

Funktionsüberwachung von Traubenwickler- Verwirrungsdispensern im biologisch- technischen Pflanzenschutz

vorgelegt dem Fachbereich 09
„Agrarwissenschaften, Ökotropologie und Umweltmanagement“
an der Justus-Liebig Universität Gießen
der Professur für Organischen Landbau

zur Erlangung des akademischen Grades des

Bachelor of Science

Johanna Lahr

Juli 2010

Erstprüfer: Herr Prof. Dr. Leithold

Zweitprüfer: Herr Dr. Hein

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	V
Abkürzungsverzeichnis	VII
 1. Einleitung	 1
 2. Der Traubenwickler	 2
2.1 Verbreitung	2
2.2. Morphologie	3
2.3. Entwicklung	4
2.4. Schadensbild	6
 3. Pheromone	 8
3.1. Wirkungsweise der Pheromone	9
3.2. Pheromonbukett des Traubenwicklers	9
 4. Bekämpfung des Traubenwicklers	 13
4.1. Chemische Bekämpfung	13
4.2. Biologische Bekämpfung	13
4.3. Biotechnische Bekämpfung	14
4.3.1. Monitoring – Prognoseverfahren	14
4.3.2. Mass trapping – Massenfang	15
4.3.3. Mating Disruption – Paarungsstörung	16
 5. Material und Methoden	 26
5.1. Windkanal	26
5.2. Closed-Loop-Stripping Analysis (CLSA)	28
5.3. Gaschromatographie	30
5.4. Material	33
5.5. Trockeneisversuch	34

6. Ergebnisse und Diskussion	35
6.1. Ergebnisse und Diskussion Trockeneisversuch.....	35
6.2. Ergebnisse der Pheromonabgabegeräte.....	36
6.2.1. Ergebnisse der Pheromonabgabegeräte ermittelt durch Wägung ..	36
6.2.2. Diskussion der Wägungsergebnisse.....	41
6.2.3. Ergebnisse der Pheromonabgabegeräte ermittelt mit CLSA	44
6.2.4. Diskussion der CLSA-Ergebnisse	46
6.2.5. Vergleich der Wägungs- und CLSA-Ergebnisse	48
6.2.6. Diskussion der Wägungsergebnisse und ihre Differenz zur CLSA-Messung	49
7. Fazit	51
8. Ausblick	53
9. Zusammenfassung.....	544
Literaturverzeichnis	566
Danksagung	633
Erklärung	644

Abbildungsverzeichnis

2.2.	Der Bekreuzte Traubenwickler (<i>Lobesia botrana</i>) und der Einbindige Traubenwickler (<i>Eupoecilia ambiguella</i>)	3
2.3.	Der Ablauf der Entwicklung des Traubenwicklers	5
	Der Mottenflug des Einbindigen und Bekreuzten Traubenwicklers auf einer Gemarkung in Heilbronn	6
2.4.	Schadensbild des Heuwurms an den Gescheinen und der Schaden des Sauerwurms an den Beeren	7
4.3.3.	RAK 1+2 SD Dispenser der Firma BASF	22
	Isonet LE (links) und Isonet Lplus (rechts) Dispenser der Firma Shin-Etsu Chemicals Co	23
5.1.	Der Windkanal auf dem Gladbacher Hof in Aumenau, behangen mit Proben	27
	Isonet LE-Proben im Windkanal und Messung der Proben auf einer Feinwaage	27
5.2.	Apparatur des CLSA-Versuchs mit Darstellung des Luftweges	28
	Prinzip der Elution bzw. Waschung des Aktivkohlefilters	29
	Autosampler-Gläschen mit Feder, Mikrolitereinsatz und Deckel	30
5.3.	Ablauf und Apparatur der Gaschromatographie	31
	Gaschromatogramm aus einem Gaschromatographen	32
6.1.	Die laminare Strömung im Windkanal, sichtbar gemacht Durch Trockeneis, eingehangen in Käfigen	35
6.2.1.	Vergleich der Gesamtpheromonabgabe im Windkanal von neuwertigen Dispensern und Dispensern aus dem Bestand, ermittelt durch Wägung	37
	Die Abgaberate seit Versuchsbeginn neuwertiger Dispenser und Dispenser aus dem Bestand, gemessen durch Wägung	38
	Abgaberate zwischen den Messungen, gemessen durch Wägung, mit minimaler Abgabategrenze von 1,5 mg/Tag	38

	Abgaberaten im Windkanal zwischen den Messungen und seit Versuchsbeginn der Dispenser aus dem Bestand zu unterschiedlichen Messterminen, die erste Abgaberatebestimmung, die Abgaberatebestimmung zur Hälfte der Versuchszeit und zum Ende der Versuchszeit	39
	Die gesamte Abgabe (mg) mit Anteilen von (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat und (Z)-9-Dodecenyl Acetat während der Zeit im Windkanal, ermittelt durch Wägung	40
	Vergleich des Verlaufs der Abgaberaten von neuwertigen Dispensern und Dispenser aus dem Bestand mit der Temperatur im Windkanal	40
6.2.2.	Vergleich der Abgaberaten zwischen den Messungen und seit Versuchsbeginn der Dispenser aus dem Bestand, ermittelt durch Wägung	42
6.2.3.	Vergleich der Abgaberaten (mg/Tag) und Anteile von (Z)-9-Dodecenyl Acetat und (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat von neuwertigen Dispensern und Dispensern aus dem Bestand bevor sie in den Windkanal gehangen wurden (Startproben) und nachdem sie heraus genommen wurden (Endproben), ermittelt durch CLSA	45
	Vergleich der Abgaberaten (mg/Tag) der neuwertigen Dispenser und der Dispenser aus dem Bestand vor und nach dem Windkanalversuch, ermittelt durch CLSA	46
6.2.5.	Vergleich der ermittelten Abgaberaten der Start- und Endproben der neuwertigen Dispenser und den Dispensern aus dem Bestand, ermittelt durch Wägung und CLSA. Die Startproben neuwertig sind hoch signifikant verschieden und die Startproben aus dem Bestand sind signifikant verschieden.	49

Tabellenverzeichnis

3.2.	chemische Struktur der Komponenten des Buketts des Einbindigen Traubenwicklers	10
3.2.	Chemische Struktur der bisher erforschten wirksamen Komponenten des Buketts des Bekreuzten Traubenwicklers	12

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
°C	Grad Celcius
CLSA	Closed-Loop-Stripping Analysis
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan
FID	Flammenionisationsdetektor
g	Gramm
GC	Gaschromatographie/ Gaschromatogramm
ha	Hektar
kg	Kilogramm
m	Meter
max.	Maximum
min	Minute
mL	Milliliter
µL	Mikroliter
mm	Millimeter
µm	Mikrometer
ng	Nanogramm
Nr.	Nummer
Tab.	Tabelle
WLD	Wärmeleitfähigkeitsdetektor
%	Prozent

1. Einleitung

Die ersten wirksamen synthetischen Insektizide wurden Ende der 1940er Jahre entwickelt. Eines der ersten Produkte war DDT. Bei der Anwendung wurden oft einhergehende Probleme übersehen, wie zum Beispiel die Belastung von Boden, Wasser und Nahrungsmittel durch diese Wirkstoffe. Dadurch kann eine Anreicherung in der Nahrungsmittelkette erfolgen (KRIEG & FRANZ 1989). Ein weiteres Problem ist, dass Pestizide nicht selektiv auf den Zielorganismus wirken. Deswegen wird meist nicht nur ein Schädling angegriffen, sondern nebenbei sind auch Nützlinge betroffen, deren Verminderung eine Störung des natürlichen Gleichgewichts nach sich zieht. Es gilt, die „Pestizidtretmühle“ zu vermeiden (KOGAN 1994). Ein weiterer Kritikpunkt am Pestizideinsatz ist die schnelle Resistenzausbildung von Schädlingen. Dies hat zur Folge, dass immer wieder neue Wirkstrukturen und Substanzen entwickelt werden müssen, um die Qualität und die Erträge zu erhalten und zu steigern. Somit ist zu erkennen, dass eine intensivere Nutzung von Pestiziden keine nachhaltige Lösung ist, da diese nicht selektiv und langfristig wirken, sowie negative Auswirkungen auf das Ökosystem haben.

Eine weitere Möglichkeit zur Regulation von Schadorganismen ist der biotechnische Pflanzenschutz. Dazu gehört das Verwirrungsverfahren gegen die Traubenwickler im Weinbau. Die beiden Traubenwicklerarten, *Lobesia botrana* und *Eupoecilia ambiguella*, sind „in Mitteleuropa die wichtigsten Schädlinge im Weinbau“ (BÖRNER 1997). Beim Verwirrungsverfahren werden naturidentische Sexualpheromone verwendet. Aufgrund der Wirkungsweise der Pheromone und der Selektivität auf die spezifische Art ist Resistenzbildung der Schädlingsorganismen ausgeschlossen. Die Verwirrungsmethode mit Pheromonen des Traubenwicklers wird seit 1986 in Deutschland zugelassen und wurde im Jahr 2004 auf 45.000 ha angewendet (DOYE 2006). Als Vorteile dieses Verfahrens erwiesen sich die Selektivität auf den Zielorganismus und das einmalige Ausbringen in einem Jahr. Infolgedessen ist das Verwirrungsverfahren ein selektives, umweltschonendes Instrument, um die beiden Traubenwicklerarten zu bekämpfen. Neben dem ökologischen Landbau wird dieses Verfahren auch

im integrierten und konventionellen Anbau eingesetzt. Des Weiteren wird es in verschiedenen Anbaukulturen verwendet, wie Baumwoll-, Kaffee-, Obst-, Reis-, Tabak-, Teeanbau. Für die erwünschte Wirkung spielen viele wichtige Faktoren mit, wie zum Beispiel die Qualität der Dispenser. Dieser sollte über einen gewissen Zeitraum eine konstante Pheromonwolke im Weinberg gewährleisten.

Ziel dieser Arbeit ist es, anhand von Dispensern, die schon einmal in einem Bestand hingen und keine erfolgreiche Wirkung erzielten, die Qualität und die Einflussparameter auf deren Wirkungsweise zu prüfen.

2. Der Traubenwickler

2.1 Verbreitung

Die beiden Traubenwicklerarten *Eupoecilia ambiguella* (HÜBNER), Einbindiger Traubenwickler, und *Lobesia botrana* (DENIS & SCHIFFERMÜLLER), Bekreuzter Traubenwickler, gehören zu den bedeutendsten Schädlingen im Weinbau. Die beiden Traubenwicklerarten sind Lepidoptera aus der Familie der Tortricidae.

Seit dem Mittelalter sind sie als Rebschädlinge bekannt und treten seit dem 18. Jahrhundert in Deutschland auf (VOGT & SCHRIFT 2000).

Eupoecilia ambiguella ist weniger wärmebedürftig und ist deswegen mehr in nördlichen Regionen verbreitet (Balkan, China, Japan, Kasachstan, Kaukasus, Mittelmeerraum, Südengland, Südrussland). *Lobesia botrana* hingegen ist Wärme liebender und in südlicheren Regionen zu finden, wie zum Beispiel in Süd- und Mitteleuropa, Nordafrika, Kaukasus und Kleinasien. Beide Traubenwickler waren schon immer in Europa heimisch. Erhebliche Schäden gab es 1889 durch eine Massenvermehrung. Diese Gefahr wurde später mit Hilfe von Phosphorsäureestern und DDT gebannt. Ab 1959 war *Lobesia botrana* aus deutschen Weinbaugebieten verschwunden, seit 1972 jedoch wurden immer wieder Motten dieser Art nachgewiesen. Heute ist *Lobesia botrana* wieder überall anzutreffen und macht oft über 50% des Traubenwicklerbesatzes aus (HILLEBRAND et al. 1990). Außerdem breitet er sich von Süd nach Nord aus und die Flugphasen können früher beginnen.

Dies wird mit den ansteigenden Temperaturen aufgrund des Klimawandels begründet (SCHWAPPACH & HOFMANN 2009).

Die Wirtspflanze ist nicht nur die Weinrebe, auch andere Pflanzen dienen als Wirt. Für den Einbindigen Traubenwickler sind dies zum Beispiel der Wilde Wein, die Waldrebe, das Pfaffenhütchen, der Faulbaum, der Liguster und viele andere vom Einbindigen Traubenwickler befallene Wirte. Der Bekreuzte Traubenwickler bevorzugt zum Beispiel Seidelbast, Judendorn, Rosmarin und Ölbaum. Dies sind Pflanzen, die in wärmeren Regionen wachsen (VOGT & SCHRUF 2000).

2.2. Morphologie

Die strohgelben Vorderflügel des Einbindigen Traubenwicklers sind mit einer braun-schwarzen Querbinde versehen. Beim Bekreuzten Traubenwickler sind die Vorderflügel in gelblichgrüngrauen Farbtönen bunt marmoriert (Abb. 1). Die Körperlänge des Einbindigen Traubenwicklers beträgt 6-8 mm, der Bekreuzte ist nur 1-2 mm kleiner (BAUER 1996).

Die Eier beider Traubenwicklerarten sind leicht oval, linsenförmig, zuerst glasig und später trüb. Im Schwarzkopfstadium, kurz vor dem Schlüpfen, ist das Ei mit einem schwarzen Augen Punkt versehen.



Abb. 1: Der Bekreuzte Traubenwickler (*Lobesia botrana*) (links) und der Einbindige Traubenwickler (*Eupoecilia ambiguella*) (rechts)¹

¹ http://www.lwg.bayern.de/weinbau/rebschutz_lebensraum_weinberg/34270/umschlaghintergrund.jpg

Die Raupen von *Lobesia botrana* sind grüngrau, mit einem gelben Kopf versehen und 8-10 mm lang. Die des *Eupoecilia ambiguella* sind rotbraun und besitzen eine schwarze Kopfkapsel und sind ebenfalls minimal größer (10-12 mm) (HOFMANN et al. 1995; BAUER 1996).

2.3. Entwicklung

Aus den Puppen, die unter der Borke überwintern, schlüpft ab Ende April bis Anfang Mai die erste Mottengeneration (Abb. 2). Deren Hauptflugzeit liegt somit im April und Mai. In dieser Zeit findet die Begattung der Weibchen statt. Die Eier werden vom Weibchen auf die Gescheine, bevorzugt an die Basis der Blüten, abgelegt. Ist die Temperatur über 30 °C, sterben die Eier ab.

Die Eientwicklung dauert 6-12 Tage, wobei sie umso schneller erfolgt, je höher die Temperatur ist. Anfang Juni schlüpft die Raupe, der so genannte Heuwurm. Dieser Name leitet sich von der gleichzeitigen Heuernte ab. Die Raupen fressen ca. 25 Tage an den Blütenanlagen, danach verspinnen sie sich mit der Rebblüte und verpuppen sich. Die darauf folgende Puppenruhe beträgt 3-10 Tage. Die 2. Mottengeneration schlüpft dann im Juli. Nach erfolgter Begattung legen die Weibchen die Eier auf den Beeren ab. Die daraus schlüpfenden Raupen werden "Sauerwurm" genannt, da diese sich in die noch nicht ausgereifte, saure Beere hineinfressen und eine weitere Reife verhindern. Im August suchen sich die Raupen einen Überwinterungsplatz unter der Borke der Rebstöcke. Dort erfolgt die Verpuppung. In Deutschland entwickeln sich in der Regel zwei Generationen. Liegt allerdings ein langer, warmer Sommer und eine lange Vegetationszeit vor, kann bei dem Bekreuzten Traubenwickler eine dritte Generation der Falter auftreten. Diese fliegt bis Ende September und legt die Eier wieder auf die Beeren ab. Die daraus schlüpfenden Raupen werden "Süßwürmer" genannt, da diese sich in die süßen Beeren hinein fressen. Im Jahr 2007 wurde erstmals auch eine dritte Generation des Einbindigen Traubenwicklers in einem Weinbaugebiet an der Mosel nachgewiesen (JKI 2008).

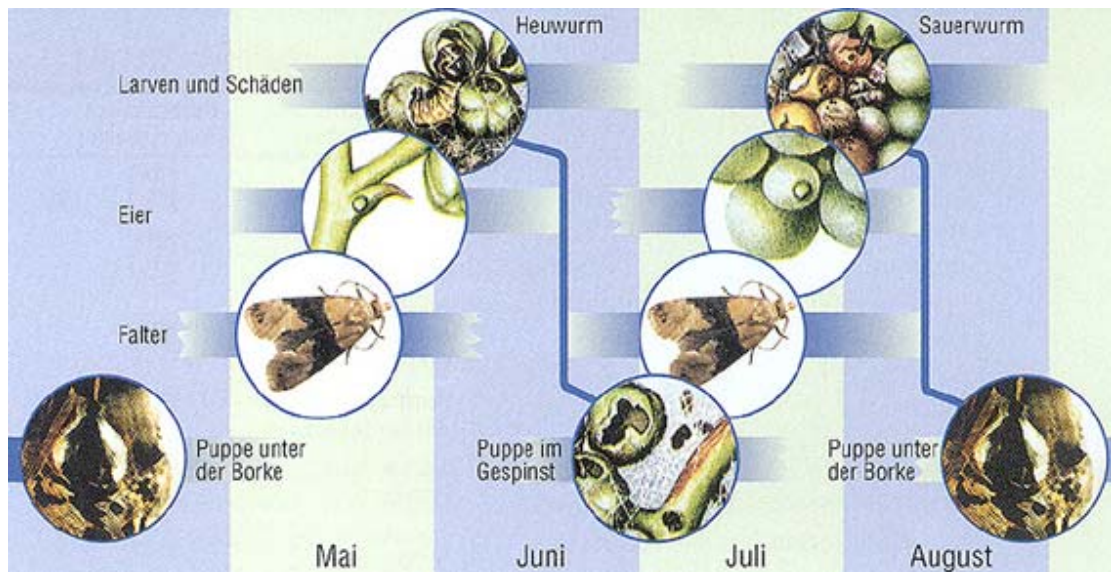


Abb. 2: Der Ablauf der Entwicklung des Traubenwicklers²

Der Einbindige Traubenwickler fliegt von Mitternacht bis in den Morgen bei über 11 °C. Der Bekreuzte Traubenwickler ist in der Abenddämmerung aktiv. Dementsprechend wird der Bekreuzte Traubenwickler Dämmerungstier genannt und der Einbindige Nachttier (VOGT & SCHRIFT 2000).

Der Einbindige Traubenwickler fliegt in begrenzten Herden (BAUER 1996) und es liegt meist ein deutlicher Flughöhepunkt der Motten vor. Der Bekreuzte Traubenwickler ist oft über große Flächen verteilt, ist wanderfreudig und lebhaft. Außerdem liegen mehrere Flughöhepunkte und eine längere Flugphase vor, was die Bekämpfung erschwert (Abb. 3) (HILLEBRAND et al. 1990, VOGT & SCHRIFT 2000). Manchmal kann man die Flugzeiten der verschiedenen Generationen nicht mehr unterscheiden und es gibt einen fließenden Übergang (BAUER 1996).

²http://www.rebschutzdienst.at/Krankh_Schaedlinge/Kr_Sch_Beschr_Bilder/17_Traubenwickler/TrW_Entw_Heu_Sauerw.jpg

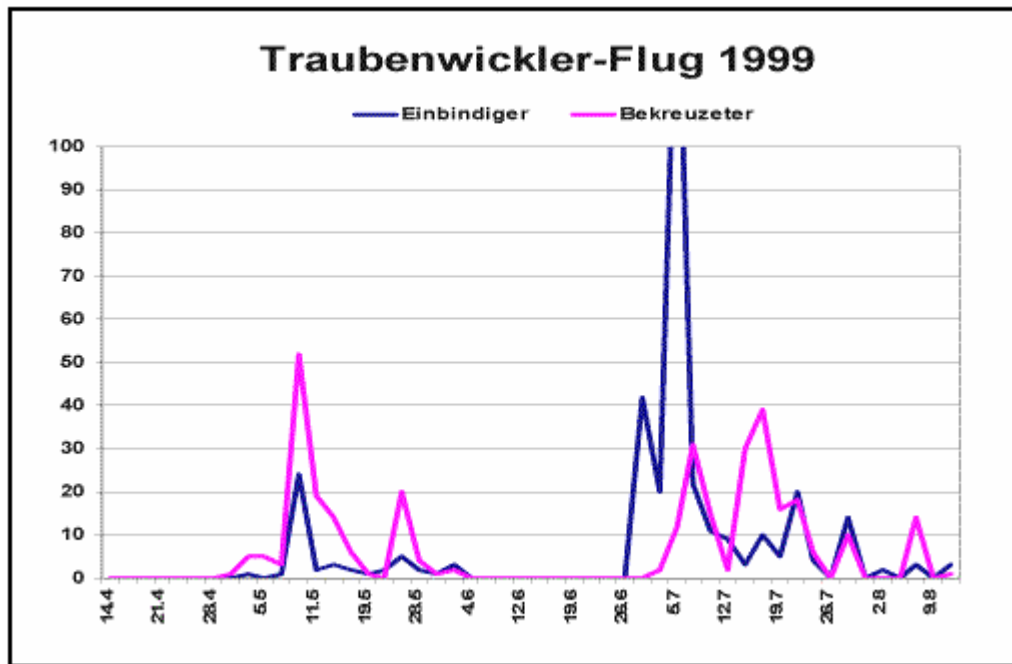


Abb. 3: Der Mottenflug des Einbindigen und Bekreuzten Traubenwickler auf einer Gemarkung in Heilbronn³

Durch Folgen des Klimawandels kann es in Deutschland zu mehr Mischpopulationen kommen wie ein häufigeres Erscheinen der 3. Generation. So wurde im Jahr 2007 das erste Mal eine dritte Generation des Einbindigen Traubenwicklers in einem Weinbaugebiet an der Mosel erblickt (JKI 2008). Außerdem kann die Flugphase früher beginnen, da schon früher wärmere Temperaturen auftreten (SCHWAPPACH & HOFMANN 2009).

