

Aus dem Institut für Phytomedizin, Fachgebiet Angewandte Entomologie,

Universität Hohenheim

und

dem Institut für Pflanzenschutz im Obstbau der Biologischen Bundesanstalt

für Land- und Forstwirtschaft in Dossenheim

Prof. Dr. C.P.W. Zebitz

**Prüfung von Citral als Zusatzstoff zu Pheromon zur
Bekämpfung des Apfelwicklers *Cydia pomonella* L.
(Lepidoptera, Tortricidae) und des Apfelbaumglasflüglers
Synanthedon myopaeformis Borkh. (Lepidoptera,
Sesiidae)**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Agrarwissenschaften

vorgelegt der

Fakultät III - Agrarwissenschaften I

(Pflanzenproduktion und Landschaftsökologie)

der Universität Hohenheim

von

Christine Hapke

Singen

2003

Die vorliegende Arbeit wurde am 18.09.2003 von der Fakultät III - Agrarwissenschaften I - der Universität Hohenheim als "Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Agrarwissenschaften" angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung:	20.11.2002
Prodekan:	Prof. Dr. Karl Stahr
Berichterstatter, 1. Prüfer:	Prof. Dr. C.P.W. Zebitz
Mitberichterstatter, 2. Prüfer	Prof. Dr. Stösser
3. Prüfer:	Prof. Dr. Volker Römheld

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Die Schaderreger	4
2.1 Der Apfelwickler	4
2.2 Der Apfelbaumglasflügler	6
3 Citral	7
4 Versuche mit dem Apfelwickler	9
4.1 Material und Methoden	9
4.1.1 Versuchstiere	9
4.1.2 Dispenser	10
4.1.3 Freilandversuche	11
4.1.3.1 Versuchsflächen.....	11
4.1.3.2 Versuchsdurchführung	11
4.1.3.3 Pheromonfallen mit synthetischem Köder	12
4.1.3.4 Pheromonfallen mit virginen Weibchen.....	12
4.1.3.5 Apfelschadensbonitur.....	13
4.1.3.6 Abgaberate der Dispenser	14
4.1.4 Abhängigkeit des Bekämpfungserfolges von der Befallsdichte	14
4.1.4.1 Großkäfige.....	14
4.1.4.2 Kopulationskäfige.....	15
4.1.5 Einfluss von Citral auf die Pheromonwahrnehmung	15
4.1.5.1 Beschreibung des Laborwindkanals.....	16
4.1.5.2 Attraktivität des Pheromons.....	18
4.1.5.3 Attraktivität des Pheromons in Kombination mit Citral.....	18
4.1.5.4 Abgabemengen von Citral im Laborwindkanal	18
4.1.6 Elektroantennogramme (EAGs) mit Citral	20
4.1.7 Einfluss von Citral auf die Begattung	22
4.1.7.1 Verdünnung von Citral mit Hexan.....	23
4.1.7.2 Verdünnung von Citral mit Silikonöl	24
4.1.8 Einfluss von Citral auf die Eiablage	25

4.1.8.1 Versuch: Eiablage auf Apfel	26
4.1.8.2 Eiablage auf Glaszylinder	26
4.1.9 Einfluss von Citral auf die Penetration frisch geschlüpfter Larven in Apfel	27
4.1.10 Statistik	27
4.2 Ergebnisse	28
4.2.1 Freilandversuche	28
4.2.1.1 Pheromonfallen mit synthetischem Köder	28
4.2.1.2 Fallen mit virginen Weibchen	30
4.2.1.3 Apfelschadensbonitur	31
4.2.1.4 Abgaberate der Dispenser	34
4.2.2 Abhängigkeit des Bekämpfungserfolges von der Befallsdichte	38
4.2.2.1 Großkäfige	38
4.2.2.2 Kopulationskäfige	39
4.2.3 Einfluss von Citral auf die Pheromonwahrnehmung	40
4.2.3.1 Attraktivität des Pheromons	40
4.2.3.2 Attraktivität des Pheromons in Kombination mit Citral	41
4.2.3.3 Abgabemengen von Citral im Laborwindkanal	43
4.2.4 Elektroantennogramme (EAGs) mit Citral	47
4.2.5 Einfluss von Citral auf die Begattung	51
4.2.5.1 Verdünnung von Citral mit Hexan	51
4.2.5.2 Verdünnung von Pheromon mit Hexan	52
4.2.5.3 Verdünnung von Citral mit Silikonöl	52
4.2.6 Einfluss von Citral auf die Eiablage	54
4.2.6.1 Eiablage auf Apfel	54
4.2.6.2 Eiablage auf Glaszylinder	55
4.2.7 Einfluss von Citral auf die Penetration frisch geschlüpfter Larven in Apfel	57
5 Versuche mit dem Apfelbaumglasflügler	58
5.1 Material und Methoden	58
5.1.1 Versuchstiere	58
5.1.2 Dispenser	59

5.1.3 Freilandversuche	59
5.1.3.1 Versuchsflächen.....	60
5.1.3.2 Versuchsdurchführung	60
5.1.3.3 Pheromonfallen	62
5.1.3.4 Safffallen	63
5.1.3.5 Bohrmehlauswurfstellen	64
5.1.3.6 Quantitative Larvenauszählung in gerodeten Bäumen	65
5.1.3.7 Abgabe der Dispenser.....	65
5.1.4 Einfluss von Citral auf die Pheromonwahrnehmung	65
5.1.5 Kopulationsbedingungen des Apfelbaumglasflüglers	66
5.1.6 Statistik	67
5.2 Ergebnisse.....	68
5.2.1 Freilandversuche	68
5.2.1.1 Befallserhebungen im Versuchsvorjahr 1997.....	68
5.2.1.2 Pheromonfallen	68
5.2.1.3 Safffallen	70
5.2.1.4 Bohrmehlauswurfstellen	71
5.2.1.5 Quantitative Larvenauszählung in gerodeten Bäumen	73
5.2.1.6 Dispenser	75
5.2.2 Einfluss von Citral auf die Pheromonwahrnehmung	78
5.2.2.1 Vorversuche zur Attraktivität des Pheromons	78
5.2.2.2 Attraktivität des Pheromons in Kombination mit Citral.....	80
5.2.3 Kopulationsbedingungen des Apfelbaumglasflüglers	81
5.2.4 Zusätzliche Beobachtungen	86
6 Diskussion.....	87
6.1 Versuche mit dem Apfelwickler	87
6.1.1 Schlußfolgerung.....	102
6.2 Versuche mit dem Apfelbaumglasflügler.....	103
6.2.1 Schlußfolgerung.....	113
7 Zusammenfassung.....	114
8 Literaturverzeichnis.....	117

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1. Sexualpheromon des Apfelwicklers.....	5	
Abb. 2.2. Sexualpheromon des Apfelbaumglasflüglers	6	
Abb. 3.1: Strukturformel von Citral.....	8	
Abb. 4.1: Spermatophorenpräparation beim Apfelwickler.....	10	
Abb. 4.2: Felge mit Elektrofallen im Laborwindkanal	16	
Abb. 4.3: Tagesgang der Beleuchtungsstärke im Laborwindkanal.....	17	
Abb. 4.4: Seitenansicht des EAG-Meßapparates (aus FÄRBERT 1995)	21	
Abb. 4.5: Apfelwickler-Fänge der Pheromonfallen mit synthetischem Köder 1998 auf der Anlage Dossenheim.....	28	
Abb. 4.6: Apfelwickler-Fänge der Pheromonfallen mit synthetischem Köder 1999 auf der Anlage Dossenheim.....	29	
Abb. 4.7: Apfelwickler-Fänge der Pheromonfallen mit synthetischem Köder 1999 auf der Anlage Großsachsen	29	
Abb. 4.8: Apfelwickler-Fänge der Fallen mit virginen Weibchen 1999 auf	der Anlage Dossenheim	30
Abb. 4.9: Apfelwickler-Fänge der Fallen mit virginen Weibchen 1999 auf	der Anlage Großsachsen.....	30
Abb. 4.10: Vom Apfelwickler befallene Äpfel 1998 auf der Anlage Dossenheim.....	31	
Abb. 4.12: Vom Apfelwickler befallene Äpfel 1999 auf der Anlage Dossenheim.....	32	
Abb. 4.13: Vom Apfelwickler befallene Äpfel 1999 auf der Anlage Großsachsen	33	
Abb. 4.14: Abgabe der RAK 3+4- und RAK R-Dispenser 1998.....	34	
Abb. 4.15: Abgabe der RAK 3-, RAK 3R- und RAK R-Dispenser 1999.....	35	
Abb. 4.16: Abgabe der RAK 3-, RAK 3R- und RAK R-Dispenser 2000.....	35	
Abb. 4.17: Begattungsraten in den Sarankäfigen bei drei verschiedenen Falterdichten	38	
Abb. 4.18: Rückfang der Falter im Laborwindkanal bei Pheromonkonzentrationen (Ph) von 10^{-3} und 10^{-4}	40	
Abb. 4.19: Rückfang der Falter im Laborwindkanal bei Pheromon 10^{-3} und Pheromon 10^{-3} kombiniert mit Citral 10^{-1} verdünnt und unverdünnt	41	
Abb. 4.20: Rückfang der Falter im Laborwindkanal bei Pheromon 10^{-3} und Pheromon 10^{-3} kombiniert mit Citral 10^{-1} und 10^{-3} verdünnt	42	
Abb. 4.21: Rückfang der Falter im Laborwindkanal bei Pheromon 10^{-3} und Pheromon 10^{-3} kombiniert mit Citral 10^{-1} und Citral unverdünnt nach 24 h ...	43	
Abb. 4.22: Gaschromatogramm der Abgabe von Citral (10^{-1}) einer frischen Spritze	44	

<i>Abb. 4.23: Abbau von Citral im Laborwindkanal.....</i>	<i>45</i>
<i>Abb. 4.24: EAG-Messung eines Männchens bei Laborluft</i>	<i>47</i>
<i>Abb. 4.25: EAG eines Männchens bei unverdünntem Citral nach 24 h.....</i>	<i>48</i>
<i>Abb. 4.26: EAG eines Männchens bei Citral 10⁻¹ nach 24 h.....</i>	<i>48</i>
<i>Abb. 4.27: EAG eines Männchens bei einer "blank"-Spritze.....</i>	<i>49</i>
<i>Abb. 4.28: EAG eines Weibchens bei Laborluft.....</i>	<i>49</i>
<i>Abb. 4.29: EAG eines Weibchens bei unverdünntem Citral nach 24 h.....</i>	<i>50</i>
<i>Abb. 4.30: EAG eines Weibchens bei Citral 10⁻¹ nach 24 h.....</i>	<i>50</i>
<i>Abb. 4.31: EAG eines Weibchens bei einer "blank"-Spritze</i>	<i>51</i>
<i>Abb. 4.32: Begattungsraten in Glaszylindern bei steigender Citralkonzentration</i>	<i>51</i>
<i>Abb. 4.33: Begattungsraten in Glaszylinder bei steigender Pheromkonzentration</i>	<i>52</i>
<i>Abb. 4.34: Anzahl abgelegter Eier pro begattetes Weibchen nach Behandlung mit Citral</i>	<i>54</i>
<i>Abb.4.35: Eiablage des Apfelwicklerstammes aus Pforzheim bei verschiedenen Citralkonzentrationen</i>	<i>55</i>
<i>Abb. 4.36: Eiablage des Stammes aus Darmstadt bei verschiedenen Citralkonzentrationen</i>	<i>56</i>
<i>Abb. 4.37: Anzahl Bohrlöcher der Larven nach Behandlung mit verschiedenen Citral-Konzentrationen.....</i>	<i>57</i>
<i>Abb. 5.1: Spermatophorenpräparation bei S. myopaeformis.....</i>	<i>59</i>
<i>Abb. 5.2: Bohrmehlauswurfstellen der Larven des Apfelbaumglasflüglers</i>	<i>64</i>
<i>Abb. 5.3: Mittlere Anzahl Bohrmehlauswurfstellen pro Baum in den Anlagen Edingen 2.....</i>	<i>73</i>
<i>Abb. 5.4: Abgabe der RAK 7- und Citraldispenser bei S. myopaeformis 1998.....</i>	<i>75</i>
<i>Abb. 5.5: Abgabe der RAK 7- und Citraldispenser bei S. myopaeformis 1999.....</i>	<i>76</i>
<i>Abb. 5.6: Abgabe der RAK 7- und Citraldispenser bei S. myopaeformis 2000.....</i>	<i>76</i>
<i>Abb. 5.7: Attraktivität des Pheromons in verschiedenen Verdünnungen und von unverdünntem Citral</i>	<i>79</i>
<i>Abb. 5.8: Attraktivität des Pheromons in verschiedenen Verdünnungen und von Citral in einer Verdünnung von 10⁻¹</i>	<i>79</i>
<i>Abb. 5.9: Attraktivität des Pheromons in Kombination mit Citral.....</i>	<i>80</i>
<i>Abb. 5.10: Rückfang von S. myopaeformis bei verschieden beköderten Fallen.....</i>	<i>81</i>
<i>Abb. 5.11: Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Temperatur im Freiland während Versuch 1</i>	<i>82</i>

<i>Abb. 5.12: Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Temperatur im Freiland während Versuch 1 am folgenden Tag</i>	<i>83</i>
<i>Abb. 5.13: Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Temperatur im Freiland während Versuch 2</i>	<i>84</i>
<i>Abb. 5.14: Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Temperatur im Freiland während Versuch 3</i>	<i>85</i>
<i>Abb. 5.15: Globalstrahlung im Freiland während Versuch 4.....</i>	<i>85</i>

