations-Pheromon-Fallen, zwischen 0 und 10 Wanzen (Mittelwert 0.54) in den Pheromon-Fallen und zwischen 0 und 1 Wanzen (Mittelwert 0.04) in den leeren Fallen gefangen (Siehe Anhang A). Die Anzahl Fänge pro Tag der leeren Fallen unterschied sich signifikant von denen der Vibrations-Pheromon- ( $p = 4.2 \cdot 10^{-5}$ ) und der Pheromon-Fallen ( $p = 2.8 \cdot 10^{-6}$ ). Die Anzahl Fänge der beiden letztgenannten Fallentypen unterschied sich nicht signifikant voneinander ( $p = 0.51$ ) (Siehe Abbildung 23).

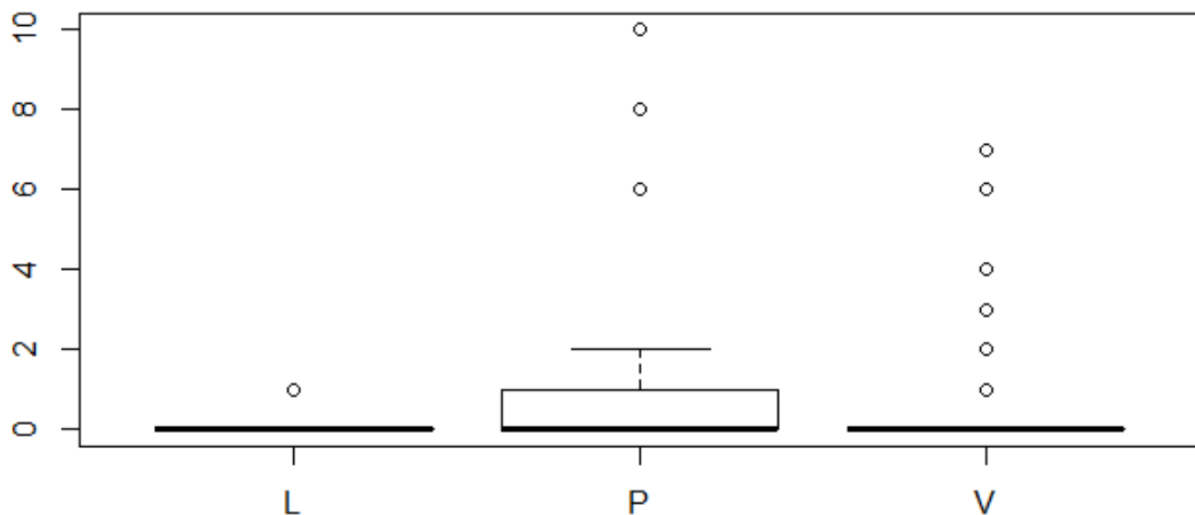
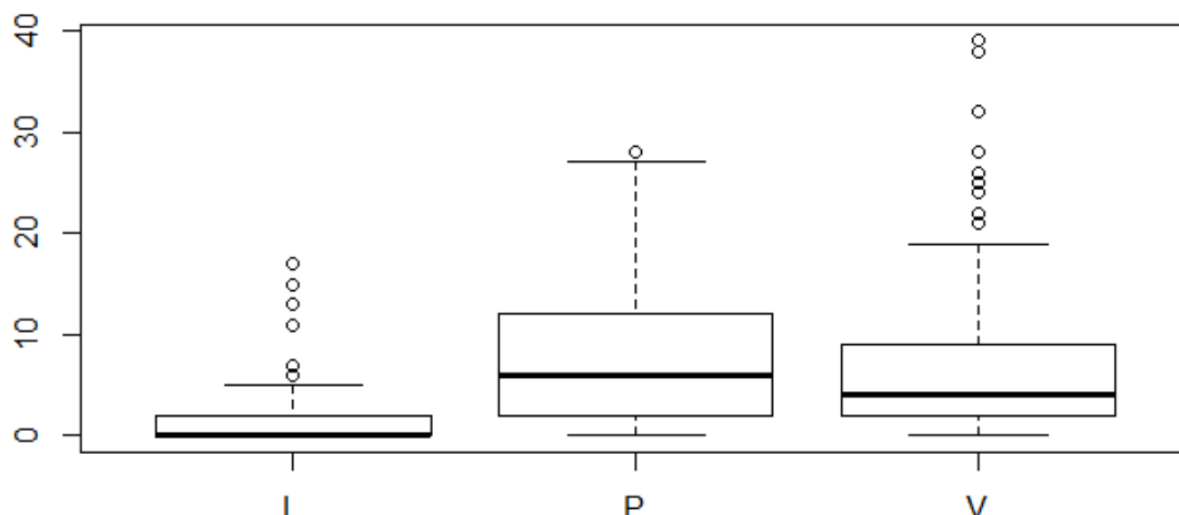


Abbildung 23: Anzahl Fänge pro Tag bei Gurken je Fallentyp

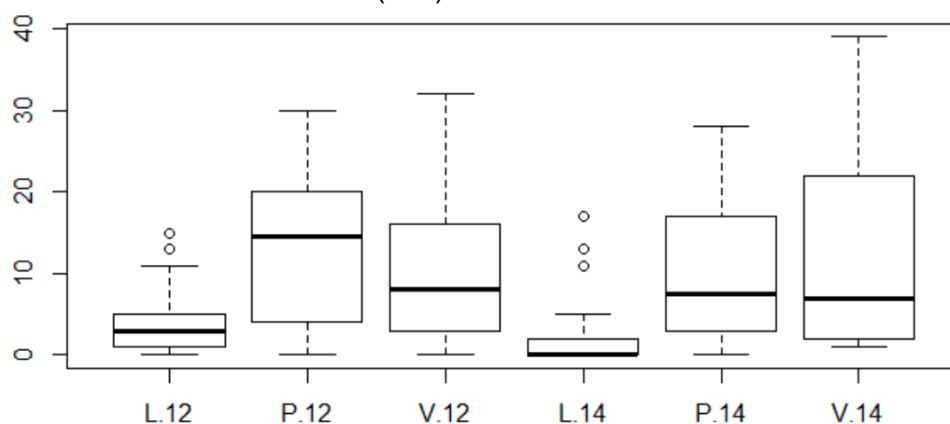
In den Block-Peperoni-Kulturen wurden täglich zwischen 1 und 39 Wanzen (Mittelwert 7.8) in den Vibrations-Pheromon-Fallen, zwischen 1 und 28 Wanzen (Mittelwert 7.6) in den Pheromon-Fallen und zwischen 1 und 17 Wanzen (Mittelwert 1.7) in den leeren Fallen gefangen (Siehe Anhang A). Die Anzahl Fänge pro Tag der leeren Fallen unterschied sich signifikant von denen der Vibrations-Pheromon- ( $p = 1 \cdot 10^{-13}$ ) und der Pheromon-Fallen ( $p < 2 \cdot 10^{-16}$ ). Die Anzahl Fänge der beiden letztgenannten Fallentypen unterschied sich nicht signifikant voneinander ( $p = 0.21$ ) (Siehe Abbildung 24).



**Abbildung 24: Anzahl Fänge pro Tag bei den Block-Peperoni je Fallentyp**

In der Sweetbite-Peperoni-Kultur wurden täglich zwischen 0 und 43 Wanzen (Mittelwert 13.0; Mittelwert 1. Hälfte 6.4, Mittelwert 2. Hälfte 19.3) in der Vibrations-Pheromon-Falle gefangen (Siehe Anhang A).

Die Gesamtanzahl an Fängen der beiden Peperonigewächshäuser zeigte bei keinem Fallentyp signifikante Unterschiede (Siehe Abbildung 25). Insgesamt hatte das Gewächshaus 12 mehr Fänge (489 bzw. 128) bei den Pheromon- und leeren Fallen als Gewächshaus 14 (377 bzw. 66) und weniger Fänge (382) bei den Vibrations-Pheromon-Fallen als Gewächshaus 14 (504).



**Abbildung 25: Anzahl Fänge pro Block-Peperoni-Gewächshaus je Fallentyp. Im Gewächshaus 12 hing die doppelte Anzahl von jedem Fallentyp wie im Gewächshaus 14.**

Die Vibrations-Pheromon-Falle in der Sweetbite-Peperoni-Kultur fing signifikant ( $p = 5.4 \cdot 10^{-6}$  bzw.  $p = 0.00032$ ) mehr Wanzen als die Vibrations-Pheromon-Fallen in den Gurken- bzw. Block-Peperoni-Kulturen (siehe Abbildung 26 und Abbildung 27).



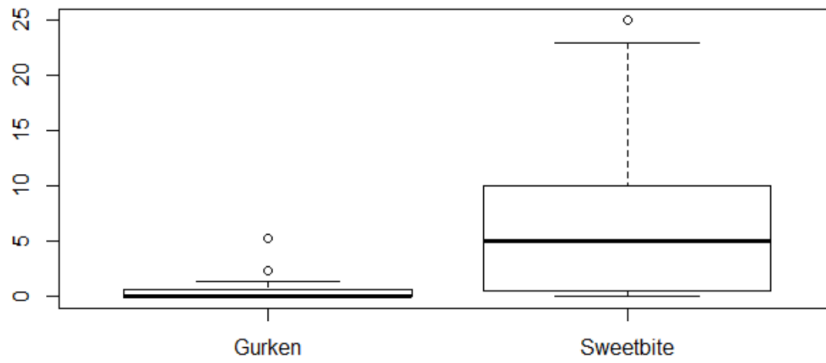


Abbildung 26: Anzahl Fänge der Vibrations-Pheromon-Fallen pro Tag in den Gurken- und Sweetbite-Peperoni-Kulturen zwischen dem 14.07. und dem 17.08.2018

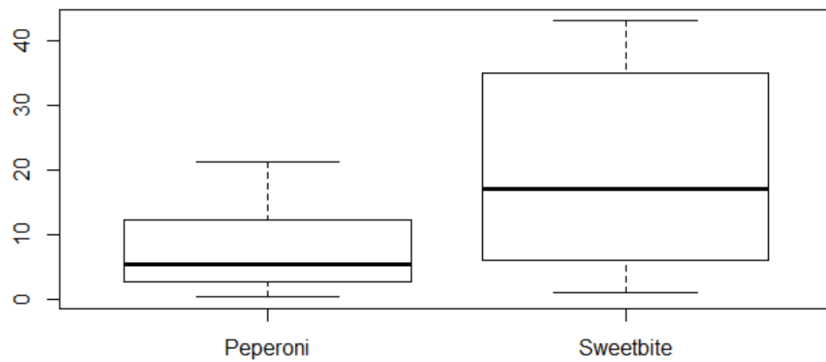


Abbildung 27: Anzahl Fänge der Vibrations-Pheromon-Fallen pro Tag in den Block- und Sweetbite-Peperoni-Kulturen zwischen dem 18.08. und dem 24.09.2018

#### 4.1.2 Wanzen bestimmt nach Art, Alter und Geschlecht

In den Block- und Sweetbite-Peperoni-Kulturen gingen meist mehr der früheren Nymphenstadien, als der älteren Nymphenstadien in die Fallen. Insbesondere das N2-Stadium ging signifikant häufiger in die Fallen als die anderen Nymphenstadien ( $p = 0.0023$ ). Bei den Vibrations-Pheromon-Fallen gingen etwas mehr Nymphen des Stadiums N5 als des Stadiums N4 in die Fallen (siehe Abbildung 28 und Abbildung 29).

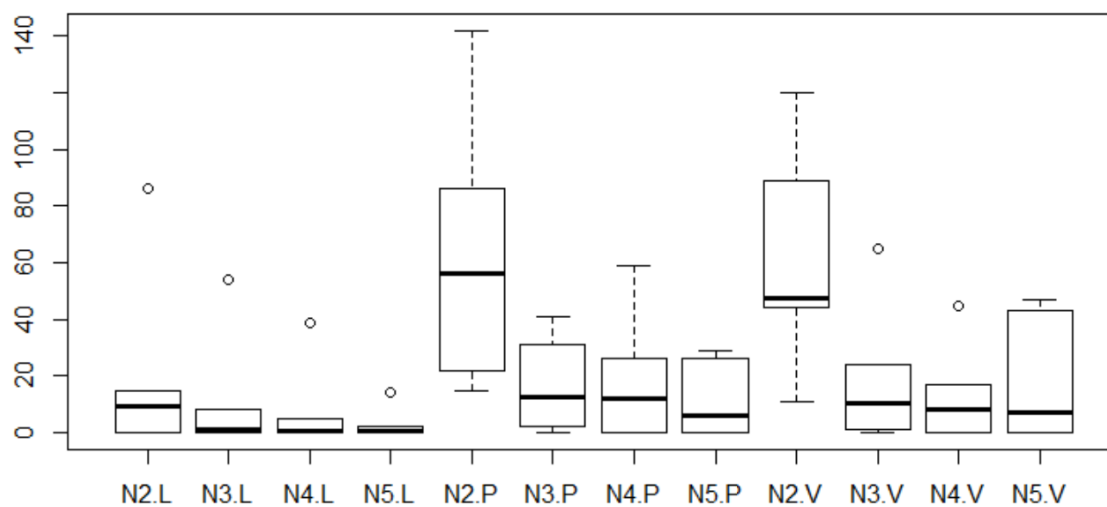
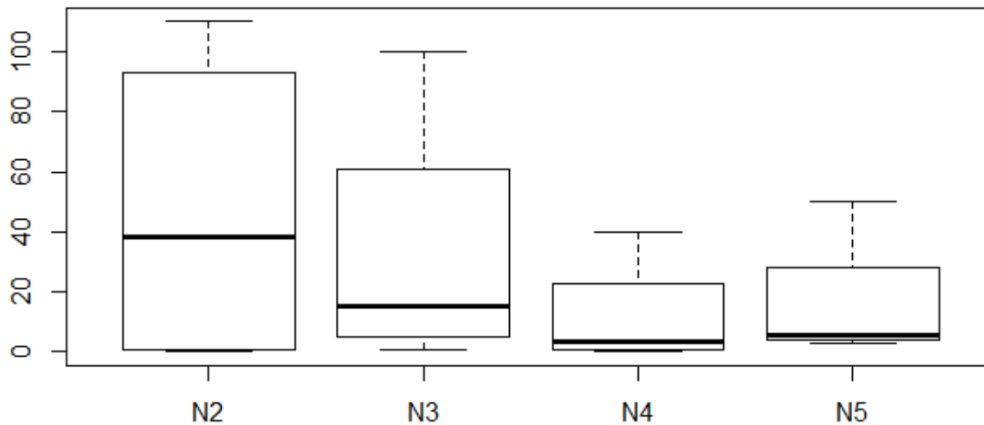


Abbildung 28: Anzahl Nymphen der vier agilen Stadien je Fallentyp in den Block-Peperoni-Kulturen; N2-N5: Nymphenstadien zwei bis fünf, L= Leere Falle, P=Pheromon-Falle und V=Vibrations-Pheromon-Falle



**Abbildung 29: Anzahl Nymphen der vier agilen Stadien in der Sweetbite-Peperoni-Kultur**

In den Gurken-Kulturen gingen etwa viermal mehr Männchen wie Weibchen in die Vibrations-Pheromon- bzw. Pheromon-Fallen (siehe Tabelle 9). In den Block-Peperoni-Kulturen gingen etwa 6 % bzw. 13 % mehr Männchen in die Pheromon- bzw. Vibrations-Pheromon-Fallen (siehe Tabelle 10). In der Sweetbite-Peperoni-Kultur gingen etwa 27 % mehr Weibchen als Männchen in die Vibrations-Pheromon-Falle (siehe Tabelle 11).