2.4. Schadensbild

Nur die Larven des Traubenwicklers wirken schädigend, indem sie an den Gescheinen fressen und sich in die Beeren bohren (Abb. 4). Es werden direkte und indirekte Schäden hervorgerufen. Direkte Schäden entstehen dadurch, dass der Heuwurm an den Gescheinen frisst und Gespinnste auf diesen ablegt. Deswegen beeinflusst der Heuwurm die Blütenentwicklung. Weitere direkte Schäden werden durch den Sauerwurm verursacht. Dieser frisst auf und in den heranwachsenden Beeren. Dadurch wird die Entwicklung der Beere unterbrochen. Diese reift nicht mehr weiter und bleibt sauer.

³ www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB//menu/1039894_11/indes.html

Durch die direkten Schäden kann die Qualität, aber auch die Quantität des Weines beeinflusst werden. Diese spielen jedoch eine geringe bis keine wirtschaftliche Rolle.

Indirekte Schäden werden durch Sekundärparasiten, wie zum Beispiel die Graufäule (*Botrytis cinerea*) und die Grünfäule (*Penicillium glaucum*) verursacht. Dieser kann an den Bohrlöchern und Fraßstellen des Sauerwurms an der Traube eintreten und sich vermehren. Durch feuchte Witterung wird dieser Befall gefördert. Da die indirekten Schäden eine größere wirtschaftliche Rolle spielen als die direkten Schäden, ist der Sauerwurm schädlicher als der Heuwurm (VOGT & SCHRIFT 2000).



Abb. 4: Schadensbild des Heuwurms an den Gescheinen (oben)⁴ und der Schaden des Sauerwurms an den Beeren (unten)^{5,6}

Die Schadschwelle für eine chemische Bekämpfung ist überschritten, wenn mehr als 100 Motten je Generation in einer Pheromonfalle gefangen werden.

⁴ <http://www.ages.at/uploads/media/Tr-Wickler-klein.JPG.gif>

⁵ <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB//show/1053848/traubenwicklerbeere1.jpg>

⁶ <http://www.landwirtschaft-mlr.baden-wuerttemberg.de/servlet/PB//show/1053848/traubenwicklerbeere1.jpg>

Bei dem Heuwurm liegt sie bei 10-15 Raupen pro 100 Gescheinen und beim Sauerwurm bei 3-5 Raupen pro 100 Trauben (HILLEBRAND et al. 1990).

3. Pheromone

Pheromone (griechisch: Überträger der Erregung) sind „flüchtige Substanzen, die der Kommunikation innerhalb von Arten dienen“ und von denen nur wenige Moleküle nötig sind, um eine Reaktion auszulösen (HARBORNE 1995). Pheromone können in Geschlechts-, Spur- und Alarmpheromone eingeteilt werden.

Spurpheromone werden von sozial lebenden Insekten verwendet, um eine Spur zwischen ihrem Unterschlupf und einer Nahrungsquelle für ihre Artgenossen zu legen, wie man es zum Beispiel bei den Ameisen, Bienen und Termiten beobachten kann. Alarmpheromone werden zum einen direkt auf den Angreifer abgegeben, um ihn zu markieren, und zum anderen in der Luft verteilt, um andere Mitglieder zu alarmieren (HARBORNE 1995). Geschlechtspheromone werden meist von den Weibchen produziert und dienen der Anlockung der Männchen. Geschlechtspheromone sind überwiegend Kohlenwasserstoffderivate mit 5-25 Kohlenstoffatomen, mit einer oder mehreren isolierten Doppelbindungen und einem geringen Molekulargewicht (30-300) (HARBORNE 1995). Deswegen sind sie flüchtig und verteilen sich schnell in der Luft. Dies ist eine Voraussetzung für eine funktionierende Anlockung der Männchen.

Nach HOWSE et al. (1998) gibt es eine weitere Einteilung in Releaser- und Primer-Pheromone. Releaser-Pheromone, zum Beispiel Sexualpheromone, lösen unmittelbar eine Veränderung des Verhaltens aus. Primer-Pheromone lösen eine Veränderung in der Entwicklung aus, wie zum Beispiel die sexuelle Reife.

Nach DETTNER & PETERS (2003) sind Pheromone sehr gut abbaubar und für Nichtzielorganismen nicht toxisch.

Das Pheromonbukett einer Art besteht meist aus vielen Komponenten und ist einzigartig. Die Grundstrukturen unterscheiden sich manchmal kaum unter Arten. Entscheidend für die spezifische Wirkung ist die Lage und die Stereochemie der Doppelbindung (Z- oder E-) sowie das Mengenverhältnis der enthaltenen Komponenten. Oft dominiert eine Komponente

mengenmäßig. Diese dient der Fernanlockung. Die vielen möglichen Minderkomponenten wirken im Nahbereich und können eine Paarung einleiten (DOYE 2006).

Beachtlich ist, dass die enthaltenen Bestandteile unterschiedliche Wirkungen haben können. Zum Beispiel agieren manche Komponenten als Synergisten zur Hauptkomponente, andere wiederum können die Wirkung des gesamten Buketts *herabsetzen*.

Für die Verwirrungstechnik wird jeweils die Hauptkomponente des jeweiligen Traubenwicklerpheromons verwendet.

3.1. Wirkungsweise der Pheromone

Das begattungsbereite Weibchen emittiert das Pheromon aus Drüsen am Abdomen. Der Lockstoff verteilt sich in der Luft. Die Männchen können das Pheromon noch in weiter Entfernung über hochspezifische Rezeptoren an ihren Antennen wahrnehmen. Wenn das Männchen das Pheromon über seine Antennen erkennt, versucht es, das Weibchen zu orten. Die Männchen benutzen dazu die Pheromonwolke. Diese fliegen solange gegen den Wind (Anemotaxis) wie sie ein Pheromonsignal registrieren können. Bleibt das Signal aus, verharren sie in Wartestellung und suchen nach einem erneuten Signal.

3.2. Pheromonbukett des Traubenwicklers

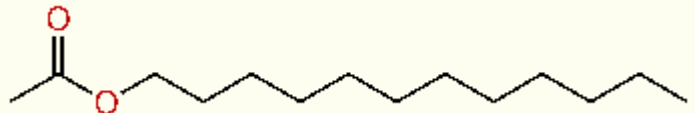
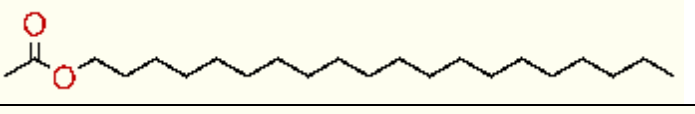
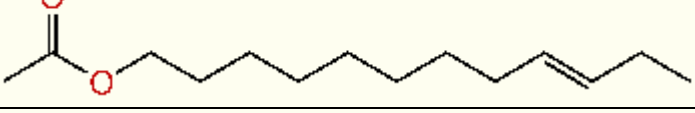
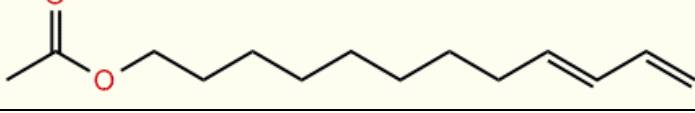
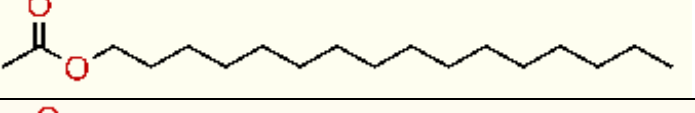
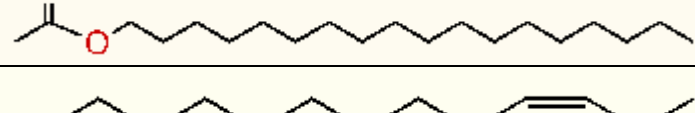
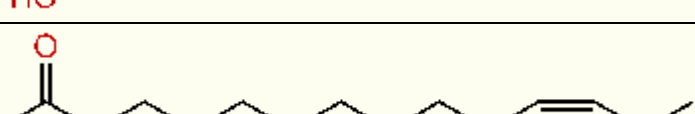
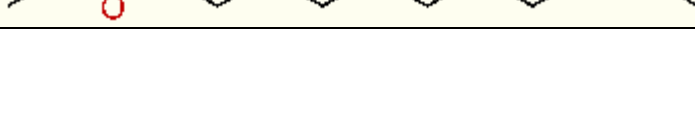
Bukett des Einbindigen Traubenwicklers (*Eupoecilia ambiguella*)

Das gesamte Bukett des Einbindigen Traubenwicklers enthält neun Komponenten (Arn et al. 1988). Die Hauptkomponente ist (Z)-9-Dodecenyl Acetat, welches essentiell ist, um ein Männchen anlocken zu können (ARN et al. 1976). Weitere wichtige Komponenten sind Dodecyl Acetat und Octadecyl Acetat. Diese haben alleine keine eigene Wirkung, verstärken allerdings die Attraktivität, wenn sie zur Hauptkomponente hinzugefügt werden. Interessant ist, dass Octadecyl Acetat mit (Z)-9-Dodecenyl Acetat alleine keine erhöhte Attraktivität hervorruft. Diese kann nur in Verbindung mit Dodecyl Acetat und der Hauptkomponente erreicht werden. Weitere Bestandteile sind (E)-9-Dodecenyl Acetat, (Z)-9-Dodecen-1-ol und E-9,11-Dodecadienyl Acetat. Sind

diese in erhöhten Konzentrationen im Bukett enthalten, können sie die Wirkung des Pheromons herabsetzen (ARN et al. 1986).

(Z)-9-Dodecenyl Acetat ist umso wirksamer, je Isomerenreiner es ist. Nach ARN und LOUIS (1995) ist die Attraktivität des synthetischen Produktes schon herab gesetzt, wenn mehr als 0,1% des E-Isomers enthalten ist. Wird jedoch Dodecyl Acetat zu der Hauptkomponente hinzu gegeben, kann das Gemisch bis zu 10% (E)-9-Dodecenyl Acetat enthalten, ohne an Attraktivität einzubüßen (ARN et al. 1986). Über die Komponenten Hexadecyl Acetat, Eicosyl Acetat und (Z)-9-Undecenyl Acetat ist bisher wenig bekannt. Auf Grund dessen empfiehlt ARN et al. (1988) für das Monitoring eine Mischung aus isomeren reinem (Z)-9-Dodecenylacetat, Dodecyl Acetat und Octadecyl Acetat in einem Verhältnis von 1:1:2.

Tab. 1: chemische Struktur der Komponenten des Bukett des Einbindigen Traubenwicklers

Dodecyl Acetat	
Eicosyl Acetat	
(E)-9-Dodecenyl Acetat	
E-9,11-Dodecadienyl Acetat	
Hexadecyl Acetat	
Octadecyl Acetat	
(Z)-9-Dodecen-1-ol	
(Z)-9-Dodecenyl Acetat	
(Z)-9-Undecenyl Acetat	

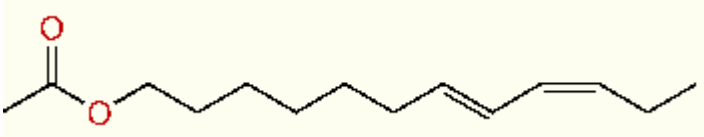
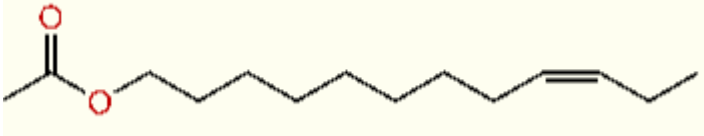
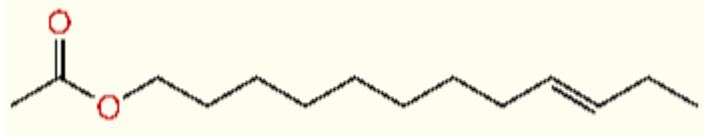
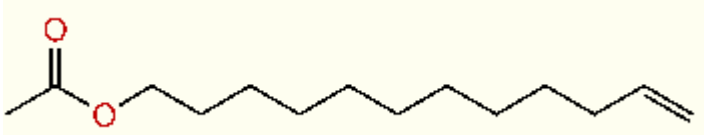
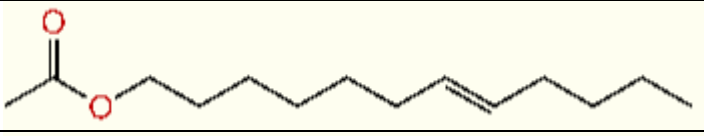
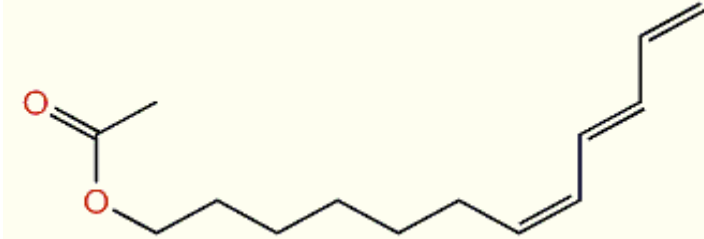
Wenn manche Substanzen ab einer bestimmten Konzentration abstoßend wirken, wie zum Beispiel (E)-9-Dodecenyl Acetat, (Z)-9-Dodecen-1-ol und E-9,11-Dodecadienyl Acetat, könnte man diese Stoffe ebenfalls im Pflanzenschutz als Repellent anwenden.

Bukett des Bekreuzten Traubenwicklers (*Lobesia botrana*)

Das Bukett des Bekreuzten Traubenwicklers enthält weitaus mehr Komponenten. Die Hauptkomponente ist (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat (ROELOFS et al. 1973). Diese Komponente ist alleine schon sehr attraktiv (DESCOINS 1990). Hinzu kommen zahlreiche andere Substanzen, die die Wirkung von (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat beeinflussen. Die Komponenten (E,Z)-7,9-Dodecadien-1-ol und (Z)-9-Dodecenyl Acetat verstärken bei Zugabe zu der Hauptkomponente die Wirkung leicht (ARN et al. 1988). Bei weiterer Zugabe von (E)-9-Dodecenyl Acetat und 11-Dodecenyl Acetat wird die Attraktivität des Gemisches wieder verstärkt (EL-SAYED et al. 1999). WITZGALL et al. (2005) und TASIN (2005) benennen weitere Synergisten zu der Hauptkomponente fest. (E)-7-Dodecenyl Acetat und (Z,E)-7,9,11-Dodecatrienyl Acetat erhöhen wiederum die Attraktivität. Des Weiteren sind mehrere Isomere von 7,9,11-Dodecatrienyl Acetat und viele andere langkettige Acetate enthalten, deren Wirkung allerdings nicht bekannt ist.

Die Isomerenreinheit der Hauptkomponente bei dem Bukett des Bekreuzten Traubenwicklers ist weniger bedeutend für die Attraktivität als beim Einbindigen Traubenwickler. Denn es können bis zu 20% des E,E-Isomers der Hauptkomponente vorhanden sein, ohne die Attraktivität zu beeinträchtigen (ARN & LOUIS 1995).

Tab. 2: Chemische Struktur der bisher erforschten wirksamen Komponenten des Bukett des Bekreuzten Traubenwicklers

(E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat	
(E,Z)-7,9-Dodecadien-1-ol	
(Z)-9-Dodecenyl Acetat	
(E)-9-Dodecenyl Acetat	
11-Dodecenyl Acetat	
(E)-7-Dodecenyl Acetat	
(Z,E)-7,9,11-Dodecatrienyl Acetat	

Beachtlich ist, dass fünf Substanzen, die im Sexualpheromon des Einbindigen Traubenwickler zu finden sind, auch im Bukett des Bekreuzten Traubenwicklers vorkommen. Trotzdem ist das Sexualpheromon der einen Art nicht attraktiv für die andere Art, was für die Spezifität der Attraktion spricht und für die Abgrenzung der Arten voneinander wichtig ist.

4. Bekämpfung des Traubenwicklers

Generell sollte eine Bekämpfung in ökonomischer wie ökologischer Hinsicht effektiv sein. Kosten und Arbeitseinsatz sollten gering gehalten werden. Aus ökologischer Sicht sollte eine Schädlingsbekämpfung sich nicht auf andere Organismen und die Umwelt auswirken.

Für eine effiziente Bekämpfung sind der Applikationszeitpunkt, die Dosierung und der Applikationsort sehr wichtig.

4.1. Chemische Bekämpfung

Unter chemischen Pflanzenschutz wird jeglicher „Einsatz von chemischen Substanzen, auch von Naturstoffen“ verstanden (VOGT & SCHRIFT 2000). Dabei werden zum Beispiel Entwicklungshemmer nach dem Flugbeginn oder Phosphorsäureester beim Schlupf der Raupen ausgebracht.

Laut „Der Badische Winzer“ in Rebschutz 2010 (BADISCHER WEINBAUERNVERBAND E.V. 2010) werden zur Zeit chemisch-synthetische Wirkstoffe mit dem Handelsnamen Mimic, Runner, Spin Tor und Steward angeboten.

Ein Problem der chemischen Bekämpfung ist, dass die Schädlinge schnell Resistenzen ausbilden können. Deswegen müssen immer wieder neue Substanzen erforscht werden. Außerdem können diese Substanzen Nützlinge schädigen und in das Ökosystem eingreifen, was die Nachhaltigkeit und Effizienz dieses Verfahrens fragwürdig macht.

4.2. Biologische Bekämpfung

Unter biologischer Bekämpfung versteht man „den gezielten Gebrauch natürlich vorkommender Gegenspieler von Schadorganismen bzw. den gezielten Einsatz gezüchteter Nutzorganismen durch Ansiedlung oder aktives, direktes Ausbringen“ (VOGT & SCHRIFT 2000). Nützlinge gegen den Traubenwickler sind zum Beispiel die Florfliege, Ohrwurm, Weichspinne, Springspinne und einige weitere Insekten.

Ein direktes Bekämpfungsmittel sind *Bacillus thuringiensis* Präparate, wie zum Beispiel Dipel ES und Xen Tari. Diese werden kurz vor dem Schlüpfen der Raupen ausgebracht und dienen dann als Fraßgift. Deswegen muss die

Behandlung in der 2. Generation erneut erfolgen. Bei starkem Befall sind diese Mittel nicht empfehlenswert (BAUER 1996).

Manchmal wurden Traubenwicklereier gesehen, die von *Trichogramma*-Arten befallen waren. Deswegen könnte man Wespen dieser Art in dem Weinberg freilassen. Diese zerstören dann die Eier der Traubenwickler. Dieser Einsatz ist zurzeit jedoch zu teuer und zu aufwendig (VOGT & SCHRIFT 2000).

4.3. Biotechnische Bekämpfung

„Biotechnologische Pflanzenschutzverfahren sind solche, bei denen natürliche Verhaltensweisen bzw. Stoffwechselvorgänge von Organismen nachgeahmt und für den Menschen nutzbar gemacht werden“ (VOGT & SCHRIFT 2000). Bei der Bekämpfung des Traubenwicklers werden synthetisch hergestellte Pheromone verwendet. Diese greifen in das olfaktorische System des Traubenwicklers ein und verhindert damit, dass das Männchen das Weibchen orten kann.

Diese Verfahren sind in Deutschland im konventionellen, integrierten und organischen Weinbau weit verbreitet. Damit kann eine effiziente und erfolgreiche Schädlingsbekämpfung durchgeführt werden. Vorteile dieser Verfahren sind, dass sie spezifisch auf eine Art wirken und Pheromone in kleinen Mengen sehr aktiv sind. Außerdem ist von einer Vielzahl bekannt, dass diese nicht toxisch auf Tiere wirken (WITZGALL et al. 2010).