Tabellenverzeichnis

Tab. 4.1: Verwendete Dispenserarten 1998 und 1999.....	12	
Tab. 4.2: Sorten und Parzellen der Apfelschadensbonitur	13	
Tab. 4.3: Analyierte Verdünnungen und Alter der Spritzen.....	20	
Tab. 4.4: Substanzen und Alter der Spritzen bei den EAG-Messungen	22	
Tab. 4.5: Varianten der Glaszylinder-Versuche mit Filterpapierblättchen	25	
Tab. 4.6: Fallobstbonitur auf der Anlage Dossenheim 1998.....	32	
Tab. 4.7: Fallobstbonitur auf der Anlage Dossenheim 1999.....	33	
Tab. 4.8: Pheromon- und Citralabgabe pro Dispenser in mg.....	36	
Tab. 4.9: Pheromon- und Citralabgabe insgesamt pro Hektar.....	37	
Tab. 4.10: Anzahl begatteter und unbegatteter Weibchen in den Kopulationskäfigen in den verschiedenen Varianten und Wiederholungen.....	39	
Tab. 4.11: Angaben zur Berechnung der Citralabgabe des Gaschromatographen	44	
Tab. 4.12: Berechnung der Citralabgabe der verschiedenen Verdünnungen und Alter der Spritzen.....	45	
Tab. 4.13: Begattungsraten der verschiedenen Versuche und Citral-Konzentrationen bei den Versuchen 2 bis 5.....	53	
Tab. 4.14: Begattungsraten bei verschiedenen Verdünnungen der Citral, bei Abdeckung der Blättchen mit Gummi- (G) bzw. Schaumstoffringen (S).....	54	
Tab. 5.1: Angaben zu den Versuchsflächen.....	60	
Tab. 5.2: Varianten und Größe der Versuchsanlagen	61	
Tab. 5.3: Ausbringen der Dispenser	61	
Tab. 5.4: Datum und Apfelsorten der Erfassung von Bohrmehlauswurfstellen.....	64	
Tab. 5.5: Anzahl Falter pro Pheromon- bzw. Saftfalle im Jahr 1997.....	68	
Tab. 5.6: Gesamtanzahl Falter pro Pheromonfalle und Verwirrungsgrad	der Citralvariante 1998	69
Tab.5.7: Gesamtanzahl Falter pro Pheromonfalle und Verwirrungsgrad der Citralvariante 1999	69	
Tab. 5.8: Anzahl Falter pro Pheromonfalle und Verwirrungsgrade [%] der übrigen Varianten in Wiesloch 1998 und 1999.....	70	
Tab. 5.9: Anzahl Falter pro Saftfalle 1998	71	
Tab. 5.10: Anzahl Falter pro Saftfalle 1999	71	
Tab. 5.11: Anzahl Bohrmehlauswurfstellen auf der Anlage Edingen 3.....	72	
Tab. 5.12: Anzahl Bohrmehlauswurfstellen auf der Anlage Bavendorf.....	72	

<i>Tab. 5.13: Bohrmehlauswurfstellen auf der Anlage 3 vor der Rodung</i>	<i>74</i>
<i>Tab. 5.14: Summe und mittlere Anzahl Larven pro Baum (MW) in den 1998 gerodeten Bäumen auf der Anlage Edingen 3</i>	<i>74</i>
<i>Tab. 5.15: Pheromon- und Citralabgabe pro Dispenser in mg bei S. myopaeformis</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 5.16: Berechnete Pheromon- und Citralabgabe insgesamt pro Hektar</i>	<i>77</i>
<i>Tab. 5.17: Rückfang der Falter an den Fallen ohne Köder in [%].....</i>	<i>78</i>
<i>Tab. 5.18: Anzahl Kopulationen in den Käfigen und dem Saranhaus in Versuch 1.....</i>	<i>82</i>
<i>Tab. 5.18: Anzahl Kopulationen in den Käfigen und dem Saranhaus bei Versuch 1 am folgenden Tag</i>	<i>83</i>

Abkürzungsverzeichnis

Cp	<i>Cydia pomonella</i>
C10 ^{-x}	Citral in einer Verdünnung von 10 ^{-x} in Silikonöl
Cp10 ^{-x}	Pheromon von <i>C. pomonella</i> in einer Verdünnung von 10 ^{-x} in Silikonöl
K	Kontrolle
M	Männchen
MW	Mittelwert
Ph	Pheromon
Ph/ha	Pheromondispenser pro Hektar
Ph+C/ha	Pheromon- und Citraldispenser pro Hektar
RLF	relative Luftfeuchte
Sm	<i>Synanthedon myopaeformis</i>
Sm10 ^{-x}	Pheromon von <i>S. myopaeformis</i> in einer Verdünnung von 10 ^{-x} in Silikonöl
unverd.	unverdünnt
W	Weibchen
Wbeg	Weibchen begattet
Wunbeg	Weibchen unbegattet

Erläuterungen zu den Dispensern:

Dispenserarten	Kammer 1	Kammer 2
RAK 3+4	Apfelwicklerpheromon	Apfelschalenwicklerpheromon
RAK 3	Apfelwicklerpheromon	-
RAK 3R	Apfelwicklerpheromon	Citral
RAK R	-	Citral
RAK 7	Pheromon des Apfelbaumglasflüglers	-

1 Einleitung

Wenige Jahre nach der Aufklärung des ersten Sexuallockstoffes (BUTENANDT et al. 1959) wurde der Einsatz von Pheromonen zur Verwirrung von Schadinsekten als Bekämpfungsmethode untersucht (GASTON et al. 1967). Diese Methode beruht auf dem Prinzip der "Überschwemmung" einer Anlage mit synthetischem Pheromon, so daß die Männchen nicht mehr in der Lage sind, die lockenden Weibchen zu lokalisieren. So bleibt eine Begattung aus, und es entstehen keine schädigenden Nachkommen. Die genauen Wirkmechanismen sind jedoch immer noch größtenteils unbekannt (SANDERS 1997). Der Vorteil dieser Methode liegt in der sehr geringen Wirbeltiertoxizität und der Artspezifität der Pheromone. Da keine Insektizide ausgebracht werden müssen, handelt es sich um ein umwelt- und besonders nützlichlingsschonendes Kontrollverfahren. Im Weinbau gegen *Eupoecilia ambiguella* (Hübner) und *Lobesia botrana* (Schiff.) (ARN & LOUIS 1997), sowie in der Baumwolle gegen *Pectinophora gossypiella* (Saunders) (STATEN et al. 1997) zeigte diese Methode großen Erfolg und wird regelmäßig eingesetzt.

Diese Methode ist jedoch von vielen Faktoren abhängig und nicht immer anwendbar. Zum einen sollte die zu behandelnde Anlage eine große zusammenhängende Fläche darstellen oder eine isolierte Lage aufweisen, um den Einflug von Faltern aus der Umgebung zu minimieren (CARDÉ & MINKS 1995, CASAGRANDE & JONES 1997). Zum anderen sollte eine niedrige Populationsdichte des Schädlings in der Anlage herrschen, da bei zu hoher Dichte die Verwirrung meist versagte (MOFFITT & WESTIGARD 1984, AUDEMARD et al. 1989, HOWELL et al. 1992, MANI & SCHWALLER 1992, CARDÉ & MINKS 1995, CASAGRANDE & JONES 1997, NEUMANN 1997, SANDERS 1997). Weiterhin kommt den Dispensern als Verdampfer des Pheromons eine hohe Bedeutung zu. Sie müssen vielen Eigenschaften genügen, die nicht vernachlässigt werden dürfen (CARDÉ & MINKS 1995, ARN et al. 1997, CASAGRANDE & JONES 1997, SANDERS 1997). Teilweise kommt es trotz Einhaltung und Beachtung dieser Voraussetzungen zu einem Befall, für den es keine erkennbare Ursache gibt (CASAGRANDE & JONES 1997).

Dieser unsichere Bekämpfungserfolg erschwerte die Akzeptanz der Verwirrungstechnik in der Praxis. Ein weiterer Grund sind die Kosten, die höher als bei konventionellen Maßnahmen liegen (WILLIAMSON et al. 1996). Dies machte die Anwendung der Verwirrung im Apfelanbau und im Weinbau in den letzten Jahren abhängig von staatlichen Subventionen. Durch die ausgeprägte Fähigkeit der Resistenzbildung beim Apfelwickler (BÖRNER 1990, CROFT & RIEDL 1991, RIEDL & ZELGER 1994) und der zur Zeit fehlenden effektiven Bekämpfungsmittel findet die Verwirrung derzeit jedoch wieder größere Beachtung.

Die hohen Kosten der Verwirrungstechnik werden größtenteils durch die Verwendung von synthetischem Pheromon, dessen Herstellung teuer ist, verursacht. Es wurde jedoch schon in den Anfängen der Verwirrungsmethode beobachtet, daß nicht nur bei Verwendung von Pheromonbestandteilen ein Verwirrungseffekt eintreten kann, sondern auch bei Verwendung von pheromonähnlichen oder auch pheromonfremden Bestandteilen (KAAE et al. 1974, ROTHSCHILD 1974, DATERMAN et al. 1975, GEORGE et al. 1975, HATHAWAY et al. 1979). Gute Verwirrungseffekte gegen den Apfelwickler wurden erreicht mit Codlemone-Isomeren und Codlemone-Acetat, die zusammen mit Codlemone ((E,E)-8,10-dodecadien-1-ol) - dem Pheromonhauptbestandteil des Apfelwicklers - ausgebracht wurden (BENGTSSON et al. 1994, McDONOUGH et al. 1994, WITZGALL et al. 1996, WITZGALL et al. 1997). Nach MINKS & CARDÉ (1988) sind die Wirkmechanismen bei Verwendung pheromonfremder Bestandteile andere, als bei Verwendung der natürlichen Pheromonmischung eines Weibchens.

Auch in der Stoffklasse der Terpene wurden Einflüsse auf die Pheromonwahrnehmung beobachtet. Nach TRAYNIER & WRIGHT (1973) besitzt das Terpen Linalool einen synergistischen Effekt bei *Ephesia kuehniella* (Zeller) auf die Attraktivität des Pheromons. Bei *Antheraea pernyi* (Guérin) wurde die Antennenreaktion durch das Terpen Geraniol reduziert (SCHNEIDER et al. 1964).

Auf der Suche nach Substanzen, welche die Partnersuche bei *L. botrana* beeinflussen, entdeckte MEIWALD (1995) einen attraktivitätsmindernden Effekt auf die Pheromonwahrnehmung durch das Monoterpen Citral. Diese Erkenntnis nahm die BASF AG zur Entwicklung einer neuen Bekämpfungsmethode auf. Dabei werden Pheromon und Citral in Dispensern gefüllt gemeinsam in einer Anlage ausge-

bracht. Citral sollte hierbei den Verwirrungseffekt von Pheromon unterstützen, wobei der eigentliche Wirkmechanismus unbekannt blieb. Zunächst wurde eine Aufwandmenge von 125 Dispensern pro Hektar empfohlen. Nachdem diese neue Technik im Weinbau gegen *L. botrana* zur Prüfung eingesetzt worden war, sollte sie nun auch im Obstbau getestet werden. Die Ergebnisse im Weinbau wurden bisher nicht veröffentlicht.

Die Untersuchungen in vorliegender Arbeit sollten erste Erkenntnisse über die Möglichkeit eines Einsatzes dieser Methode gegen den Apfelwickler *Cydia pomonella* L. und den Apfelbaumglasflügler *Synanthedon myopaeformis* Borkh. im Apfelanbau liefern.

Weiterhin sollten Laborversuche nähere Erkenntnisse über die Wirkungsweise von Citral und über mögliche Modifikationen des Verhaltens durch Citral bringen. Da Citral der Hauptinhaltsstoff der Zitrone ist, wäre es denkbar, daß unter Vor Spiegelung einer falschen Wirtspflanze durch einen "Citralduft", die Eiablage reduziert würde. Nach BINDER & ROBBINS (1997) wirkt Citral stimulierend auf die Eiablage von *Ostrinia nubilalis* (Huebner), in Untersuchungen von SAXENA & BASIT (1982) wurde dagegen eine Reduktion der Eiablage bei *Amrasca devastans* (Distant) festgestellt.

Weiterhin könnten Larven durch einen "Citralduft" davon abgehalten werden, in die Wirtspflanze einzudringen. Bei einigen Monoterpenen wurden toxische (GUNDERSON et al. 1985, KARR & COATS 1988, GREEN & BERENBAUM 1994, RICE & COATS 1994) und fraßabschreckende (DOSKOTCH et al. 1988, REGNAULT-ROGER & HAMRAOUI 1995) Eigenschaften bei Larven festgestellt. Untersuchungen von LANDOLT et al. (1999) ergaben repellente Effekte einiger pflanzlicher Öle auf die Erstlarven des Apfelwicklers. Er sieht eine mögliche Anwendung von Dispensern, die ein entsprechendes pflanzliches Öl enthalten, zum Schutz der Bäume oder Früchte vor den Schädlingen.

2 Die Schaderreger

2.1 Der Apfelwickler

Der Apfelwickler *Cydia pomonella* (Linnaeus) (Syn. *Laspeyresia pomonella*, *Carpocapsa pomonella*) gehört zur Ordnung der Lepidoptera (Schmetterlinge) und in ihr zur Familie der Tortricidae (Wickler). Er ist weltweit der wichtigste Schädling im Apfelanbau und hat sich durch die Jahrhunderte, dem Apfelbaum folgend, inzwischen auf der ganzen Welt verbreitet (AUDEMARD 1991). Er zeigt eine hohe Anpassung an klimatische und trophische Bedingungen. So gehören neben dem Apfel auch Birne, Quitte, Walnuß und Pfirsich zu seinen Wirtspflanzen (BARNES 1991).

Die Falter sind klein bis mittelgroß (Flügelspannweite 15-22 mm), ihre Vorderflügel hellbraun gefärbt und von dunkelbraunen Wellenlinien durchzogen; in Ruhe sind sie meist dachförmig gefaltet.

Der Apfelwickler überwintert als Raupe im letzten Larvenstadium, eingesponnen dicht unter der Rinde des Baumes. Ab Mitte bis Ende Mai schlüpfen die Falter der ersten Generation. Die etwa ein Millimeter großen uhrglasförmigen Eier werden von den begatteten Weibchen in unmittelbarer Nähe der Früchte auf der glatten Oberfläche der Blätter oder auf den Früchten direkt abgelegt. Die frisch geschlüpften Larven bohren sich in die Frucht, dringen bis zum Kerngehäuse vor und verlassen die Frucht erst wieder im letzten Larvenstadium, um sich unter der Baumrinde zu verpuppen. Je nach klimatischen Bedingungen treten ein bis vier Generationen pro Jahr auf (AUDEMARD 1991). Im milden Klima der oberrheinischen Tiefebene tritt *C. pomonella* in der Regel mit zwei Generationen auf. Befallene Äpfel der ersten Generation fallen vorzeitig vom Baum und treten in der Erntephase nicht in Erscheinung. Der Schaden der zweiten Generation ist jedoch deutlich sichtbar und stellt einen großen Ernteverlust dar. Die Schadensschwelle liegt aufgrund der großen wirtschaftlichen Bedeutung bei zwei Prozent.

1971 wurde der Hauptbestandteil des Sexualpheromons des Apfelwicklers, (E,E)-8,10-dodecadien-1-ol - auch Codlemone genannt - durch die Elektroantennogramm-Technik erstmals nachgewiesen (ROELOFS et al. 1971), bevor er 1974 chemisch identifiziert wurde (BEROZA 1974) (Abb. 2.1).