**Tabelle 9: Anzahl Weibchen und Männchen je Fallentyp in den Gurken-Kulturen**

	V	P	L
W	4	4	0
M	16	18	0

**Tabelle 10: Anzahl Weibchen und Männchen je Fallentyp in den Block-Peperoni-Kulturen**

	V	P	L
W	150	118	0
M	170	126	2

**Tabelle 11: Anzahl gefangener Weibchen und Männchen in der Sweetbite-Peperoni-Kultur**

	V
W	293
M	229

In den Fallen der verschiedenen Gewächshäuser waren nur vereinzelte Beifänge zu verzeichnen (siehe Tabelle 12 und Tabelle 13). Insbesondere in den Fallen der Gurken-Gewächshäuser wurden vereinzelt Exemplare von *Lygus rugulipennis* und *Nezara viridula* gefunden. Im Block-Peperoni-Gewächshaus wurden neben einzelnen *Lygus rugulipennis* drei Marienkäfer als Beifang verzeichnet. Im Sweetbite-Peperoni-Gewächshaus wurde eine adulte *Lygus rugulipennis* gefangen.

**Tabelle 12: Andere Wanzenarten in den Fallen der Gurken-Gewächshäuser**

	V1	P1	L1	V2	P2	L2	V3	P3	L3
<i>Nezara viridula</i> , N3	2					1			
<i>Nezara viridula</i> , A								1	
<i>Lygus rugulipennis</i> , A		7		3		1	6		2

**Tabelle 13: Andere Wanzen- und Käferarten in den Fallen der Block-Peperoni-Gewächshäuser**

	V1	P1	L1	V2	P2	L2	V3	P3	L3
<i>Lygus rugulipennis</i> , A		2		1			1	1	1
Schwarzer Marienkäfer mit orangen Punkten		1							1
Roter Marienkäfer mit schwarzen Punkten	1								

### 4.1.3 Klimatische Daten

Die Kurven der Sonneneinstrahlung [ $W/m^2$ ] und die der Anzahl Wanzenfänge haben ähnliche Verläufe. Die Anzahl Wanzenfänge steigt jeweils kurz nach einem Anstieg der Sonneneinstrahlung an. In den Gurken-Gewächshäusern (Abbildung 30) ist dieser Effekt weniger stark ausgeprägt als in den Block- und Sweetbite-Peperoni-Häusern (Abbildung 31 und Abbildung 32).

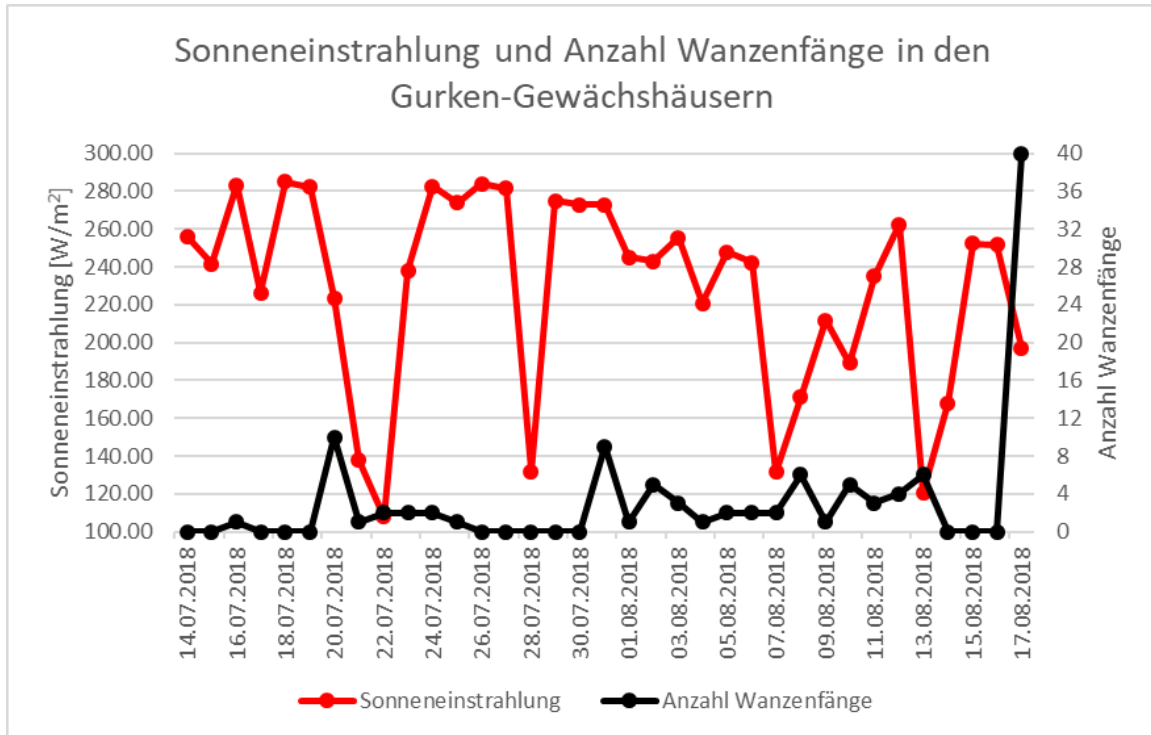


Abbildung 30: Sonneneinstrahlung und Anzahl Wanzenfänge in den Gurken-Gewächshäusern

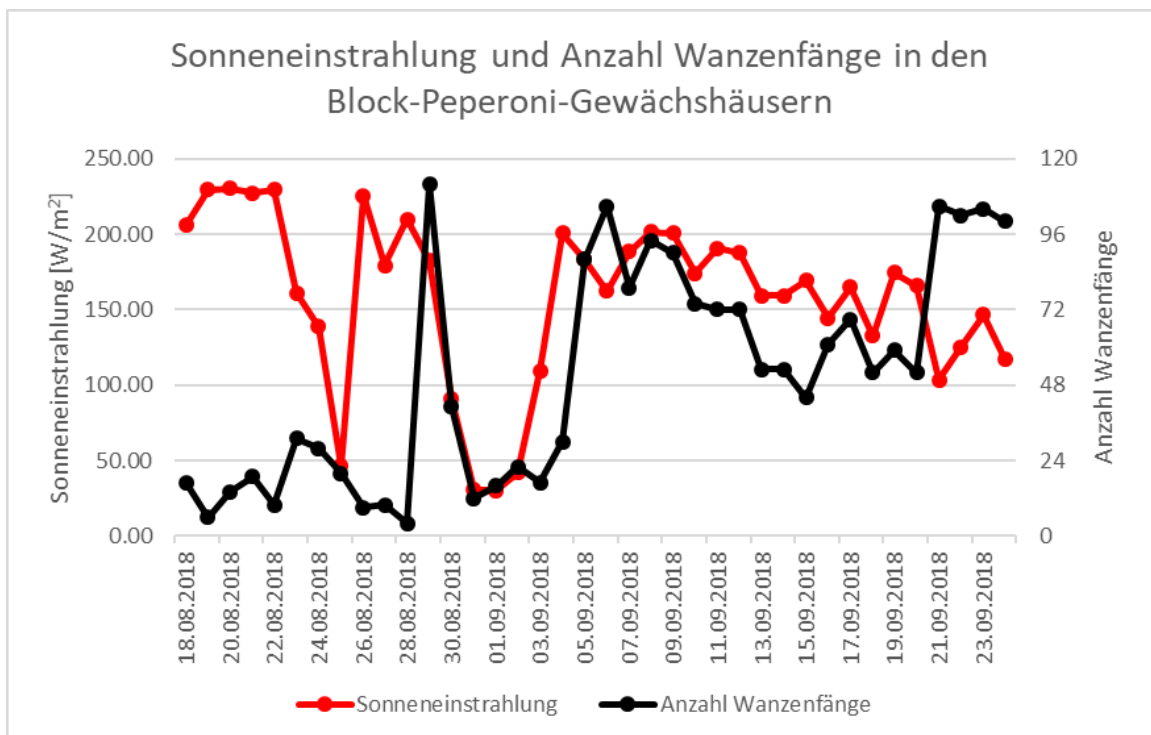


Abbildung 31: Sonneneinstrahlung und Anzahl Wanzenfänge in den Block-Peperoni-Gewächshäusern



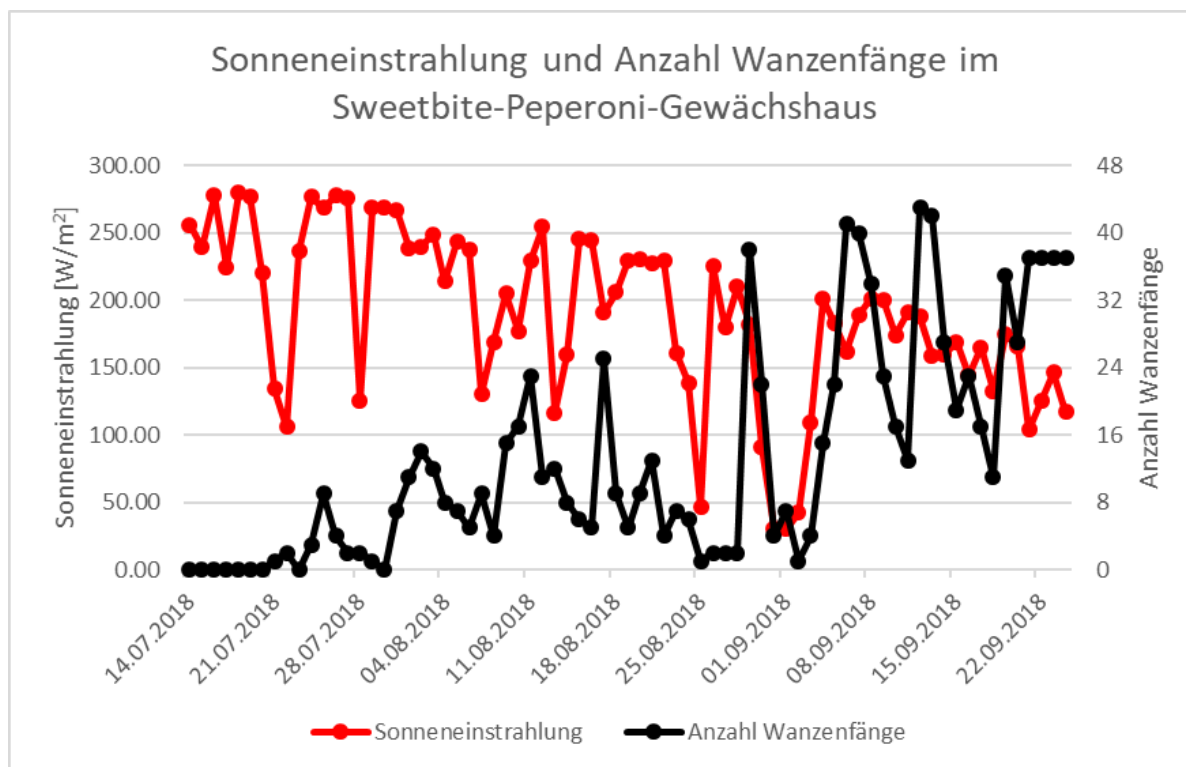
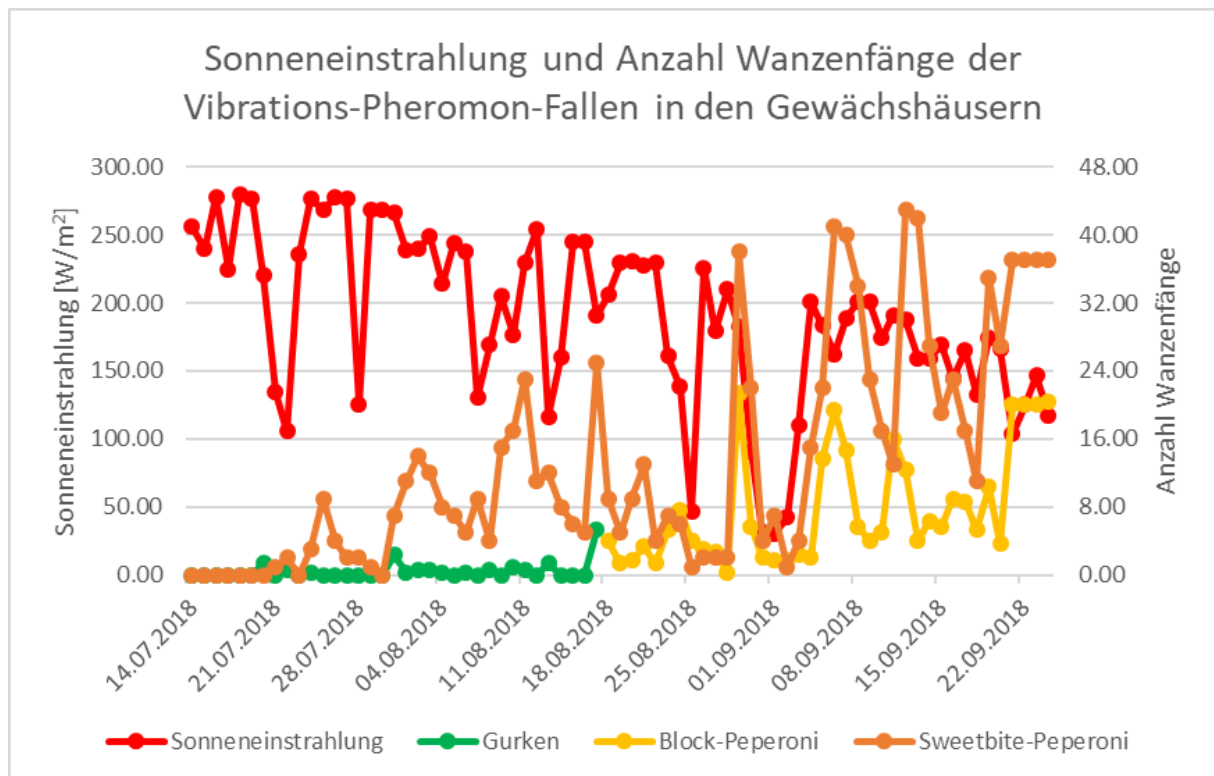


Abbildung 32: Sonneneinstrahlung und Anzahl Wanzenfänge im Sweetbite-Peperoni-Gewächshaus

Die Kurven der Temperatur [°C] und der relativen Luftfeuchtigkeit [%] zeigen hingegen kaum Gemeinsamkeiten mit der Anzahl Wanzenfänge (Abbildungen im Anhang B). Gewisse visuell ersichtliche gleichzeitige Auf- und Abstiege der Kurven, wie beispielsweise die Luftfeuchtigkeit von Gewächshaus 14 und die Anzahl Wanzenfänge (Block-Peperoni-Gewächshaus), sind nicht auf einen Zusammenhang zurückzuführen. Hierbei war das Gewächshaus 12 für den Anstieg an Wanzenfängen verantwortlich.