4.3.1. Monitoring – Prognoseverfahren

Das Monitoring kann alleine nicht als ein richtiges Bekämpfungsverfahren angesehen werden. Es wird verwendet, um andere Verfahren effektiv einzusetzen.

Für das Monitoring von Traubenwicklern und deren Auftreten und Flugaktivität gibt es verschiedene Methoden. Flugdaten können unter anderem mit Temperatursummen ermittelt werden. Hierbei wird die tägliche Maximaltemperatur über 0°C aufsummiert. Für unterschiedliche Weinbaugebiete ergeben sich verschiedene Zahlenwerte. So liegt der Beginn der Flugzeit des Einbindigen Traubenwicklers im südbadischen Weinbaugebieten bei 1050 Gradtagen (VOGT & SCHRIFT 2000).

Eine weitere Monitoringmethode ist die Pheromonfalle. Diese enthält das spezifische Pheromon des Weibchens. Mit deren Hilfe wird eine repräsentative Anzahl der vorhandenen Männchen im Weinberg gefangen. Diese werden ausgezählt und geben Informationen über die Verbreitung und die Dichte der Populationen. Aus diesen Erkenntnissen kann der Flugverlauf der Männchen überwacht werden. Die Methode dient vor allem der frühzeitigen Erkennung von Populationen. Sie gibt Informationen über den Beginn der Flugphase sowie über den Flughöhepunkt. Mit Hilfe des Monitorings kann auch der Zeitpunkt der Behandlung bzw. Ausbringung von Insektiziden oder Dispensern ermittelt und beurteilt werden, ob ein Schwellenwert überschritten ist (JUTSUM & GORDON 1989).

Zu beachten ist, dass die Pheromonfallen Stichproben der Wildpopulation wiedergeben. Verwendet man Pheromonfallen mit einer geringen Dosis, kann man Vorhersagen auf die mögliche Gesamtpopulation treffen. Hohe Dosen hingegen zeigen die Präsenz einer Population an und geben Kenntnis auf den Beginn einer Flugperiode (DESCOINS 1990). Da die Fallen und die Weibchen um die Männchen konkurrieren, hängt der Fangradius einer Falle von der Dichte der Wildpopulation ab und kann deshalb variieren (HOFFMANN & DOYE 2007).

Bei der Interpretation der Pheromonfallenergebnisse über die gesamte Population muss man sehr vorsichtig sein, da die Weibchen erst 1-2 Wochen später fliegen als die Männchen (BAUER 1996). Ein weiteres Problem liegt in den Fallen selbst, da die Pheromonabgaberate von Falle zu Falle sehr schwanken kann. Selbst in den Produktionschargen gibt es Unterschiede. Darum ist die Vergleichbarkeit erschwert (ARN et al. 1997).

Dennoch sind Prognoseverfahren in Deutschland im konventionellen, integrierten und organischen Weinbau weit verbreitet und werden erfolgreich zur Prognose angewendet.

4.3.2. Mass trapping – Massenfang

Das Prinzip dieses Verfahrens ist es, mit Pheromonfallen möglichst viele Insekten zu fangen und diese dann zu töten („attract and kill“). Bei dieser Methode werden auch Pheromonfallen aufgestellt, die das Pheromon der Weibchen enthalten und damit die Männchen anlocken. Die Männchen

werden eingefangen und vernichtet. Das Töten erfolgt mithilfe von Elektroschocks, Insektiziden, einer klebrigen Oberfläche oder durch langen Aufenthalt in einer überhitzten Falle ohne Wasserzufuhr. Bei diesem Verfahren ist die Umweltbelastung deutlich geringer als bei einer chemischen Behandlung. Der Wirkungsgrad ist allerdings nicht immer befriedigend. Dies kann damit erklärt werden, dass ein Männchen mehrere Weibchen begatten kann. Vor allem geschieht dies, wenn die Populationsdichten hoch sind und es vermehrt zu Zufallsbegegnungen von Weibchen und Männchen kommt. Außerdem werden mit der Pheromonfalle nur Männchen gefangen und begattete Weibchen fliegen weiter.

4.3.3. Mating Disruption – Paarungsstörung

Diese Methode der Schädlingsbekämpfung mit Hilfe von Pheromonen ist viel versprechender einsetzbar, weil sie auf großen Flächen weniger arbeitsintensiv ist. Sie ist weltweit verbreitet und wird im deutschsprachigen Raum auch Paarungsstörung, Verwirrungsmethode oder Konfusionsmethode genannt.

Der Wein aus Regionen mit dieser Art von Pflanzenschutz gilt heute schon als edel und die Verbraucher sind bereit, einen höheren Preis zu bezahlen.

Bei dieser Methode werden Dispenser ausgehängen, die die Hauptkomponente des Pheromonbuketts des Traubenwicklers enthalten. Durch die Diffusion des Pheromons in die Luft wird eine künstliche Pheromonwolke im Weinberg erzeugt. Dadurch mischen sich das künstliche und das natürliche Pheromon. Das Männchen ist „verwirrt“ und kann das Weibchen nicht mehr orten (SANDERS 1995). Deswegen findet kaum Paarung statt, das Weibchen legt unbefruchtete Eier auf die Gescheine und Trauben und die nächste Faltergeneration ist reduziert. Zum Teil kann es zu Zufallsbegegnungen und zu einer Paarung kommen. Insgesamt sinkt aber die Zahl der erfolgreichen Paarungen.

Zur Erklärung, wie das Männchen verwirrt wird, gibt es verschiedene Erklärungsansätze und Mechanismen (SANDERS 1995):

1) Sensorische Müdigkeit (sensory fatigue):

In dem Männchen finden zwei Prozesse statt: die kontinuierliche Pheromonwolke löst eine Adaption (die Auslöseschwelle der Rezeptoren in der Antenne sinkt) und eine Habituation (eine Reduktion der Antworten der einkommenden Signale im Zentralen Nervensystem) aus.

2) Konkurrenz zwischen natürlichen und synthetischen Pheromonquellen (false trail following):

Das Männchen folgt der Duftwolke des Dispensers anstatt der natürlichen der Weibchen. Dies hängt von drei Faktoren ab. Die Attraktivität der Dispenser muss gleich oder höher sein als die der Weibchen. Dazu müssen viele Dispenser vorhanden sein, um die Wahrscheinlichkeit zu reduzieren, dass ein Männchen der Duftfahne eines Weibchens folgt. Ebenfalls sollte das Männchen eine gewisse Zeit auf dem Weg zu und an dem Dispenser verbringen, weshalb die Zusammensetzung des Pheromonbuketts, die maximale Abgaberate der Weibchen und die Dichte der Population bekannt sein sollte.

3) Täuschung der natürlichen Quellen (camouflage):

Bei diesem Mechanismus wird die Duftwolke des Weibchens mit einer künstlichen Pheromonwolke durch die Dispenser getarnt und überdeckt. Umso höher die Konzentration der künstlichen Duftwolke, je näher muss ein Männchen an ein Weibchen heran fliegen, um es zu erkennen. Die Effektivität hängt von der Anzahl der Weibchen und der Konzentration der künstlichen Duftwolke ab.

4) sensorisches Ungleichgewicht (sensory imbalance):

Eine unnatürliche Zusammensetzung des Buketts der künstlichen Pheromonwolke kann die Männchen daran hindern, die Weibchen zu orten.

5) Antagonisten und Pheromonimitation:

Die synthetischen Komponenten besetzen die Rezeptoren der Männchen so, dass keine freien Stellen für natürliche Komponenten

der Weibchen zur Verfügung stehen. Die Antwort kann so nicht ausgelöst werden.

Der Mechanismus kann bei jeder Art unterschiedlich verlaufen. Auch bei dem Traubenwickler gibt es unterschiedliche Ansätze.

Laut CARDE (1990) sind meist verschiedene Mechanismen zusammen wirksam und können synergistisch agieren. Nach SANDERS (1995) ist der Mechanismus der Verwirrungstechnik im Weinbau eine Mischung aus false trail following und sensory fatigue, da die effektivsten Dispenser eine hohe Abgaberate haben und möglichst das gleiche Pheromonbukett wie das der Weibchen enthalten. Eine Ermüdung der Männchen, bzw. eine Adaptation tritt auf, wenn die Konzentration der künstlich erzeugten Pheromonwolke höher ist als die der Weibchen (SANDERS 1995). ARN und LOUIS (1995) sagen aus, dass die Paarungsstörung beim Einbindigen Traubenwickler nicht der false-trail-following-Erklärung zu Grunde liegen kann, da das technisch hergestellte (Z)-9-Dodecenylacetat für die Männchen längst nicht so attraktiv ist wie das der Weibchen. Es enthält mehrere Prozent des Isomers (E)-9-Dodecenyl Acetat. Somit stellt der Dispenser keine Konkurrenz zum Weibchen dar. Nach SCHMITZ et al. (1995a) sei bei dem Bekreuzten Traubenwickler der Hauptmechanismus die Konkurrenz zwischen dem Weibchen und der künstlichen Pheromonquelle (false trail following). Hinzu komme eine Überdeckung der weiblichen Duftfahne (camouflage). DOYE (2006) stellte mit seinen Versuchen dar, dass der Hauptmechanismus ein Überreizungseffekt ist bzw. ein Gewöhnungseffekt. Waren die Männchen hohen Dosen an der Hauptpheromonkomponente ausgesetzt, sank danach die Begattungswahrscheinlichkeit.

Generell soll nach ANFORA et al. (2005) der Bekreuzte Traubenwickler einfacher zu verwirren sein, da im Gegensatz zu anderen Insekten die emittierte Pheromonmenge um vieles geringer ist (20 mal beim Apfelwickler). Somit ist im Fall des false-trail-following das Verwirrungsverfahren sehr effektiv, wenn das Traubenwicklermännchen *vielen* Quellen mit *jeweils* geringen Emissionen ausgesetzt ist.

Einflussfaktoren auf die Wirksamkeit des Verwirrungsverfahrens

Die Wirksamkeit hängt vor allem ab von zwei Faktoren:

- Ausgangsdichte der Traubenwickler in Rebanlage (SCHMITZ 1995b)
- Konzentration des Pheromons im Gelände (OGAWA 1997)

Liegt eine hohe Populationsdichte vor, führt dies öfter zu Zufallsbegattungen, da die Wahrscheinlichkeit steigt, dass ein Männchen auf ein Weibchen trifft. Nach FELDHEGE (1995) kann die Methode der Paarungsstörung kritisch werden ab einem Befall von vier Männchen und vier Weibchen auf 10 m². Ein Lösungsweg bei einer hohen Dichte kann sein, die erste Generation mit Insektiziden zu bekämpfen und erst in der zweiten Generation das Verwirrungsverfahren anzuwenden. Auch hat neben der Populationsdichte, die Länge der Flugaktivität einen Einfluss (SCHMITZ 1995b). Da die Abgaberate der Dispenser mit der Zeit sinkt, kann bei einer langen Flugphase in einer Saison oder bei einer dritten Generation die Wirkung am Ende abnehmen.

Wenn die Konzentration der Pheromonwolke zu gering oder an Stellen („Verwirrungsfreie Inseln“) nicht vorhanden ist, folgen dort die Männchen der Duftfahne der Weibchen und es kann zu einer Begattung kommen. Im Fall, dass die künstlich hergestellte Pheromonwolke hochattraktiv ist, können die Männchen aus angrenzenden Weinbergen zugeflogen kommen. Eine Randbelegung um den zu schützenden Weinberg herum ist daher eine gängige Praxis.

Wenn das synthetische Pheromonbukett der Dispenser nicht gleich dem der Weibchen ist, kann es Nachteile geben. Wenn es zum Beispiel nur aus der Hauptkomponente besteht oder mit Isomeren verunreinigt ist, kann die natürliche Wolke der Weibchen attraktiver sein als die der Dispenser.

Die besten Voraussetzungen für eine erfolgreiche Bekämpfung mit dem Verwirrungsverfahren sind gegeben, wenn der Zeitpunkt und der Ort der Paarung bekannt sind, der Zuflug von begatteten Weibchen minimal ist, die Anzahl der Generationen gering und die Flugphase kurz ist. Wenn möglich, sollte die Entwicklung in der Population möglichst synchron und vorhersagbar ablaufen (JUTSUM & GORDON 1989).

Des Weiteren gibt es mehrere Einflussfaktoren, die wiederum die Konzentration des Pheromons im Gelände beeinflussen:

Unter anderem kann die Witterung Einflüsse auf die Abgaberate der Dispenser haben. Wenn hohe **Temperaturen** oder auch eine hohe **Sonneneinstrahlung** vorliegen, kann die Abgaberate der Dispenser steigen. Deswegen ist am Tag die Abgaberate der Dispenser höher als in der Nacht, wenn die Temperaturen sinken. Da die Traubenwickler dämmerungs- bzw. nachtaktiv sind, kann dies eine große Bedeutung haben. Daher wäre es wünschenswert, nach „intelligenten“ Dispensern zu forschen, die die Abgaberate bei kühlen Temperaturen steigen lassen.

Ein weiterer Einflussfaktor ist der **Wind**. Nimmt die Windstärke zu, steigt auch die Abgaberate. Da durch den Wind eine Abdriftung der Pheromonwolke stattfinden kann, ist es wünschenswert wenn die Abgaberate steigt.

Einen weiteren Einfluss auf die Abgaberate hat der **Füllstand** der Dispenser. Wenn der Inhalt sinkt, wird die Diffusionsfläche reduziert. Somit wird weniger Pheromonmenge abgegeben und die Abgaberate sinkt. Bei Isonet-Dispensern ist dieser Nachteil behoben. Dort ist die Innenseite aufgeraut und somit das Pheromon gleichmäßig verteilt.

Ein weiterer Faktor für die Konzentration in der Luft ist der **Laubbestand**. Eine Laubwand ist in der Lage, eine gewisse Menge an Pheromon zu adsorbieren und zu emittieren, je nach Sättigungszustand der Luft. KARG & SAUER (1997) haben mit einem Elektroantennographen eine höhere Pheromonkonzentration im Sommer als im Frühling ermittelt, obwohl im Frühling die Abgaberate eines neuen Dispensers höher ist. Dies wird damit begründet, dass es im Sommer eine dichtere Laubwand gibt und die Temperaturen höher sind. Ist ein Laubbestand vorhanden, kann die Verwirrtechnik noch drei Tage weiterlaufen, nachdem die Dispenser aus dem Bestand genommen wurden (DOYE 2006). Neben der Laubmasse ist die Wachsschicht der Blätter von Bedeutung. So hat die Bodenvegetation, die eine geringe Wachsschicht aufweist, keinen Einfluss auf die Pheromonkonzentration in der Luft. Die Laubwand der Reben kann sowohl als zweiter “Dispenser“ als auch als Windschutz fungieren (SAUER & KARG 1998).

Einen Einfluss auf den Erfolg der Verwirrtechnik hat die **Größe** der behandelten Fläche. Ist die Fläche klein, gibt es im Verhältnis ein großes

Randgebiet, aus dem Männchen oder begattete Weibchen zufliegen können, vor allem, wenn um die behandelte Fläche weitere Weinbauflächen liegen. Ist die behandelte Fläche isoliert, ist das Risiko, dass weitere Traubenwickler hinzu fliegen, geringer. Eine Verbesserung der Anwendung könnte man erzielen, indem man ein großes und isoliertes (BASF 2009a) Weinbaugebiet auswählt und dort gleichmäßig die Dispenser aushängt, sowie mit einem Anlegen von einem 30-50 m breiten Schutzstreifen um die Anbaufläche. Ebenso spielt auf großen Flächen die Abdrift der Pheromonwolke eine geringere Rolle als auf kleinen Flächen.

Außerdem kann die Verwirrungstechnik nur erfolgreich ablaufen, wenn die Dispenser vom Nutzer zum richtigen Zeitpunkt und an die richtigen Stellen verteilt werden (SILVERSTEIN 1990).

Dispenser

Es gibt viele verschiedene Dispenser. Sie unterscheiden sich in Material, Form und Applikationstechnik. Diese sind mit dem Pheromon gefüllt und werden an die Weinreben gehangen. Die Aufgabe der Dispenser ist es, die enthaltenen Pheromonkomponenten kontinuierlich mit einer konstanten Abgaberate über die gesamte Nutzungsdauer abzugeben. Wenn möglich sollte dieses unabhängig von Temperatur, Feuchtigkeit, Lichtintensität und Füllzustand innerhalb des Dispensers geschehen (JUTSUM & GORDON 1989).

Nach DOYE (2006) sollten für eine erfolgreiche Anwendung der Dispenser mindestens 500 Dispenser pro Hektar ausgebracht werden. Dies bedeutet eine Dichte von einem Dispenser auf 20 m². Die Abgaberate des Pheromons des Bekreuzten Traubenwicklers sollte mindestens 1 mg/Tag betragen und die des Pheromons vom Einbindigen Traubenwickler sollte 0,5 mg/Tag nicht unterschreiten. Daher sollte die minimale Abgaberate eines Dispensers, der beide Pheromone enthält, 1,5 mg/Tag betragen. Wichtig ist, dass sich der Wirkungsradius der einzelnen Dispenser überschneidet und keine Lücken zwischen den Pheromonwolken entstehen, in denen das Männchen ein Weibchen orten kann (SAUER & KARG 1998).

In Deutschland sind zur Zeit RAK 1 neu und RAK 1+2 SD der Firma BASF für die Bekämpfung des Heu- und Sauerwurms zugelassen. RAK 1 besteht aus einer Ampulle, die mit 200 mg (Z)-9-Dodecenyl Acetat, der Hauptpheromonkomponente des Einbindigen Traubenwicklers, gefüllt ist. RAK 1+2 SD (Abb. 5) besteht aus einer Doppelampulle. In jeweils einer Kammer ist die Hauptkomponente des Pheromons eines der beiden Traubenwickler enthalten. So ist eine Kammer mit 200 mg (Z)-9-Dodecenyl Acetat gefüllt, um den Einbindigen Traubenwickler zu bekämpfen, und die andere Kammer mit 240 mg (E)7-(Z)9-Dodecadienylacetat gegen den Bekreuzten Traubenwickler (BASF 2009b). Die Anwendung erfolgt per Hand vor dem ersten Falterflug, d.h. gegen Ende April, und es werden ca. 500 Dispenser pro Hektar in die Weinreben gehangen. Dies ergibt eine Aufwandmenge von 100 g des Wirkstoffes (Z)-9-Dodecenyl Acetat und 120 g (E)7-(Z)9-Dodecadienylacetat pro Hektar.



Abb. 5: RAK 1+2 SD Dispenser der Firma BASF⁷

Weitere Dispenser hat die Firma Shin-Etsu Chemicals Co. entwickelt. Diese haben in Deutschland keine Zulassung, dürfen aber zu Versuchszwecken nach dem Pflanzenschutzgesetz §11 Abs.2 angewendet werden. Es sind Polymerröhrchen, die das synthetische Pheromon und einen Draht enthalten, der dazu dient, die Dispenser an den Reben zu befestigen (Abb. 6). Es werden 500 Dispenser pro Hektar ausgebracht. Diese werden vor der ersten Flugphase in Höhe der Gescheine im Schatten und gleichmäßig im quadratischen Verband alle 4,5 m verteilt (BASF 2009a). Die Wirkdauer beträgt 150-180 Tage. Die Mindestgröße einer Rebfläche in geschlossener

⁷ <http://www.de-verband.com/fitforfarming/img2010/0210weinbau-rak.jpg>

Weinbergslage beträgt 20 ha, empfohlen wird jedoch eine Fläche von 50 ha. Die kürzeste Seitenlänge sollte 450 m nicht unterschreiten. In isolierter Lage ist die Mindestgröße 0,3 ha mit einer Mindestlänge von 50 m für die kürzeste Seite. Wenn die Fläche kleiner ist, sollte die Zahl der Dispenser auf bis zu 1000 Stück/ha erhöht werden. Gegen den Einflug begatteter Weibchen und Windeinfluss sollte eine Randbehandlung durchgeführt werden. Dabei soll die Anzahl der Dispenser im Bereich der äußeren 30-50 m erhöht werden.