Abb. 2.1. Sexualpheromon des Apfelwicklers

Die Bekämpfung dieses Schadinsekts durch Pestizide wurde seit Beginn um 1900 von der Entwicklung von Resistenzen begleitet. Sowohl gegen Arsen, das bis in die 20er Jahre, wie auch gegen DDT, das bis in die 50er Jahre verwendet wurde, wurde *C. pomonella* unempfindlich (CROFT & RIEDL 1991). Danach gelangten verschiedene breit wirksame Phosphorsäureester-Verbindungen (z.B. E 605, A-zinphosmethyl) im Pflanzenschutz zum Einsatz (BÖRNER 1990). Etwa 30 Jahre später traten jedoch zu dieser Wirkstoffgruppe ebenfalls erste Anzeichen einer Resistenzentwicklung auf. 1976 kamen Mittel mit dem Wirkstoff Diflubenzuron, einem Chitinsynthesehemmer, auf den Markt, gegen die der Apfelwickler zu Beginn der 90er Jahre resistent wurde (RIEDL & ZELGER 1994). In heutiger Zeit werden die Wirkstoffe Fenoxycarb, Parathion-Methyl und Tebufenozid, jedoch nicht mit durchschlagendem Erfolg zur Bekämpfung des Apfelwicklers eingesetzt. Granuloviren stellen eine biologische Bekämpfungsmöglichkeit dar, die bei richtiger Anwendung gute Ergebnisse liefert, jedoch bei hohem Befall allein nicht ausreicht.

Der Erforschung der Verwirrtechnik gegen *C. pomonella* begann schon einige Jahre nach der chemischen Identifizierung des Apfelwicklerpheromons (BEROZA 1974). Seitdem wurde in zahlreichen Untersuchungen versucht, diese Methode weiterzuentwickeln (CHARMILLOT 1981, CHARMILLOT 1985, AUDEMARD et al. 1992, HOWELL et al. 1992, WALDNER 1994, NEUMANN 1997). Seit 1997 ist der Dispensertyp RAK 3+4 der BASF AG zur Verwirrung des Apfelwicklers zugelassen.

2.2 Der Apfelbaumglasflügler

Der Apfelbaumglasflügler *Synanthedon myopaeformis* Borkh. gehört zur Ordnung der Lepidoptera (Schmetterlinge) und hier zur Familie der Sesiidae (Syn. Aegeriidae, Glasflügler). Es handelt sich um eine häufige Art, die in den meisten europäischen Ländern vorkommt und nördlich bis Skandinavien, im Süden und Osten bis Nordafrika (Ägypten) und Kleinasien verbreitet ist (EBERT 1997). Die wespenähnlichen Falter sind vorwiegend schwarz, mittelgroß, mit schmalen glasklaren (schuppenlosen) Flügeln und einem gut erkennbaren leuchtend roten Querband am Hinterleib. Die Weibchen legen ihre Eier hauptsächlich an Rindenwunden von Apfelbäumen, aber auch an Birne, Maulbeerbaum, Mehlbeere und Rotdorn ab (EBERT 1997). Die frisch geschlüpften Larven bohren sich unter die Rinde, zerstören dort kambiales Gewebe und unterbrechen die Siebröhren des Baumes. Zur Verpuppung schieben sich die Larven dicht unter die Rindenoberfläche. Die Hauptflugzeit der Falter erstreckt sich über Juni bis Anfang September. Je nach Klima scheint die Raupe einen einjährigen oder zweijährigen Entwicklungszyklus zu besitzen (AUDEMARD & BEZUT 1972, BAGGIOLINI & ANTONIN 1976, DICKLER 1976). Der 1974 identifizierte Hauptbestandteil des Sexualpheromons von *Synanthedon exitiosa* ((Z,Z)-3,13-Octadecadien-1-ol Acetat) (TUMLINSON et al. 1974) zeigte sich für *S. myopaeformis* als hochattraktiv (VOERMANN et al. 1978). Es ist langkettig und schwer flüchtig (Abb.2.2).

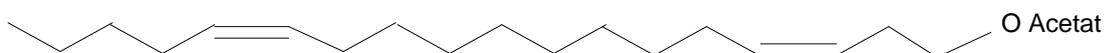


Abb. 2.2. Sexualpheromon des Apfelbaumglasflüglers

Der Apfelbaumglasflügler gelangte erst in den 70er Jahren zu wirtschaftlicher Bedeutung. Davor war diese Sesie aufgrund ihrer verborgenen Lebensweise lange unbekannt. Unter Hobbyentomologen galt der Apfelbaumglasflügler wegen seiner schönen Färbung als ein beliebtes Tauschobjekt und wurde sogar als bedrohte Art in die Rote Liste aufgenommen. Erst durch Änderung der Anbautechniken im modernen Apfelanbau gelangte diese Art zu einer Massenvermehrung. Als Ursa-

chen werden die Verwendung der zu Adventivwurzelsätzen neigenden Unterlage M9, Hochziehen der Veredlungsstelle, Verletzungen durch Baumschnitt oder Nageln der Bäume genannt (DICKLER 1986). Stammbehandlungen mit chemischen Spritzmitteln erbrachten zum Teil gute Bekämpfungserfolge (DICKLER 1976, VAN FRANKENHUYZEN & JANSEN 1978, VIGL & DEMATTIO 1981, BALAZS et al. 1996). Auf der Suche nach neuen, umweltfreundlichen Bekämpfungsverfahren wurde die Verwirrungsmethode Ende der 80er Jahre mit gutem Erfolg getestet (STÜBER 1988, HARZER 1991, AUDEMARD et al. 1992, WIRSCHING 1993, KYPARISSOUDAS & TSOURGIANNI 1998). Seit 1997 ist der Dispensertyp RAK 7 der BASF AG zur Verwirrung des Apfelbaumglasflüglers zugelassen. In den letzten Jahren ist jedoch die Bedeutung von *S. myopaeformis* wieder zurückgegangen und er ruft nur noch vereinzelt wirtschaftlichen Schaden im Apfelanbau hervor.

3 Citral

Citral ($C_{10}H_{16}O$) ist ein Monoterpen und gehört damit zu den sekundären Pflanzeninhaltsstoffen. Mit den Terpenoiden bilden die Phenole und Alkaloide deren wichtigste Gruppen. Einige der Pflanzenstoffe werden in der Vakuole oder in der Borke abgelagert, ohne daß die Pflanze einen Nutzen aus ihnen zu ziehen scheint. Bei anderen wurde festgestellt, daß sie sehr wohl von der Pflanze abgebaut werden können. Viele sekundäre Pflanzenstoffe sind jedoch für die Pflanze lebensnotwendig, wie zum Beispiel die Phytohormone, Purin- und Pyrimidinbasen der Nucleinsäuren, die Porphyrine (z.B. Chlorophyll), das Phytochromsystem, Coenzyme und die Gerüstsubstanz Lignin. Aufgrund der unterschiedlich wichtigen Bedeutung dieser Stoffe scheint eine Definition schwierig. Nach HESS (1999) sind "sekundäre Pflanzenstoffe ... Substanzen, die in ihrer Biosynthese vom Stoffwechsel der Kohlenhydrate, Fette und Aminosäuren abgeleitet sind. Sie sind also ihrer Biosynthese, nicht aber ihrer Bedeutung nach »sekundär«."

Terpenoide sind aus C-5-Bausteinen zusammengesetzt und werden nach deren Anzahl in Untergruppen gegliedert: Hemiterpene ($1 \times 5-C$, z.B. Isopren), Monoterpene ($2 \times 5-C$, z.B. Citral, Geraniol, Linalool), Sesquiterpene ($3 \times 5-C$, z.B. Farnesol, Abscisinsäure), Diterpene ($4 \times 5-C$, z.B. Phytol), Triterpene ($6 \times 5-C$, z.B. Ste-

roide), Tetraterpene ($8 \times 5\text{-C}$, z.B. Carotinoide) und Polyterpene ($n \times 5\text{-C}$, z.B. Kautschuk). Citral gehört zu den Monoterpenen (Abb. 3.1). Das handelsübliche Citral besteht aus den cis-trans-Isomeren Geranial (trans-Form, Citral a) und Neral (cis-Form, Citral b), die sich in ihren Eigenschaften nur geringfügig unterscheiden. Die spezifische Dichte (bei 20°C) liegt bei $0,887\text{ g/cm}^3$ und die Siedetemperatur bei 228°C (EBERT 1997).

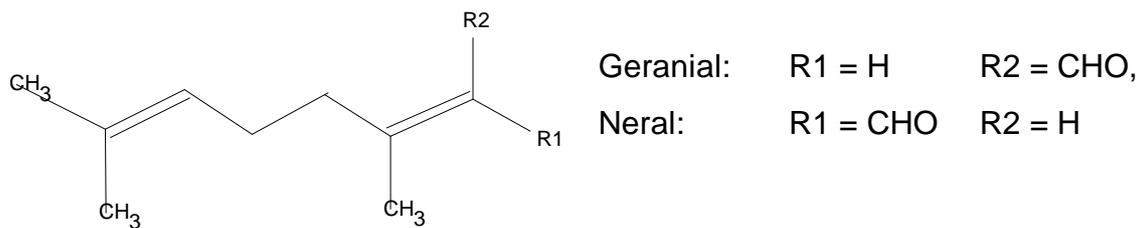


Abb.3.1: Strukturformel von Citral

Einige der Terpenoide, wie auch das Citral, gehören aufgrund ihrer hohen Flüchtigkeit zu den ätherischen Ölen. Diese können bei den Pflanzen von Drüsenhaaren der Blattoberfläche gebildet und abgegeben werden. Citral kommt unter anderem im Lemongrasöl (zu 70-85 %) und im Zitronenöl (3,5-5 %) vor. Für die Pflanzen sind ätherische Öle von erheblicher ökologischer Bedeutung, wie zum Beispiel zur Abwehr von herbivoren Insekten und Säugetieren.

Für den Menschen dient Citral unter anderem als Ausgangsmaterial der Synthese von Vitamin A, in der Industrie zur Herstellung von Methyljonon, von Likören, Parfüms und Kosmetikartikeln (HESS 1999).

4 Versuche mit dem Apfelwickler

4.1 Material und Methoden

4.1.1 Versuchstiere

Die Versuchstiere für Experimente im Halbfreiland und im Labor stammten aus der eigenen Zucht. Diese war aus Tieren eines rumänischen Stammes aufgebaut worden, die wiederum aus einer jahrelangen Laborzucht stammten. Die Zucht erfolgte unter standardisierten Bedingungen, bei 24° C, 55 % RLF und 16:8 h Licht:Dunkel in einer Phytokammer. Die Larven wurden vom ersten bis sechsten Stadium auf einer mit Wasser verrührten Fertigmischung (Heliothis Premix, Texas) aus Sojabohnen-Extrakt, Weizenkeimen und Vitaminzusätzen in Petrischalen mit jeweils 40 Larven gezogen. Zum Falterschlupf wurden die Petrischalen ohne Deckel in Bellaplastschalen (18 cm × 13 cm × 6 cm ×) gestellt, von wo aus die Falter für Versuche und zur weiteren Zucht täglich abgesaugt werden konnten. Zur Durchführung von Versuchen fand nach Vereinzelung der Falter eine Trennung der Geschlechter unter einem Binokular statt. Bei Versuchsbeginn waren die Männchen wie auch die Weibchen zumeist 1-2 Tage alt. Die Weiterzucht der Falter erfolgte in Zuchtröhren (Ø 10 cm, Höhe 20 cm), die auf beiden Seiten mit Klarsichtfolie zur Eiablage verschlossen wurden. Als Tränke diente ein mit Zuckerrwasser getränkter Wattebausch. Nach zwei Tagen und genügender Eiablage wurden die Eifolien mit Alkohol abgespült, gedrittelt und bis zum Larvenschlupf jeweils in eine mit feuchtem Tuch ausgekleidete Petrischale gelegt.

Spermatophorenpräparationen dienten zur Feststellung des Begattungszustandes der Apfelwicklerweibchen. Sie wurde nach WINKELMANN-VOGT (1993) und NETTER (1993) durchgeführt. Die gefüllte *Bursa copulatrix* ist bei einem begatteten Weibchen aufgetrieben, fest und milchig weiß (Abb. 4.1).



Abb. 4.1: Spermatophorenpräparation beim Apfelwickler (70fache Vergrößerung)

4.1.2 Dispenser

Pro Ampulle der Dispenser RAK 3+4 waren in der einen Kammer 180 mg E8,E10-Dodecadienol, die Hauptkomponente des Apfelwicklerpheromons, und in der anderen Kammer 200 mg Z11-Tetradecenylacetat, die Hauptkomponente des Apfelschalenwicklerpheromons enthalten. Als Beistoff beinhaltete die erste Kammer 45 mg, die zweite Kammer 50 mg C14-Acetat. Der Kunststoff bestand aus Polyethylen und zu einem geringen Anteil Vinylacetat (8%) und war aus brauner Farbe. Diese Dispenser wurden 1998 in den Freilandversuchen verwendet.

Da die Verwirrung des Apfelschalenwicklers in den letzten Jahren wenig Erfolg zeigte, wurden ab 1999 von der BASF nur noch Dispenser mit dem Pheromon des Apfelwicklers hergestellt. Diese wurden von der Firma "RAK 3+4 – nur Apfelwickler" genannt. Der Einfachheit halber werden diese Dispenser hier mit RAK 3 bezeichnet. Sie bestanden aus dem gleichen Kunststoff wie die RAK 3+4 Dispenser. Für Versuche in der Citralvariante wurden 1998 RAK R-Dispenser verwendet, die nur Citral enthielten, und zu den RAK 3+4-Dispensern dazugehängt wurden. 1999 stellte die BASF neue Dispenser her, die in der einen Kammer das Apfelwicklerpheromon, in der anderen Kammer Citral enthielten. Diese Ampullen werden in der vorliegenden Arbeit als RAK 3R-Dispenser bezeichnet. Diese Dispenser, wie auch die RAK R-Dispenser, bestanden aus einem anderen Kunststoff, wie die

RAK 3 oder RAK 3+4-Dispenser und wiesen auch eine veränderte Pheromonabgabe auf (vgl. 4.2.1.4).

4.1.3 Freilandversuche

Die Verwirrungstechnik mit dem Zusatzstoff Citral wurde hinsichtlich des Bekämpfungserfolges 1998 und 1999 im Freiland gegen den Apfelwickler geprüft.

4.1.3.1 Versuchsflächen

1998 wurden auf einer Apfelanlage, bei Dossenheim, und 1999 auf zwei Anlagen, bei Dossenheim und Großsachsen, Freilandversuche durchgeführt. Bei beiden Anlagen handelte es sich um Anlagen von Obstbauern, die nach den Richtlinien des Integrierten Anbaus wirtschafteten. Der Reihenabstand in der Anlage Dossenheim wie auch in der Anlage Großsachsen betrug 3,5 m, der Pflanzabstand schwankte in beiden Anlagen zwischen 1,0 und 1,3 m. Die Höhe der Bäume betrug durchschnittlich 2 - 2,5 m, das Pflanzjahr war in Dossenheim 1992, in Großsachsen 1988.