Die Anzahl Wanzenfänge in den verschiedenen Kulturen steigen und sinken etwa zeitgleich (Abbildung 33 und Abbildung im Anhang B).



**Abbildung 33: Sonneneinstrahlung und Anzahl Wanzenfänge der Vibrations-Pheromon-Fallen in den verschiedenen Gewächshäusern**

#### 4.1.4 Weitere Beobachtungen

Bei den Vibrations-Pheromon-Fallen hielten sich Nymphen ab dem 2. Stadium gerne auf der Schnur auf, an welcher die Falle aufgehängt war.

Im Umkreis von 2 m um die verschiedenen Fallen wurden, auch von Volker Sczepek, gleich viele *H. halys* pro Flächeneinheit festgestellt wie in grösserer Entfernung (mehr als 10 m) (Sczepek, 2018).

## 4.2 Versuch an der ZHAW

### 4.2.1 Wiederfangquote

Im Schnitt wurden mehr als 70 % der *H. halys* wiedergefunden (siehe Tabelle 14). Beim mit \* bezeichneten Durchgang war nach einem Sturm das Netz von Tunnel 2c in zwei Ecken defekt.

**Tabelle 14: Wiederfangquote beim Vergleich von leeren und (Licht-)Vibrations-Pheromon-Fallen**

	leere Falle	Vibrations-Pheromon-Falle
1	72.31 %	70.77 %
2	87.27 %	78.18 %
3	69.23 %	86.15 %
Total	76.27 %	78.37 %
	leere Falle	Licht-Vibrations-Pheromon-Falle
4	85.00 %	92.50 %
5	85.00 %	*72.50 %
6	62.50 %	52.50 %
Total	77.50 %	72.50 %

### 4.2.2 Fallenfänge

Beim Vergleich der leeren und Vibrations-Pheromon-Fallen wurden in den letztgenannten mehr als dreimal so viele *H. halys* wie in den leeren Fallen gefangen (siehe Tabelle 15). Beim Vergleich der leeren Fallen und der Licht-Vibrations-Pheromon-Fallen wurde in den letztgenannten nur der dritte Teil wie in den erstgenannten gefangen (siehe Tabelle 15).

**Tabelle 15: Fallenfänge beim Vergleich von leeren und Vibrations-Pheromon-Fallen**

	leere Falle	Vibrations-Pheromon-Falle
1	1.54 %	4.62 %
2	1.82 %	5.45 %
3	0.00 %	1.54 %
Total	1.12 %	3.87 %
	leere Falle	Licht-Vibrations-Pheromon-Falle
4	0.00 %	0.00 %
5	5.00 %	*0.00 %
6	2.50 %	2.50 %
Total	2.50 %	0.83 %

### 4.2.3 Auf den Tunneln beobachtete Wanzen

Auf den Tunneln mit leeren Fallen wurden insgesamt drei weibliche *H. halys* beobachtet. Diese waren 10 min nach dem Beobachtungszeitpunkt alle verschwunden. Auf den Tunneln, die Fallen mit Pheromonen enthielten, wurden insgesamt zwischen 11 und 78 *H. halys* der Nymphen-Stadien N2-N5, sowie weibliche und männliche *H. halys* beobachtet. Am 5. September 2018 wurde beobachtet, wie auf dem Tunnel 2b eine weibliche *H. halys* durch eine Wespe gefressen wurde. Auf dem Tunnel 2d befand sich am 5. September 2018 zudem eine Lederwanze (siehe Tabelle 16).

**Tabelle 16: Auf den Tunneln zwischen dem 28.08. und 01.10.2018 beobachtete, zugewanderte Wanzen**

Tunnel	1a	1b	1c	1d	1e	2a	2b	2c	2d	2e
Anzahl Wanzen	0	0	1	1	1	13	11	40	78	20

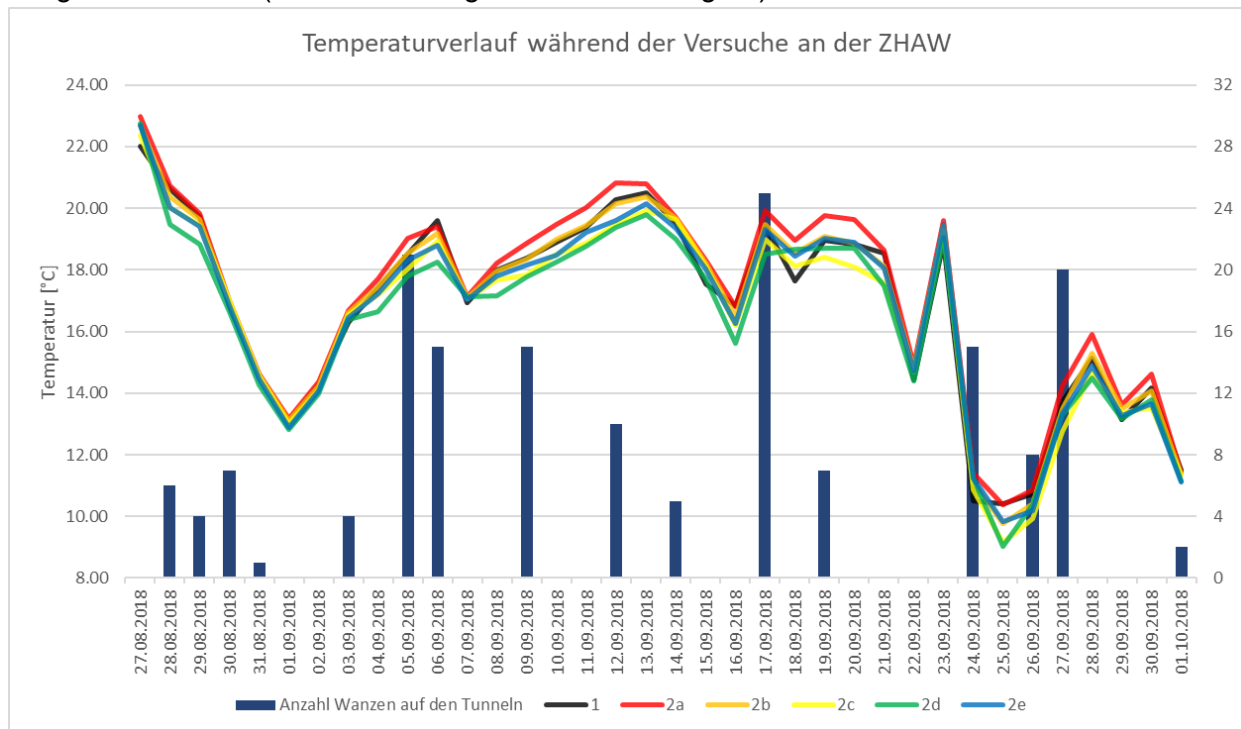
Die meisten der auf den Tunneln beobachteten *H. halys* sind Nymphen im zweiten Stadium. Zudem befanden sich insgesamt mehr weibliche als männliche *H. halys* auf den Tunneln (siehe Tabelle 17).

**Tabelle 17: Auf den Tunneln beobachtete Wanzen, bestimmt nach Art, Alter und Geschlecht**

Art, Geschlecht bzw. Nymphenstadium	m	w	N2	N3	N4	N5	Lederwanze
Anzahl	3	14	116	20	8	3	1

#### 4.2.4 Klimatische Daten

Die Hälfte der iButton Temperatur- und Feuchtigkeitslogger hat während der Versuche keine Daten aufgezeichnet. Beim Standort des Tunnels 2b hat kein Logger funktioniert, beim Standort des Tunnels 2e hingegen beide. Deshalb wurden für die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsverläufe des Tunnels 2b die Mittelwerte der Tunnel 2a und 2c eingesetzt. Visuell kann keine Gemeinsamkeit zwischen den Fallenfängen (4.2.2 Fallenfänge), den Kurven von Temperatur und Luftfeuchtigkeit, sowie der Anzahl beobachteter *H. halys* festgestellt werden (siehe Abbildung 34 und Abbildung 35).



**Abbildung 34: Temperaturverlauf während der Versuche an der ZHAW**

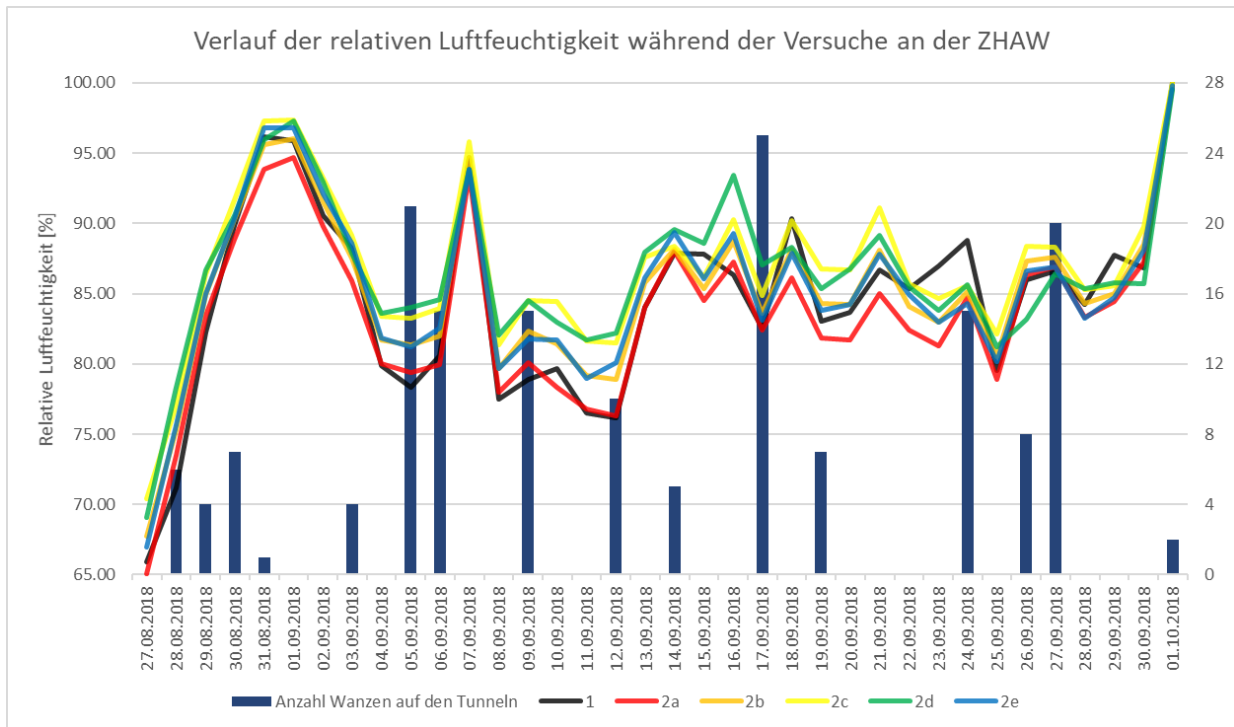


Abbildung 35: Verlauf der Luftfeuchtigkeit während der Versuche an der ZHAW

### 4.3 Weitere Beobachtungen

Während der ersten drei Durchgänge hielten die Akkus jeweils drei Tage, während der zweiten drei Durchgänge weniger als 24 h.

Die *H. halys* hielten sich nach der Freilassung vor allem in der oberen nordöstlichen Ecke auf.

## 5 Diskussion

### 5.1 Versuch bei der BioFresh AG

Da die Vibrations-Pheromon- und die Pheromon-Fallen signifikant mehr Fänge aufwiesen als die leeren Fallen, wurde die Anlockwirkung des TRECE-Pheromons bestätigt.

Auf der Schnur, mit der die Vibrations-Pheromon-Fallen aufgehängt waren, sassen wesentlich mehr Nymphen, als auf den Schnüren der anderen Fallentypen. Das spricht für eine gute zusätzliche Anlockwirkung der Vibrationen. Allerdings konnte bei der Anzahl Fänge kein signifikanter Unterschied zwischen den Vibrations-Pheromon- und den Pheromon-Fallen festgestellt werden. Hervorzuheben ist dabei, dass bei den Wiederholungen 1 und 3 in den Block-Peperoni-Häusern etwa eineinhalbmal so viele Wanzen in den Vibrations-Pheromon-Fallen gefangen wurden wie in den Pheromon-Fallen. Diese beiden Fallen, V1 und V3, hingen im Gegensatz zu V2 und zu den Vibrations-Pheromon-Fallen in den Gurken-Gewächshäusern weiter weg von den Wegen, die durch die Gewächshäuser führen (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Abbildung 18 und Abbildung 19). Möglicherweise waren nahe des Weges weniger *H. halys* vorhanden, weshalb dort weniger gefangen wurden. Auch ist es möglich, dass die *H. halys* nahe des Weges durch die häufigere Störung, z.B. Vibrationen von Menschen oder Maschinen (siehe (Laumann, et al., 2018)) gestresster waren und sich somit weniger auf die Partnersuche konzentriert haben und deshalb weniger in die Fallen gingen.