Abb. 6: Isonet LE (links) und Isonet Lplus (rechts) Dispenser der Firma Shin-Etsu Chemicals Co.⁸

Es werden vier verschiedene Isonet-Dispenser angeboten, die an verschiedene Populationszusammensetzungen von Bekreuzten und Einbindigen Traubenwickler angepasst sind:

Isonet L:

enthält die Hauptpheromonkomponente des Bekreuzten Traubenwicklers, (E)7-(Z)9-Dodecadienylacetat

Isonet E:

enthält die Hauptpheromonkomponente des Einbindigen Traubenwicklers, (Z)-9-Dodecenyl Acetat

Isonet L plus :

enthält zu 90 % die Hauptpheromonkomponente des Bekreuzten Traubenwicklers ((E)7-(Z)9-Dodecadienylacetat) und zu 10 % die des Einbindigen Traubenwicklers ((Z)-9-Dodecenyl Acetat)

⁸ BREUER, M.: Erfahrungen mit Isonet LE und Lplus, Der Badische Winzer, Rebschutz, Januar 2007

Isonet LE:

enthält die Hauptpheromonkomponenten beider Traubenwickler,
 223,1mg (E)7-(Z)9-Dodecadienylacetat, 178,2mg (Z)-9-Dodecenyl
 Acetat pro Dispenser (BASF 2009a)

Voraussetzung für eine befriedigende Wirkung von Isonet LE ist, dass im Vorjahr auf der Ausbringungsfläche eine Schadschwelle von 5% (in der Summe für den Einbindigen und den Bekreuzten Traubenwickler) für den Sauerwurm nicht überschritten wurde. Ansonsten muss neben dem Verwirrungsverfahren ein Insektizid zur Populationsreduzierung eingesetzt werden.

Im Jahr 2010 wurden dem WBI Freiburg für Versuchszwecke die Ausbringung von Isonet LE auf 6100 ha und die von Isonet Lplus auf 1700 ha genehmigt (persönl. Mitteilung Breuer, WBI Freiburg 2010). Diese sind sonst in Deutschland nicht zugelassen.

Im Vergleich zu den RAK-Dispensern haben die Dispenser der Firma Shin Etsu Chemical Co. den Vorteil, dass ihre Abgaberate über eine längere Zeit relativ konstant bleibt. RAK-Dispenser hingegen weisen eine kontinuierlich sinkende Abgaberate auf, so dass die Mindestabgaberate schneller erreicht wird (LINDNER 2009).

Jedoch gibt es immer noch Ausnahmefälle (1 von 10 Anbaujahren), bei denen das Verwirrungsverfahren keine erfolgreiche Wirkung erzielen konnte. Ein Problem dieses Verfahren ist, dass es eines der teuersten und arbeitsintensivsten Verfahren im Pflanzenschutz ist. Zu beachten ist, dass die Kosten nicht nur mit den Insektiziden verglichen werden. Sondern auch die Kosten der Fungizide müssen mit einbezogen werden (DESCOINS 1990). Benötigt wird eine Kostenreduzierung durch billigere Pheromone oder verbesserte Ausbringungstechniken (ARN & LOUIS 1997).

Hierzu wird zurzeit weiter geforscht, wie zum Beispiel im Bereich der Nanofasern. Diese werden durch Elektrospinning gewonnen und während des Spinnens mit Pheromon befüllt (GREINER & WENDORFF 2007, HEIN et al. 2009). Maschinen bringen diese dann aus. Ein weiteres Prinzip ist das Autokonfusionsverfahren (DEGEN et al. 2005). Hierbei werden die Männchen mit einem pheromonbeladenen Puder bestäubt und erzeugen

dann selbst eine Pheromonwolke in der Luft. Diese Verfahren sind jedoch noch nicht ausgereift und können noch nicht angewendet werden.

Sicherheit der Dispenser

Nach Herstellerangaben sind RAK und Isonet Dispenser schädlich für Wasserorganismen und können in Gewässern längerfristige schädliche Wirkungen haben (BASF 2009a,b). Für Isonet Dispenser wird erwähnt, dass diese Gefahren für den Inhaltsstoff gelte, das Produkt selbst aber sicher sei. Wegen der geringen Menge an Chemikalien in dem Produkt sei selbst bei Beschädigung eine Freisetzung sehr unwahrscheinlich. Ebenso sei es biologisch leicht abbaubar. Die Wirkstoffe sind ein Teil des natürlichen Pheromonbuketts des Traubenwicklers, also eine natürliche Substanz, die in der Umwelt vorkommt und niemanden beschädigt. Es ruft artspezifisch das Anlocken der Traubenwicklermännchen aus.

BIOKREIS e.V. (2010) verbietet ab März 2010 die RAK Dispenser, da diese „hohe toxische Wirkung nicht nur auf Schädlinge haben, sondern auch für Mensch und Natur scheint das Mittel bedenkliche Nebenwirkungen zu haben“.

Die Chemikalien wirken jedoch nicht toxisch auf den Schädling. Sie ahmen ausschließlich das Verhalten des Schädlings mit den artspezifischen Substanzen nach und greifen so in das *Verhalten* dieser Tiere ein. Lediglich eine große Menge könnte unter anderem nicht erwünschte Auswirkungen haben, jedoch liegen diese Substanzen in winzigen Konzentrationen (ng/mL) in der Luft als Gas vor und nicht als hochkonzentrierte Flüssigkeit. Hinzu kommt, dass die RAK 1+2 Dispenser keine Pheromonfallen sind, wie in der Pressemitteilung beschrieben ist. Es sind Dispenser für das Verwirrungsverfahren. Hierbei wird kein Schädling, noch Nützling, beschädigt oder getötet. Wird das Verwirrungsverfahren verwendet, führt dies zu einer geringeren Paarungsrate, die bewirkt, dass weniger befruchtete Eier abgelegt werden und die Anzahl der Schädlinge der nächsten Generation sinkt.

Da die Pheromonkomponenten, die die Dispenser enthalten, auch in der Umwelt vorkommen und in minimalen Mengen verwendet werden, kann es

nur sehr unwahrscheinlich zu einer Kontamination und Schädigung anderer Lebewesen, wie Fischen, führen.

5. Material und Methoden

5.1. Windkanal

Windkanäle werden zu unterschiedlichen Versuchszwecken verwendet. Zuerst wurden sie für Versuche zur Aerodynamik benutzt. Heute werden sie auch in der Forschung für Insekten verwendet, um zum Beispiel deren Flugverhalten zu untersuchen. In dieser Arbeit wird er verwendet, um die natürlichen Gegebenheiten des Weinbergs in Freiburg nachzuahmen. Ein wichtiger Faktor für den Windkanal ist, dass die Bedingungen konstant bleiben. Das heißt, dass zu jeder Zeit eine konstante Luftgeschwindigkeit herrschen sollte. Außerdem sollte eine laminare Strömung ohne Verwirbelungen gegeben sein. Hinzu sollte gewährleistet sein, dass die Luft nicht mit Fremdstoffen kontaminiert ist, was durch große Filter und Aktivkohle ausgeschlossen wird.

In diesem Versuch wurden die Dispenser dreieinhalb Monate in einen Windkanal aus Plexiglas gehangen, um die Abgaberate von Isonet-LE Dispensern gravimetrisch zu bestimmen. Er befindet sich auf dem Gladbacher Hof in Aumenu, ist 180 cm lang, 80 cm tief und 83 cm hoch (Abb. 7). Auf einer Seite erzeugt ein Ventilator eine Luftströmung. Dort wird die Luft zuerst durch einen Aktivkohlefilter gereinigt und dann mit Hilfe eines Siebsatzes eine laminare Luftströmung erzeugt, die dann durch den Kanal bläst. Auf der anderen Seite befindet sich wiederum ein Ventilator, der die Luft aus dem Kanal ansaugt und reinigt. Die Luftgeschwindigkeit beträgt konstant 0,5 m/s, dies ist die Durchschnittswindgeschwindigkeit der Versuchsweinberge. Eine regelmäßige Messung der Windgeschwindigkeit wurde mit einem Anemometer durchgeführt. Die Luftfeuchtigkeit und Temperatur wurden mit einem Datenlogger EL-USB für Feuchte und Temperatur gemessen und dokumentiert. Diese Parameter können mit dem Umgebungsklima und der Jahreszeit schwanken.



Abb. 7: Der Windkanal auf dem Gladbacher Hof in Aumenau, behangen mit Proben

Bevor die Proben in einem Käfig in den Windkanal gehangen wurden (Abb. 8), wurden Dispenser und Käfig jeweils einzeln und zusammen gewogen. Danach wurden die Käfige, die die Dispenser enthalten, zwei Mal in der Woche mit einer Feinwaage (Mettler AE 160) gewogen (Abb. 8). Für den Transport vom Windkanal zur Waage wurde eine mit Alufolie ausgelegte Glasschale verwendet, die wiederum mit Alufolie bedeckt war. Die Zangen und Pinzetten wurden mit Teflonband umwickelt, um eine Abreibung und damit Massenverlust am Metall zu vermeiden.



Abb. 8: Isonet LE-Proben im Windkanal (links) und Messung der Proben auf einer Feinwaage (rechts)

Mit dieser Methode erhält man den Masseverlust eines Dispensers. Dieses verlorene Gewicht zeigt, wie viel Pheromonmenge aus dem Dispenser entwichen ist. Mithilfe von Excel wurde dann die Abgaberate pro Tag ermittelt.

Um zu erkennen, welche der beiden Pheromonmengen zu welchem Anteil diffundiert ist, wurde eine weitere differenzierende Methode verwendet, die Closed-Loop-Stripping Analysis.

5.2. Closed-Loop-Stripping Analysis (CLSA)

Dieses Verfahren wird verwendet, um qualitative und quantitative flüchtige Substanzen zu erkennen. Ursprünglich wurde es für die Spurenanalytik von verunreinigtem Trinkwasser angewandt. In dieser Arbeit wurde es verwendet, um zu erkennen, wie viel und welches Pheromon ein Dispenser abgibt.

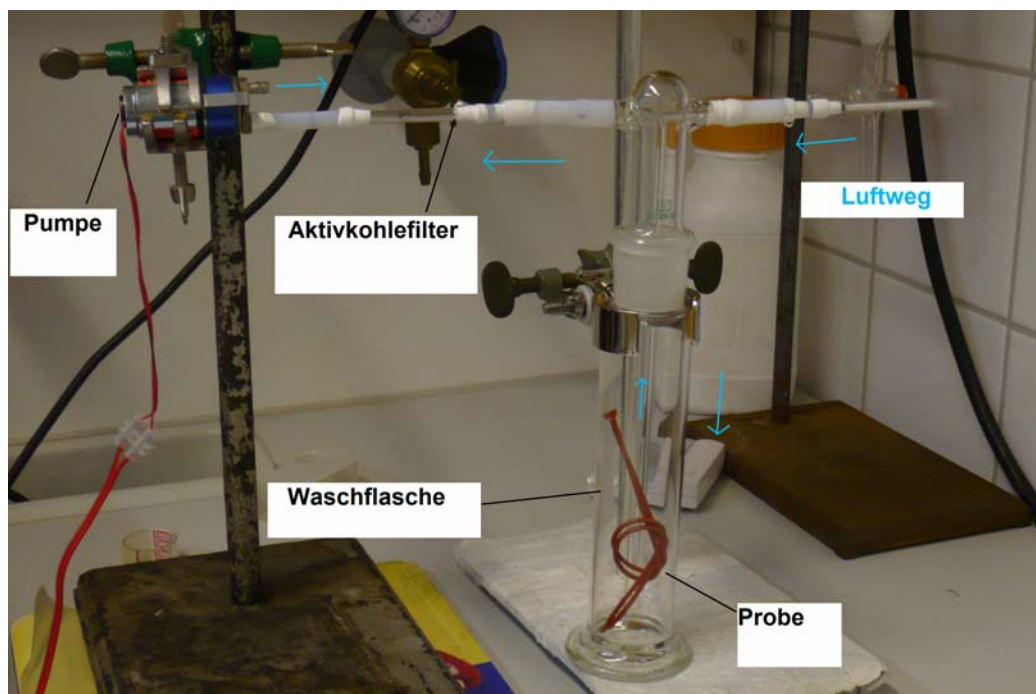


Abb. 9: Apparatur des CLSA-Versuchs mit Darstellung des Luftweges

Die Probe wurde in eine Waschflasche mit Schliffstopfen gelegt. An ein Ende wurde ein Aktivkohlefilter gesteckt. Daran wiederum wurde eine Mikropumpe (Füllgut Miniaturvakuumpumpe) angeschlossen. Diese saugt die Luft kontinuierlich an und erzeugt einen Luftstrom von 150 mL/min (Abb. 9). Die Übergänge zwischen Waschflasche, Filter und Pumpe wurden mit Teflonband abgedichtet. Bevor die Luft durch die Waschflasche strömt, wird sie zu allererst durch Glaswolle und einen Aktivkohlefilter gereinigt. Mit der Luft werden die freigelassenen Pheromonmoleküle aus der Waschflasche getragen. Die kontaminierte Luft strömt dann zu einem zweiten Aktivkohlefilter, in dem die flüchtigen Substanzen adsorbiert werden. Die

Anreicherung liegt im Nanogrammbereich und kann ein quantifizierbares Gaschromatogramm liefern. Die „Stripping Time“ (Zeit der Gasphasenextraktion) betrug zunächst pro Probe 45 Minuten. Danach wurde die Pumpe weitere zwei Male für 30 Minuten aktiviert. Nach jedem Zeitstopp wurde der Filter erneuert. Eluiert wurden die flüchtigen Substanzen aus den Filtern mit einem Gemisch aus zwei Teilen Dichlormethan und einem Teil Methanol. Hierfür wurde mit einer 50 μ L-Spritze zwei Mal pro Filter 25 μ L des Dichlormethan-Methanol-Gemischs an den Aktivkohlefilter gespritzt. Mit einer Glaskolbenspritze wurde, nach der Methode von BROWNLEE & SILVERSTEIN (1968), durch abwechselndes ZIEHEN und DRÜCKEN ein Unter- und Überdruck aufgebaut. Damit wurde die Flüssigkeit in Bewegung gesetzt und 40 Mal durch den Aktivkohlefilter hin und her gepresst (Abb. 10). Damit wurden alle flüchtigen Substanzen aus dem Aktivkohlefilter ausgespült und in der Flüssigkeit angereichert. Das kontaminierte Lösungsmittelgemisch wurde dann mit einer 50 μ L-Spritze aufgenommen und in ein beschriftetes Autosampler-Proben-Gläschen mit Mikrolitereinsatz gegeben. Die abgenommenen Mengen der zwei Spülungen wurden notiert und das Autosampler-Proben-Gläschen bis zu 45 μ l mit Dichlormethan-Methanol Gemisch (2:1) aufgefüllt. Schließlich wurde das Autosampler-Proben-Gläschen mit einer Bördelkappe verschlossen (Abb. 11).



Abb. 10: Prinzip der Elution bzw. Waschung des Aktivkohlefilters

Diese Probe wurde dann in einem Gaschromatographen auf Pheromonkomponenten und –menge untersucht.

Der Aktivkohlefilter wurde nach der Elution mit je 3 mL Dichlormethan-Methanol, Aceton und Hexan gespült. Ebenso wurde die Waschflasche mit Aceton gespült und diese mit den Filtern in einem Trockenschrank 30 Minuten auf 110 °C erhitzt.



Abb. 11: Autosampler-Gläschen mit Feder, Mikrolitereinsatz und Deckel

5.3. Gaschromatographie

Die Gaschromatographie ist eine weit verbreitete Methode zur Trennung und quantitativen Bestimmung von verdampfbaren Stoffgemischen. Die Voraussetzung für diese Methode ist, dass das zusammengesetzte Gemisch gasförmig vorliegt oder sich durch Verdampfen in den gasförmigen Zustand versetzen lässt (MLADEK & VOEMEL 2010).

Das Prinzip beruht auf der unterschiedlichen Löslichkeit verschiedener Stoffe in einer „Flüssigphase“, mit der die Trennsäule innen ausgekleidet ist. Das Probengemisch wird mit einem Injektor auf die Trennsäule transportiert, an der es in die gasförmige Form übergeht und sich mit dem Trägergas vermischt (Abb. 12). Typische Trägergase sind Helium, Stickstoff und Wasserstoff (MLADEK & VOEMEL 2010). Hier beginnen die Wechselwirkungen im Phasensystem und die eigentliche Trennung. Das Gasgemisch, welches durch die Trennsäule strömt, ist die mobile Phase (Gasphase). Die Trennsäule, in dem die Trennung stattfindet, enthält die stationäre Phase (Flüssigphase). Dies ist ein dünner Film auf der Innenwand. Desto länger und öfter ein Stoff in der Flüssigphase verweilt, desto später erreicht er das Ende der Trennsäule, den Detektor. Dieser nimmt die

Änderungen der mobilen Phase auf und setzt sie in ein elektrisches Signal um.

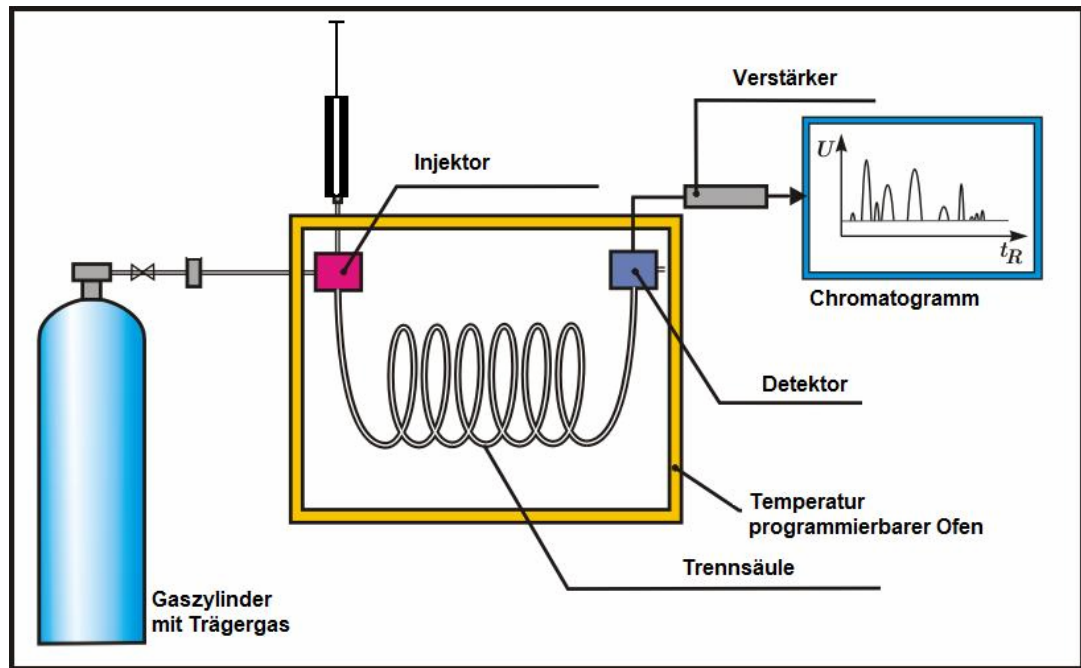


Abb. 12: Ablauf und Apparatur der Gaschromatographie⁹

Es gibt verschiedene Detektortypen. Ein älterer Typ ist der Wärmeleitfähigkeitsdetektor (WLD). Dieser misst den Unterschied der Wärmeleitfähigkeit von Trägergas zu Trägergas. Am häufigsten wird der empfindlichere Flammenionisationsdetektor (FID) eingesetzt. Hierbei werden organische Verbindungen in einer Flamme verbrannt und ionisiert. Die Erhöhung des Stromflusses wird dann beim Ankommen der organischen Verbindungen registriert (MLADEK & VOEMEL 2010). Das Ergebnis ist ein Chromatogramm, in dem das Detektorsignal gegen die Zeit aufgetragen ist.

Erklärung des Gaschromatogramms:

Durch ein Chromatogramm wird das Ergebnis des Gaschromatographen visualisierbar.

Die Anzahl der Peaks zeigt die *Anzahl* der enthaltenen Stoffe an (Komponente 1, Komponente 2) (Abb. 13). Die Peakfläche unter dem

⁹ Verändert von
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1e/SchemaGaschromatograph_dutch.png

Elutionsprofil zeigt die enthaltene *Menge* und Konzentration der einzelnen Stoffe der Probe an.