4.1.3.2 Versuchsdurchführung

Auf beiden Anlagen wurde die gängige Verwirrung von 500 Pheromondispensern pro Hektar mit der neuen Verwirrungstechnik mit 125 Citral- und 125 Pheromondispensern verglichen. Auf der Anlage Großsachsen konnte eine kleine, etwa 50 m² große, unbehandelte Kontrolle südwestlich der ausschließlich mit Citraldispensern abgehängten Variante angelegt werden.

Die etwa 2 ha große Anlage Dossenheim wurde quer in der Mitte geteilt und die beiden Varianten darauf verteilt. Die etwa 3 ha große Anlage Großsachsen wurde längs geteilt, da hinter der gesamten Anlage, etwa 100 m entfernt sich eine weitere Apfelanlage befand, die die einzige größere Befallsquelle in der näheren Umgebung darstellte. Die Dispenser wurden auf der Anlage Dossenheim 1998 am 13. Mai ausgebracht, 1999 auf beiden Anlagen am 7. Mai.

In beiden Jahren änderten sich geringfügig die Dispenserarten, jedoch nicht die Füllung (Tab. 4.1).

Tab. 4.1: Verwendete Dispenserarten 1998 und 1999

	Pheromonparzelle		Citralparzelle	
	Dispenser	Dispenserdichte	Dispenser	Dispenserdichte
1998	RAK 3+4	500 pro ha	RAK 3+4 + RAK R	je 125 pro ha
1999	RAK 3	500 pro ha	RAK 3R	125 pro ha

4.1.3.3 Pheromonfallen mit synthetischem Köder

Pheromonfallen dienen in Obstanlagen zur Kontrolle des Falterfluges von Schädlingen. In Verwirrungsanlagen werden sie zur Abschätzung des Verwirrungserfolges eingesetzt. Da die männlichen Falter in einer mit Pheromon behandelten Parzelle daran gehindert werden sollen, natürliche Pheromonquellen, d.h. die Weibchen, zu finden, so gilt letzteres auch für das Auffinden von Pheromonfallen. Werden im Gegensatz zur Kontrolle in der behandelten Variante keine Falter in der Pheromonfalle gefangen, so gilt dies als Hinweis für einen Bekämpfungserfolg.

Die hier verwendeten Delta-Pheromonfallen stammten von der BASF. Die Fallen wurden wöchentlich kontrolliert, die Anzahl der gefangenen Falter notiert und die Falter anschließend entfernt.

Die Fallen wurden 1998 und 1999 am gleichen Tag wie die Dispenser in die Anlagen gehängt.

Am 8. August 1998 und am 17. Juli 1999 wurden die Köder der Fallen erneuert, da sich das Pheromon nach Angabe des Herstellers nach etwa 6 Wochen erschöpft.

4.1.3.4 Pheromonfallen mit virginen Weibchen

Um die natürliche Locksituation besser nachzuahmen, wurden zusätzlich zu oben genannten Pheromonfallen, Fallen mit virginen Weibchen statt der synthetischen

Köder eingesetzt. Die Fallenkörper waren die gleichen. Die Weibchen waren bei der Ausbringung einen Tag alt und stammten aus der eigenen Zucht. Je Falle wurden zwei Weibchen in einen kleinen Käfig (\varnothing 4 cm, Höhe 8 cm) aus Draht eingesetzt, der auf den Leimboden der Falle gelegt wurde. Mit Ausnahme der Kontrollparzelle wurden pro Parzelle anfangs eine Falle ausgebracht. Später wurde die Anzahl auf fünf Fallen erhöht. Die Kontrolle erfolgte zweimal wöchentlich, wobei die Weibchen anschließend ausgewechselt wurden.

4.1.3.5 Apfelschadensbonitur

Um den Befall an den Früchten selbst zu erfassen, fand alle zwei Wochen eine Apfelbonitur statt. Bei einem eventuellen Versagen der Verwirrungsmethode war es somit möglich, binnen kurzem eine chemische Bekämpfungsmaßnahme einzusetzen.

Auf der Anlage Dossenheim wurden je 1000 Äpfel der Sorte Braeburn und Rubinette innerhalb der Anlage und zusätzlich je 1000 Äpfel der Randreihe (Sorte Rubinette) pro Parzelle ausgezählt und auf Apfelwicklerschaden untersucht. Kurz vor der Ernte wurde zusätzlich das Fallobst auf Schaden bonitiert.

Auf der Anlage Großsachsen wiederholte sich nur die Sorte Jonagold in den Parzellen. Deshalb wurden die Sorten Idared und Jonica als Vergleichssorten herangezogen. Als Randreihe wurden die Bäume quer zur Anlage, am Ende jeder Reihe verwendet, die am nächsten zur gegenüberliegenden Apfelanlage standen. Die Kontrolle bestand aus 88 Bäumen der Sorte Jonica und Rubinette. Je Sorte, Randreihe und Kontrolle wurden wiederum 1000 Äpfel auf Apfelwicklerschaden untersucht (Tab. 4.2).

Tab. 4.2: Sorten und Parzellen der Apfelschadensbonitur (jeweils 1000 Äpfel)

Dossenheim (1998 und 1999)		Großsachsen (1999)		
Pheromonparzelle	Citralparzelle	Pheromonparzelle	Citralparzelle	Kontrolle
Braeburn	Braeburn	Jonagold	Jonagold	gemischt
RubINETTE	RubINETTE	Idared	Jonica	
RubINETTE Randr.*	RubINETTE Randr.	gemischt Randr.	gemischt Randr.	

*Randreihe

4.1.3.6 Abgaberate der Dispenser

Zur Bewertung der neuen Verwirrungstechnik und zur Herstellung einer Beziehung zwischen dem Bekämpfungserfolg und der in den Anlagen herrschenden Menge an Pheromon und Citral ist die Erfassung der tatsächlichen Abgabe der Dispenser nötig. Bei ungenügender Abgaberate kann es zu einem Versagen der Verwirrungsmethode kommen (CARDÉ & MINKS 1995). Um die Abgaberate der Dispenser in den Versuchsanlagen abschätzen zu können, wurden jeweils zwölf Referenz-Dispenser von RAK 3+4 und RAK R im Jahr 1998 und RAK 3, RAK 3R und RAK R im Jahr 1999 ins Freiland gehängt und wöchentlich gewogen.

4.1.4 Abhängigkeit des Bekämpfungserfolges von der Befallsdichte

4.1.4.1 Großkäfige

Ein Bekämpfungserfolg in der Verwirrungsmethode ist abhängig von der Befallsdichte des Schädlings (CARDÉ & MINKS 1995, CASAGRANDE & JONES 1997). Zur Untersuchung, inwiefern der Erfolg der neuen Verwirrtechnik mit Citral von der Dichte der Apfelwickler in einer Obstanlage abhängt, wurden Versuche mit Großkäfigen (2 m × 2 m × 2 m), die mit einem dichten Sarangewebe (ca. 0,9 × 0,9 mm) überzogen waren, durchgeführt. Dies wurde verglichen mit der gängigen Verwirrungsmethode. Je zwei Käfige pro Parzelle wurden in die Versuchsanlage Dossenheim zwischen die Reihen gestellt. Als Kontrolle dienten zwei Käfige auf dem Gelände der Biologischen Bundesanstalt in Dossenheim, die in einem mit Pheromon unbehandelten Gebiet aufgestellt waren. Um die Falter möglichst leicht wiederzufinden, waren die Käfige mit Sarangewebe unterlegt. Die Käfige wurden je nach Versuch mit verschiedenen Dichten (50, 20 und 6 Falterpaare) besetzt. Bei Beginn eines Versuches waren die Falter 1 - 2 Tage alt. Sie wurden nach zwei Tagen aus den Käfigen wieder eingesammelt und die Weibchen mittels Spermaphorenpräparation auf ihren Begattungszustand untersucht. Mit der Dichte von 50 Faltern pro Käfig fanden zwei Wiederholungen, mit 20 pro Käfig vier und mit 6 Faltern pro Käfig fanden sechs Wiederholungen statt.

4.1.4.2 Kopulationskäfige

Zur Überprüfung des Bekämpfungserfolges in einem kleineren Raum wurden zusätzlich Kopulationskäfige auf der Anlage Dossenheim zwischen die Reihen gestellt. Bei diesen Käfigen handelte es sich um zylinderförmige, mit Moskitonetz bespannte Drahtgestelle (30 cm Höhe \times 30 cm \varnothing), die jeweils an einen in den Boden gesteckten Bambusstab befestigt waren. Je Parzelle wurden 7 Käfige auf der Versuchsanlage angebracht, auf dem Gelände der Biologischen Bundesanstalt 6 Käfige, die als Kontrolle dienten. In jeden Käfig wurde ein 1 Tag altes Falterpärchen eingesetzt und nach zwei Tagen die Weibchen auf ihren Begattungszustand untersucht. Es fanden vier Wiederholungen statt.

4.1.5 Einfluss von Citral auf die Pheromonwahrnehmung

MEIWALD (1995) stellte in Versuchen in einem Laborwindkanal eine Abnahme der Attraktivität des Pheromons durch Citral bei *L. botrana* fest. In folgenden Versuchen wurde dieser Effekt bei *C. pomonella* untersucht. Die Versuche in dem in 4.1.5.1 beschriebenen Laborwindkanal sollten Anhaltspunkte zur Wirkungsweise von Citral liefern.

EBBINGHAUS et al. (1997) stellten fest, daß eine Mischung aus sieben Pheromonkomponenten die Attraktivität für den Apfelwickler im Vergleich zu Codlemone allein nicht wesentlich steigert. Daher wurde in vorliegenden Versuchen nur mit dem Codlemone gearbeitet, das von der ipo-dlo PHEROBANK in Wageningen bezogen wurde.

Das Codlemone, wie auch später Citral, wurde mit Silikonöl (Typ 3, Art. 12525, Merck, Darmstadt) verdünnt. Nach KAFKA (1970) ist die Pheromonkonzentration in der Luft direkt proportional zur Lösung von Pheromon in Silikonöl. Auch bei den Untersuchungen von MEIWALD (1995) wurde so verfahren.

Die Versuchstiere stammten aus der eigenen Zucht und waren zu Versuchsbeginn 2 - 3 Tage alt. Kurz vor Beginn der aktiven Phase der Falter wurden die Tiere auf der windabwärts gelegenen Seite in den Kanal eingesetzt und nach zwei Tagen wieder abgesaugt.

4.1.5.1 Beschreibung des Laborwindkanals

Bei dem hier verwendeten Laborwindkanal handelte es sich um einen etwa 4 m langen und 1,50 m breiten und hohen Kanal aus Plexiglas. Auf der einen Seite befanden sich etwa 60 kleine Ventilatoren, die durch einen Computer durch Zufallsprinzip gesteuert wurden und eine Windströmung mit naturähnlichen Turbulenzen simulierten. Auf der gegenüberliegenden Seite befand sich ein großer Ventilator, der die Luft durch einen Kohlefilter wieder absaugte, um Verunreinigungen des Kanals zu verhindern. Die Windgeschwindigkeit betrug etwa 0,2 bis 0,5 m/s. Auf der Seite der kleinen Ventilatoren befand sich eine senkrecht installierte Fahrradfelge, die durch einen Computer gesteuert sich in 16 Minuten um 360° und wieder zurückdrehte. An dieser Felge waren in gleichen Abständen von der Nabe vier 2 × 2 cm große Elektrofallen befestigt, die wiederum mit dem Computer verbunden waren (Abb.4.2).

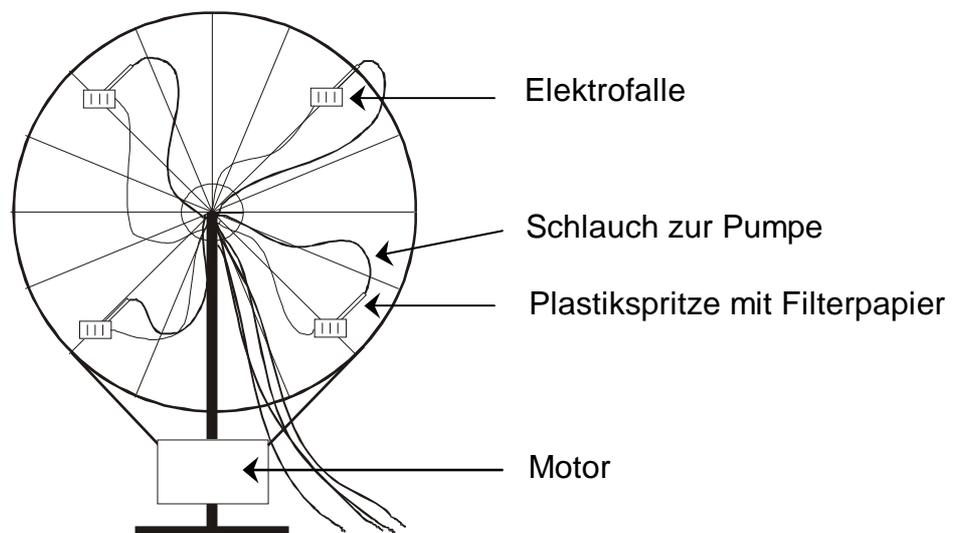


Abb. 4.2: Felge mit Elektrofallen im Laborwindkanal

Diese Fallen wurden unter Hochspannung gesetzt. Bei Berührung eines Falter mit einer Falle wurde dieser durch eine Entladung getötet und löste so einen Impuls aus, der vom Computer registriert wurde. Ein spezielles Programm zeichnete diese Fänge auf, wobei nach jedem Impuls eine Totzeit von 30 Sekunden gegeben wurde, in der keine weiteren Impulse registriert werden konnten. Dies verhinderte, daß ein Falter, der an einer Falle kleben blieb, mehrere Impulse auslösen konnte. Alle 10 Minuten wurden die in dieser Zeit gezählten Fänge in eine Datei

geschrieben, die am Ende des Versuches wieder abgerufen werden konnte. Somit war es möglich, den Flugverlauf über einen längeren Zeitraum, auch über mehrere Tage hinweg, zu beobachten.

An den Fallen waren darüberhinaus vier Einweg-Plastikspritzen befestigt, durch die mittels einer Aquariumpumpe Luft gepumpt wurde. Die durch die Pumpe angesaugte Raumluft wurde durch eine Waschflasche geleitet, durch Aktivkohle gefiltert und durch ein Durchflußmeßgerät (60 ml/min) geführt, bevor sie durch ein Loch in der Mitte der Elektrofallen wieder austrat. In die Spritzen konnten je nach Versuch verschiedene Pheromone und andere Substanzen eingebracht werden. Über dem Kanal befanden sich vier Metalleisten mit je 12 zur mit Aluminiumfolie ausgekleideten Decke gerichteten dimmbaren Halogenlampen, die den Kanal indirekt ausleuchteten und durch ein Computerprogramm gesteuert wurden. Sie konnten, je nach Programm, den Tagesgang der vier Jahreszeiten simulieren. In den vorliegenden Untersuchungen wurde immer der Tagesgang "Sommer" gewählt. Die Beleuchtungsstärke erreichte maximal etwa 1000 Lux (Abb. 4.3).