**Tabelle 18: Anzahl Fänge je Falle in den Gurken-Gewächshäusern**

Falle	V1	P1	L1	V2	P2	L2	V3	P3	L3
Fänge	22	20	0	6	12	3	20	25	1

**Tabelle 19: Anzahl Fänge je Falle in den Block-Peperoni-Gewächshäusern**

Falle	V1	P1	L1	V2	P2	L2	V3	P3	L3
Fänge	276	190	125	106	299	3	504	377	66

Durch die doppelte Anzahl von Fallen im Gewächshaus 12 gingen in die leeren Fallen etwa doppelt so viele Fänge und in die Pheromon-Fallen etwa ein Drittel mehr Fänge als im Gewächshaus 14 (siehe Tabelle 19). Die Verdoppelung der Fänge in den leeren Fallen ist jedoch nur auf die Falle L1 zurückzuführen. Je nachdem hing die Falle V1 zu nah, weshalb durch Vibrationen und Pheromone Wanzen zur Falle L3 angelockt wurden.

In den Vibrations-Pheromon-Fallen von Haus 12 gab es jedoch weniger Fänge als in denen von Haus 14. Das ist vermutlich unter anderem auf die schon oben genannte Störung durch den Weg zurückzuführen.

Bis auf die Falle L1, welche nahe der Falle V1 hing, zeigten alle Fallen in Haus 12 geringere Fangzahlen als diejenigen in Haus 14. Somit erfolgt durch eine Verdoppelung der Anzahl Fallen sicher eine Erhöhung der Fangzahlen, welche aber insbesondere durch die Fallenstandorte beeinflusst werden.

In der Sweetbite-Peperoni-Kultur wurden signifikant mehr Fänge als in den Gurken- und Block-Peperoni-Kulturen verzeichnet. Deshalb ist davon auszugehen, dass Sweetbite-Peperonis gegenüber Block-Peperonis und Gurken von *H. halys* bevorzugt werden. Ob Block-Peperoni oder Gurken von *H. halys* bevorzugt werden, kann nicht eindeutig gesagt werden, da diese Kulturen nicht zur gleichen Zeit untersucht wurden. Die Anzahl Fänge spricht jedoch dafür, dass die Block-Peperoni gegenüber Gurken von *H. halys* bevorzugt



werden, auch wenn die Block-Peperoni-Kultur zu einem späteren Zeitpunkt, also bei einer grösseren Population von *H. halys*, untersucht wurde.

Da die N2 signifikant häufiger gefangen wurden als die anderen Nymphenstadien, sind sie vermutlich wesentlich aktiver als die älteren Nymphenstadien. Vermutlich werden sie besonders stark durch die Pheromone angezogen, da insbesondere bei den Vibrations-Pheromon- und Pheromon-Fallen der Unterschied der Fangzahl von N2 und den anderen Nymphen gross ist (siehe Abbildung 28). Zudem scheinen N5 etwas stärker auf Vibrationen zu reagieren als N4 (siehe Abbildung 28 und Abbildung 29). Laut (Costi, et al., 2017) und (Haye, et al., 2014a) sind in einer Population von den älteren Nymphenstadien jeweils weniger Exemplare als von den jüngeren Nymphenstadien vorhanden, weshalb weniger N5 als N4 in die Falle gehen sollten.

In den Gurken-Kulturen wurde eindeutig nachgewiesen, dass die Männchen aktiver sind als die Weibchen. In den Block-Peperoni-Kulturen war dieser Effekt zwar auch noch vorhanden, allerdings weniger ausgeprägt. In der Sweetbite-Peperoni-Kultur wurden hingegen sogar mehr Weibchen als Männchen gefangen. Möglicherweise sind die hohen Fangzahlen der Weibchen in den Block-Peperoni- und insbesondere in den Sweetbite-Peperoni-Kulturen auf eine sehr grosse Dichte von *H. halys* zurückzuführen. Da die Weibchen nach der Paarung jeweils Standorte für die Eiablage suchen, sind sie dabei möglicherweise öfter in die Falle gelaufen.

Die Vibrationseinheit der Falle V2 hat zudem zwischenzeitlich nicht funktioniert. Wie lange die Dauer des Aussetzens war, ist nicht bekannt. In den Fallen V1 und V3, welche immer funktionierten, wurden wesentlich mehr Adulte *H. halys* gefangen als in den entsprechenden Pheromon-Fallen (siehe Tabelle 20). Das spricht dafür, dass die Vibrationen eine positive Anlockwirkung auf die Adulten ausüben.

**Tabelle 20: Wanzenfänge in der Block-Peperoni-Kultur je Falle**

	V1	P1	L1	V2	P2	L2	V3	P3	L3
w	34	13	0	8	41	0	100	60	0
m	21	17	2	4	40	0	130	62	0

Das Silico-Sec hatte eine sehr schnelle Mortalität zur Folge. Innerhalb von 3 h wurden, trotz vorherigem leeren der Falle V4, mehr als 10 tote *H. halys* aufgefunden. In Abbildung 36 ist die Wirkung vom Silico-Sec ersichtlich.



**Abbildung 36: Abgetötete *H. halys* im Silico-Sec**

Während der Versuche gab es kaum Beifang, weshalb die Fallen für Nützlinge kaum eine Gefahr darstellen. Somit können diese ohne Komplikationen in Gewächshäusern eingesetzt werden. Da zudem, insbesondere im Gurkengewächshaus, andere Wanzenarten gefangen wurden, wären die Fallen für eine Bekämpfung von *Nezara viridula* und *Lygus rugulipennis*, mithilfe von anderen Vibrationen und Pheromonen, möglicherweise geeignet.

Für die Wanzenaktivität, und damit die Anzahl Fänge, hat vermutlich vor allem die Sonneneinstrahlung eine grosse Bedeutung. Denn während fast der gesamten Anbauphase von Gurken und Peperoni sind die Minimalanforderungen an Luftfeuchtigkeit und Temperatur im Gewächshaus erfüllt. Insbesondere die Kurven der Fangzahlen in den Peperoni-Gewächshäusern und der Strahlung weisen eine grosse Ähnlichkeit auf. Die Anzahl Wanzenfänge nimmt immer erst zu, nachdem die Sonneneinstrahlung zugenommen hat. Die Kurve der Anzahl Wanzenfänge ist gegenüber der Kurve der Strahlung leicht nach rechts verschoben, was vermutlich daran liegt, dass die Anzahl gefangener Wanzen jeweils erst am Folgetag, meist auch zu unterschiedlichen Uhrzeiten, ausgezählt wurde.

Insgesamt nimmt die Anzahl gefangener Wanzen im Laufe der Saison zu, da während dieser Zeit auch die umgebende Wanzenpopulation stetig wächst.

## 5.2 Versuch an der ZHAW

Da in den ersten drei Durchgängen dreimal mehr *H. halys* in die Vibration-Pheromon-Fallen als in die leeren Fallen gingen, ist davon auszugehen, dass die Vibrationen und Pheromone eine positive Anlockwirkung auf *H. halys* ausüben. In den zweiten drei Durchgängen gingen mehr *H. halys* in die leeren als in die Licht-Vibration-Pheromon-Fallen. Da davon auszugehen ist, dass die Fänge der leeren Fallen Zufall sind, können keine Rückschlüsse auf die Anlockwirkung von Licht, Pheromonen und Vibrationen gezogen werden. Das Hauptproblem bei den Licht-Vibration-Pheromon-Fallen war vermutlich die Akkulaufzeit. Denn die Akkus haben eine Kapazität von 28.86 Wh. Die Vibrationseinheit benötigt folglich 0.4 W pro Stunde. Gemeinsam mit dem Licht verbraucht die Vibrationseinheit 1.9 W pro Stunde, weshalb der Akku bereits nach ca. 15 h leer ist. Zudem funktionierten ab Durchgang 3 einige der Fallen mit Akku nicht mehr richtig, da sich die Akkus aufgrund von Temperatur und/ oder Feuchtigkeit von selbst ausschalteten.

Da auf den Tunneln mit Pheromonen wesentlich mehr *H. halys* als auf den Tunneln ohne Pheromone beobachtet wurden, wird die positive Anlockwirkung des TRECE-Pheromons bestätigt. Da mehr *H. halys* auf den Tunneln 2c, 2d und 2e als auf den Tunneln 2a und 2b beobachtet wurden, ist davon auszugehen, dass sich *H. halys* mit Vorliebe im Wald oder in Obstanlagen aufhalten (siehe Tabelle 16). Auch bei diesem Versuch zeigte sich, dass die N2 das aktivste Nymphenstadium sind (siehe Tabelle 17). Zudem werden die weiblichen *H. halys* stärker von den Pheromonen angelockt, als die männlichen. Auch auf die Tunnel mit Fallen ohne Pheromone wurden Weibchen, vermutlich durch die von den ausgesetzten Männchen ausgestossenen Pheromone, angelockt. Allerdings sind diese Beobachtungen sehr ungenau, da es nur Momentaufnahmen sind und vor allem die adulten *H. halys* nach etwa 10 min schon wieder verschwunden sind.

Zwischen der Aktivität von *H. halys* und der Temperatur bzw. relativen Luftfeuchtigkeit sind auch hier keine Zusammenhänge erkennbar. Die Beobachtung, dass sich *H. halys* vor allem in der oberen nordöstlichen Ecke aufhält, ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass sie sich normalerweise gerne an der Unterseite von Blättern aufhalten und sich auch vor zu starker Sonneneinstrahlung schützen wollen. Denn die nordöstliche Ecke lag durch den Holzpfosten, während der Tageszeit mit der stärksten Sonneneinstrahlung, im Schatten.

### 5.3 Reflexion zu dieser Arbeit

Für zukünftige Bekämpfungsversuche, bzw. -massnahmen von *H. halys* im Gewächshaus müsste bereits früher als erst im Juli begonnen werden, da *H. halys* schon ab März aktiv wird, bzw. ab April ins Gewächshaus einfliegt. Denn wenn man im Gewächshaus von zwei Generationen pro Jahr ausgeht, wie in Italien (Costi, et al., 2017), gibt es pro Jahr eine Verzwölfachung der Population von *H. halys* (siehe Tabelle 21). Somit ist es wichtig, *H. halys* schon zu Beginn der Saison zu fangen und damit die Population einzudämmen. Die Fallen sollten dabei mehr als 15 m vom Weg entfernt platziert werden, um *H. halys* weniger zu beeinflussen und somit eine höhere Fangquote zu erreichen.

**Tabelle 21: Populationsentwicklung, ausgehend von einem Weibchen im Jahr 1; eigene Berechnung aufgrund von (Costi, et al., 2017)**

Jahr	Generation	Anzahl Eier	Mortalität	Anzahl Weibchen
1	Überwinterungsgeneration	285.00	56.46 %	62.04
1	Erste Generation	214.69	97.47 %	168.50
1	Zweite Generation nach Winter			11.80
2	Überwinterungsgeneration	3361.62	56.46 %	731.82
2	Erste Generation	214.69	97.47 %	1987.51
2	Zweite Generation nach Winter			139.13
3	Überwinterungsgeneration	39650.82	56.46 %	8631.98
3	Erste Generation	214.69	97.47 %	23442.99
3	Zweite Generation nach Winter			1641.01

Die Versuche in den insektendichten Tunneln sind vermutlich zu wenig realitätsnah. Einerseits sind sie nicht hoch genug, andererseits hat *H. halys* kaum Versteckmöglichkeiten, da sie in die Höhe strebt, die Gurkenpflanzen aufgrund der einfacheren Handhabung aber dem Boden entlang wuchsen.

Weiter wären für Versuche ohne Stromanschluss bessere Akkus nötig und die Fallen müssten überdacht sein, um zumindest den negativen Einfluss des Regens auf das Vibrationselement zu verringern.

Da die Vibrationen von *H. halys* ausserhalb der Hörschwelle des Menschen liegen, sollten die Vibrationen der Fallen nicht wahrnehmbar sein. Dennoch wurden die Vibrationen zum Teil gehört, weshalb davon auszugehen ist, dass die Vibrationen zu stark eingestellt werden. Wie gross der Einfluss auf das Verhalten von *H. halys* ist, kann jedoch nicht beurteilt werden. Obwohl die in dieser Masterarbeit ermittelten Resultate nicht zu dem gewünschten Ergebnis geführt haben, sollten weitere Versuche mit Vibrations-Pheromon-Fallen durchgeführt werden. Denn die Probleme durch Schäden von *H. halys* werden in den kommenden Jahren mit grosser Wahrscheinlichkeit weiter zunehmen, da sich das Klima ändert und so auch die Population von *H. halys* weiter zunimmt. Zudem haben Versuche mit Insektiziden, entomopathogenen Pilzen und Nützlingen bis jetzt zu keinen zufriedenstellenden Ergebnissen geführt. Auch eine Kompletteinnetzung von Gewächshäusern ist aufgrund der schlechteren Durchlüftung und der Kostenintensität keine gute Alternative und für Freilandkulturen ist sie deshalb keine Option.

Obwohl mit der Arbeit bereits im November 2017, fast ein Jahr vor dem offiziellen Start, begonnen wurde, waren aufgrund von Zeitdruck und von Lieferfristen nicht die besten Bedingungen für das Erstellen der Fallen vorhanden. Deshalb mussten die Versuche unter anderem mit einem synthetisch erzeugten Sound-File der Vibrationen von *H. halys* und einer günstigeren Alternative des, in der Bachelorarbeit (Hofer, 2018) verwendeten, Shakers durchgeführt werden.

## 6 Fazit

In dieser Arbeit wurde bestätigt, dass das TRECE-Pheromon eine gute Anlockwirkung auf *H. halys* hat. Insbesondere Nymphen des zweiten Stadiums werden durch dieses Pheromon angelockt.

Im Gegensatz zur Bachelorarbeit von Sheila Hofer (Hofer, 2018) konnte keine signifikante Verbesserung der Falle durch Vibrationen festgestellt werden. Vibrations-Pheromon-Fallen zeigen nur dann eine bessere Anlockwirkung von *H. halys* als Pheromon-Fallen, wenn sie sich mehr als 15 m vom Weg, einer Störungsquelle, befinden. Zudem zeigen sie eine bessere Anlockwirkung auf Nymphen des Stadiums N5 als auf die des Stadiums N4.