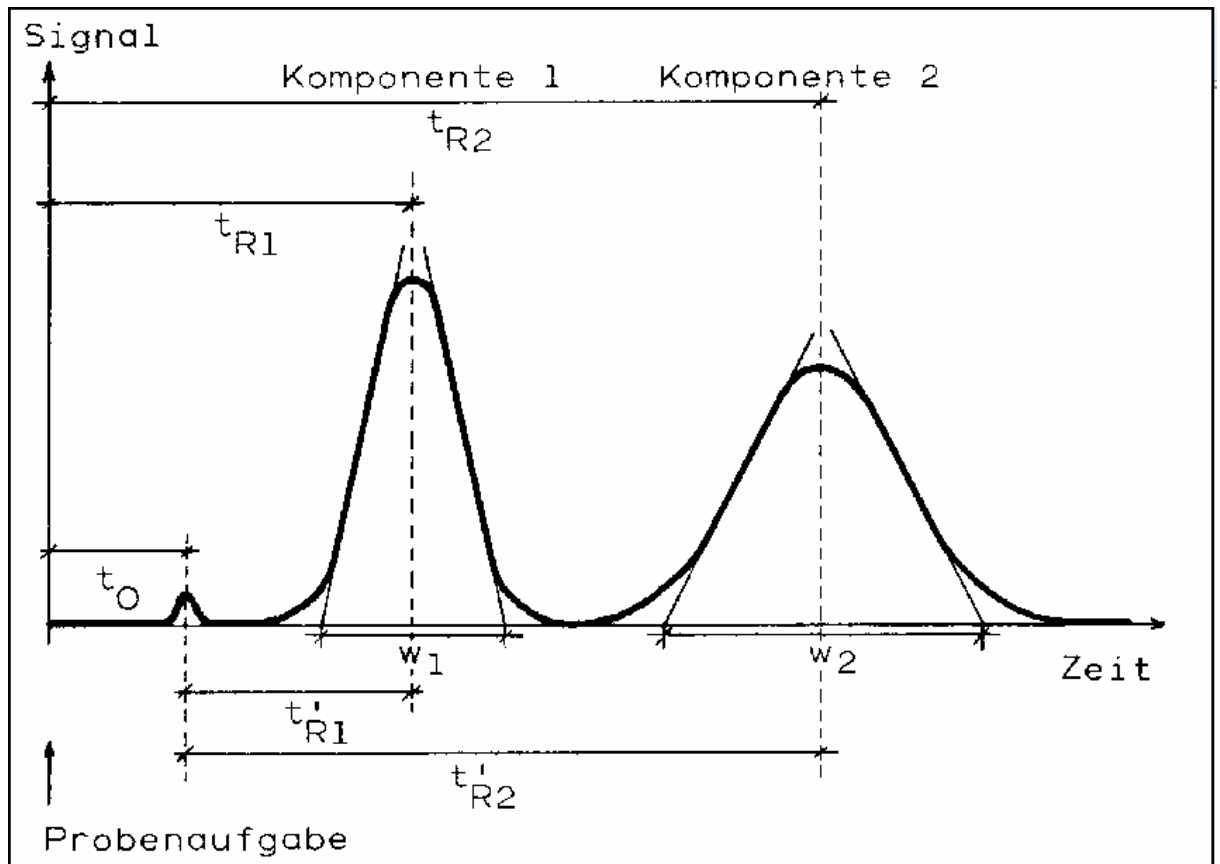


Abb. 13: Ein Gaschromatogramm aus einem Gaschromatographen

Die Totzeit (t_0), ist die Zeit, die die mobile Phase von der Probenaufgabe bis zum Detektor, am Ende der Trennsäule benötigt.

Die Retentionszeit (t_{R1} , t_{R2}) ist die Zeit, die (Abb. 13) eine Probesubstanz in der Trennsäule verbringt. Sie entspricht der Zeit von der Probenaufgabe bis zum Maximumpunkt eines Peaks und ist probenspezifisch. Mithilfe dieser werden die verschiedenen Substanzen erkennbar, die in der Probe enthalten sind.

Um die verschiedenen Substanzen anhand der Retentionszeiten und ihre Mengen anhand der Peakfläche zu erkennen, muss man das System vorher mit Standardlösungen eichen (WEBER & WEBER 1992). Dazu setzt man Standards an, deren Inhaltsstoffe und –mengen bekannt sind. Vergleicht man die Chromatogramme der Standards und der Proben, erkennt man, welche Substanzen und in welcher Menge diese in der Probe enthalten sind.

5.4. Material

Windkanal:

- **Windkanal** (Wände aus Plexiglas, laminare Strömung mit einer Geschwindigkeit von 0,5 m/s)
- **Käfige** aus Aluminiumdraht
- **Feinwaage** (Mettler AE 160)

CLSA:

- **Waschflasche**
- **Glaskolbenspritze** (Pulten & Graf, Volac, Spritze Fortuna Optima, Glaskonus, LUER, 10mL, Artikel-Nr. 1930635010)
- **Feder** (CZT - Klaus Trott Chromatographie Zubehör, 5x20, Artikel-Nr. 501167012)
- **µL-Einsatz** (CZT - Klaus Trott Chromatographie Zubehör, 5x30 mm Spitze 15 mm, ca. 100 µL (konisch) Artikel-Nr. 501105021)
- **Autosamplerglas** (CS-Chromatographie Service GmbH, Flasche R1 klar, BR 3,0; Bestellnr. :300001)
- **Bördelkappe** (CS-Chromatographie Service GmbH, , R11-1,3; WE 10882 Artikel-Nr.: 301079)
- **Spritze** (CZT, Spritze 1705N, 50µL, Ga22S, 51 mm, aD 0,72 mm, PST3, Artikel-Nr.: 9180975)
- **CLSA-Filter** (5 mg Aktivkohle, Hersteller: Daniel Gränicher, Daumazen sur Arize – Frankreich)
- **Miniaturvakuumpumpe** (Vakuumpumpen DC12/16NK, Erich Fürgut, Miniaturvakuumpumpen, Tannheim)
- **Methanol** CH₃OH (Pestanal, FLUKA, Art-Nr. 34485)
- **Dichlormethan** CH₂Cl₂ (Pestanal, FLUKA, Art.-Nr. 34485)
- **Hexan** CH₃(CH₂)₄CH₃ (≥ 95.0 %, FLUKA, Art.-Nr. 52749)
- **Aceton** CH₃COCH₃ (≥ 99.8 %, Pestanal, Art.-Nr. 34480)

Gaschromatographie:

- **GC Gaschromatograph** HP 5890 mit automatischem Probengeber HP6890
- **Kapillarsäule:** FS-INNOPEG-2000, Länge 30 m, Innendurchmesser 0,25 mm, Außendurchmesser 0,36 mm, Filmdicke 0,25 µm, max. Temperatur 260-280 °C, Art-Nr. 22517130, Hersteller: Chromatographie Service
- **Trägergas:** Stickstoff
- **Make-up-Gas:** Pressluft
- **Injektor:** Split/Splitless-Einlass-System mit einem Gas-Liner, doppelkonisch, deaktiviert ohne Glaswolle; im Splitless System betrieben
- **Injektortemperatur:** 200 °C
- **Temperaturprogramm:** Start bei 80 °C, 0 min, mit 10 °C/min auf 220 °C, 6 min halten, Gesamtlauflänge 20 min
- **Detektor:** FID mit Wasserstoff betrieben
- **Detektortemperatur:** 250 °C
- **Integrator:** HP 3396 Series III Integrator

Dispenser:

Untersucht wurden Isonet LE Dispenser der Firma Shin-Etsu Chemicals Co. Zum einen untersuchte man Dispenser, die schon einen Sommer im Bestand in Freiburg gehangen haben. In diesem Bestand hat die Verwirrtechnik nicht den gewünschten Erfolg gebracht. Zum anderen verwendete man für Untersuchungen frische Dispenser, die noch nicht ausgebracht wurden.

5.5. Trockeneisversuch

Trockeneis besteht aus festem Kohlenstoffdioxid, welches bei -78,48°C sublimiert. Das heißt, dass es von dem festen Stoff direkt in die Gasphase übergeht. Flüssigkeit entsteht dabei nicht. Dann ist an feuchter Luft ein weißer Dampf zu sehen, wodurch die Luftströmung erkennbar wird. Überwiegend wird diese Substanz zum Kühlen verwendet.

Für diesen Versuch wurden 30 kg Trockeneis Pellets der Firma CLEANAS in Willingen bezogen.

6. Ergebnisse und Diskussion

6.1. Ergebnisse und Diskussion Trockeneisversuch

Mithilfe von Trockeneis sollte die Windströmung und Verwirbelungen im Windkanal sichtbar gemacht werden. Die Dispenser befinden sich in Käfigen, die in den Windkanal eingehängt werden. Mit dem Trockeneisversuch sollte untersucht werden, ob die Käfige Verwirbelungen in der Luft verursachen und dadurch das abgegebene Pheromon von einem Dispenser, von einem weiteren in einem anderen Käfig wieder aufgenommen werden kann. Das Trockeneis und die Käfige wurden an verschiedene Stellen im Windkanal positioniert. Der Versuch wurde mit Kamera und Fotoapparat aufgezeichnet und dokumentiert.



Abb. 14: Die laminare Strömung im Windkanal, sichtbar gemacht durch Trockeneis, eingehängt in Käfigen, links: Ansicht von der Seite, rechts: Ansicht vom Ende des Kanals

Zu erkennen war, dass die Luft laminar durch den Windkanal strömt (Abb. 14). Trifft die Luft auf einen Käfig, zieht sie deutlich weiter ab mit kleinen Verwirbelungen, die aber nach den Käfigen zustande kommen. Diese verlaufen horizontal und vertikal und beeinflussen keine weiteren Käfige, da keine Käfige hintereinander hängen.

Dies bedeutet, dass sich die Käfige sicher nicht gegenseitig beeinflussen und Pheromone von anderen Dispensern wieder aufgenommen werden können.

Die Pheromone werden direkt mit der Luftströmung abgetragen. Am Ende des Windkanals wird die kontaminierte Luft durch einen Aktivkohlefilter geleitet und gesäubert. Für weitere Versuche mit Dispensern in dem Windkanal heißt dies auch, dass man unterschiedliche Dispenser von verschiedenen Arten einhängen kann.

6.2. Ergebnisse der Pheromonabgaberaten

6.2.1. Ergebnisse der Pheromonabgaberate ermittelt durch Wägung

Im Windkanal werden neuwertige Isonet-LE Dispenser und Isonet-LE Dispenser aus dem Bestand in Freiburg mit jeweils drei Wiederholungen für 106 bzw. 110 Tage eingehängt. Diese wurden zwei Mal pro Woche gewogen, um die Gewichtsabnahme und damit die Abgaberaten zu ermitteln. Zusätzlich wird das durchschnittliche Gewicht von neuwertigen Dispensern und von Dispensern, die eine Saison im Bestand in Sasbach in Baden-Württemberg aushingen, bestimmt. Dafür wurden jeweils 25 Stück des einzelnen Dispensertypen mit einer Feinwaage gewogen und der Mittelwert bestimmt. Außerdem wurde anhand von drei Dispensern, die über ein Jahr draußen aushingen, das Leergewicht der Dispenser ermittelt.

Das durchschnittliche Gewicht der neuwertigen Isonet LE Dispensern ist 1,429 g mit einer Standardabweichung von $\pm 0,026$ g. Das Durchschnittsgewicht der gebrauchten Isonet LE Dispenser aus Sasbach ist 1,044 g mit einer Standardabweichung von $\pm 0,025$ g. Das Gewicht der leeren Dispenser beträgt 0,970 g. Fügt man diesem das Gewicht des Pheromons hinzu, mit dem die neuen Dispenser beladen sind (401,3 mg), erhält man 1,371 g. Dies ergibt eine Differenz von 0,057 g zu dem ermittelten Durchschnittsgewicht der neuwertigen Dispenser.

Wird das Gewicht der Dispenser aus den zwei Beständen voneinander subtrahiert, wird erkennbar, dass die Dispenser aus Freiburg und Sasbach unterschiedlich viel Pheromonmenge in einer Saison abgegeben haben. Denn die Dispenser aus Sasbach haben 385 mg bzw. 96 % und die aus Freiburg 343 mg bzw. 85% der Pheromonmenge abgegeben.

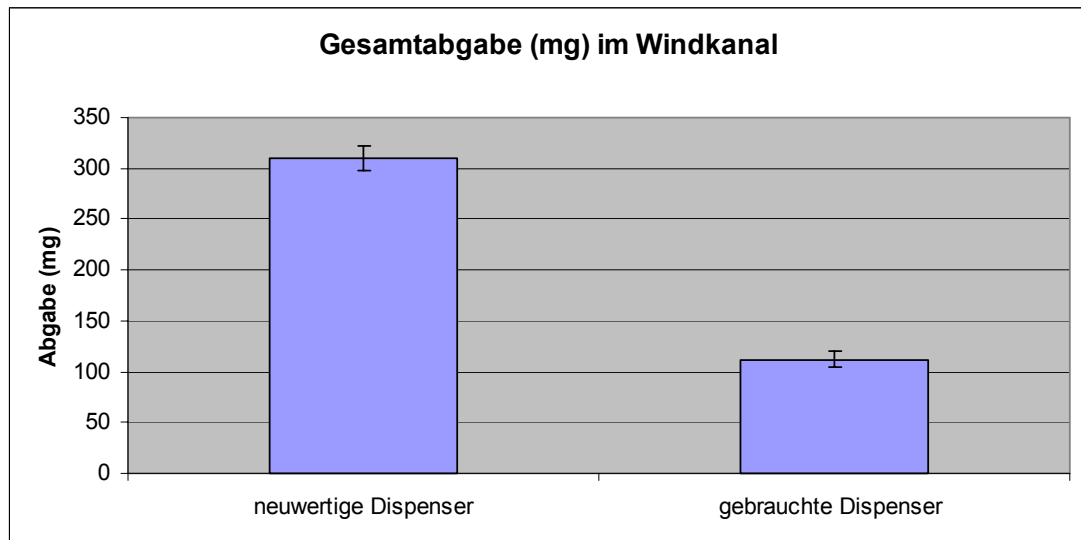


Abb. 15: Vergleich der Gesamtpheromonabgabe im Windkanal von neuwertigen Dispensern und Dispenser aus dem Bestand, ermittelt durch Wägung

Die neuwertigen Dispenser haben in 106 Tagen im Windkanal 310 mg Pheromon abgegeben. Die Dispenser, die eine Saison im Bestand hingen, haben 112 mg in 110 Tagen verloren (Abb. 15). Das heißt, dass die gebrauchten Dispenser im Windkanal weitere 28 % der Pheromonmenge abgegeben haben, die ein neuer Dispenser enthält. Aus den neuwertigen Dispensern sind 77 % des gesamten Pheromons abdiffundiert.

Bezieht man den Verlust des Gewichtes seit Versuchsbeginn zur gesamten Hangzeit (die Abgaberate seit Versuchsbeginn), verläuft die Kurve sehr viel gleichmäßiger (Abb. 16) als wenn man das zwischen den Messungen verlorene Gewicht auf die Zeit zwischen den Messung (Abb. 17) bezieht (Abgaberate zwischen den Messungen).

$$\text{Abgaberate seit Versuchsbeginn} = \frac{\text{Masseverlust seit Versuchsbeginn}}{\text{Gesamte Expositionszeit}}$$

$$\text{Abgaberate zwischen den Messungen} = \frac{\text{Masseverlust zwischen den Messungen}}{\text{Zeitdifferenz zur letzten Messung}}$$

Auch ist zu erkennen, dass die Abgaberate zwischen den Messungen sehr viel früher sinkt und am Ende des Versuchs kleiner ist als die Abgaberate seit Versuchsbeginn. Dies ist bei den Dispensern aus dem Bestand stärker ausgeprägt (Abb. 16, Abb. 17).

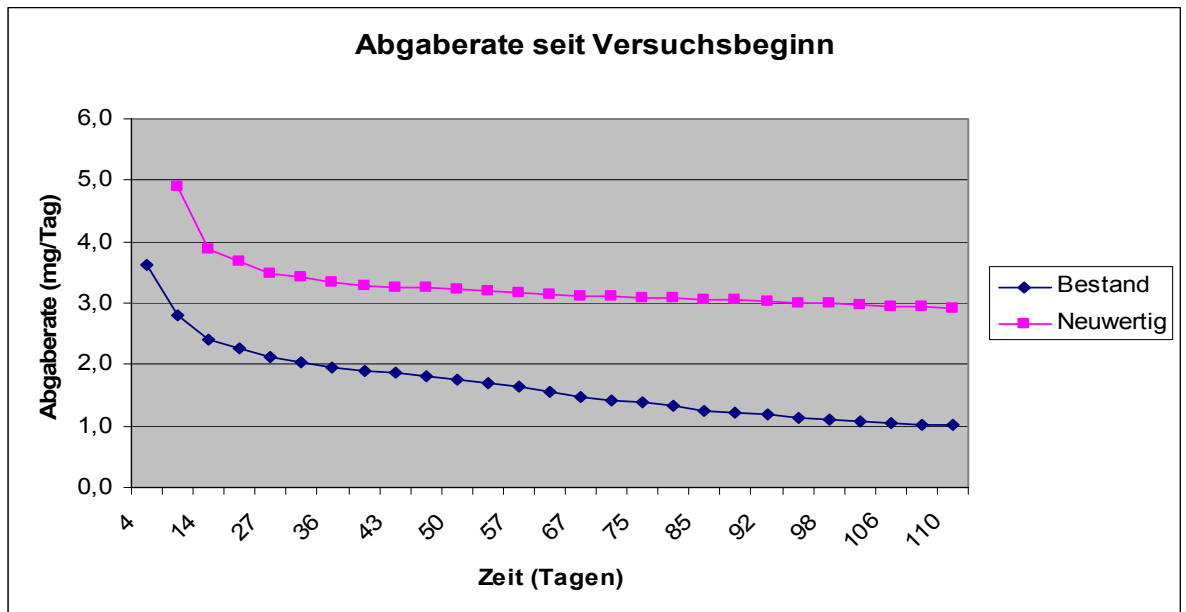


Abb. 16: Die Abgaberate seit Versuchsbeginn neuwertiger Dispenser und Dispenser aus dem Bestand, gemessen durch Wägung

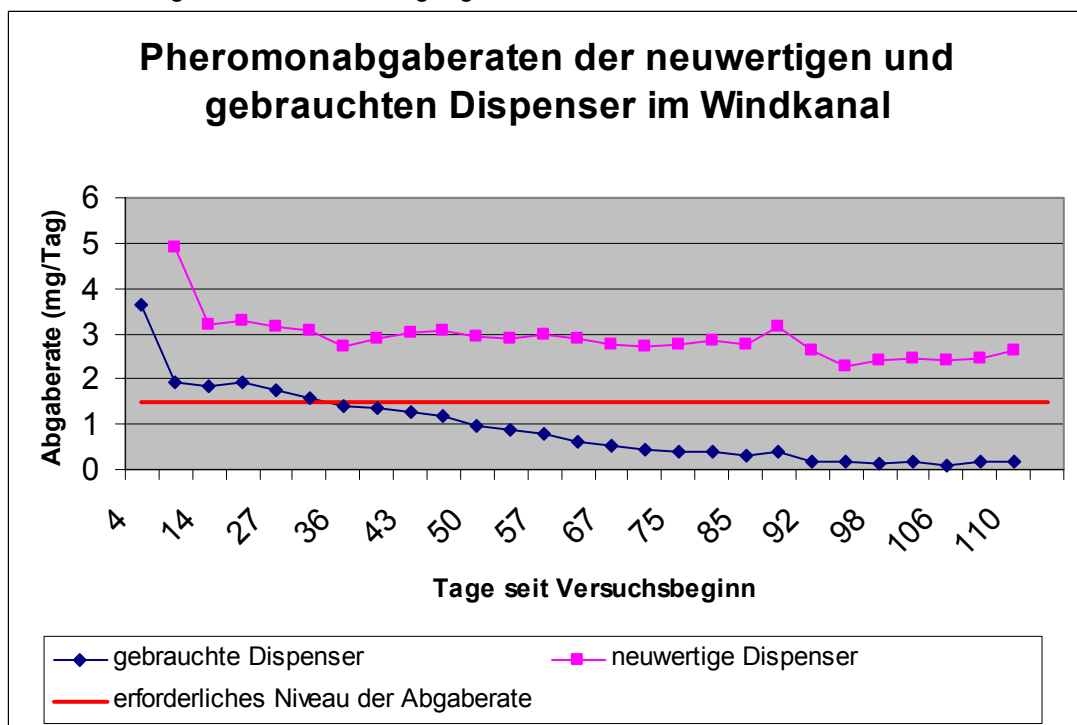


Abb. 17: Abgaberate zwischen den Messungen, gemessen durch Wägung, mit minimaler Abgaberrategrenze von 1,5 mg/Tag

Die Abgaberate seit Versuchsbeginn am Ende der Versuchszeit ist ca. sechs Mal so hoch wie die zwischen den Messungen. Denn die letzte gemessene Abgaberate zwischen den Messungen beträgt bei den Dispensern aus dem Bestand 0,160 mg/Tag und die Abgaberate seit Versuchsbeginn 1,014 mg/Tag (Abb. 18).