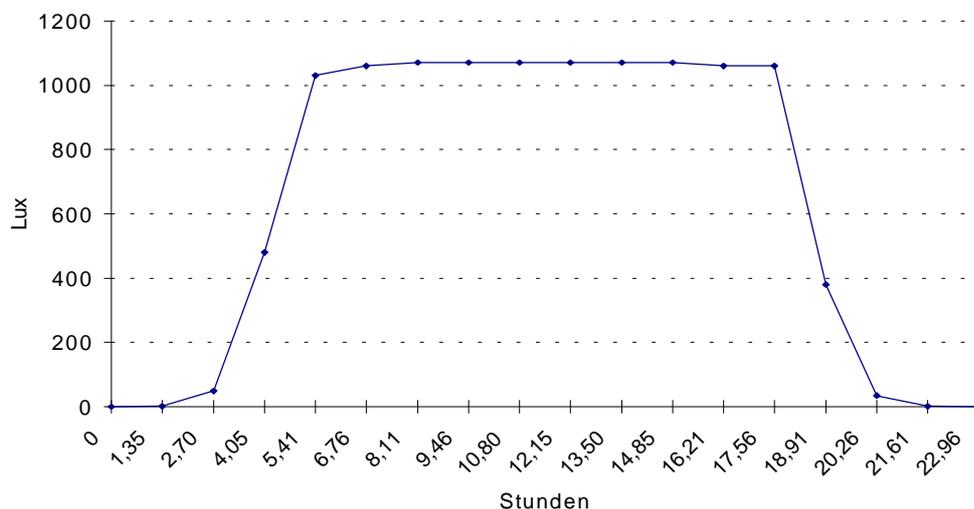


Abb. 4.3: Tagesgang der Beleuchtungsstärke im Laborwindkanal

Der Windkanal befand sich in einem abgedunkelten Keller. Die Temperatur betrug 21 - 24 °C, die relative Luftfeuchte etwa 40 %.

4.1.5.2 Attraktivität des Pheromons

Zunächst wurde untersucht, in welcher Verdünnung des Codlemons in Silikonöl die Attraktivität für die Falter am höchsten ist. In 1 ml Einwegspritzen wurden 4 × 60 mm große Filterpapierblättchen gelegt, die mit 30 µl der entsprechenden Verdünnung des Codlemons oder mit Silikonöl als Kontrolle getränkt wurden. Diese Spritzen wurden dann an den Elektrofallen befestigt.

Der Versuch wurde viermal wiederholt.

4.1.5.3 Attraktivität des Pheromons in Kombination mit Citral

Nachdem die Verdünnung des Pheromons mit der höchsten Attraktivität festgestellt worden war, wurde anschließend getestet, inwieweit diese Attraktivität bei Kombination mit Citral verringert wird. Dazu wurden 2 ml Einwegspritzen verwendet, die zwei nebeneinander gelegte Filterpapierblättchen (4 × 40 mm) enthielten. Die Blättchen wurden mit 20 µl der jeweiligen Substanz getränkt, in die Spritzen gelegt und anschließend die Spritzen an die Elektrofallen befestigt.

4.1.5.4 Abgabemengen von Citral im Laborwindkanal

Da in den Laborwindkanal-Versuchen ein Effekt von Citral auf die Pheromonwahrnehmung der Falter beobachtet werden konnte, sollte nun festgestellt werden, welche Mengen an Citral aus den Spritzen in den Kanal gelangen. Dies sollte als Anhaltspunkt für benötigte Citralkonzentrationen im Freiland dienen.

Die dafür verwendete Apparatur wurde von der Arbeitsgruppe Pheromone an der Universität Kaiserslautern entwickelt, um die Abgabe von Dispensern zu bestimmen, die mehrere Wirkstoffe enthalten. Sie wird im Folgenden auch Dampfanalyse-Apparatur genannt. Für die vorliegende Analyse wurde diese Apparatur freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Die Beschreibung eines Vorläufer-Modells des Gerätes befindet sich in ARN et al. (1997). Bei der Anlage in Kaiserslautern handelt es sich um ein System, das zur Adsorption von Wirkstoffen aus der Luft dient. In der Apparatur befinden sich zwei Luftkammern, durch die die Luft mit einer Durchflußmenge von 180 l/h fließt und

in denen sich jeweils eine Kartusche zur Adsorption befindet. Diese Kartuschen adsorbierten die aus den zu analysierenden Spritzen austretende "citralgetränkte" Luft. Dafür mußten die Kartuschen vor der Analyse speziell vorbereitet werden. 0,6 ml einer Lösung von 1 mg/ml Vitamin E und 0,5 mg/ml ersten internen Standards 11-Acetat in Isooctan wurden auf den Boden der Kartuschen aufpipettiert. Danach wurde mit Hilfe einer Saugpumpe ein Luftstrom von 1 ml/sec durch die Kartusche gesaugt, um den aufpipettierten Lösungsmittelanteil zu verdampfen. Vitamin E wirkt hierbei als Antioxidant und verhindert den chemischen Zerfall der Substanzen. Anschließend konnten die Kartuschen in die Apparatur eingebaut werden.

Die aus den Spritzen - jeweils zwei pro Durchgang - mit 100 ml/min (vgl. Versuche im Laborwindkanal) austretende "citralgetränkte" Luft wurde dann durch die Dampfanalysen-Apparatur geleitet. Nach einer registrierten Zeit wurden die Kartuschen aus der Apparatur entnommen und die in ihnen gesammelte Menge an Citral für die Analyse im Gaschromatographen aufbereitet.

Dazu wurden die Kartuschen mit 3 ml Aceton, das mit 600 µl des zweiten internen Standard 12-Acetat versetzt worden war, mehrmals durchgespült. Diese Lösung wurde schließlich in Probefläschchen gefüllt und in einem Gaschromatographen (Hersteller: Hewlett Packard, ModelNr. 6890, Detektor: Flammenionisation, Säule: Typ Innowax (Länge 30 m, Durchmesser 0,25 mm, Filmdicke 0,25 µm, Hersteller: Hewlett Packard)) analysiert.

Die bekannten Mengen der eingesetzten internen Standards (300 µg 11-Acetat) wurden später zur Berechnung der Citralmengen verwendet:

$$\text{Citralmenge} = \frac{300 \mu\text{g } 11\text{-Acetat}}{\text{Fläche des internen Standards } 11\text{-Acetat}} \times \text{Summe der Fläche Citral 1 und 2}$$

Die Reinigung der Kartuschen erfolgte durch mehrmaliges Spülen mit Aceton, bevor sie für die nächste Analyse eingesetzt wurden.

Um einen zeitlichen Verlauf der Citral-Abgabe der Spritzen (Luft-Durchfluß 100 ml/min) zu erhalten, wurden diese teilweise nach mehreren Zeitabständen, untersucht (Tab. 4.3). Da unverdünntes Citral für eine Analyse in dem Gaschromatographen zu hoch konzentriert war, wurde es erst nach 24 h analysiert.

Tab. 4.3: Analysierte Verdünnungen und Alter der Spritzen

Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Verdünnung	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	Citr. unverd.
Alter	frisch	2 h	4 h	24 h	frisch	24 h	24 h

4.1.6 Elektroantennogramme (EAGs) mit Citral

Eine Methode, um reizauslösende Duftstoffe der Insekten zu ermitteln, ist das Elektroantennogramm (EAG). Ein weiterer Einsatzbereich eines EAG stellt die Messung von Pheromonkonzentrationen in der Umgebungsluft dar. Hierbei werden die Antennen von Insekten als Reizempfänger genutzt.

Folgende Versuche sollten zeigen, ob und in welcher Form die von Pheromon ausgelösten Reize von Citral beeinflusst werden.

Das hier verwendete EAG-Gerät wurde von der Arbeitsgruppe Pheromone an der Universität Kaiserslautern entwickelt und freundlicherweise für vorliegende Versuche zur Verfügung gestellt. Es wurde ursprünglich konzipiert zur Erfassung von Pheromonkonzentrationen im Freiland. Eine genaue Beschreibung des Gerätes befindet sich in FÄRBERT (1995).

Eine kurz über dem Pediculus abgeschnittene Antenne wird hierbei in einen speziellen Antennenhalter gelegt. Vor der eigentlichen Messung wird die Antenne auf ihren Widerstand geprüft, der zwischen 3 und 10 MOhm liegen sollte. Der Antennenhalter ist mit dem Boden eines vertikalen Rohres verbunden, durch das mit Hilfe einer Saugpumpe ein Luftstrom von 14 ml/s fließt. Am oberen Ende des Rohres befindet sich ein Kohlefilter, der alle stimulierenden Duftstoffe aus der einströmenden Luft entfernt (Abb. 4.4).

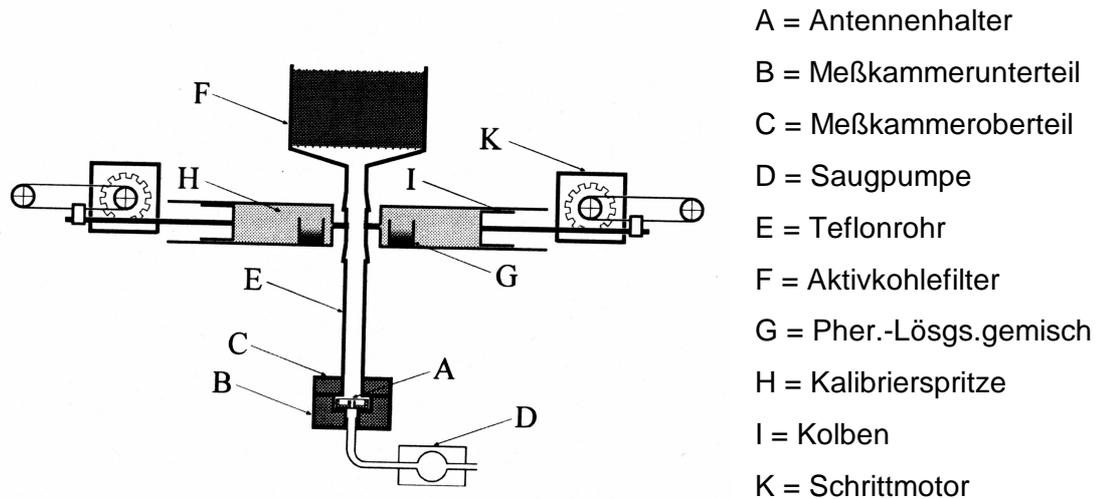


Abb. 4.4: Seitenansicht des EAG-Meßapparates (aus FÄRBERT 1995)

Vor Messung der Außenluft wird die Antenne kalibriert. Drei Kalibrierquellen (H) (Glasspritzen, die Pheromon-Öl Mischungen in Verdünnungen von 10^{-4} , 10^{-5} und 10^{-6} enthalten, in Abb.4.4 nur zwei angezeigt) an der Seite des Rohres erzeugen nacheinander einen Luftstoß (0,25 ml, 0,6 sec Dauer), der in den Hauptluftstrom hineingeleitet wird.

Zur Ermittlung der Pheromonkonzentrationen in der Umluft wird nach einigen Sekunden der Kohlefilter (F) angehoben. Dadurch gelangt ungefilterte Außenluft auf die Antenne und erzeugt einen Anstieg im EAG-Signal (Umluftreiz). Während der Filter offen bleibt, werden nun zusätzliche Kalibrier-Impulse (Zusatzreize) freigegeben. Wenn kein Pheromon in der Außenluft vorliegt, addiert sich die Antwort auf den Zusatzreiz in ihrer gesamten Amplitude auf die Antwort auf den Umluftreiz. Der Umluftreiz wird hierbei zum Beispiel durch Pflanzeninhaltsstoffe oder Feuchtigkeit erzeugt, bei denen andere Rezeptoren wie beim Pheromon angesprochen werden. Befindet sich Pheromon in der Außenluft, so setzt sich die Antwort aus den Reizen des Pheromons und des unspezifischen Reizes zusammen. Hierbei fallen die EAG-Antworten auf die Zusatzreize kleiner aus als die Antworten auf die (reinen) Kalibrierreize (siehe Bsp. Abb. 4.24 auf Seite 47). Die EAG-Antworten auf die Kalibrierreize und die Zusatzreize werden zur Berechnung der Pheromonkonzentration in der Außenluft herangezogen.

In vorliegenden Versuchen wurde während des Öffnens des Kohlefilters die jeweilige zu untersuchende Spritze mit Citral - mit einem Luftdurchfluß von 100 ml/min - über die Öffnung gehalten. Somit konnten Reize, die bei gleichzeitigem Einströmen von Pheromon durch die Kalibrierspritzen und Citral entstehen, beobachtet werden. Teilweise wurde schon kurz nach dem Kalibriervorgang der Filter manuell geöffnet, um den Einfluß des Citrals ohne Pheromon beobachten zu können.

Für die Versuche wurden 1-2 Tage alte Männchen und Weibchen von *C. pomonella* verwendet und die Reaktionen verschieden alter Spritzen untersucht (Tab. 4.4).

Tab. 4.4: Substanzen und Alter der Spritzen bei den EAG-Messungen

Geschlecht der Falter	Substanz	Alter der Spritze
Männchen	Normale Außenluft	-
Männchen	Citral unverdünnt	nach 24 h
Männchen	Citral 10 ⁻¹ verdünnt	nach 24 h
Männchen	Blank ¹	-
Weibchen	Normale Außenluft	-
Weibchen	Citral unverdünnt	nach 24 h
Weibchen	Citral 10 ⁻¹ verdünnt	nach 24 h
Weibchen	Blank ¹	-

¹ ungetränktes Filterpapier

4.1.7 Einfluss von Citral auf die Begattung

In diesen Versuchen wurde geprüft, inwieweit eine definierte Menge Citral die Begattung der Falter in einem geschlossenem System verhindert. Dabei wurde Citral einmal mit Hexan verdünnt, um die Konzentrationen exakt herstellen zu können (Stammlösung: 8,6 mg Citral auf 50 ml Hexan). Zu einem Vergleich wurden diese Versuche auch mit verschiedenen Pheromonkonzentrationen durchgeführt (Stammlösung: 6,8 mg auf 50 ml Hexan). Bei anderen Versuchen wurde Citral mit Silikonöl verdünnt, um Versuche wie im Laborwindkanal nachzuahmen. Jeweils

ein Falterpärchen je Glaszylinder (\varnothing 13,5 cm, Höhe 25 cm) wurde verschiedenen Citral-Konzentrationen ausgesetzt.