Sweetbite-Peperoni werden besonders stark von *H. halys* befallen. Deshalb sollten weitere Versuche mit Vibrations-Pheromon-Fallen in dieser Kultur durchgeführt werden. Gegebenenfalls könnten die Fallen auch in Block-Peperoni-Kulturen getestet werden.

In Gurken-Kulturen könnten hingegen ebenfalls Versuche zur Bekämpfung von *Lygus rugulipennis* und *Nezara viridula* mittels Vibrationen und Pheromonen durchgeführt werden. Dazu müssten allerdings die Vibrationen und Pheromone entsprechend angepasst werden.

Beifang gibt es bei den Vibrations-Pheromon-Fallen kaum, weshalb diese ohne Probleme gemeinsam mit Nützlingen eingesetzt werden können. Die Falle ist gleichermassen für die Anlockung von Weibchen und Männchen geeignet, wobei Verbesserungsbedarf bei der Hard- und Software der Vibrationen vorhanden ist.

Die Versuche in den insektendichten Tunneln führten zu keinem aussagekräftigen Ergebnis, weshalb zukünftige Versuche entweder in einer Klimakammer, unter komplett kontrollierten Bedingungen, oder im Gewächshaus, unter natürlichen Bedingungen, durchgeführt werden sollten.

Die Aktivität von *H. halys* wird mit steigender Sonneneinstrahlung grösser. Ab einer Lichtintensität von etwa  $150 \text{ W/m}^2$  im Tagesmittel erreicht sie ihr Maximum. Deshalb ist insbesondere an solchen Tagen ein Einsatz der Vibrations-Pheromon-Falle sinnvoll.

Im Moment befassen sich verschiedene Institutionen in der Schweiz mit *H. halys*. Unter anderem die Agroscope und die kantonalen Beratungsstellen mit dem Monitoring, sowie das CABI und die ZHAW mit Bekämpfungsversuchen. Bis jetzt wurde noch keine praxistaugliche Lösung gefunden, weshalb die Bekämpfung von *H. halys* mit Vibrationen und Fallen weiterverfolgt werden sollte.

## 7 Literaturverzeichnis

- Abram, P. K., Garipey, T. D., Boivin, G. & Brodeur, J., 2013. An invasive stink bug as an evolutionary trap for an indigenous egg parasitoid. *Biological Invasions*, pp. 1387-1395.
- Acebes-Doria, A. L., Leskex, T. C. & Bergh, J. C., 2016. Host Plant Effects on *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) Nymphal Development and Survivorship. *Environmental Entomology*, pp. 1-8.
- Acebes-Doria, A. L. et al., 2018. Monitoring and Biosurveillance Tools for the Brown Marmorated Stink Bug, *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae). *Insects*, pp. 1-17.
- Arnold, K., 2009. ARNOLD, K. (2009): *Halyomorpha halys* (Stål, 1855), eine für die europäische Fauna neu nachgewiesene Wanzenart (Insecta: Heteroptera: Pentatomidae: Cappaeini).. *Mitteilungen des Thüringer Entomologenverbandes e.V.*, pp. 16-19.
- Bale, J. S. et al., 2002. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Global Change Biology* (2), pp. 1-16.
- Bebber, D. P., Ramatowski, M. A. T. & Gurr, S. J., 2013. Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature Climate Change*, pp. 985-988.
- Bergmann, E. et al., 2019. *Host Plants of the Brown Marmorated Stink Bug in the U.S.*. [Online]  
Available at: <http://www.stopbmsb.org/where-is-bmsb/host-plants/>
- Blaauw, B. R. et al., 2016. Measuring host plant selection and retention of *Halyomorpha halys* by a trap crop. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, pp. 1-12.
- Callot, H. & Brua, C., 2013. *Halyomorpha halys* (Stål, 1855), la Punaise diabolique, nouvelle espèce pour la faune de France (Heteroptera Pentatomidae). *L'Entomologiste*, pp. 69-71.
- Cira, T. M. et al., 2016. Cold Tolerance of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) Across Geographic and Temporal Scales. *Environmental Entomology*, pp. 484-491.
- Costi, E., Haye, T. & Maistrello, L., 2017. Biological parameters of the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, in southern Europe. *Journal of Pest Science*, pp. 1059-1067.
- Cullen, E. M. & Zalom, F. G., 2000. Phenology-Based Field Monitoring for Conspicuous Stink Bug (Hemiptera: Pentatomidae) in Processing Tomatoes. *Environmental Ecology*, pp. 560-567.
- Endo, J. & Numata, H., 2017. Effects of embryonic responses to clutch mates on egg hatching patterns of Pentatomidae (Heteroptera). *Physiological Entomology*, pp. 412-417.
- Endo, J., Takanashi, T., Mukai, H. & Numata, H., 2019. Egg-Cracking Vibration as a Cue for Stink Bug Siblings to Synchronize Hatching. *Current Biology*, pp. 1-6.
- Fischer, S., 2018. *Persönliches Gespräch* [Interview] (15. Februar 2018).
- Garipey, T. D. et al., 2015. Occurrence and genetic diversity of new populations of *Halyomorpha halys* in Europe. *Journal of Pest Science*, pp. 451-460.
- Garipey, T. D., Haye, T., Fraser, H. & Zhang, J., 2013. Occurrence, genetic diversity, and potential pathways of entry of *Halyomorpha halys* in newly invaded areas of Canada and Switzerland. *Journal of Pest Science*, pp. 17-28.
- Haye, T., 2014. Die marmorierte Baumwanze (*Halyomorpha halys*) in Europa - aktuelle Situation und Hintergründe. *Julius-Kühn-Archiv* 447 - 59. *Deutsche Pflanzenschutztagung*, p. 640.



- Haye, T., 2018. *Halyomorpha halys*. [Online] Available at: <https://www.halyomorphahalys.com/biologie-und-lebenszyklus-biology-and-life-cycle.html>
- Haye, T., Abdallah, S. & Garipey, T., 2014a. Phenology, life table analysis and temperature requirements of the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys*, in Europe. *Journal of Pest Science*, pp. 407-418.
- Haye, T., Fischer, S., Zhang, J. & Garipey, T., 2015. Can native egg parasitoids adopt the invasive brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Heteroptera: Pentatomidae), in Europe?. *Journal of Pest Science*, pp. 693-705.
- Haye, T., Wyniger, D. & Garipey, T., 2014b. Recent Range Expansion of Brown Marmorated Stink Bug in Europe. *Proceedings of the eighth international conference on urban pests*, pp. 309-314.
- Heckmann, R., 2012. Erster Nachweis von *Halyomorpha halys* (Stål, 1855) (Heteroptera: Pentatomidae) für Deutschland. *Heteropteron*, pp. 17-18.
- Hill, P. S. & Wessel, A., 2016. Biotremology. *Current Biology Magazine*, pp. 187-191.
- Hiruki, C., 1999. Paulownia witches-broom disease important in East Asia. *Acta Horticulturae*, pp. 63-68.
- Hoebeke, E. R. & Carter, M. E., 2003. *Halyomorpha halys* (Stal) (Heteroptera: Pentatomidae): A Polyphagous Plant Pest from Asia newly detected in North America. *Proceedings of the Entomological Society of Washington*, pp. 225-237.
- Hofer, S., 2018. *Evaluation von Bekämpfungsstrategien gegen Wanzen*, Wädenswil: Bachelorarbeit, LSFM, ZHAW.
- Inkley, D. B., 2012. Characteristics of Home Invasion by the Brown Marmorated Stink Bug (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Entomological Science*, pp. 125-130.
- Jaccard, G., 2015. *Adulte Halyomorpha halys*. Changins: Agroscope.
- Khrimian, A. et al., 2014. Discovery of the Aggregation Pheromone of the Brown Marmorated Stink Bug (*Halyomorpha halys*) through the Creation of Stereoisomeric Libraries of 1-Bisabolen-3-ols. *Journal of Natural Products*, pp. 1708-1717.
- Kiritani, K., 2007. The impact of global warming and land-use change on the pest status of rice and fruit bugs (Heteroptera) in Japan. *Global Change Biology*, pp. 1586-1595.
- Kistner, E. J., 2017. Climate Change Impacts on the Potential Distribution and Abundance of the Brown Marmorated Stink Bug (Hemiptera: Pentatomidae) With Special Reference to North America and Europe. *Environmental Entomology*, pp. 1212-1224.
- Laumann, R. A. et al., 2018. Substrate-borne vibrations disrupt the mating behaviors of the neotropical brown stink bug, *Euschistus heros*: implications for pest management. *Journal of Pest Science*, pp. 1-10.
- Lee, D.-H. et al., 2014. Characterization of Overwintering Sites of the Invasive Brown Marmorated Stink Bug in Natural Landscapes Using Human Surveyors and Detector Canines. *PLOS ONE*, pp. 1-9.
- Lee, D.-H. & Leskey, T. C., 2015. Flight behavior of foraging and overwintering brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae). *Bulletin of Entomological Research*, pp. 566-573.
- Leskey, T. C. et al., 2015b. Behavioral Responses of the Invasive *Halyomorpha halys* (Stål) to Traps Baited with Stereoisomeric Mixtures of 10,11-Epoxy-1-bisabolen-3-OL. *Journal of Chemical Ecology*, pp. 418-429.
- Leskey, T. C., Lee, D.-H., Glenn, D. M. & Morrison III, W. R., 2015a. Behavioral Responses of the Invasive *Halyomorpha halys* (Stål) (Hemiptera: Pentatomidae) to Light-Based Stimuli in the Laboratory and Field. *Journal of Insect Behaviour*, pp. 674-692.

- Leskey, T. C. & Nielsen, A. L., 2017. Impact of the Invasive Brown Marmorated Stink Bug in North America and Europe: History, Biology, Ecology, and Management. *Annual Review of Entomology*, pp. 599-618.
- Leskey, T. C., Short, B. D., Butler, B. R. & Wright, S. E., 2012. Impact of the Invasive Brown Marmorated Stink Bug, *Halyomorpha halys* (Stal), in Mid-Atlantic Tree Fruit Orchards in the United States: Case Studies of Commercial Management. *Psyche*, pp. 1-14.
- Mapsearch, 2018. *Mapsearch*. [Online] Available at: [map.search.ch](http://map.search.ch) [Zugriff am 20. 09. 2018].
- Martinson, H. M. et al., 2016. Invasive stink bug favors naïve plants: Testing the role of plant geographic origin in diverse, managed environments. *Scientific Reports*, pp. 1-7.
- Martinson, H. M., Raupp, M. J. & Shrewsbury, P. M., 2012. Invasive Stink Bug Wounds Trees, Liberates Sugars, and Facilitates Native Hymenoptera. *Ecology and Population Biology*, pp. 47-52.
- Martinson, H. M. et al., 2015. Fruit availability influences the seasonal abundance of invasive stink bugs in ornamental tree nurseries. *Journal of Pest Science*, pp. 461-468.
- Mazzoni, V. et al., 2017. Use of substrate-borne vibrational signals to attract the Brown Marmorated Stink Bug, *Halyomorpha halys*. *Journal of Pest Science*, pp. 1-11.
- Michel, F., 2018. *Carto*. [Online] Available at: [https://felixmichel.carto.com/viz/5eb8d61e-3849-47c9-bf43-844d729c0154/embed\\_map](https://felixmichel.carto.com/viz/5eb8d61e-3849-47c9-bf43-844d729c0154/embed_map) [Zugriff am 26. Juli 2018].
- MorrisonIII, W. R., Allen, M. & Leskey, T. C., 2018. Behavioural response of the invasive *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) to host plant stimuli augmented with semiochemicals in the field. *Agricultural and Forest Entomology*, pp. 62-72.
- MorrisonIII, W. R., Cullum, J. P. & Leskey, T. C., 2015. Evaluation of Trap Designs and Deployment Strategies for Evaluation of Trap Designs and Deployment Strategies for. *Journal of Economic Entomology*, pp. 1-10.
- MorrisonIII, W. R. et al., 2016. Establishing the behavioral basis for an attract-and-kill strategy to manage the invasive *Halyomorpha halys* in apple orchards. *Journal of Pest Science*, pp. 81-96.
- MorrisonIII, W. R. et al., 2017. Attraction of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) haplotypes in North America and Europe to baited traps. *Scientific Reports*, pp. 1-11.
- Nielsen, A. L. et al., 2017. Phenology of brown marmorated stink bug described using female reproductive development. *Ecology and Evolution*, pp. 6680-6690.
- Nielsen, A. L. & Hamilton, G. C., 2009a. Life History of the Invasive Species *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in Northeastern United States. *Annals of the Entomological Society of America*, pp. 608-616.
- Nielsen, A. L. & Hamilton, G. C., 2009b. Seasonal Occurrence and Impact of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in Tree Fruit. *Journal of Economic Entomology*, pp. 1133-1140.
- Nielsen, A. L., Hamilton, G. C. & Matadha, D., 2008. Developmental Rate Estimation and Life Table Analysis for *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae). *Environmental Entomology*, pp. 348-355.
- Oppliger, M., 2018. Er mießt, frisst unser Obst und es gibt immer mehr davon: Der Stinkkäfer erobert Europa. *Tageswoche*, 5. 4..
- Pansa, M. G. et al., 2013. Primo ritrovamento di *Halyomorpha halys* nei pescheti piemontesi. *Informatore Agrario*, pp. 60-61.