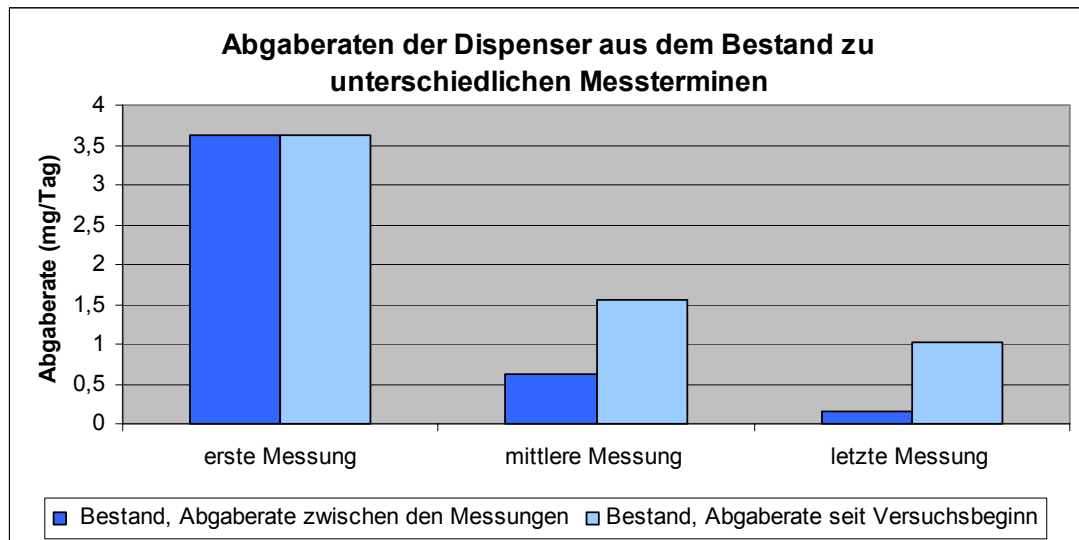


Abb. 18: Abgaberaten im Windkanal zwischen den Messungen und seit Versuchsbeginn der Dispenser aus dem Bestand zu unterschiedlichen Messterminen, die erste Abgaberatebestimmung, die Abgaberatebestimmung zur Hälfte der Versuchszeit und zum Ende der Versuchszeit

Auffällig ist, dass die Abgaberate in den ersten 10 Tagen bei beiden Dispensern höher ist als in den darauf folgenden (Abb. 16, Abb. 17). Die durchschnittliche Abgaberate der Dispenser aus dem Bestand beträgt 0,92 mg/Tag und die der neuwertigen 2,89 mg/Tag. Die Abgaberaten verlaufen parallel, wobei die Abgaberate der Dispenser aus dem Bestand ca. 1,5 - 2 mg/Tag unterhalb der neuwertigen Dispenser liegt (Abb. 16). Wenn es eine Veränderung in der Abgaberate der neuwertigen Dispenser gibt, ist diese auch bei dem Verlauf der Dispenser aus dem Bestand zu sehen, nur weniger ausgeprägt (Abb. 17). Bei den Dispensern aus dem Bestand schwankt die Abgaberate zwischen den Messungen ab dem 92. Tag um 0,16 mg/Tag und nimmt nicht weiter ab. Im Vergleich zu der Abgaberate der Dispenser aus dem Bestand, die konstant abnimmt, liegt die der neuwertigen längere Zeit um die 3 mg/Tag (Abb. 17). Die minimale Abgaberate von 1,5 mg/Tag (siehe 4.3.3.) wird bei den Dispensern aus dem Bestand bei der Abgaberate zwischen den Messungen schon nach 36 Tagen erreicht und bei der Abgaberate seit Versuchsbeginn erst nach 61 Tagen. Die Abgaberaten der neuwertigen Dispenser unterschreiten während der gesamten Versuchszeit nicht die minimale Abgaberate von 1,5 mg/Tag (Abb. 17).

Wenn angenommen wird, dass beide Pheromone gleich schnell abgegeben werden, dann kann man die Anteile der Pheromone an der Abgaberate berechnen. Nach Herstellerangaben besteht das Pheromongemisch im

Dispenser aus 56 % (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat und 44% (Z)-9-Dodecenyl Acetat.

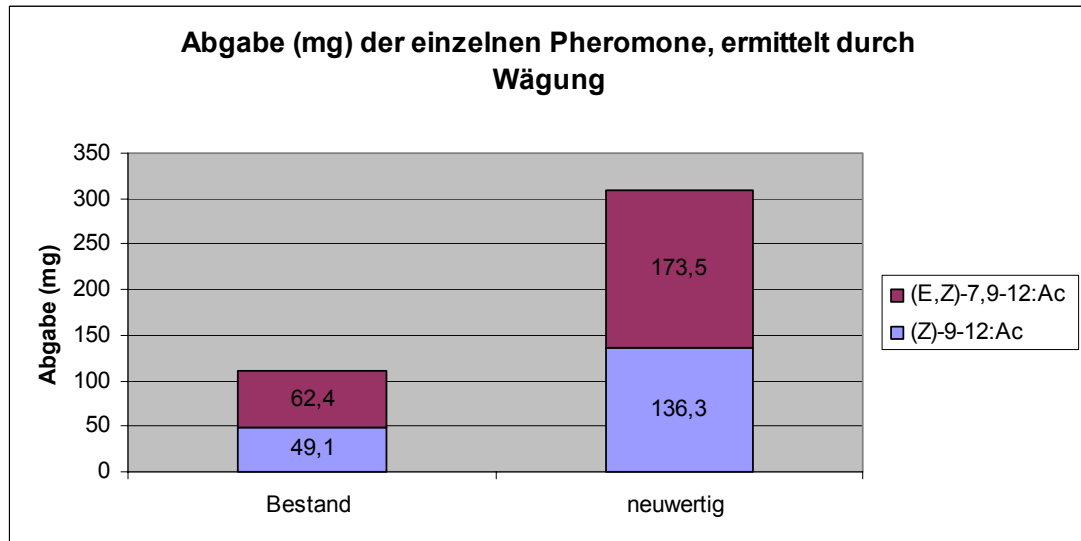


Abb. 19: Die gesamte Abgabe (mg) mit Anteilen von (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat und (Z)-9-Dodecenyl Acetat während der Zeit im Windkanal, ermittelt durch Wägung

Auffällig ist, dass die Temperatur einen Einfluss auf die Abgaberate hat. Denn sinkt die Temperatur um ein Grad, sinkt auch die Abgaberate um ca. 0,3-0,5 mg/Tag. Diese Schwankungen sind bei den neuwertigen Dispensern ausgeprägter als bei denen aus dem Bestand (Abb. 17). So stellen sich die folgenden Abgaben im Vergleich mit dem Temperaturverlauf zusammen:

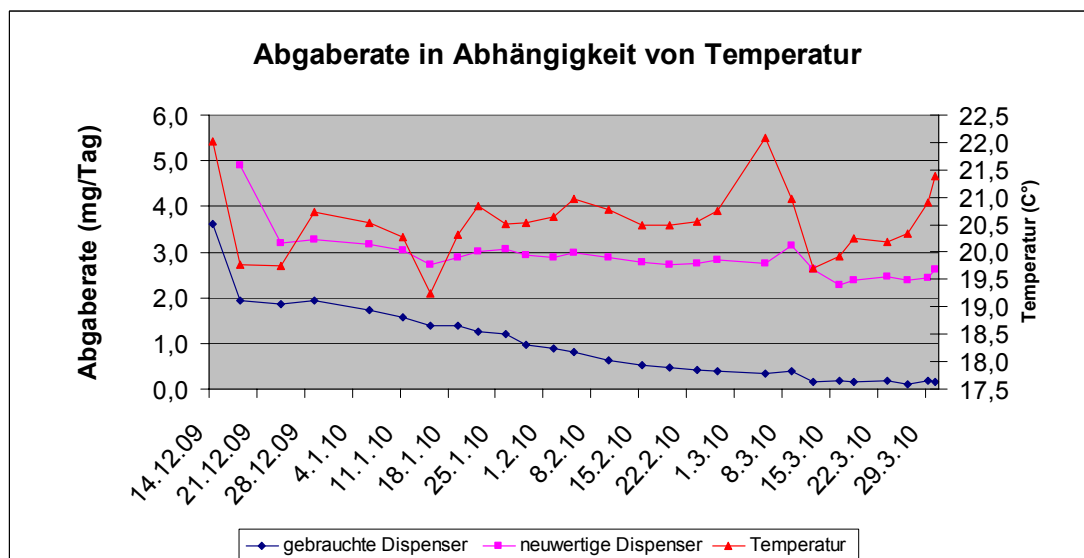


Abb. 20: Vergleich des Verlaufs der Abgaberraten von neuwertigen Dispensern und Dispenser aus dem Bestand mit der Temperatur im Windkanal

6.2.2. Diskussion der Wägungsergebnisse

Um eine erfolgreiche Wirkung mit der Verwirrungstechnik zu erzielen, sollten die Dispenser eine gleichmäßige Abgaberate vorweisen. Die Abgaberate der Dispenser aus dem Bestand ist geringer als die der neuen, da sie schon zu Beginn weniger Pheromonmenge enthalten. Ein großer Teil ist im Bestand abgegeben worden. Die enthaltene Menge ist kleiner, somit auch die Pheromonkonzentration im Dispenser. Die Diffusion durch die Dispenserwand wird damit beeinflusst. Der Transport der Pheromonmoleküle durch die Dispenserwand wird langsamer. Ein weiterer Faktor, der die Diffusion beeinflusst, ist die Fläche. Ist der Dispenser weniger voll, bleibt weniger an den inneren Wänden hängen, auch wenn diese angeraut sind. Damit ist die Diffusionsfläche kleiner und es gelangt weniger Pheromon nach außen. Ebenso kann die Temperatur die Diffusion der Pheromone verändern. Steigt die Temperatur, so steigt auch die Pheromonabgaberate (Abb. 20). Durch einen Temperaturanstieg wächst die thermische Eigenbewegung der Pheromonmoleküle, was eine erhöhte Diffusion bewirkt. Im Fall der neuwertigen Dispenser ist dies mehr ausgeprägt (Abb. 20), da in ihnen noch mehr Pheromonmoleküle enthalten sind.

Die Abgaberate zwischen den Messungen der Dispenser aus dem Bestand sinkt kontinuierlich und liegt schon nach 36 Tagen im Windkanal unter 1,5 mg/Tag. Die Pheromonkonzentration in der Luft sinkt und es können Lücken in der Pheromonwolke im Weinberg entstehen, in der die Traubenwickler Männchen die Weibchen orten und begatten können. Dies bedeutet, dass die Dispenser aus dem Bestand sehr schnell ihre gewünschte Wirkung verlieren und keine weitere Saison eingesetzt werden können.

Die neuwertigen Dispenser hingegen haben die vorteilhafte Eigenschaft, dass die Abgaberate nicht linear abnimmt. Sie verweilt längere Zeit konstant bei einer Abgaberate von 3 mg/Tag. Eine Abgaberate „nullter Ordnung“ (Abgabekinetik) wie diese, kann Erfolg versprechen, da der Wirkungsradius eines Dispensers gleich bleibt und die Konzentration in der Luft konstant und hoch genug ist.

Die Abgaberate seit Versuchsbeginn beider Dispenser ist gleichmäßiger als die Abgaberate zwischen den Messungen (Abb. 21). Bei der Abgaberate seit Versuchsbeginn wird der gesamte Gewichtsverlust eines Dispensers seit

Versuchsanfang verwendet. Somit beeinflusst zum Beispiel eine überdurchschnittliche Abgabe über zwei Tage den Wert der Abgaberate nicht stark. Wichtig ist jedoch für die Nutzung, dass man die tatsächliche, momentane Abgaberate, also die Abgaberate zwischen den Messungen, betrachtet, da diese zu der aktuellen Abgaberate Informationen gibt.

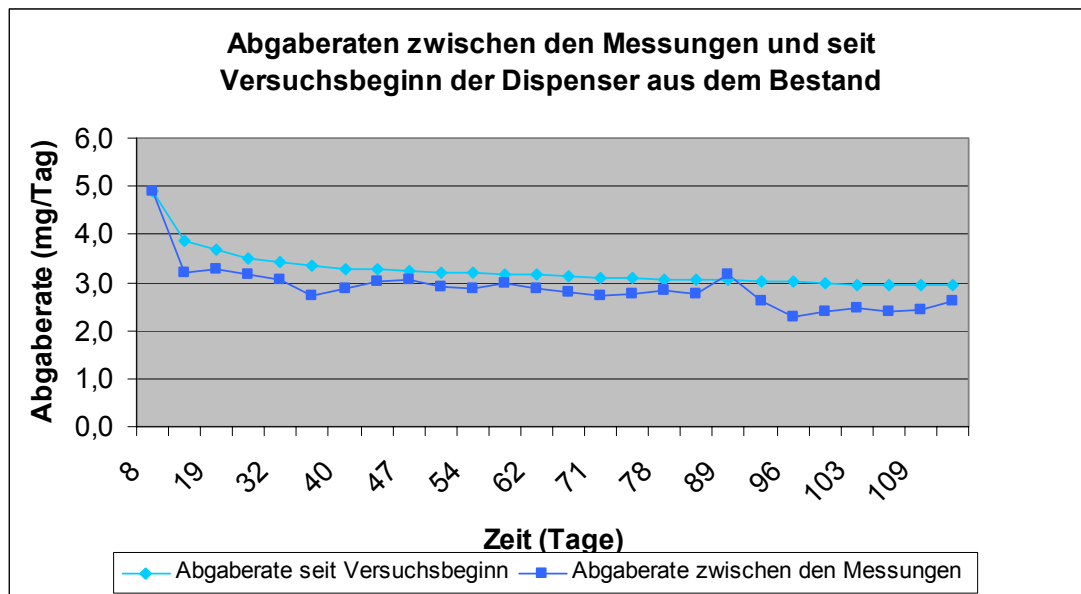


Abb. 21: Vergleich der Abgaberraten zwischen den Messungen und seit Versuchsbeginn der Dispenser aus dem Bestand, ermittelt durch Wägung

Beide Dispenser zeigen am Anfang des Versuchs eine höhere Abgaberate auf, die schneller sinkt als im späteren Verlauf. Eine Begründung kann sein, dass die zuvor zur Lagerung eingefrorenen Dispenser beim Einhängen in den Windkanal Kondenswasser enthalten. Dieses verdampft mit der Zeit und Gewicht geht verloren. Hierzu müsste ein Vergleich gemacht werden, bei dem man eingefrorene und aufgetaute Dispenser über einen gewissen Zeitraum in den Windkanal hängt. Eine weitere Erklärung liegt darin, dass die Dispenser während der Lagerung eine gewisse Pheromonmenge abgegeben haben und diese an der Außenwand der Dispenser haftet. Hängt man den Dispenser so in den Windkanal, kann sich am Anfang die äußere Pheromonschicht schnell verflüchtigen, da diese nicht mehr durch den Dispenser diffundieren muss.

Dass ein leerer Dispenser, addiert mit der befüllten Pheromonmenge, leichter ist als ein neuwertiger Dispenser, kann damit begründet werden, dass es bei der Produktion Schwankungen gibt. Die Pheromonmenge ist sehr klein und

es kann bei der Herstellung der Kunststoffdispenser Schwankungen im mg-Bereich geben. Eine andere Erklärung könnte sein, dass die Hersteller mehr Pheromon einfüllen als auf der Anleitung des Dispensers angegeben ist. Damit gehen die Produzenten sicher, dass der Dispenser genug Pheromon abgibt und nicht vor Ende der Ernte erschöpft ist. Unter ökonomischer Sicht ist dies allerdings kritisch zu sehen, da weitere Kosten anfallen, die der Hersteller tragen muss. Ebenso kann die Witterung zu einem Gewichtsverlust der leeren Dispenser beitragen. Da die Dispenser lange Zeit draußen hängen, kann durch mechanische Einflüsse Material abgerieben und durch den Niederschlag Moleküle abgetragen worden sein.

Bei dem Vergleich der Dispenser aus Sasbach und Freiburg ist zu erkennen, dass die aus Freiburg (343 mg) weniger Pheromonmenge abgegeben haben als die aus Sasbach (385 mg). Diese Dispenser waren unterschiedlichen Bedingungen ausgesetzt. In Sasbach kann es wärmer und windiger gewesen sein. Sie können zudem auch unterschiedlich lange in einem Bestand gehangen haben. Dazu kommt, dass das Gewicht der Dispenser schwankt und dadurch Messfehler auftreten können.

Nach den Berechnungen haben die Freiburger Dispenser aus dem Bestand im Freiland bereits 85 % der befüllten Pheromonmenge abgegeben und im Windkanal sind wiederum 27 % der Ausgangspheromonmenge ausgetreten. Das heißt, dass diese Dispenser mehr Pheromone abgegeben haben, als sie nach Herstellerangaben eingefüllt bekommen hatten. Auch hier können als Begründungen produktionsbedingte Gewichtsschwankungen und erhöhte Pheromonfüllmenge genannt werden. Um aussagekräftige Angaben machen zu können, müsste das Durchschnittsgewicht und Gewichtsschwankungen aus mehr Dispensern ermittelt werden.

Möchte man die geeigneten Abgaberraten von 1 mg/Tag für den Bekreuzten Traubenwickler und 0,5 mg/Tag für den Einbindigen einhalten (DOYE 2006), müsste demnach doppelt so viel (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat als (Z)-9-Dodecenyl Acetat in den Dispensern enthalten sein. In den Isonet LE Dispensern sind zwar 223,1 mg (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat und 178,2 mg (Z)-9-Dodecenyl Acetat enthalten, jedoch ist nicht erkennbar, welches Pheromon in welcher oder genügender Menge abgegeben wird. Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass das Pheromonbukett des Bekreuzten Traubenwicklers

sowohl (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat als auch (Z)-9-Dodecenyl Acetat enthält, das Bukett des Einbindigen Traubenwicklers allerdings nur (Z)-9-Dodecenyl Acetat. Somit könnten die Dispenser, die mit beiden Substanzen gefüllt sind, für den Bekreuzten Traubenwickler attraktiver sein als für den Einbindigen. Hinzu kommt, dass (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat allein schon sehr attraktiv auf die Männchen des Bekreuzten Traubenwicklers wirkt (DESCOINS 1990).

Um weitere Untersuchungen zu der Abgaberate von spezifischen Pheromonen zu machen, wurden weitere Versuche mittels Closed-Loop-Stripping Analysis durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden erläutert werden.

6.2.3. Ergebnisse der Pheromonabgaberate ermittelt mit CLSA

Die CLSA wurde einmal vor dem Wägungsversuch im Windkanal (Startproben) und einmal danach (Endproben) durchgeführt. Es wurden neuwertige Isonet LE Dispenser sowie Isonet LE Dispenser aus dem Bestand mit je drei Wiederholungen analysiert. Nach jeder CLSA werden die Proben mit Hilfe des GC analysiert, um die Konzentration beider Pheromone in der CLSA-Probe ermitteln zu können. Der Vorteil der Untersuchung mit GC ist, dass eine Quantifizierung der einzelnen Pheromone möglich ist.

Die Abgaberate der neuwertigen Dispenser beträgt zu Beginn 1,17 mg/Tag. Nachdem diese 106 Tage im Windkanal hingen, ergibt sich eine Abgaberate der Endproben von 1,25 mg/Tag (Abb. 22 oben). Davon sind bei der Endprobe 61% (Z)-9-Dodecenyl Acetat, die Pheromonkomponente des Einbindigen Traubenwicklers, und 39% (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat, die Pheromonkomponente des Bekreuzten Traubenwicklers. Die Abgaberate der Startproben setzt sich aus 71% (Z)-9-Dodecenyl Acetat und 29% (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl zusammen. Dies wird in dem folgenden Graphen dargestellt (Abb. 22 oben).