4.1.7.1 Verdünnung von Citral mit Hexan

Die Glaszylinder wurden unten mit Aluminiumfolie geschlossen und jeweils eine Glaspetruschale hineingestellt, auf die 100 μ l des zu untersuchenden Verdünnungsgemisches pipettiert wurde. Nachdem das Verdünnungsmittel Hexan verdampft war, wurde jeweils ein Falterpärchen hineingesetzt und die Zylinder oben ebenfalls mit Aluminiumfolie verschlossen. Die Zylinder befanden sich in einer Phytokammer bei einer Temperatur von 25° C und einer relativen Luftfeuchte von 50 %. Jede Konzentration wurde in 10 Zylindern wiederholt. Nach zwei Tagen wurden die Weibchen auf ihren Begattungszustand durch Spermatophorenpräparation untersucht. Die verwendeten Falter stammten aus der eigenen Zucht und waren zu Versuchsbeginn 1 Tag alt.

Zum Vergleich wurden diese Versuche auch mit unterschiedlichen Pheromonkonzentrationen durchgeführt.

Um einen Anhaltspunkt für die zu verwendende Konzentration zu bekommen, wurde eine theoretische Citral- und Pheromonkonzentration im Freiland berechnet.

Für Citral ergibt sich folgendes:

Bei einer Dispenserdichte von 125 pro Hektar, werden bei einer Baumhöhe von 3 m pro Dispenser 240 m³ Volumen zugeordnet. Bei einer vertikalen Geschwindigkeit von 0,2 m/s und einer Höhe von 3 m verbleibt ein Molekül etwa 15 s in diesem Volumen, bevor es, nach oben hinaus, daraus verschwindet. Durchschnittlich werden von einem Dispenser 1 mg pro Tag (vgl. 4.2.1.4) oder 11,6 ng/s abgegeben oder 174 ng in 15 s. Diese 174 ng verteilen sich auf 240 m³. Somit ergibt sich eine Dichte von 0,72 ng/m³.

Eine andere Berechnungsart bezieht sich auf die Konzentration in der Nähe eines Dispensers:

Angenommen die durch den Wind erzeugte Strähne verteilt sich in 1 m Entfernung auf 10 cm \times 10 cm, also 0,01 m². Durchschnittlich werden von einem

Dispenser 11,6 ng/s abgegeben (s.o.). Die Flußdichte berechnet sich anschließend aus der Materialmenge, der Zeit und Fläche:

$$\text{Flußdichte} = \frac{\text{Materialmenge}}{\text{Zeit}} \times \frac{1}{\text{Fläche}} = \frac{11,6 \text{ ng}}{\text{s}} \times \frac{1}{0,01 \text{ m}^2} = \frac{1160 \text{ ng}}{\text{m}^2 \text{ s}}$$

Bei einer angenommenen Windgeschwindigkeit von 0,5 m/s läßt sich die Dichte berechnen:

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Flußdichte}}{\text{Windgeschwindigkeit}} = \frac{1160 \text{ ng}}{\text{m}^2 \text{ s}} \times \frac{1}{0,5 \text{ m/s}} = 2320 \text{ ng/m}^3$$

Nach dieser Berechnung besteht in der Nähe eines Dispensers eine Konzentration von etwa 2320 ng/m³.

Für die Pheromonkonzentration ergibt sich:

Pro Tag werden durchschnittlich 0,4 mg Pheromon pro Dispenser abgegeben oder 4,6 ng/s oder 69 ng in 15 s. Nach der gleichen Berechnung wie für Citral ergibt sich eine Dichte von 0,29 ng/m³.

In der Nähe eines Dispensers besteht nach obiger Berechnung für Pheromon eine Dichte von etwa 920 ng/m³.

Die niedrigste hergestellte Konzentration lag etwa bei 300 ng/m³ Citral bzw. Pheromon (entspricht der Verdünnung von 10 µg Citral bzw. Pheromon pro l Hexan).

4.1.7.2 Verdünnung von Citral mit Silikonöl

In weiteren Versuchen wurden, ähnlich wie im Laborwindkanal, Filterpapierblättchen (1,5 cm × 1,5 cm) mit 20 µl verschiedener Citral-Konzentrationen (in Silikonöl verdünnt) getränkt, diese auf die Glaspetrischalen gelegt und in die Glaszylinder gestellt. Nach dem Einsetzen der Falterpärchen wurden die Zylinder mit Aluminiumfolie verschlossen. Nach zwei Tagen erfolgte bei den Weibchen eine Spermatophorenpräparation.

Mit diesem grundlegendem Versuchsaufbau wurden sechs verschiedene Versuche à vier Varianten mit verschiedenen Verdünnungen untersucht (Tab. 4.5). Als Kontrolle wurde jeweils das Filterpapier nur mit Silikonöl getränkt.

In Versuch 4 und 5 wurden die Glaszylinder vor der Zugabe frischer Weibchen bzw. Männchen mit Hexan gereinigt und die Petrischalen entfernt. Nach 24 h wurden die Weibchen auf ihren Begattungszustand untersucht.

Tab. 4.5: Varianten der Glaszylinder-Versuche mit Filterpapierblättchen

Beschreibung	Varianten
1. Versuch Filterpapierchen wurden nicht abgedeckt	K, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}
2. Versuch Filterpapierchen wurden mit einem Schaumstoffring abgedeckt	K, C uv., 10^{-1} , 10^{-2}
3. Versuch Männchen wurden den Citralkonzentrationen für 24 h exponiert, danach wurden frische Weibchen hinzugesetzt	K, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}
4. Versuch Weibchen wurden den Citralkonzentrationen für 24 h exponiert, danach wurden frische Männchen hinzugesetzt	K, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}
5. Versuch Vergleich der Abdeckungen mit einem Schaumstoff- und einem Gummiring	K, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}

K = Kontrolle

In einem 6. Versuch wurden zwei verschiedene Abdeckungen verwendet, Ringe aus Schaumstoff und aus Gummi, und die Begattungsraten bei der Verdünnung 10^{-1} miteinander verglichen.

4.1.8 Einfluss von Citral auf die Eiablage

In folgenden Versuchen wurde untersucht, ob und inwiefern Citral die Eiablage von *C. pomonella* beeinflusst. Die Versuche fanden bei 25° C und 55 % RLF in einer Phytokammer statt.

4.1.8.1 Versuch: Eiablage auf Apfel

Glaszylinder (\varnothing 13,5 cm, Höhe 25 cm) wurden auf Glaspetrischalen gesetzt, je Zylinder ein mittelgroßer Apfel auf ein etwa 10 cm hohes Gitter gelegt und 100 μ l der jeweiligen Citral-Konzentration (500, 1000 und 1500 mg/l) oder Hexan für die Kontrolle auf die Petrischale pipettiert. Anschließend wurde ein 1-Tag altes Falterpaar eingesetzt und die Zylinder mit Aluminiumfolie verschlossen. Nach zwei Tagen wurden die abgelegten Eier auf dem Apfel, der Petrischale, der Aluminiumfolie und auf dem Glaszylinder gezählt und die Weibchen auf ihren Begattungszustand untersucht. Jede Konzentration wurde 6 mal wiederholt.

4.1.8.2 Eiablage auf Glaszylinder

Da im Versuch unter 4.1.8.1 keine Beeinflussung der Eiablage zu erkennen war, wurde ein weiterer Versuch zur Eiablage angeschlossen. Hierbei gestaltete sich der Versuchsaufbau gleich wie unter 4.1.7.1 beschrieben, die Versuchsdauer betrug jedoch vier Tage. Anschließend wurden die Falter wieder eingesammelt, die Anzahl Eier auf der Petrischale, auf der unteren Aluminiumfolie, sowie auf dem Glaszylinder gezählt und die Weibchen auf ihren Begattungszustand mittels Spermatophorenpräparation untersucht.

Da in den Versuchen unter 4.1.7.1 die Konzentration von 2000 mg/l Citral die Begattung signifikant verhinderte - wie auch eine anschließende Überprüfung noch einmal bestätigte -, wurden hier die Konzentrationen 1000 mg/l, 1250 mg/l und 1500 mg/l eingesetzt.

Darüberhinaus wurde außer dem bisher eingesetzten Apfelwicklerstamm aus Pforzheim, ein weiterer Stamm aus der Biologischen Bundesanstalt in Darmstadt getestet, um eventuelle Wirkungsunterschiede zwischen den Stämmen zu evaluieren.

Jede Konzentration wurde zehn Mal wiederholt.

4.1.9 Einfluss von Citral auf die Penetration frisch geschlüpfter Larven in Apfel

Bei folgenden Versuchen wurde untersucht, ob Larven vom Citralduft abgehalten werden, in ihre Wirtspflanze einzudringen.

In Glaszylindern (\varnothing 13,5 cm, Höhe 25 cm), die sich jeweils auf einer großen Glaspetrischale befanden, wurden Äpfel (Sorte Golden Delicious) in mittlerer Größe auf ein etwa 10 cm hohes Gitter gelegt. Auf die Petrischalen wurden 100 μ l der entsprechenden Citral-Konzentration pipettiert, anschließend drei frisch geschlüpfte L1-Larven pro Apfel mit einem Pinsel aufgesetzt und die Zylinder mit Aluminiumfolie verschlossen. In einem ersten Durchgang wurden die Konzentrationen 1000, 1500 und 2000 mg/l, in einem zweiten Durchgang 3000, 4000 und 5000 mg/l getestet. Jede Konzentration, wie auch die Kontrolle bestand aus 7 Wiederholungen. Wie bei den Eiablage-Versuchen fanden auch diese Versuche in einer Phytokammer bei 25° C und 55 % RLF statt.

4.1.10 Statistik

Statistische Verrechnungen wurden mit dem Programm SAS (Version 6.12) durchgeführt.

Vor Anwendung des Tukey-Tests fand zunächst eine Prüfung auf Normalverteilung statt. Waren die Daten nicht normalverteilt, wurden sie transformiert und anschließend nochmals auf ihre Normalverteilung geprüft.

Zur Darstellung der statistisch verrechneten Ergebnisse der Versuche im Laborwindkanal wurden Box-Plots gewählt, die das 5. und 95. Perzentil, den Median und die Standardabweichung anzeigen.

Zur Verrechnung der Daten in den Versuchen in Glaszylindern (unter 4.1.7) wurde zunächst der k -Felder χ^2 -Test nach Brandt und Snedecor (Homogenitätstest) (SACHS 1999) angewandt. Bei Ablehnung der Nullhypothese kam der Homogenitätstest nach Ryan für den Vergleich jeweils zweier relativer Häufigkeiten aus einer Gruppe von k relativen Häufigkeiten zur Anwendung.

4.2 Ergebnisse

4.2.1 Freilandversuche

4.2.1.1 Pheromonfallen mit synthetischem Köder

Zwischen den Behandlungs-Varianten RAK 3+4 bzw. RAK 3 und der mit Citral ist in beiden Jahren 1998 und 1999 auf der Anlage Dossenheim kein erkennbarer Unterschied in den Pheromonfallenfängen festzustellen (Abb. 4.5 und Abb. 4.6). Einzig nach der Erneuerung der Köder am 8.8.98 waren die meisten Fänge von 5 Faltern in der Verwirrparzelle und 15 Faltern in der Citralparzelle zu verzeichnen.

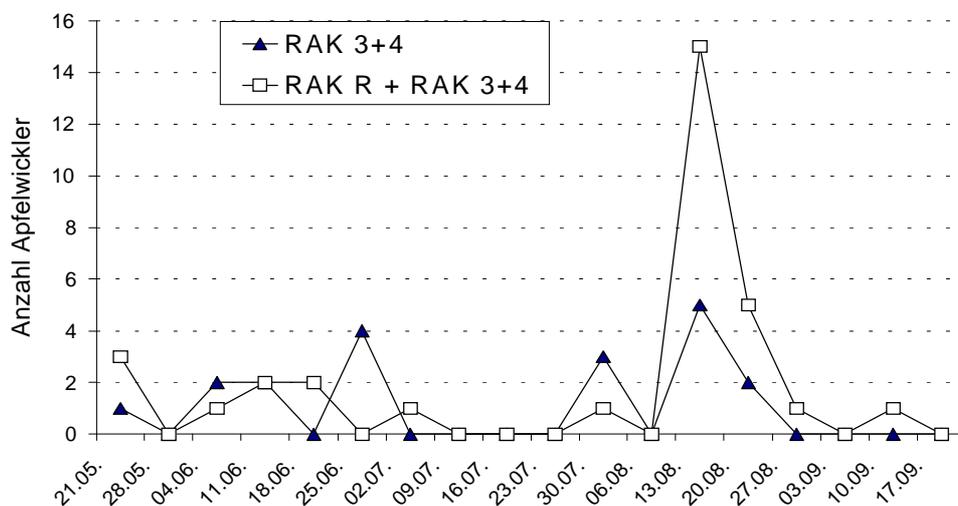


Abb. 4.5: Apfelwickler-Fänge der Pheromonfallen mit synthetischem Köder 1998 auf der Anlage Dossenheim

1998 waren über den gesamten Beobachtungszeitraum insgesamt 19 Falter in der Verwirrparzelle und 32 Falter in der Citralparzelle in den Fallen, 1999 waren es 5 bzw. 7 Falter (Abb. 4.6).

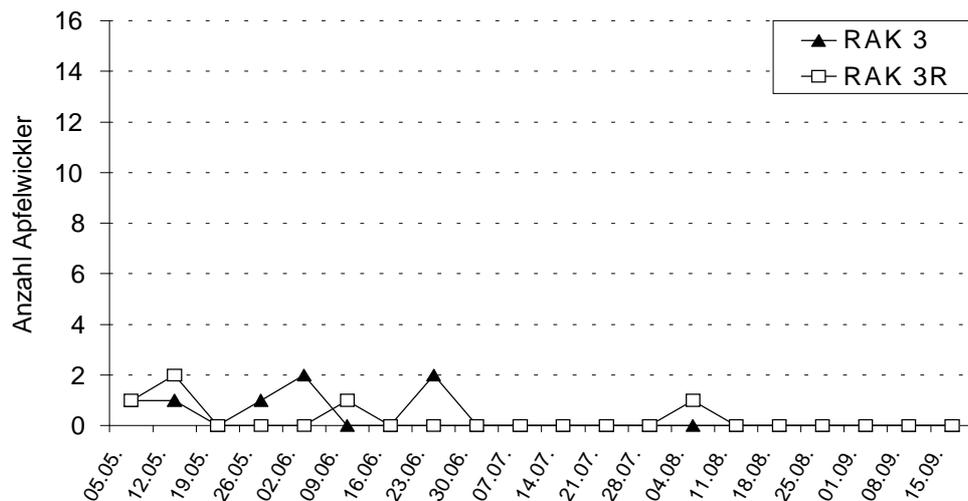


Abb. 4.6: Apfelwickler-Fänge der Pheromonfallen mit synthetischem Köder 1999 auf der Anlage Dossenheim

Auf der Anlage in Großsachsen wurden dagegen 1999 sowohl in der Kontrolle, wie auch in der Variante RAK 3R mehr Falter gefangen als in der RAK 3-Variante (Abb. 4.7).