- Pike, T. J., 2014. *INTERACTIONS BETWEEN THE INVASIVE BROWN MARMORATED STINK BUG, HALYOMORPHA HALYS (HEMIPTERA: PENTATOMIDAE), AND ENTOMOPATHOGENIC FUNGI*. s.l.:University of Maryland.
- Polajnar, J., Maistrello, L., Bertarella, A. & Mazzoni, V., 2016b. Vibrational communication of the brown marmorated stink bug (*Halyomorpha halys*). *Physiological Entomology*, pp. 1-11.
- Polajnar, J., Mazzoni, V. & Virant-Doberlet, M., 2016a. *Advances in understanding and exploiting insect vibrational communication*. Ljubljana, Slovenia, s.n., pp. 157-164.
- Porter, J. H., Parry, M. L. & Carter, T. R., 1991. The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. *Agricultural and Forest Meteorology*, pp. 221-240.
- Presern, J. et al., 2018. On the spot: utilization of directional cues in vibrational communication of a stink bug. *Scientific Reports*, pp. 1-14.
- Rabitsch, W. & Friebe, G. J., 2016. From the west and from the east? First records of *Halyomorpha halys* (Stål, 1855) (Hemiptera: Heteroptera: Pentatomidae) in Vorarlberg and Vienna, Austria.. *Beiträge zur Entomofaunistik*, pp. 126-127.
- Rice, K. B. et al., 2017a. Enhanced Response of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) to Its Aggregation Pheromone with Ethyl Decatrienoate. *Journal of Economic Entomology*, pp. 1-5.
- Rice, K. B. et al., 2014. Biology, Ecology, and Management of Brown Marmorated Stink Bug (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Integrated Pest Management*, pp. 1-13.
- Rice, K. B. et al., 2017b. *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) response to pyramid traps baited with attractive light and pheromonal stimuli. *Florida Entomologist*, pp. 449-453.
- Sagun, S. et al., 2016. Alarm Odor Compounds of the Brown Marmorated Stink Bug Exhibit Antibacterial Activity. *Journal of Pharmacognosy & Natural Products*, pp. 1-3.
- Sczepek, V., 2018. *Foto*. Tägerwilen: s.n.
- Sczepek, V., 2018. *Persönliches Gespräch* [Interview] (28. September 2018).
- Senn, Y., 2018. *Foto*. Wädenswil: s.n.
- Short, B. D., Khrimian, A. & Leskey, T. C., 2016. Pheromone-based decision support tools for management of *Halyomorpha halys* in apple orchards: development of a trap-based treatment threshold. *Journal of Pest Science*, pp. 1-14.
- Sostizzo, T. et al., 2018. *Agroscope Merkblatt Nr. 71 - Marmorierte Baumwanze - Halyomorpha halys*, Wädenswil: Agroscope.
- Strickhof & Bachmann, D., 2018. *Protokoll 2. Wanzentreffen am Strickhof*. Winterthur, s.n., pp. 1-14.
- Strickhof, F. G., 2018. *Wortprotokoll Wanzentreff vom 31.1.2018 am Strickhof in Wülflingen*. Winterthur, s.n., pp. 1-12.
- Tägerwilen, G., 2015. *AREAL BIOFRESH - Werkleitungen*, Tägerwilen: s.n.
- Takanashi, T., Uechi, N. & Tatsuta, H., 2019. Vibrations in hemipteran and coleopteran insects: behaviors and application in pest management. *Applied Entomology and Zoology*, pp. 1-9.
- Taylor, C. M., Coffey, P. L., DeLay, B. D. & Dively, G. P., 2014. The Importance of Gut Symbionts in the Development of the Brown Marmorated Stink Bug, *Halyomorpha halys* (Stål). *PLOS ONE*, pp. 1-9.
- Thoss, H., 2018. Informationen zur marmorierten Baumwanze. *Zürcher Bauer*, 23. 3., p. 8.
- Thoss, H. & Gelencser, T., 2018. *Marmorierte Baumwanze*. Winterthur: Strickhof Fachstelle Obst.

- Tobin, P. C., Nagarkatti, S., Loeb, G. & Saunders, M. C., 2008. Historical and projected interactions between climate change and insect voltinism in a multivoltine species. *Global Change Biology*, pp. 951-957.
- Tooker, J., 2012. *Brown Marmorated Stink Bug as a Pest of Corn and Soybeans*, Penn State: Entomological Notes, Department of Entomology.
- Trece, 2017. *Pherocon Stink Bug*. s.l.:s.n.
- Tugwell, J., Fischer, S. & Fleury, D., 2017. Effets de contact de quatre insecticides sur les punaises phytophages *Halyomorpha halys* et *Nezara viridula*. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, pp. 188-193.
- User:Tehdog, 2019. *Wikipedia*. [Online]  
Available at: <https://de.wikipedia.org/wiki/Hörschwelle>  
[Zugriff am 12. Februar 2019].
- Weber, D. C., Leskey, T. C., Walsh, G. C. & Khimian, A., 2014. Synergy of Aggregation Pheromone With Methyl (E,E,Z)-2,4,6-Decatrienoate in Attraction of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Economic Entomology*, pp. 1061-1068.
- Wermelinger, B., Wyniger, D. & Forster, B., 2008. First records of an invasive bug in Europe: *Halyomorpha halys* Stal (Heteroptera: Pentatomidae), a new pest on woody ornamentals and fruit trees?. *MITTEILUNGEN DER SCHWEIZERISCHEN ENTOMOLOGISCHEN GESELLSCHAFT*, pp. 1-8.
- Wikipedia, 2019. *Wikipedia*. [Online]  
Available at: <https://de.wikipedia.org/wiki/Hörschwelle>  
[Zugriff am 12. Februar 2019].
- Wiman, N. G., Walton, V. M., Shearer, P. W. & Rondon, S. I., 2014. Electronically Monitored L I D d yl 'P o ' B v o of B o o d Stink Bug, *Halyomorpha halys*, in Simulated Environments. *PLOS ONE*, pp. 1-24.
- Zhu, G., Bu, W., Gao, Y. & Liu, G., 2012. Potential Geographic Distribution of Brown Marmorated Stink Bug Invasion (*Halyomorpha halys*). *PLOS ONE*, pp. 1-10.
- Ziska, L. H. et al., 2010. Invasive species and climate change: an agronomic perspective. *Climatic Change*, pp. 13-42.
- Ziter, C., Robinson, E. A. & Newman, J. A., 2012. Climate change and voltinism in Californian insect pest species: sensitivity to location, scenario and climate model choice. *Global Change Biology*, pp. 2771-2780.
- Zurbrügg, T., 2018. *Vibro-acoustic add-on for traps targeting at *Halyomorpha halys**, Winterthur: s.n.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die 5 Nymphenstadien von <i>Halyomorpha halys</i> ; Ab N3 ist die weisse Bänderung der Beine vorhanden.....	3
Abbildung 2: Adulte von <i>H. halys</i> , Männchen links und Weibchen rechts (Jaccard, 2015).....	3
Abbildung 3: Verbreitung von <i>H. halys</i> in der Schweiz im März 2018 (Michel, 2018).....	4
Abbildung 4: Erstfunde von <i>H. halys</i> in den verschiedenen Ländern weltweit (Leskey & Nielsen, 2017).....	5
Abbildung 5: Eignungskarte von <i>H. halys</i> ; weisse und schwarze Punkte zeigen Funde, dunkelgrün gut geeignete Regionen, hellgrün schlecht geeignete Regionen (Zhu, et al., 2012).....	5
Abbildung 6: Eignungskarte von <i>H. halys</i> ; die schwarzen Punkte zeigen die heutige Verbreitung (Kistner, 2017) .....	6
Abbildung 7: Mögliche zukünftige Verbreitungsgebiete von <i>H. halys</i> im Jahr 2050 (links) bzw. 2100 (rechts) und zwei Berechnungsmethoden CSIRO (oben) und MIROC (unten) (Kistner, 2017).....	7
Abbildung 8: Vibrationen von <i>H. halys</i> ; MS-1 bzw. FS-1 ist die Basis-Vibration des Männchens bzw. Weibchens, FS-2 ist die Balz-Vibration des Weibchens (Polajnar, et al., 2016b).....	11
Abbildung 9: Kannibalismus einer Nymphe von <i>H. halys</i> an einem Ei (Senn, 2018).....	12
Abbildung 10: Die Hörschwelle des Menschen (User:Tehdog, 2019) .....	13
Abbildung 11: Schaden an Birnen (Thoss & Gelencser, 2018).....	14
Abbildung 12: Schaden an Gurken (Sczepek, 2018) .....	14
Abbildung 13: Schaden an Peperoni (Sczepek, 2018).....	14
Abbildung 14: Die Fischerfalle, hier mit grünem, undurchsichtigem Deckel .....	17
Abbildung 15: Nachgebaute Vibrationen FS-1 und FS-2 von <i>H. halys</i> (Zurbrügg, 2018).....	19
Abbildung 16: Grüner Deckel der Fallen mit installiertem LED-Strip .....	20
Abbildung 17: Leere Falle in einem Gurkengewächshaus .....	21
Abbildung 18: Fallenstandorte in den Gurken-Gewächshäusern; L= leere Fallen (schwarz), P=Pheromon-Fallen (blau), V=Vibrations-Pheromon-Fallen (rot); Links: Haus 2 & 3 (46 a), Mitte: Haus 4 (32 a), Rechts: Haus 5 (28 a); Norden liegt in Pfeilrichtung; angepasst anhand von (Tägerwilen, 2015).....	21
Abbildung 19: Fallenstandorte in den Block-Peperoni-Gewächshäusern und im Sweetbite-Peperoni-Gewächshaus; L= leere Fallen (schwarz), P=Pheromon-Fallen (blau), V=Vibrations-Pheromon-Fallen (rot); Unten: Haus 12 (22 a), Mitte: Haus 13 (22 a), Oben: Haus 14 (24 a); Norden liegt in Pfeilrichtung; angepasst anhand von (Tägerwilen, 2015) ....	22
Abbildung 20: Insektentunnel 1a bis 1e auf dem Gelände der ZHAW Wädenswil.....	24
Abbildung 21: Licht-Vibrations-Pheromon-Falle vor dem Tunnel 2a .....	25
Abbildung 22: Standorte der Insektentunnel des Versuchs an der ZHAW Wädenswil; Kontroll-Fallen (blau) und (Licht-)Vibrations-Pheromon-Fallen (rot); Norden ist oben; angepasst anhand von (Mapsearch, 2018).....	26
Abbildung 23: Anzahl Fänge pro Tag bei Gurken je Fallentyp .....	27
Abbildung 24: Anzahl Fänge pro Tag bei den Block-Peperoni je Fallentyp .....	28
Abbildung 25: Anzahl Fänge pro Block-Peperoni-Gewächshaus je Fallentyp. Im Gewächshaus 12 hing die doppelte Anzahl von jedem Fallentyp wie im Gewächshaus 14. ....	28
Abbildung 26: Anzahl Fänge der Vibrations-Pheromon-Fallen pro Tag in den Gurken- und Sweetbite-Peperoni-Kulturen zwischen dem 14.07. und dem 17.08.2018 .....	29
Abbildung 27: Anzahl Fänge der Vibrations-Pheromon-Fallen pro Tag in den Block- und Sweetbite-Peperoni-Kulturen zwischen dem 18.08. und 24.09.2018 .....	29



Abbildung 28: Anzahl Nymphen der vier agilen Stadien je Fallentyp in den Block-Peperoni-Kulturen; N2-N5: Nymphenstadien zwei bis fünf, L= Leere Falle, P=Pheromon-Falle und V=Vibrations-Pheromon-Falle .....	29
Abbildung 29: Anzahl Nymphen der vier agilen Stadien in der Sweetbite-Peperoni-Kultur ...	30
Abbildung 30: Sonneneinstrahlung und Anzahl Wanzenfänge in den Gurken-Gewächshäusern .....	31
Abbildung 31: Sonneneinstrahlung und Anzahl Wanzenfänge in den Block-Peperoni-Gewächshäusern .....	31
Abbildung 32: Sonneneinstrahlung und Anzahl Wanzenfänge im Sweetbite-Peperoni-Gewächshaus .....	32
Abbildung 33: Sonneneinstrahlung und Anzahl Wanzenfänge der Vibrations-Pheromon-Fallen in den verschiedenen Gewächshäusern .....	33
Abbildung 34: Temperaturverlauf während der Versuche an der ZHAW .....	35
Abbildung 35: Verlauf der Luftfeuchtigkeit während der Versuche an der ZHAW .....	36
Abbildung 36: Abgetötete <i>H. halys</i> im Silico-Sec .....	39

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erstmalige Funde von <i>H. halys</i> in verschiedenen Städten und Kantonen der Schweiz; nach (Michel, 2018) .....	3
Tabelle 2: Anzahl Entwicklungstage (DD) und $T_0/T_m$ = untere/obere letale Temperaturgrenze von <i>H. halys</i> nach (Haye, et al., 2014a), (Nielsen, et al., 2008) .....	8
Tabelle 3: Anzahl Tage zur kompletten Entwicklung von <i>H. halys</i> sowie zusätzliche Tage der Weibchen von <i>H. halys</i> bis zur Eiablage bei verschiedenen Temperaturen (Haye, et al., 2014a) .....	9
Tabelle 4: Zeitplan der Masterarbeit .....	18
Tabelle 5: Komponenten der Fallentypen .....	20
Tabelle 6: Zeitplan der Versuche bei BioFresh AG .....	20
Tabelle 7: Zeitplan der Versuche an der ZHAW .....	23
Tabelle 8: Anzahl ausgesetzte <i>H. halys</i> je Versuchsdurchgang .....	26
Tabelle 9: Anzahl Weibchen und Männchen je Fallentyp in den Gurken-Kulturen .....	30
Tabelle 10: Anzahl Weibchen und Männchen je Fallentyp in den Block-Peperoni-Kulturen ..	30
Tabelle 11: Anzahl gefangener Weibchen und Männchen in der Sweetbite-Peperoni-Kultur	30
Tabelle 12: Andere Wanzenarten in den Fallen der Gurken-Gewächshäuser .....	30
Tabelle 13: Andere Wanzen- und Käferarten in den Fallen der Block-Peperoni-Gewächshäuser .....	30
Tabelle 14: Wiederfangquote beim Vergleich von leeren und (Licht-)Vibrations-Pheromon-Fallen .....	34
Tabelle 15: Fallenfänge beim Vergleich von leeren und Vibrations-Pheromon-Fallen .....	34
Tabelle 16: Auf den Tunneln zwischen dem 28.08. und 01.10.2018 beobachtete, zugewanderte Wanzen .....	34
Tabelle 17: Auf den Tunneln beobachtete Wanzen, bestimmt nach Art, Alter und Geschlecht .....	35
Tabelle 18: Anzahl Fänge je Falle in den Gurken-Gewächshäusern .....	37
Tabelle 19: Anzahl Fänge je Falle in den Block-Peperoni-Gewächshäusern .....	37
Tabelle 20: Wanzenfänge in der Block-Peperoni-Kultur je Falle .....	38
Tabelle 21: Populationsentwicklung, ausgehend von einem Weibchen im Jahr 1; eigene Berechnung aufgrund von (Costi, et al., 2017) .....	41