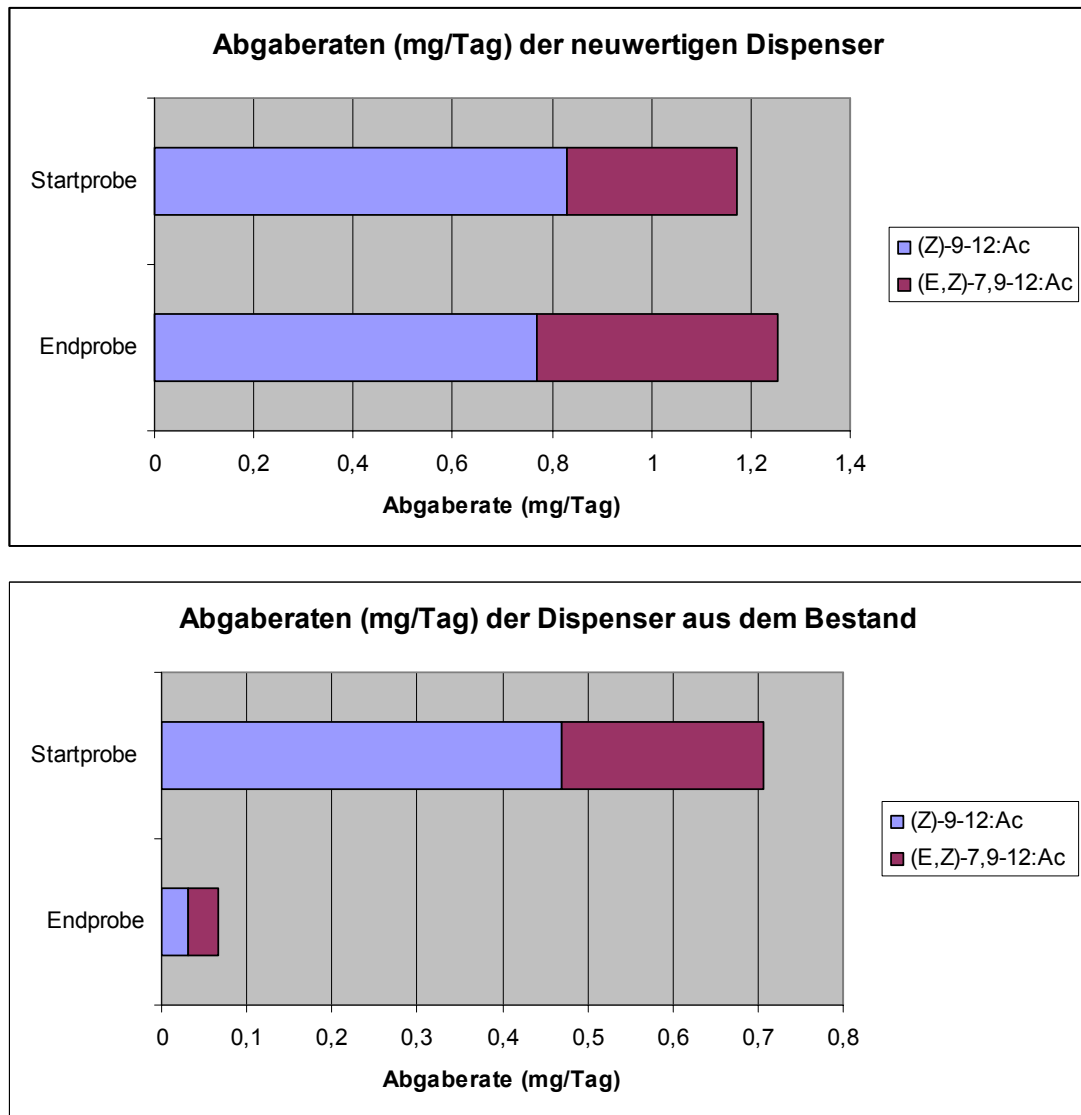


Abb. 22: Vergleich der Abgaberaten (mg/Tag) und Anteile von (Z)-9-Dodecenyl Acetat und (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat von neuwertigen Dispensern (oben) und Dispensern aus dem Bestand (unten), bevor sie in den Windkanal gehangen wurden (Startproben) und nachdem sie heraus genommen wurden (Endproben), ermittelt durch CLSA

Die Abgaberate der Dispenser, die zuvor schon eine Saison im Bestand hingen, betragen vor dem Einhängen in den Windkanal 0,70 mg/Tag und die der Endproben 0,06 mg/Tag (Abb. 22 unten). Zu Beginn werden 66% der Abgaberate als (Z)-9-Dodecenyl Acetat und dem entsprechend 34% als (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat abgegeben. Nachdem die Dispenser aus dem Bestand ca. drei Monate im Windkanal hingen, besteht die Abgaberate aus 47% (Z)-9-Dodecenyl Acetat und 53% (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat. Damit überwiegt in der Abgaberate der Startproben der Anteil von (Z)-9-Dodecenyl Acetat. In den Endproben sinkt der Anteil dieser Komponente und der Anteil von (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat steigt dementsprechend an.

Werden die verschiedenen Dispensertypen verglichen, ist zu erkennen, dass die Dispenser aus dem Bestand sowohl zu Versuchsbeginn als auch zu Versuchsende eine geringere Pheromonabgaberate als die neuwertigen Dispenser aufweisen. Während bei den Dispensern aus dem Bestand die Abgaberate abnimmt, ist diese bei den neuwertigen Dispensern relativ konstant (Abb. 23).

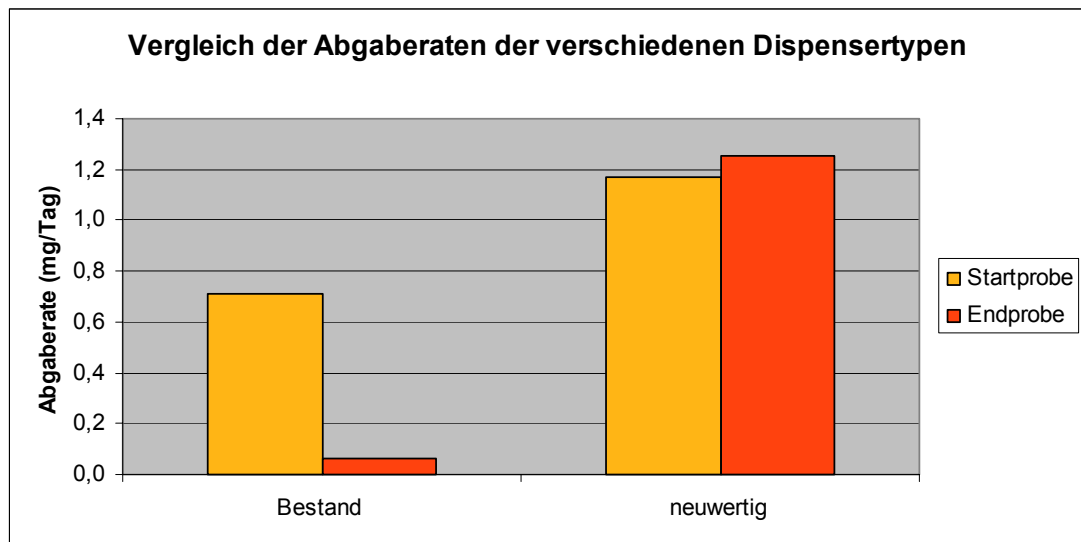


Abb. 23: Vergleich der Abgaberraten (mg/Tag) der neuwertigen Dispenser und der Dispenser aus dem Bestand vor und nach dem Windkanalversuch, ermittelt durch CLSA

6.2.4. Diskussion der CLSA-Ergebnisse

Die Abgaberate *beider* Dispensertypen, ermittelt durch CLSA/GC-Analyse, liegt schon zu Beginn des Wägungsversuches unterhalb der minimalen Abgaberate von 1,5 mg/Tag (DOYE 2006). Mit einer Abgaberate in dieser Höhe würde weder mit dem neuwertigen noch mit dem gebrauchten Dispenser eine ausreichende Verwirrung erzielt werden können. Dies würde bedeuten, dass die neuen Dispenser entweder falsch gelagert wurden oder herstellungsseitig eine unzureichende Abgaberate vorgelegen hätte. Außerdem könnten Fehler bei der Probenahme bzw. der Probenuntersuchung für die niedrigen Abgaberraten verantwortlich sein. Ob die ausgelieferten Dispenser bereits eine unzureichende Abgaberate aufwiesen, ist im Rahmen dieser Arbeit nicht eindeutig zu beantworten. Dazu müssten weitere neue Dispenser aus dieser Charge untersucht werden, was aus Zeitgründen nicht geleistet werden kann. Die Lagerung der Dispenser

erfolgte bei -20°C , wodurch die Wahrscheinlichkeit eines größeren Verlustes an Pheromon minimiert wurde. In Bezug auf die Probensammlung und Probenanalytik sind verschiedene Fehlerquellen denkbar, die jedoch durch verschiedenste Maßnahmen minimiert wurden. Die Umgebungstemperatur im Labor wird durch eine Klimaanlage auf 20°C eingestellt und ist somit frei von größeren Schwankungen. Die halbstündige Akklimatisierung der tiefgefrorenen Dispenser vor Beginn des CLSA-Durchlaufs könnte zu knapp bemessen gewesen sein. Nach CBC (EUROPE) Ltd. (2009) können die Dispenser ohne Probleme unter 10°C trocken gelagert werden. Jedoch sollten die Dispenser danach mindestens einen Monat bei Raumtemperatur gehalten werden, bevor sie im Freiland ausgebracht werden. Die dabei entstehenden Pheromonverluste könnten jedoch die durchgeführten Experimente beeinflussen.

Der Luftstrom, bzw. die Aktivität der CLSA-Pumpe, wird vor jedem Durchgang über die angelegte Spannung auf 150 mL/min eingestellt. Um mögliche Fehlerquellen auszuschließen, wäre es sinnvoll, zukünftig den Luftstrom während der gesamten Probensammlung zu regeln.

Einer abnutzungsbedingten Reduktion der Aufnahmekapazität der CLSA-Filter wurde durch einen regelmäßigen Austausch gegen neue Filter vorgebeugt. Es ist jedoch denkbar, dass eine reduzierte Nutzungsdauer je Filter vorteilhaft wäre.

Es erfolgte eine zweimalige Elution des CLSA-Filters mit jeweils 25 μL Lösemittel. Dieses Lösemittelvolumen kann anschließend nicht wieder vollständig aufgenommen werden und unterliegt gewissen Schwankungen. Um für die spätere Auswertung ein einheitliches Probenvolumen zu erhalten, füllt man die Probe nach zwei Elutionen auf 45 μL auf. Wird nicht die gesamte Probe wieder aufgenommen, geht Pheromon verloren. Da es sich um kleine Probenvolumina handelt, hat ein kleiner Fehler eine relativ große Auswirkung auf das Ergebnis. Hier würde ein automatischer Extraktionsapparat die Fehlerrate minimieren.

Ebenso könnten bei der GC-Analyse der CLSA-Proben Fehler auftreten. Diese wurden jedoch durch eine arbeitstägliche Kontrolle der GC-Parameter (wie z.B. Druck der Gase, Höhe des Grundrauschens, Austausch von Septen) vermieden. Zur Kontrolle systembedingter Schwankungen wurden in

kurzen Abständen Pheromonstandards mit definierten Konzentrationen gemessen.

Sowohl zu Versuchsbeginn als auch zu Versuchsende hatten die neuwertigen Dispenser eine höhere Abgaberate als die Dispenser aus dem Bestand.

Die Dispenser aus dem Bestand enthalten, nachdem sie 110 Tage im Windkanal hingen, kaum noch Pheromon, was an der Abgaberate von 0,06 mg/Tag erkennbar wird. Bei den neuwertigen Dispensern wurde zu diesem Zeitpunkt ein leichter Anstieg der Abgaberate gegenüber der Startprobe gemessen. Insgesamt kann man von einer konstanten Abgaberate der Dispenser ausgehen.

Der Anteil des (Z)-9-Dodecenyl Acetat an der Abgaberate ist bei den Startproben höher, obwohl der Anteil dieses Pheromons im Gesamtvolumen geringer ist als der von (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat (siehe 4.3.3.). (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat weist einen geringeren Dampfdruck als (Z)-9-Dodecenyl Acetat auf (BASF 2005). Dies könnte den erhöhten Anteil an der Abgaberate der Startprobe teilweise begründen.

6.2.5. Vergleich der Wägungs- und CLSA-Ergebnisse

Die ermittelten Abgaberationen durch Wägung und CLSA sollten im Normalfall übereinstimmen, wie es in der Arbeit von LINDNER (2009) der Fall war. Bei den hier vorliegenden Ergebnissen wurden bei den Startproben, im Gegensatz zu den Endproben, allerdings signifikante Unterschiede festgestellt (Abb. 24).

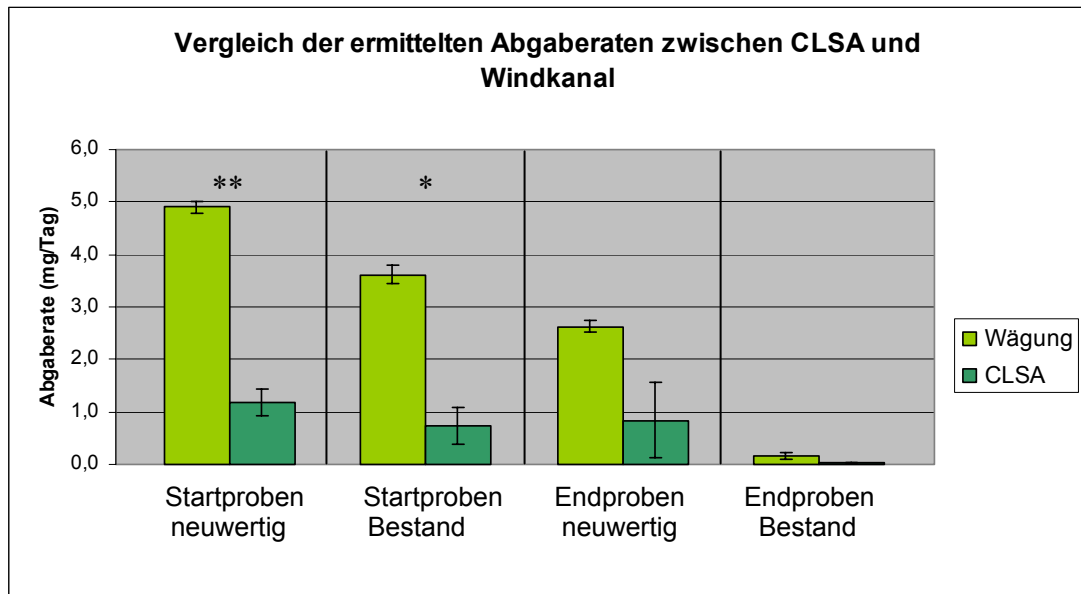


Abb. 24: Vergleich der ermittelten Abgaberraten der Start- und Endproben der neuwertigen Dispenser und den Dispensern aus dem Bestand, ermittelt durch Wägung und CLSA. Die Startproben neuwertig sind hoch signifikant verschieden und die Startproben aus dem Bestand sind signifikant verschieden.

Die Abgaberrate der Startprobe im Bestand beträgt nach Wägung 3,62 mg/Tag und nach CLSA 0,71 mg/Tag. Die anhand beider Analysemethoden ermittelten Abgaberraten nehmen bei den Dispensern aus dem Bestand während des Windkanalversuchs ab. Laut Wägung sinkt die Abgaberrate von 3,61 mg/Tag auf 0,16 mg/Tag. Durch CLSA wurde eine Reduktion der Abgaberrate von 0,71 mg/Tag auf 0,06 mg/Tag ermittelt.

Bei dem Verlauf der Abgaberrate der neuwertigen Dispenser stimmen die zwei Analysenmethoden nicht überein. Während die Abgaberrate, ermittelt durch Wägung, sinkt, bleibt die Abgaberrate, ermittelt durch CLSA, konstant.

6.2.6. Diskussion der Wägungsergebnisse und ihre Differenz zur CLSA-Messung

Mit den verschiedenen Messmethoden, in Bezug auf die Startproben, kommt man zu einer unterschiedlichen Bewertung der Einsatzfähigkeit der untersuchten Dispenser im Verwirrungsverfahren.

Nach der Wägung wären die neuwertigen Dispenser wirksam, da sie die minimale Abgaberrate von 1,5 mg/Tag überschreiten. Nach den GC-

Messungen der CLSA-Proben wären jedoch die neuwertigen Dispenser schon zu Beginn nicht für die Verwirrungsmethode brauchbar.

Der Verlauf der Abgaberaten, der durch Wägung ermittelt wurde, stimmt mit der Arbeit von LINDNER (2009) mit der gleichen Untersuchungsmethode überein. Aufgrund dieser Übereinstimmung kann die Fehlerquelle am ehesten bei der CLSA-Methode vermutet werden (siehe 6.2.4.).

Zudem ist zu berücksichtigen, dass die CLSA-Methode die Abgaberate während eines kurzen Zeitraums von zwei Stunden abbildet, während der durch Wägung bestimmte Massenverlust einen größeren Zeitraum abdeckt. Daher ergeben sich Vor- und Nachteile für die verschiedenen Analysenmethoden.

Die Vorteile der Wägung sind, dass die Handhabung einfach ist. Die Proben werden zwei Mal pro Woche gewogen. Dies erbringt ein kontinuierliches Ergebnis. So kann der Verlauf der Abgaberate gut sichtbar gemacht werden. Dadurch ist auch zu erkennen, wie lange die Abgaberate über der minimalen Abgaberate liegt und die Dispenser wirksam sind. Nachteile dieser Methode sind, dass die Abgaberate stark von äußeren Bedingungen, wie zum Beispiel der Temperatur, beeinflusst wird. Diese Faktoren sind in dem Raum, in dem der Windkanal untergebracht ist, durch den jahreszeitlichen Einfluss nur eingeschränkt kontrollierbar. Ein weiteres Problem dieser Methode ist, dass die einzelnen Pheromonanteile an der Gesamtabgaberate nicht bestimmt werden können.

Dies ist wiederum ein Vorteil der CLSA-Methode. Hierbei werden die zwei Pheromonkomponenten quantitativ erfasst, und somit auch die gesamte Abgaberate eines Dispensers. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass die Handhabung mit μL -Flüssigkeiten schwierig ist. Ein weiteres Problem ist, dass die Analyse in einem Labor stattfinden muss. So war es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, während der Zeit, in der die Dispenser im Windkanal hingen, CLSA-Proben zu nehmen. Somit basiert die Auswertung über den Verlauf der Abgaberate nur auf zwei Werten, die Abgaberate *vor* dem Einhängen in den Windkanal (Startprobe) und die Abgabe, *nachdem* die Dispenser dem Windkanal entnommen wurden (Endprobe).

Insgesamt gesehen ist es jedoch von Vorteil, zwei verschiedene Methoden einzusetzen. Dadurch ist eine bessere Einschätzung der Ergebnisse möglich.

Ebenso ergänzen sie sich in ihren Vorteilen, so dass man aus jeder Methode Nutzen zu einer Aussage zur Wirksamkeit der Dispenser beziehen kann.

7. Fazit

Generell sollten die Isonet LE Dispenser eine bessere Wirkung als die in Deutschland zugelassenen RAK 1+2 Dispenser erzielen (LINDNER 2009). Jedoch kommt es auch bei dem Einsatz von Isonet LE Dispensern manchmal vor, dass die Schadschwelle der Traubenwickler überschritten wird (persönliche Mitteilung Dr. BREUER, WBI Freiburg). Daher ist eine Funktionsüberwachung der Dispenser geboten.

Die Wirksamkeit der Dispenser wird von zahlreichen physikalischen und biotischen Faktoren beeinflusst. Zu den äußeren Faktoren, die die Abgaberate beeinflussen, gehören die Temperatur, die Windstärke, der Laubbestand, die Sonneneinstrahlung und die Bestandsgröße. Hier wäre es wünschenswert, Dispenser zu entwickeln, die diese Faktoren berücksichtigen, wie zum Beispiel ein Dispensersystem, bei dem durch niedrigere Temperaturen die Abgaberate steigt. So wäre die Pheromonkonzentration in den kühleren Dämmerungs- und Nachstunden, in denen die Falter aktiv sind, erhöht. Ein weiterer Entwicklungsschritt hin zu einem „idealen“ Dispenser wäre die automatische Einstellung der Abgaberate auf die bereits herrschende Pheromonkonzentration im Weinberg.

Weitere Anforderungen an einen „idealen“ Dispenser sind: 1. die Höhe und die Gleichmäßigkeit der Abgabe der Pheromone, 2. die Menge und die Zusammensetzung des enthaltenen Pheromonbuketts.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde durch Wägung festgestellt, dass die neuwertigen Dispenser die minimale Abgaberate von 1,5 mg/Tag (DOYE 2006) eingehalten haben. Da die Dispenser, die schon einmal im Bestand gehangen haben, zu Beginn noch eine Abgaberate über 1,5 mg/Tag erzielen, wird bestätigt, dass die Dispenser noch nicht leer sind und diese zuvor im Freiland eine erwünschte Wirkung hervorgerufen haben sollten. Da auf den Ursprungsflächen der Dispenser eine unbefriedigende Wirkung festgestellt wurde, könnte diese Funktionsminderung auf Schwankungen der Abgaberate

im Freiland beruhen. Denn gibt es an einer Stelle in der Pheromonwolke im Bestand eine Lücke, können dort die Traubenwicklermännchen die Weibchen orten. Dadurch kommt es zur Begattung, und die Populationsdichte steigt an. Eine zunehmende Dichte führt zu vermehrten „Zufallsbegegnungen“ im Bestand. Deswegen ist es wichtig, eine Lösung zu finden, die eine gleichmäßige Pheromonwolke konstant über mehrere Monate aufrechterhält. Ein weiterer Faktor, der die Wirkung der Dispenser beeinträchtigen kann, ist die Zusammensetzung der Abgaberate der beiden Pheromone. In den Dispensern ist zwar mehr (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat enthalten, jedoch wird zu Beginn mehr (Z)-9-Dodecenyl Acetat abgegeben. Nach Untersuchungen von DOYE (2006) sollte jedoch die Abgaberate für den Bekreuzten Traubenwickler höher sein als für den Einbindigen. Ein weiterer möglicher Einflussfaktor ist, dass in dem Pheromonbukett des Bekreuzten Traubenwicklers beide Pheromonkomponenten vorkommen, die in dem Dispenser enthalten sind. Somit könnte diese Pheromonzusammensetzung effizienter für ihn sein als für den Einbindigen Traubenwickler. Demnach sollten mehr Versuche durchgeführt werden, die sich mit der Zusammensetzung der Füllmenge, der Abgabe der einzelnen Komponenten und der Spezifität für die einzelnen Arten befassen.