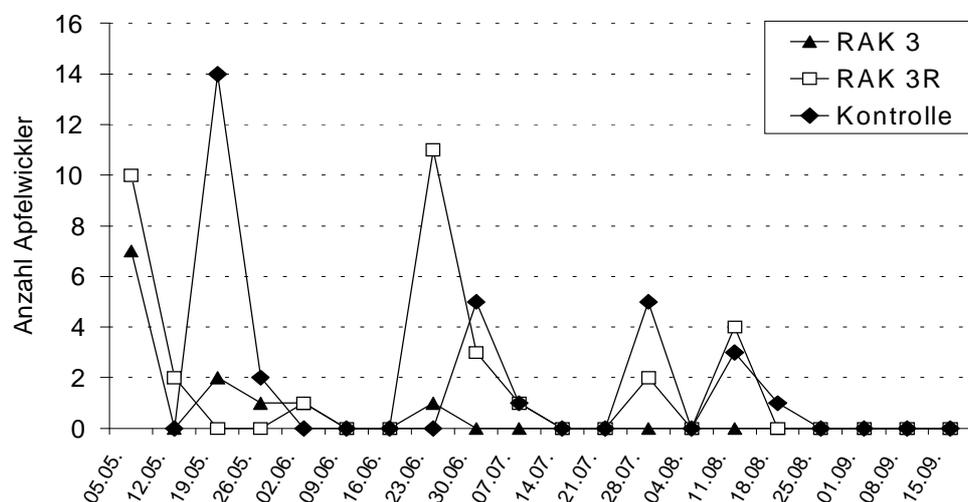


Abb. 4.7: Apfelwickler-Fänge der Pheromonfallen mit synthetischem Köder 1999 auf der Anlage Großsachsen

Insgesamt waren hier 12 Falter in der RAK 3-, 28 Falter in der RAK 3R- und 22 Falter in der Kontrollparzelle in den Fallen gefangen worden.

4.2.1.2 Fallen mit virginen Weibchen

Auf der Anlage Dossenheim wie auch Großsachsen wurden mehr Falter in der RAK 3R-Parzelle gefangen als in der RAK 3-Parzelle (Abb. 4.8 und Abb. 4.9).

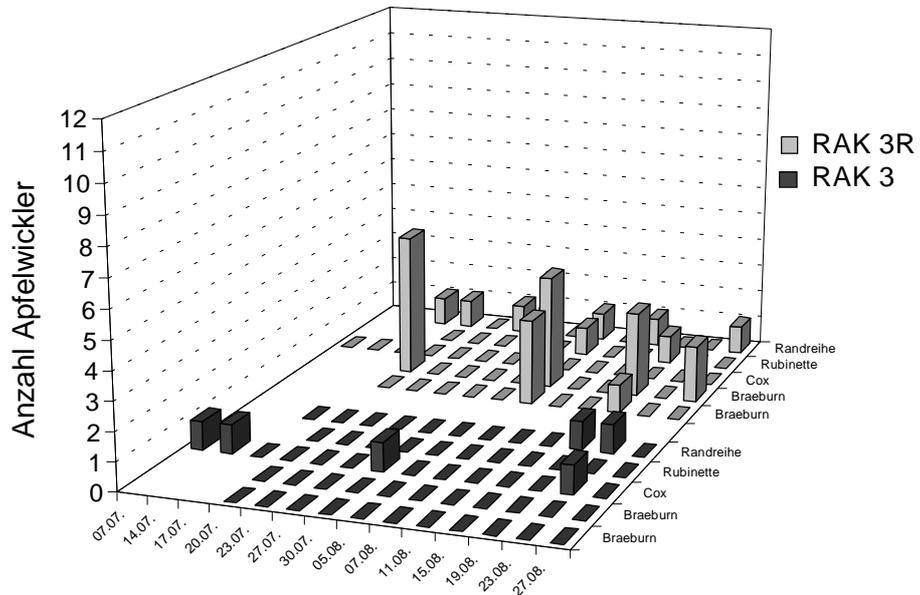


Abb. 4.8: Apfelwickler-Fänge der Fallen mit virginen Weibchen 1999 auf der Anlage Dossenheim

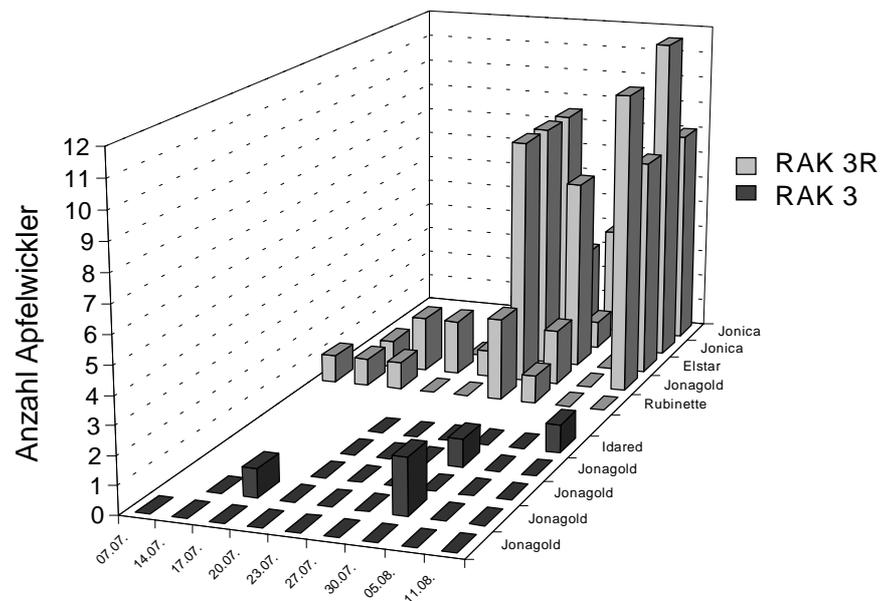


Abb. 4.9: Apfelwickler-Fänge der Fallen mit virginen Weibchen 1999 auf der Anlage Großsachsen

Insgesamt wurden auf der Anlage Dossenheim 6 Falter in der RAK 3- und 27 Falter in der RAK 3R-Variante gefangen. Auf der Anlage Großsachsen war der Unterschied mit 5 Faltern in der RAK 3- und 99 Faltern in der RAK 3R-Variante deutlicher. Verglichen mit den Fallen mit synthetischem Köder schien hier die Attraktivität der virginen Weibchen höher zu sein.

4.2.1.3 Apfelschadensbonitur

Auf der Anlage Dossenheim gab es keinen erkennbaren Unterschied zwischen beiden Varianten. 1998 erhöhte sich der Befall kurz vor der Ernte und erreichte in beiden Varianten die Schadschwelle von 2 % (Abb. 4.10).

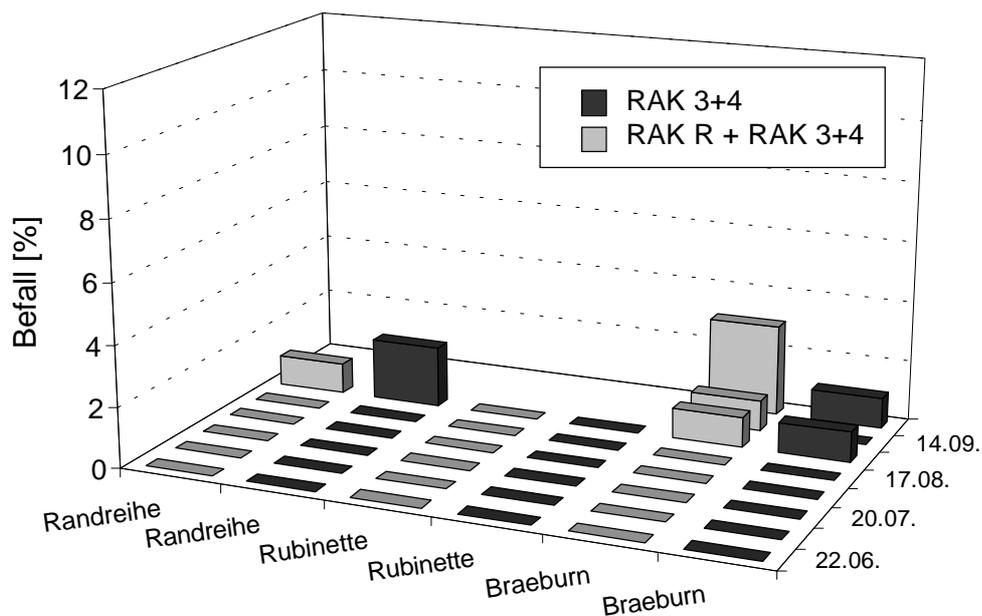


Abb. 4.10: Vom Apfelwickler befallene Äpfel 1998 auf der Anlage Dossenheim

Bei der Fallobstbonitur zeigten kaum Äpfel Schaden vom Apfelwickler auf (Tab. 4.6).

Tab. 4.6: Fallobstbonitur auf der Anlage Dossenheim 1998

Anzahl Äpfel	Randreihe (Rubinette)		Rubinette		Braeburn	
	Citral*	RAK 3	Citral	RAK 3	Citral	RAK 3
insgesamt	18	25	6	18	96	78
befallen	1	1	1	0	0	0

*RAK R + RAK 3+4

1999 war der Befall in Dossenheim an den Äpfeln geringfügig höher als im Jahr zuvor und erreichte in der Randreihe 3,5 % (Abb. 4.12). Ein sichtbarer Unterschied zwischen den beiden Behandlungen ist jedoch auch hier nicht aufgetreten.

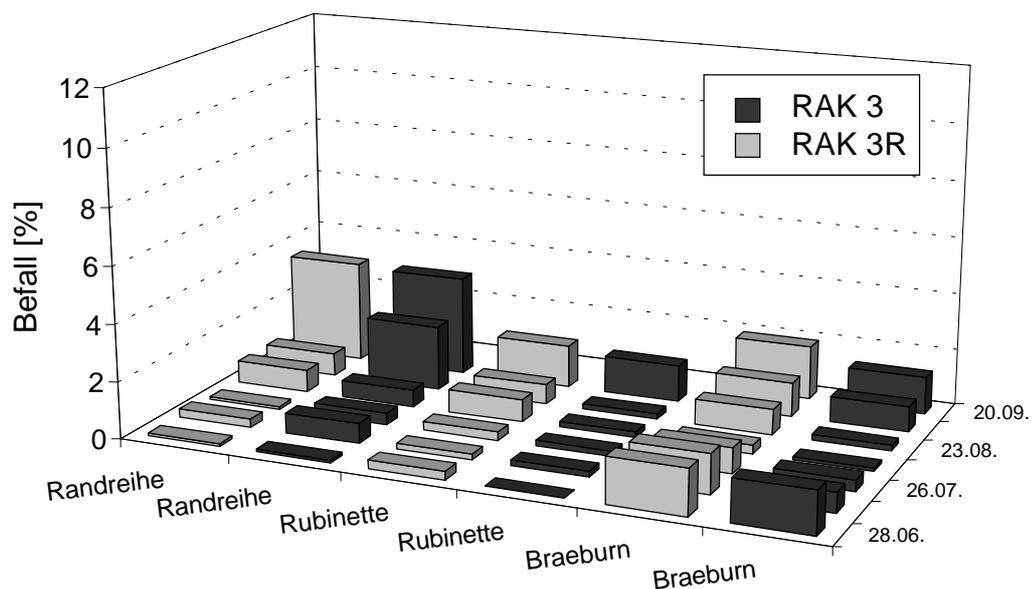


Abb. 4.12: Vom Apfelwickler befallene Äpfel 1999 auf der Anlage Dossenheim

Der Befall der Sorte Braeburn war in beiden Jahren geringfügig höher als der Befall der Sorte Rubinette innerhalb der Anlage. Durch den geringen Befall lässt sich jedoch keine Aussage über eventuelle Sorteneffekte machen.

Die Fallobstbonitur 1999 erbrachte ebenfalls keine Unterschiede im Apfelwickler-Befall (Tab. 4.7).

Tab. 4.7: Fallobstbonitur auf der Anlage Dossenheim 1999

Anzahl Äpfel	Randreihe (Rubinette)		Rubinette		Braeburn	
	RAK 3R	RAK 3	RAK 3R	RAK 3	RAK 3R	RAK 3
insgesamt	28	23	40	26	15	12
befallen	2	0	5	3	1	0

Auf der Anlage Großsachsen mußte der Versuch nach der zweiten Apfelbonitur abgebrochen werden, da der Befall schon bei der ersten Apfelbonitur teilweise die wirtschaftliche Schadschwelle von 2 % überschritt, bei der zweiten sogar 12 % erreichte und somit nicht mehr zu vertreten war (Abb. 4.13). Am 12. Juli wurde die gesamte Anlage mit dem Insektizid Insegar behandelt.

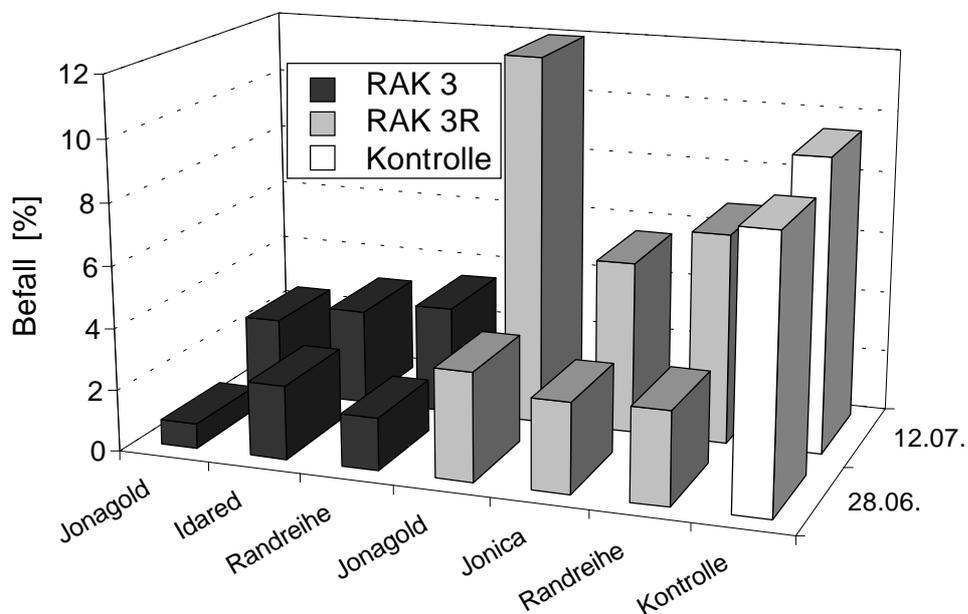


Abb. 4.13: Vom Apfelwickler befallene Äpfel 1999 auf der Anlage Großsachsen

Der Fruchtschaden in der Citralvariante RAK 3R fiel mit bis zu 12 % bedeutend größer aus, als in der RAK 3-Variante mit bis zu 3,5 %.