## Anhang A – Anzahl Wanzenfänge pro Tag in den verschiedenen Gewächshäusern

Tabelle: Anzahl Fänge pro Tag pro Falle in den Gurken-Gewächshäusern

Datum	V1	P1	L1	V2	P2	L2	V3	P3	L3
14.07.2018									
15.07.2018									
16.07.2018								1	
17.07.2018									
18.07.2018									
19.07.2018									
20.07.2018	3	1		0	2	1	1	2	
21.07.2018		1							
22.07.2018	2								
23.07.2018		2							
24.07.2018	1	1							
25.07.2018		1							
26.07.2018									
27.07.2018									
28.07.2018									
29.07.2018									
30.07.2018									
31.07.2018	4			1		1	2		1
01.08.2018							1		
02.08.2018		1		1			1	2	
03.08.2018				1			1	1	
04.08.2018							1		
05.08.2018					1			1	
06.08.2018		1					1		
07.08.2018		1						1	
08.08.2018	1	1			1		1	2	
09.08.2018								1	
10.08.2018	2	1			1		1		
11.08.2018	1						1	1	
12.08.2018		1				1		2	
13.08.2018	2				1		2	1	
14.08.2018									
15.08.2018									
16.08.2018									
17.08.2018	6	8		3	6		7	10	

**Tabelle: Anzahl Fänge pro Tag pro Falle in den Block-Peperoni-Gewächshäusern**

Datum	V1	P1	L1	V2	P2	L2	V3	P3	L3
18.08.2018	5				1		7	4	
19.08.2018	1	2					3		
20.08.2018		1	2		2		5	3	1
21.08.2018	3	3	1		1		7	4	
22.08.2018		5		1	1		3		
23.08.2018	7	4	2	1			8	7	2
24.08.2018	9				2		14	3	
25.08.2018	5	3	1				7	4	
26.08.2018	3			2			4		
27.08.2018	2	1					6		1
28.08.2018					1		1	2	
29.08.2018	24	14	6	8	8		32	15	5
30.08.2018	14	11	3	1	3		2	5	2
31.08.2018	2	5	1	2			2		
01.09.2018	3	6	1	1	2		1	1	1
02.09.2018	3	4	1		5		2	7	
03.09.2018	4	2	3	1	2		2	3	
04.09.2018	2	4	5		3		4	12	
05.09.2018	14	8	2	2	7		25	28	2
06.09.2018	26	13		4	9		28	22	3
07.09.2018	5	5	5	11	6		28	17	2
08.09.2018	7	9	15	7	21		3	15	17
09.09.2018	5	10	13	5	17		2	27	11
10.09.2018	8	4	11	6	18		1	13	13
11.09.2018	3	5	3	13	11		32	5	
12.09.2018	7	6	4	8	15		22	9	1
13.09.2018	11	2	5		21		1	11	2
14.09.2018	14	3	7	3	16		2	7	1
15.09.2018	4	5	4		10		13	8	
16.09.2018	3	7	6	5	8		19	12	1
17.09.2018	2	9	5	3	11	2	21	15	1
18.09.2018		2	5	3	12		13	17	
19.09.2018	6	7		4	17		21	4	
20.09.2018	2	2	3		19		9	17	
24.09.2018	72	28	11	15	50	1	154	80	0

**Tabelle: Anzahl Fänge pro Tag in der Falle des Sweetbite-Peperoni-Gewächshauses**

Datum	V4
14.07.2018	
15.07.2018	
16.07.2018	
17.07.2018	
18.07.2018	
19.07.2018	
20.07.2018	
21.07.2018	1
22.07.2018	2
23.07.2018	
24.07.2018	3
25.07.2018	9
26.07.2018	4
27.07.2018	2
28.07.2018	2
29.07.2018	1
30.07.2018	
31.07.2018	7
01.08.2018	11
02.08.2018	14
03.08.2018	12
04.08.2018	8
05.08.2018	7
06.08.2018	5
07.08.2018	9
08.08.2018	4
09.08.2018	15
10.08.2018	17
11.08.2018	23
12.08.2018	11
13.08.2018	12
14.08.2018	8
15.08.2018	6
16.08.2018	5
17.08.2018	25

Datum	V4
18.08.2018	9
19.08.2018	5
20.08.2018	9
21.08.2018	13
22.08.2018	4
23.08.2018	7
24.08.2018	6
25.08.2018	1
26.08.2018	2
27.08.2018	2
28.08.2018	2
29.08.2018	38
30.08.2018	22
31.08.2018	4
01.09.2018	7
02.09.2018	1
03.09.2018	4
04.09.2018	15
05.09.2018	22
06.09.2018	41
07.09.2018	40
08.09.2018	34
09.09.2018	23
10.09.2018	17
11.09.2018	13
12.09.2018	43
13.09.2018	42
14.09.2018	27
15.09.2018	19
16.09.2018	23
17.09.2018	17
18.09.2018	11
19.09.2018	35
20.09.2018	27
24.09.2018	148

## Anhang B – Abbildungen zu Kapitel 4.1.3 Klimatische Daten

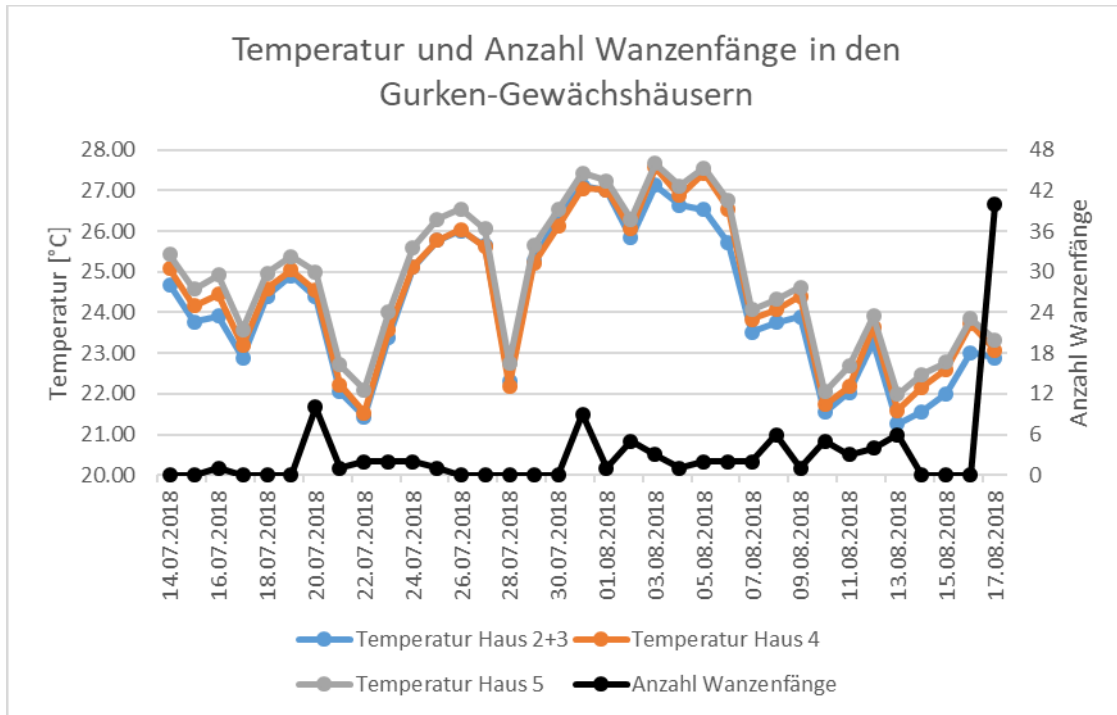


Abbildung: Temperatur und Anzahl Wanzenfänge in den Gurken-Gewächshäusern

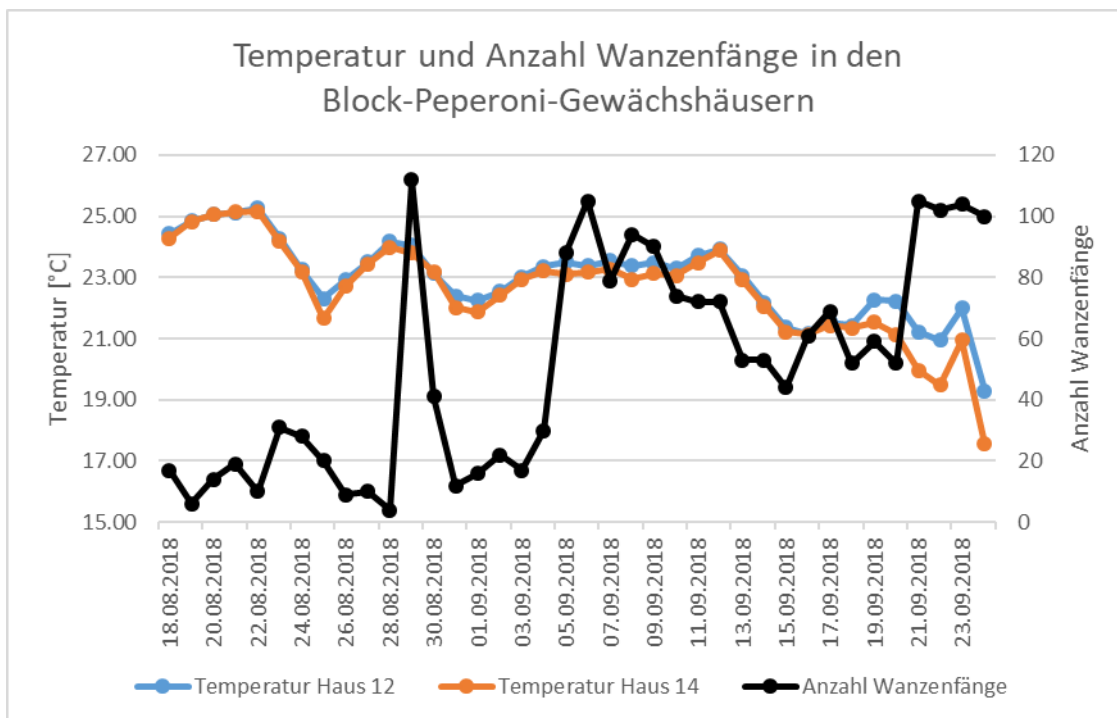


Abbildung: Temperatur und Anzahl Wanzenfänge in den Block-Peperoni-Gewächshäusern