Insgesamt ist die Verwirrmethode ein artspezifisch wirkendes Verfahren, bei dem viele Faktoren zusammenspielen, um eine erfolgreiche Wirkung zu erreichen. Die Dispenser müssen optimiert sein, die Füllmenge muss genau angepasst sein, die Ausbringung muss punktgenau erfolgen und die äußeren Bedingungen müssen vorteilhaft sein. Bislang erfolgt die Verwirrungsmethode meist erfolgreich, jedoch wäre eine Optimierung für eine weitere Verbreitung wünschenswert.

Daraus resultiert, dass eine interdisziplinäre Forschung (aus Entomologen, Pflanzenschutzexperten, Ökologen, Chemikern und Technikern) für Semiochemikalien und ihre Verwendung weiter gefördert werden sollte, um wirkungseffiziente, kosteneffiziente, technisch umsetzbare Lösungen für einen nachhaltigen Pflanzenschutz zu erlangen.

8. Ausblick

Vorschläge für technische Verbesserungen zukünftiger Experimente zur Überprüfung der Qualität von Verwirrungsdispensern:

- ein automatischer Extraktionsapparat (thermische Desorption der Pheromone direkt im GC),
- Optimierung der CLSA-Methode (Automatisierung, Durchflussmessung),
- Ersatz der CLSA durch lösemittelfreie Verfahren (SPME),
- weitere CLSA Messungen auch während der Verweilzeit im Windkanal, um einen aussagekräftigen Vergleich und Verlauf der Abgaberaten darstellen zu können,
- definiertere Umgebungsbedingungen im Raum, in dem der Windkanal steht.

9. Zusammenfassung

Seit den 80er Jahren ist in Deutschland der Einsatz von Dispensern für die Konfusionsmethode im Weinbau erlaubt. Hiermit ist eine insektizidfreie, ökologisch verträgliche, biotechnische Bekämpfung des Einbindigen und des Bekreuzten Traubenwicklers möglich. Für eine erfolgreiche Bekämpfung mit Hilfe der Verwirrungsmethode ist vor allem eine gleichmäßige Pheromonwolke im Weinberg über die gesamte Saison von Bedeutung. Diese kann durch eine konstante Abgaberate gewährleistet werden. Die Qualität, und damit vor allem die Abgaberate, kann durch unterschiedlichste Faktoren beeinflusst werden. So wird die Qualität direkt durch die Produktqualität beeinflusst, wie zum Beispiel die eingefüllte Pheromonmenge, -zusammensetzung und -reinheit. Indirekt wird die Qualität durch Windstärke, Temperatur, Laubbestand und Sonneneinstrahlung beeinträchtigt. Zurzeit sind in Deutschland RAK 1+2 Dispenser der Firma BASF zugelassen. Daneben sind jedoch noch weitere Dispenser, die Isonet LE Dispenser der Firma Shin-Etsu Chemicals Co. auf dem europäischen Markt vorhanden, die aber in Deutschland nicht zugelassen sind. Diese Dispenser sollen eine bessere Wirkung als RAK 1+2 Dispenser erzielen. Jedoch ist die Anwendung dieser Dispenser auch nicht immer zufrieden stellend. Die Dispenser enthalten die Pheromonkomponenten des Einbindigen ((Z)-9-Dodecenyl Acetat) und des Bekreuzten Traubenwicklers ((E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat).

In dieser Arbeit soll herausgestellt werden, welche Faktoren Einfluss auf die Qualität und die Wirkungsweise der Dispenser nehmen. Dafür werden neuwertige Dispenser und Dispenser, die eine Saison in Freiburg im Bestand hingen und bei denen die Wirkung nicht zufrieden stellend war, verglichen. Dafür werden die Dispenser in einen Windkanal gehängt und deren Abgaberate durch regelmäßiges Wiegen ermittelt. Ebenso wird durch die CLSA und GC die Abgaberate bestimmt, sowie der Anteil an der Abgaberate der zwei verschiedenen Pheromonkomponenten.

Die Abgaberate der neuwertigen Dispenser sowie der Dispenser aus dem Bestand hat während der Zeit im Windkanal abgenommen. Die durchschnittliche Abgaberate der neuwertigen Dispenser, ermittelt durch Wägung, beträgt 2,89 mg/Tag und die der Dispenser aus dem Bestand 0,92

mg/Tag. Die Abgaberaten, ermittelt durch CLSA, liegen zwischen 1,25 mg/Tag und 0,06 mg/Tag. Damit befinden sie sich deutlich unter der minimalen Abgaberate von 1,5 mg/Tag. Die Dispenser aus dem Bestand können jedoch demnach keine erfolgreiche Verwirrung mehr erreichen und nicht mehr weiter verwendet werden. Durch die Wägung wird bestätigt, dass die neuwertigen Dispenser wirksam sind, da die Abgaberate über der minimalen Abgaberate liegt.

Bei den CLSA-Versuchen wird deutlich, dass zu Beginn des Versuchs der Anteil an (Z)-9-Dodecenyl Acetat höher ist als der von (E,Z)-(7,9)-Dodecadienyl Acetat. Dieses Ergebnis ist unerwartet, da die Dispenser 223,1mg (E)7-(Z)9-Dodecadienylacetat, aber nur 178,2mg (Z)-9-Dodecenyl Acetat enthalten.

Die Verwirrungsmethode hat trotz der hohen Abgaberate der Isonet LE Dispenser im Bestand nicht die erwünschte Wirkung erzielt. Deshalb haben mit hoher Wahrscheinlichkeit äußere Faktoren auf den Dispenser und die Abgaberate gewirkt. Ebenfalls kann die Zusammensetzung der Füllmenge und die differenzierte Abgabe der einzelnen Pheromonkomponenten einen Einfluss auf die Wirkung genommen haben.

Literaturverzeichnis

- ARN, H., RAUSCHER, S., BUSER, H.R., ROELOFS, W.L. (1976): Sex pheromone of *Eupoecilia ambiguella*: cis-9-dodecenyl acetate as a major component. Zeitschrift für Naturforschung 31: 499-503.
- ARN, H., RAUSCHER, S., BUSER, H., GUERIN, P. (1986): Sex pheromone of *Eupoecilia ambiguella* female: Analysis and male response to ternary blend. Journal of Chemical Ecology 12 (6): 1417-1429.
- ARN, H., RAUSCHER, S., GUERIN, P., BUSER, H.R. (1988): Sexpheromone blends of three tortricid pests in European vineyards. Agriculture, Ecosystems & Environment **21**: 111-117.
- ARN, H., LOUIS, F. (1995): Mating Disruption in European Vineyards, pp:377-382 in: CARDÉ, R. and MINKS, A. (eds.): Insect Pheromone Research, New Directions. Chapman and Hall, New York, ISBN: 0412996111.
- ARN, H., BRAUCHLI, J., KOCH, U., POP, L., RAUSCHER, S. (1997): The need for standards in pheromone technology. IOBC/wprs Bulletin, **20** (1): 27-34.
- ANFORA, G., TASIN, M., BÄCKMANN, A.C., DE CRISTOFARO A., WITZGALL, P., IORIATTI C. (2005): Attractiveness of year-old polyethylene Isonet sex pheromone dispensers for *Lobesia botrana*. Entomologia Experimentalis et Applicata **117**: 201-207.
- BADISCHER WEINBAUERNVERBAND E.V.: Rebschutz 2010, Sonderbeilage der Zeitschrift: Der Badische Winzer, März 2010; Badischer Landwirtschafts-Verlag GmbH, Freiburg.

BASF (2005): Sicherheitsdatenblatt RAK 1+2.

eingesehen im Juni 2010, online verfügbar unter:

http://landhandel-otte.de/alt_sdb/sdbs/4014348000000/agroductm_IDAgroPortal-09007b0180063c60.pdf

BASF (2009a): Anwendungsbeilage zu Isonet LE Dispensern.

BASF (2009b): Sicherheitsdatenblatt RAK 1+2 SD, Version 2.1,

Ludwigshafen, eingesehen im Mai 2010: online verfügbar unter:

http://www.agrar.basf.at/at/deploy/media/de/productfiles/safety_data_sheet/RAK1_2SD_080128.pdf

BAUER, K. (1996): Weinbau: Lehrbuch für den „integrierten Weinbau“, Österreichischer Agrarverlag, Klosterneuburg.

BIOKREIS, Pressemitteilung (2010): Biokreis verbietet RAK 1+2, März 2010,

eingesehen im Mai 2010, online verfügbar unter:

http://www.biokreis.de/images/archiv/pdf_pm/meldung_046.pdf
08.05.2010

BÖRNER, H. (1997): Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Ulmer Verlag, Stuttgart, ISBN: 3-8252-0518-5.

BREUER, M. (2010): WBI Freiburg 2010, persönliche Mitteilung.

BROWNLEE, R.G., SILVERSTEIN, R.M. (1968): A micropreparative gas chromatograph and a modified carbon skeleton determinator. Anal. Chem. **49**: 2077-2079.

BUSER, H.-R., RAUSCHER, S., ARN, H. (1974): Sex pheromone of *Lobesia botrana*: (E,Z)-7,9-Dodecadienyl acetate in the female grape vine moth. Zeitschrift für Naturforschung **29c**: 781-783.

- CARDE, R. T. (1990): Principles of Mating Disruption, Chapter 4, pp: 47-71 in: RIDGWAY, R.L., SILVERSTEIN R.M., INSCOE, M.N. (eds.): Behaviour-modifying chemicals for insect management: application of pheromones and other attractants. Marcel Dekker, New York und Basel, ISBN: 0-8247-8156-2.
- CBC (EUROPE) Ltd. (2009): Isonet L E – Technical notes, Data : 27/01/2009, Rif. : 08, eingesehen im Mai 2010, online verfügbar unter:<http://www.cbceurope.eu/images/stories/file/biocontrol/inglese/man/IsonetLE-EN-M.pdf>
- DEGEN, T., CHEVALLIER, A., FISCHER, S. (2005): Fortschritte in der Bekämpfung der Traubenwickler mit Hilfe von Pheromonen. *Revue Suisse Vitic. Arboric.* **37** (5), 273-280.
- DESCOINS, C. (1990): Grape Berry Moth and Grape Vine Moth, Chapter 14, pp. 213-222 in: RIDGWAY, R.L., SILVERSTEIN R.M., INSCOE, M.N. (eds.) (1990): Behaviour-modifying chemicals for insect management: application of pheromones and other attractants Marcel Dekker, New York und Basel, ISBN: 0-8247-8156-2.
- DETTNER, K., PETERS, W. (2003): Lehrbuch der Entomologie; 2. Auflage, Elsevier GmbH (Spektrum), München ISBN: 3-8274-1102-5.
- DOYE, E. (2006): Entwicklung eines Freilandtests zur Überprüfung der Wirksamkeit von Pheromonanwendungen im Weinbau. Dissertation: Technische Universität Kaiserslautern, Biologie. URN (NBN): de:hbz:386-kluedo-19213.
- EL-SAYED, A., GÖDDE, J., WITZGALL, P., ARN, H. (1999): Characterization of pheromone blend for grapevine moth, *Lobesia botrana* by using flight track recording. *Journal of Chemical Ecology* **25** (2), 389–400.

- FELDHEGE, M. (1995): Untersuchungen zum zeitlichen und räumlichen Auftreten von Populationen des Bekreuzten Traubenwicklers *Lobesia botrana* Schiff. (Lepidoptera: Tortricidae) in Weinbergen unter Einsatz von Sexualpheromon zur Paarungsstörung, Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades im Fachbereich Agrarwissenschaften und Umweltsicherung der Justus-Liebig-Universität Gießen.
- GREINER, A., WENDORFF, J.H. (2007): Electrospinning: A Fascinating Method for the Preparation of Ultrathin Fibers, *Angew. Chemie Int. Ed.* **46**: 5670-5703.
- HARBORNE, J. B. (1995): Ökologische Biochemie: Eine Einführung, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin, Oxford, ISBN: 3-86025-245-3.
- HEIN, D.F., LEITHOLD, G., HUMMEL, H.E., LINDNER, I., VILCINSKAS, A., GREINER, A., WENDORFF, J.H., DERSCH, R., HELLMANN, C.H., BREUER, M., KRATT, A. (2009):, Nanofibres as novel carriers for semiochemicals in plant protection. *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent.* **17**: 105-108.
- HILLEBRAND, W., EICHHORN, K.-W., LORENZ, D. (1990): Rebschutz im Weinbau, Fachverlag Dr. Fraund GmbH, Mainz, ISBN: 392115636.
- HOFFMANN C., DOYE E. (2007): Käfigversuche zur Freiland-Prüfung der biologischen Wirksamkeit von Pheromonpräparaten zur Paarungsstörung. *Nachrichtenbl. Deutscher Pflanzenschutzdienst*, **59** (10) 227–232.
- HOFMANN, U., KÖPFER, P., WERNER, A. (1995): Ökologischer Weinbau; Ulmer Verlag, Stuttgart, ISBN: 3-8001-5712-8.
- HOWSE, P. E., STEVENS, I. D. R., JONES O.T (1998): Insect pheromones and their use in pest management, London, Chapman & Hall, ISBN: 987-0-412-44410-4.

- JKI (2008): Julius Kühn-Institut Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen: Jahresbericht 2008, Quedlinburg.
- JUTSUM, A. R., GORDON, R.F.S. (1989): Insect Pheromones in Plant Protection, John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 0-471-92019-3.
- KARG, G. & SAUER, A. (1997): Seasonal variation of pheromone concentration in mating disruption trials against European grape vine moth *Lobesia botrana* (Lepidoptera: Tortricidae) measured by EAG, Journal of Chemical Ecology **23** (2) 487-501.
- KOGAN, M. (1994): Plant Resistance in Pest Management in: METCALF, R.L., LUCKMANN, W.H. (eds.) (1994): Introduction to Insect Pest Management, 3. Auflage, John Wiley, New York, ISBN: 0-471-59855-0.
- KRIEG, A., FRANZ, J.-M. (1989): Lehrbuch der Biologischen Schädlingsbekämpfung, Verlag Parey Berlin, Hamburg, ISBN: 3489623266.
- LINDNER, I. (2009): Analytische Laboruntersuchungen zum Freisetzungsverhalten von Sexualduftstoffen der beiden Traubenwickler *Lobesia botrana* und *Eupoecilia ambiguella* aus elektrogesponnenen Nanofasern: Vergleich maßgeschneiderter Nanofaserdispenser mit handelsüblichen Dispensertypen, Fachbereich 09 „Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement“ der Justus-Liebig-Universität Gießen.
- MLADEK, C., VOEMEL, R. (2010): GC für Neueinsteiger, für Novia, Chromatographie- und Messverfahren GmbH, ChemConsult, Ingelheim, eingesehen im März 2010, online verfügbar unter: http://www.novia.de/docs/GC_fuer_Neueinsteiger.pdf
- OGAWA, K. (1997): The key to success in mating disruption. IOBC/wprs Bulletin, **20** (1), 1-9.

- ROELOFS, W., KOCHANSKY, J., CARDÉ, R., ARN, H. & RAUSCHER, S. (1973): Sex attractant of the grape vine moth, *Lobesia botrana*. Schweizerische Entomologische Gesellschaft **46**: 71-73.
- SANDERS, C.J. (1995): Mechanisms of Mating Disruption in Moths pp. 333-347 in: CARDE, R.-T.; MINKS, A.-K.: Insect Pheromone Research: New Directions, Chapman & Hall, New York, ISBN: 0412996111.
- SAUER, G., KARG, A.-E. (1998): Variables affecting pheromone concentration in vineyards treated for mating disruption of grape vine moth *Lobesia botrana*. Journal of Chemical Ecology, **24** (2) 289-302.
- SCHMITZ, V., ROEHRICH, R., STOCKEL, J. (1995a): Etude du mécanisme de la confusion sexuelle chez l'Eudémis de la vigne, *Lobesia botrana* DEN. ET SCHIFF. (Lep., Tortricidae). I. I. Rôles respectifs de la compétition, du camouflage de la piste odorante et de la modification du signal pheromone. Journal of Applied Entomology **119**: 131-138.
- SCHMITZ, V., ROEHRICH, R. & STOCKEL, J. (1995b): Disruption mechanisms of pheromone communication in the european grape moth *Lobesia botrana* DEN. & SCHIFF. II. Influence of the population density and the distance between insects for males to detect the females in atmosphere impregnated by pheromone. Journal of Applied Entomology **119**: 303-308.
- SCHWAPPACH, P., HOFMANN H. (2009): Klimawandel: neue Herausforderungen für den Pflanzenschutz, Gebietsversammlung Weinbau 2009, Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau.

- SILVERSTEIN, R.M. (1990): Practical Use of Pheromones and Other Behaviour-Modifying Compounds: Overview, Chapter. 1 pp. 1-8 in: RIDGWAY, R.L., SILVERSTEIN R.M., INSCOE, M.N. (eds.) (1990): Behaviour-modifying chemicals for insect management: application of pheromones and other attractants Marcel Dekker, New York und Basel, ISBN: 0-8247-8156-2.
- TASIN, M. (2005): Sex, Wine and Chemical Communication in Grapevine Moth *Lobesia botrana*. Doctoral thesis, Faculty of Landscape Planning, Horticulture and Agricultural Science, Department of Crop Science, Swedish University of Agricultural Science, Alnarp 2005.
- VOGT, E., SCHRIFT, G. (2000): Weinbau; Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart, ISBN: 3800157209.
- WEBER, E., WEBER, R. (1992): Buch der Umweltanalytik, Band 4, Methoden und Applikationen in der Kapillarchromatographie; GIT Verlag GmbH, Darmstadt.
- WITZGALL, P., TASIN, M., BUSER, H.-R., WEGNER-KIß, G., MARCO MANCEBO, N., V.-S., IORIATTI, C., BÄCKMAN, A.-C., BENGTSSON, M., LEHMANN, L., FRANCKE W. (2005): New pheromone components of the grapevine moth *Lobesia botrana*. Journal of Chemical Ecology, **31** (12): 2923-2932.
- WITZGALL, P., KIRSCH, P., CORK, A. (2010): Sex pheromones and Their Impact on Pest Management: Journal of Chemical Ecology, **36**: 80-100.

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Leithold für die Möglichkeit am Institut für Organischen Landbau diese Bachelorarbeit schreiben zu können.

Bei Herr Dr. Hein möchte ich mich für die einzigartige und intensive Betreuung bedanken. Ich konnte ihn jeder Zeit kontaktieren und ihn um Rat fragen.

Ein weiterer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Hummel. Vielen Dank für die Begleitung meiner Bachelorarbeit, für die Ideen, die mir immer wieder neue Motivation gaben.

Ira Lindner möchte ich für die wunderbare Beratung und Geduld danken. Viel Zeit hat sie damit verbracht mir die Methoden zu erklären und mir Versuchsdurchführungen näher gebracht.

Sehr dankbar bin ich auch Herrn Deuker, für die viele Geduld mir große Exceltabellen verständlich zu machen, für die vielen interessanten Diskussionen und die Unterstützung der Versuchsdurchführung.

Vielen Dank auch an Herrn Dr. Breuer, Staatliches Weinbauinstitut Freiburg, für die Bereitstellung des Probenmaterials.

Ein großer Dank geht an meine Eltern, ihre Zustimmung und finanzielle Mittel haben mir das Studium sehr erleichtert!

Ebenso möchte ich meinen Freunden danken, die mir jederzeit Rückhalt geboten haben und mir neue Motivation schenkten.

Vielen Dank für die hervorragende Betreuung und Unterstützung!

Erklärung

Ich erkläre hiermit, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und ebenso nicht veröffentlicht.

Gießen, den 03. August 2010

Johanna Lahr