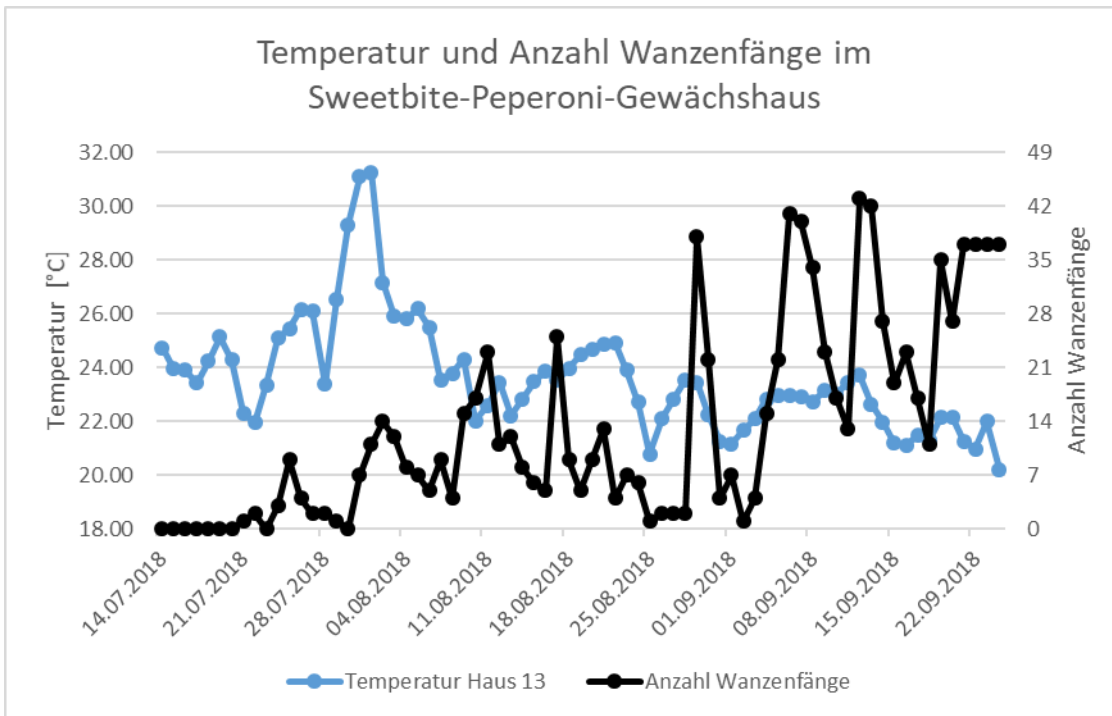


Abbildung: Temperatur und Anzahl Wanzenfänge im Sweetbite-Peperoni-Gewächshaus

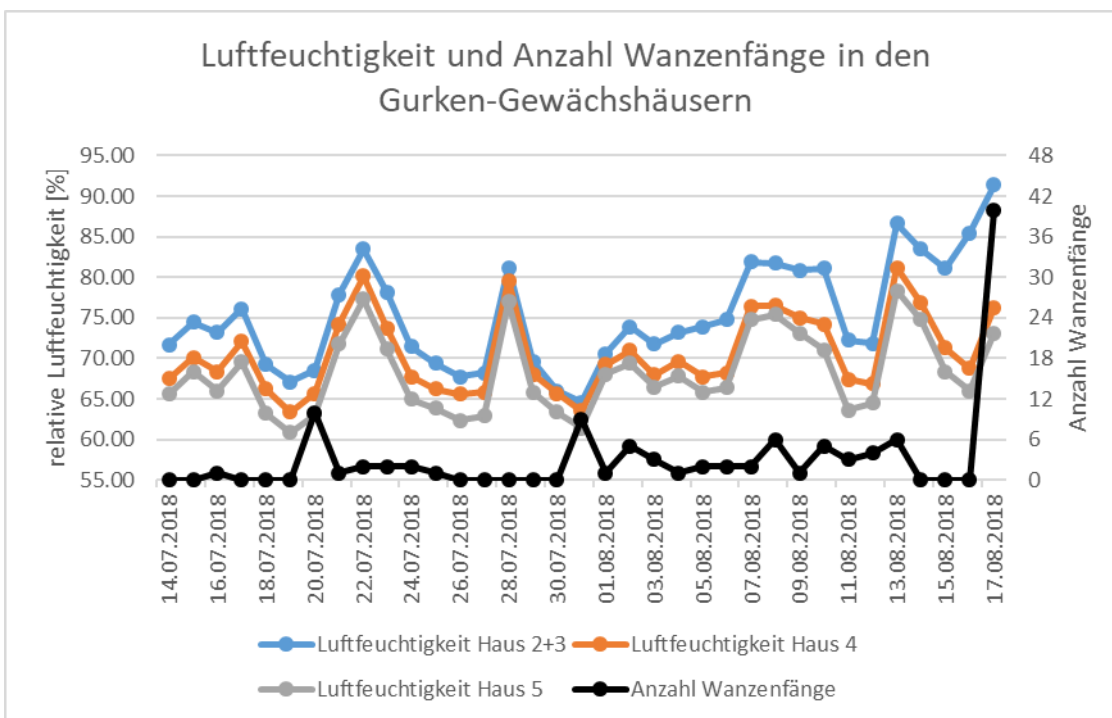


Abbildung: Luftfeuchtigkeit und Anzahl Wanzenfänge in den Gurken-Gewächshäusern

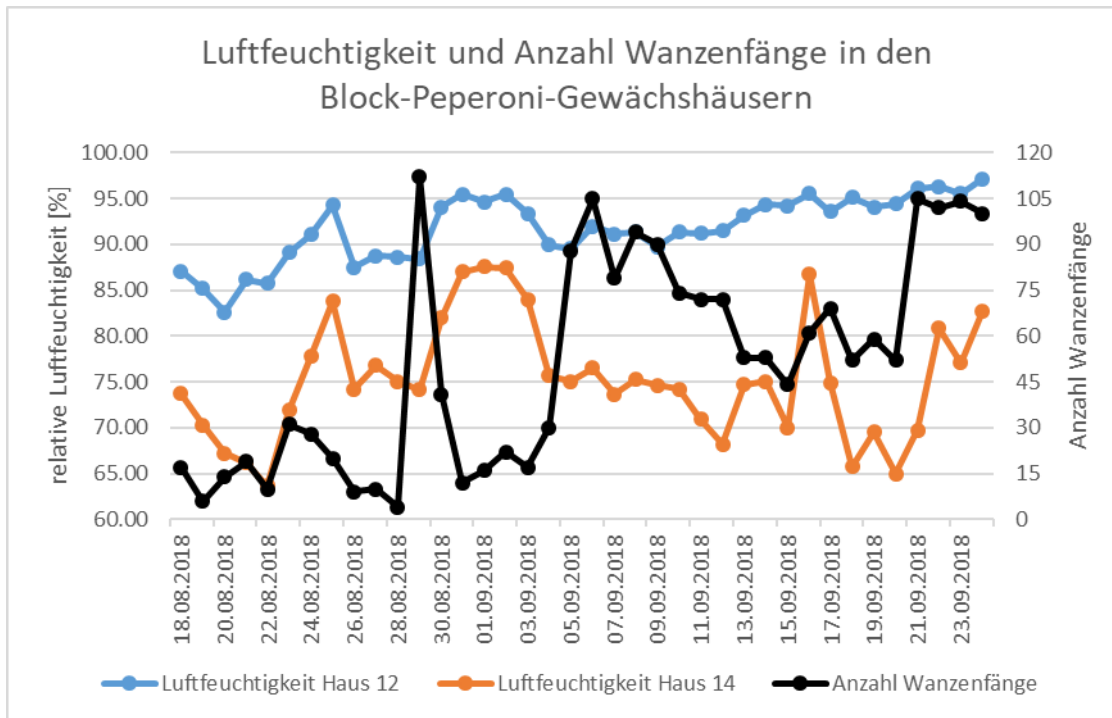
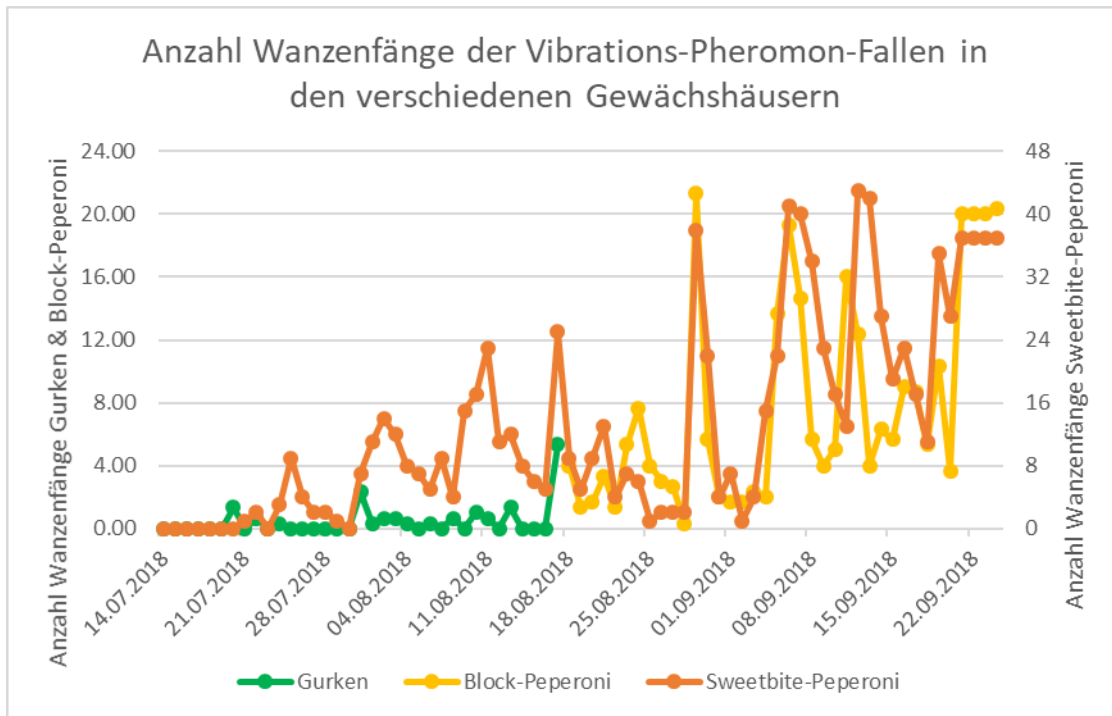


Abbildung: Luftfeuchtigkeit und Anzahl Wanzenfänge in den Block-Peperoni-Gewächshäusern



Abbildung: Luftfeuchtigkeit und Anzahl Wanzenfänge im Sweetbite-Peperoni-Gewächshaus



**Abbildung: Anzahl Wanzenfänge der Vibrations-Pheromon-Fallen in den verschiedenen Gewächshäusern**

## Anhang C – Infoschilder des Versuchs an der ZHAW

### Masterarbeit: Bekämpfung der Marmorierten Baumwanze

Die Marmorierte Baumwanze (*Halyomorpha halys*) ist ein Pflanzenschädling, welcher vermutlich 1998 bei der Auswechslung der Dachziegel des Chinagartens in Zürich aus Südostasien eingeschleppt wurde. Die Wanze verursacht insbesondere bei Birnen, Gurken und Peperoni Schäden, sodass die Früchte nicht mehr verkaufsfähig sind. Seit diesem Jahr werden zumindest bei der Migros keine Peperoni mit Wanzenschäden akzeptiert, da sie der Konsument nicht mehr kauft.



Einschnürung bei Gurken durch Einstich von *H. halys*



Weisse Flecken bei Peperoni durch Einstich von *H. halys*

In dieser Arbeit geht es darum zu testen, ob die Wanze mit Massenfang bekämpft werden kann. Auf dem Gelände der ZHAW stehen fünf insektendichte Tunnel mit leeren Fallen (Kontrolle) und fünf insektendichte Tunnel mit Pheromon-Vibrations-Fallen. Die zweitgenannten sind 50m voneinander sowie 50m von den erstgenannten entfernt, damit die Pheromone keine Beeinflussung auf die anderen Tunnel ausüben.

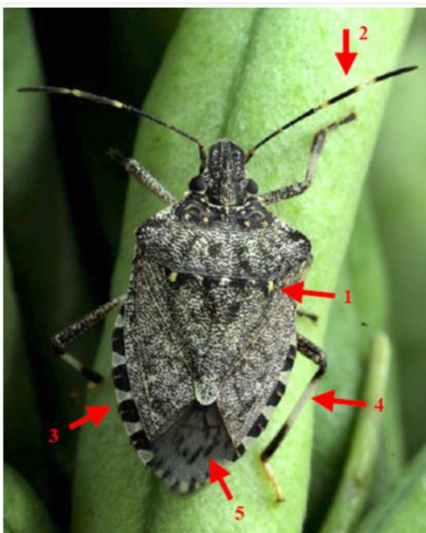
Die Pheromon-Vibrations-Fallen imitieren eine weibliche Wanze. Aus der Ferne werden die Wanzen durch Pheromone angelockt, sobald sie auf der Falle bzw. Pflanze landen senden die Männchen ihre Vibrationen aus, welche durch die Falle bzw. Weibchen mit den weiblichen Vibrationen beantwortet werden. Daraufhin bewegen sich die Männchen in Richtung der Vibration und gehen in die Falle – die Weibchen sind in der Paarungszeit, ausser zur Futtersuche und Eiablage, immobil.

#### An diesem Standort: Kontroll-Fallen

**Bitte Tunnel nicht öffnen**

Kontakt: Richard Müller, [muellric@students.zhaw.ch](mailto:muellric@students.zhaw.ch)

#### TYPISCHE ERKENNUNGSMERKMALE



Die marmorierte Baumwanze lässt sich am einfachsten an folgenden Merkmalen erkennen:

1. Unterhalb des Halsschildes befinden sich 5 gelbliche Punkte, die mehr oder weniger stark ausgeprägt sein können. Anhand dieses Merkmals lässt sich die Wanze im Gelände am einfachsten identifizieren.
2. Die Antennen sind schwarz-weiß gestreift.
3. Der Hinterleib der Wanze ist von schwarz-weißen Saum umgeben.
4. Die Beine besitzen eine deutliche schwarz-weiße Bänderung.
5. Die sogenannte Membran, der dünnhäutige, durchsichtige Teil der Flügel, besitzt langgestreckte schwarze Flecken.



## Masterarbeit: Bekämpfung der Marmorierten Baumwanze

Die Marmorierte Baumwanze (*Halyomorpha halys*) ist ein Pflanzenschädling, welcher vermutlich 1998 bei der Auswechslung der Dachziegel des Chinagartens in Zürich aus Südostasien eingeschleppt wurde. Die Wanze verursacht insbesondere bei Birnen, Gurken und Peperoni Schäden, sodass die Früchte nicht mehr verkaufsfähig sind. Seit diesem Jahr werden zumindest bei der Migros keine Peperoni mit Wanzenschäden akzeptiert, da sie der Konsument nicht mehr kauft.



Einschnürung bei Gurken durch Einstich von *H. halys*



Weisse Flecken bei Peperoni durch Einstich von *H. halys*

In dieser Arbeit geht es darum zu testen, ob die Wanze mit Massenfang bekämpft werden kann. Auf dem Gelände der ZHAW stehen fünf insektendichte Tunnel mit leeren Fallen (Kontrolle) und fünf insektendichte Tunnel mit Pheromon-Vibrations-Fallen. Die zweitgenannten sind 50m voneinander sowie 50m von den erstgenannten entfernt, damit die Pheromone keine Beeinflussung auf die anderen Tunnel ausüben.

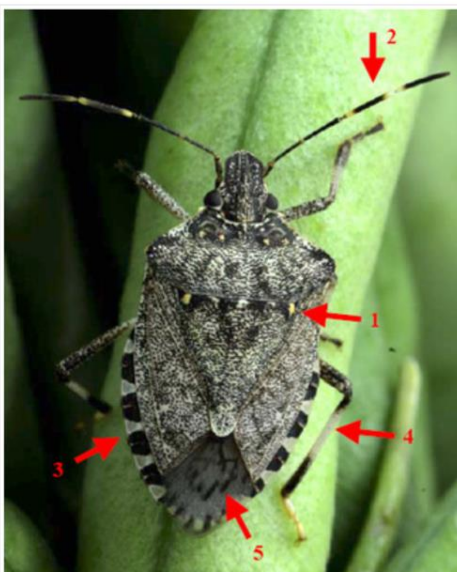
Die Pheromon-Vibrations-Fallen imitieren eine weibliche Wanze. Aus der Ferne werden die Wanzen durch Pheromone angelockt, sobald sie auf der Falle bzw. Pflanze landen senden die Männchen ihre Vibrationen aus, welche durch die Falle bzw. Weibchen mit den weiblichen Vibrationen beantwortet werden. Daraufhin bewegen sich die Männchen in Richtung der Vibration und gehen in die Falle – die Weibchen sind in der Paarungszeit, ausser zur Futtersuche und Eiablage, immobil.

**An diesem Standort: Pheromon-Vibrations-Fallen**

**Bitte Tunnel nicht öffnen**

Kontakt: Richard Müller, [muellric@students.zhaw.ch](mailto:muellric@students.zhaw.ch)

### TYPISCHE ERKENNUNGSMERKMALE



Die marmorierte Baumwanze lässt sich am einfachsten an folgenden Merkmalen erkennen:

1. Unterhalb des Halsschildes befinden sich 5 gelbliche Punkte, die mehr oder weniger stark ausgeprägt sein können. Anhand dieses Merkmals lässt sich die Wanze im Gelände am einfachsten identifizieren.
2. Die Antennen sind schwarz-weiß gestreift.
3. Der Hinterleib der Wanze ist von schwarz-weißen Saum umgeben.
4. Die Beine besitzen eine deutliche schwarz-weiße Bänderung.
5. Die sogenannte Membran, der dünnhäutige, durchsichtige Teil der Flügel, besitzt langgestreckte schwarze Flecken.

## **Anhang D – Erklärung betreffend das selbstständige Verfassen einer studentischen Arbeit**

Mit der Abgabe dieser Masterarbeit versichert der Student, dass er die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat.

Der unterzeichnende Student erklärt, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Masterarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinarmaßnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

Embrach, 13.02.2019

Unterschrift:

A handwritten signature in blue ink on a light-colored rectangular background. The signature is cursive and appears to read 'F. Schmid'.