4.2.1.4 Abgaberate der Dispenser

Bei den RAK 3+4- und RAK R-Dispensern ist 1998 eine regelmäßige Gewichtsabnahme erkennbar (Abb. 4.14).

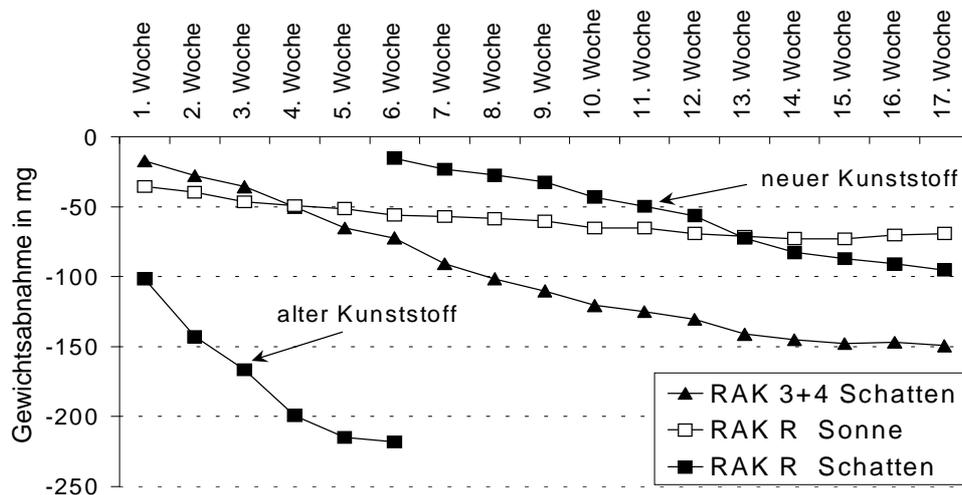


Abb. 4.14: Abgabe der RAK 3+4- und RAK R-Dispenser 1998

In den ersten Wochen wurde eine zu hohe Abgaberate der RAK R-Dispenser im Schatten festgestellt. Der Kunststoff, aus dem diese Dispenser bestanden, schien für Citral zu durchlässig zu sein. Innerhalb von sechs Wochen gaben diese Dispenser schon über 200 mg ab, etwa 23 mg pro Woche, die Dispenser in der Sonne dagegen erst etwa 55 mg und knapp 4 mg wöchentlich. Daher wurden diese "Schatten"-Dispenser Ende Juni durch neue ausgewechselt. Die neuen Dispenser besaßen immer noch eine höhere Abgaberate wie die Dispenser in der Sonne, jedoch nicht mehr in einem so hohen Maß. Möglicherweise kamen erstere Dispenser aus einer anderen Charge.

Im Jahr 1999 wurden im Freiland in der Citralparzelle RAK 3R-Dispenser eingesetzt. Zum Berechnen der Citral- und der Pheromonabgabe wurden zusätzlich RAK 3 und reine Citraldispenser (RAK R) als Referenzdispenser verwendet. In der ersten und zweiten Woche nahmen beide Dispenserarten sehr unterschiedlich im Gewicht ab. In der 6. Woche entstand durch das Kalibrieren der Waage ein Gewichtssprung von etwa 500 mg. Die Abgaberraten in diesen Wochen wur-

den der Übersichtlichkeit halber bei der Darstellung und bei der Berechnung nicht berücksichtigt (Abb. 4.15).

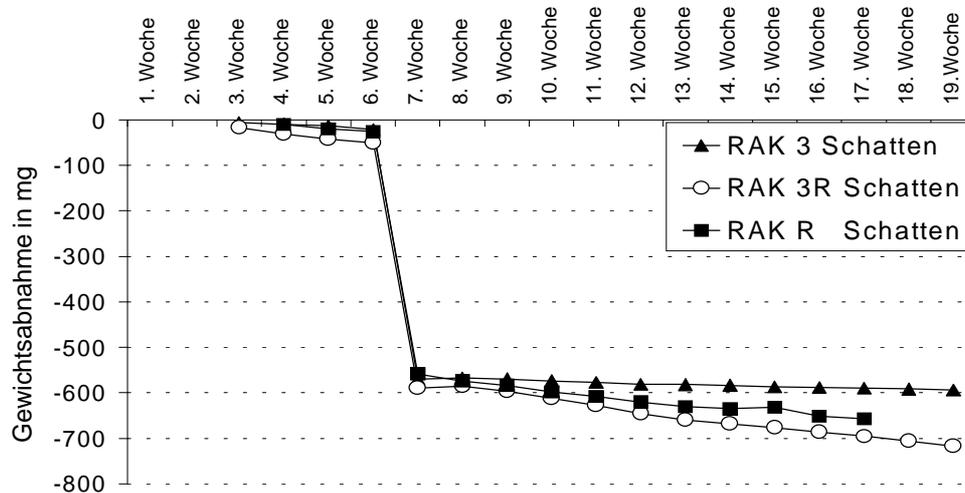


Abb. 4.15: Abgabe der RAK 3-, RAK 3R- und RAK R-Dispenser 1999

Im Jahr 2000 wurden leicht höhere Abgaberaten der RAK 3R- wie auch der RAK 3-Dispenser als im Jahr zuvor festgestellt (Abb. 4.16)

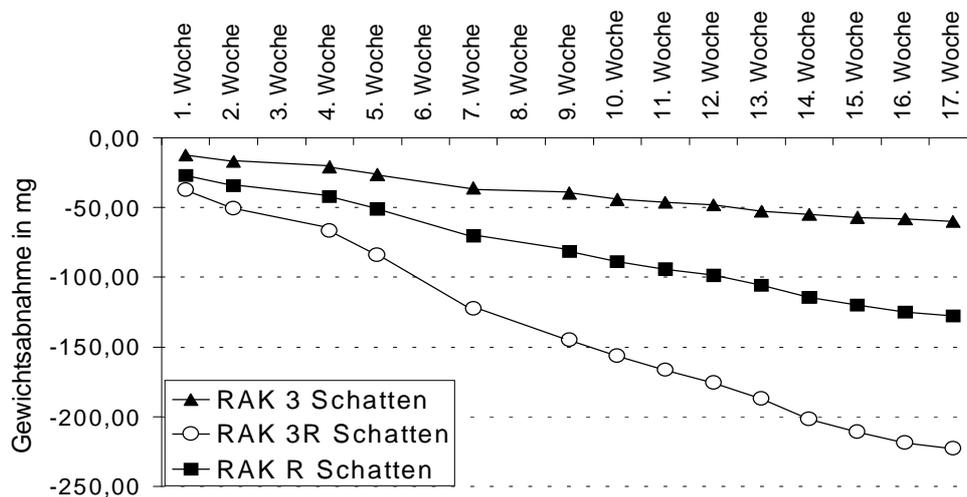


Abb. 4.16: Abgabe der RAK 3-, RAK 3R- und RAK R-Dispenser 2000

In Tab 4.8 werden die gesamten und wöchentlichen Abgaberaten der Dispenser noch einmal zusammengefaßt.

Tab. 4.8: Pheromon- und Citralabgabe pro Dispenser in mg

Dispenser		Jahr	Wochen	Abgabe	Σ Abgabe	$\bar{\varnothing}$ wöchentl. Abgabe
RAK 3+4	Schatten	1998	1. - 17.		149	8,3
RAK 3	Schatten	1999	2. - 5.	21	45	2,8
			7. - 17.	24		
		2000	1. - 17.		60	3,9
RAK 3R	Schatten	1999	2. - 5.	51	179	11,2
			7. - 17.	128		
		2000	1. - 17.		223	13,3
RAK R	Sonne	1998	1. - 17.		69	2,1
		1999	2. - 5.	50	184	12,3
			7. - 17.	134		
		2000	1. - 17.		164	10,0
RAK R	Schatten alt	1998	1. - 6.	218	218	23,4
			neu	6. - 17.		
RAK R	Schatten neu	1999	4. - 6.	20	118	9,6
			8. - 17.	98		
		2000	1. - 17.		128	8,1

Da in beiden Versuchsjahren unterschiedliche Dispenserarten in der Citralparzelle verwendet wurden – 1998 RAK 3+4 und RAK R, 1999 RAK 3R –, die auch unterschiedliche Abgaberraten aufzeigten, sind die Ergebnisse in beiden Versuchen kaum miteinander zu vergleichen.

Die Abgabe der RAK R-Dispenser in der Sonne unterscheidet sich in beiden Jahren. 1999 wurde in 15 Wochen mehr als die doppelte Menge an Citral abgegeben als das Jahr zuvor. Die Abgabe der neuen RAK R-Dispenser im Schatten ergab jedoch in beiden Jahren etwa ähnliche Ergebnisse. 1998 wurde in 12 Wochen knapp 100 mg, 1999 in 13 Wochen knapp 120 mg abgegeben.

Die Abgabe der RAK 3R-Dispenser, die Pheromon und Citral enthalten, lag um etwa 60 mg höher als die der RAK R-Dispenser im Schatten im selben Jahr. Diese Differenz müßte die Abgabe des Pheromons ausmachen. Nach KOCH (mündliche Mitteilung) geben die RAK 3R-Dispenser unter kontrollierten Bedingungen

(25° C, 0,4 m/s, 50 % relative Luftfeuchte) etwa 0,3 bis 0,4 mg/Tag Pheromon ab. Nach den gemessenen 15 Wochen wären dies 32 bis 42 mg. Unter Einbeziehung der Freilandbedingungen ist die Abgabe von 60 mg somit angemessen. Die gemessene Pheromon-Abgabe der RAK 3-Dispenser von etwa 45 mg liegt ebenfalls in diesem Bereich. Die Citralabgabe unter den oben genannten Laborbedingungen liegt bei etwa 1 mg/Tag (KOCH, mündliche Mitteilung). In den gemessenen 13 Wochen wären dies etwa 91 mg. Die tatsächlich im Freiland gemessenen Werte von 118 mg entsprechen damit in etwa den Messungen im Labor.

Zur besseren Übersicht wurden die Abgaben der Dispenser pro Hektar und Saison berechnet (Tab. 4.9).

Tab. 4.9: Pheromon- und Citralabgabe insgesamt pro Hektar

	Pheromonparzelle	Citralparzelle	
		Pheromon	Citral
1998	75 g/ha RAK 3+4	19 g/ha	39 g/ha*
1999	23 g/ha RAK 3	22 g/ha RAK 3R	
		Δ 7 g/ha	15 g/ha*
2000	30 g/ha RAK 3	28 g/ha RAK 3R	
		Δ 12 g/ha	16 g/ha*

* nach Citraldispensern alt und neu bzw. nur neu im Schatten

4.2.2 Abhängigkeit des Bekämpfungserfolges von der Befallsdichte

4.2.2.1 Großkäfige

Die dargestellten Begattungsraten beziehen sich nur auf die wiedergefundenen Falterweibchen. Die Dichte mit 50 Falterpaaren wurde nicht statistisch verrechnet, da nur zwei Wiederholungen durchgeführt wurden. Ein Unterschied zwischen den Varianten ist jedoch hier nicht erkennbar (Abb. 4.17).

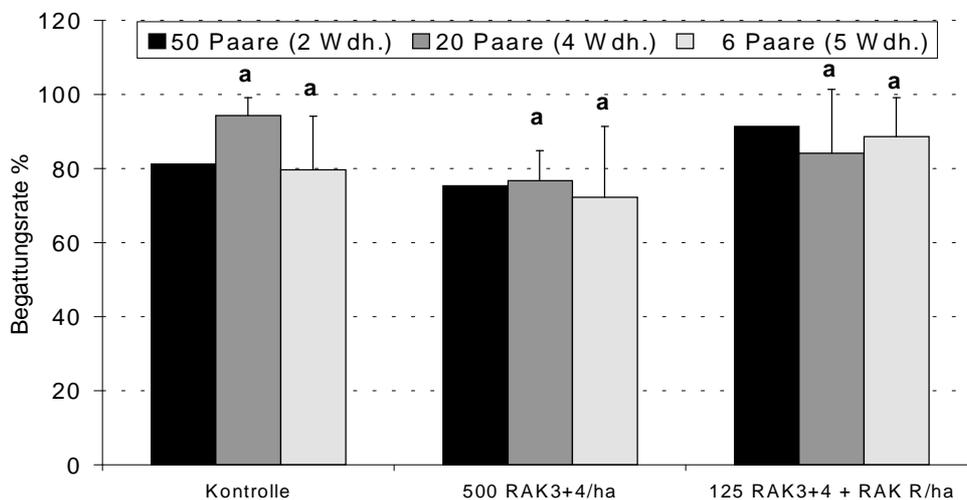


Abb. 4.17: Begattungsraten in den Sarankäfigen bei drei verschiedenen Falterdichten (gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied, Wilcoxon-Test, $p > 0,05$)

In den Besatzdichten von 20 und 6 Falterpaaren pro Käfig gibt es ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zur Kontrolle.

Um die Anzahl der Falterpaare pro Käfig in eine Befallsdichte einzuordnen, kann man eine hypothetische Falterdichte in einer Obstanlage berechnen: bei einem Behang von 300 000 Äpfel pro Hektar auf einer Anlage und einem Befall von 2 % sind 6000 Äpfel befallen. Bei der Größe einer Anlage von 1 ha und einer Baumhöhe von drei Metern ergibt sich ein Volumen von 30 000 m³. Wenn somit 6000 Äpfel auf 30 000 m³ befallen sind, so entspricht dies etwa 2 befallenen Äpfel auf einem Käfigvolumen von 8 m³. Da ein Weibchen mehrere Eier ablegt und auch

die Schlüpfrate nie 100 % beträgt, so wäre nach dieser Rechnung die Dichte von 6 Falterpaaren pro Käfig immer noch viel zu hoch.

4.2.2.2 Kopulationskäfige

In jeden Käfig wurde ein 1 Tag altes Falterpärchen eingesetzt und nach zwei Tagen die Weibchen auf ihren Begattungszustand untersucht (Tab. 4.10).

Tab. 4.10: Anzahl begatteter und unbegatteter Weibchen in den Kopulationskäfigen in den verschiedenen Varianten und Wiederholungen

Wdh.	Kontrolle		500 RAK 3+4/ha		125 (RAK R + RAK 3+4)/ha	
	Wbeg.	Wunbeg.	Wbeg.	Wunbeg.	Wbeg.	Wunbeg.
1	5	1	3	4	6	1
2	6	0	5	2	7	0
3	5	0	4	3	6	1
4	6	0	5	2	6	1
Summe	22	1	17	11	25	3

In allen Versuchen und Varianten, außer in der 1. Wiederholung der Variante RAK 3+4, wurden mehr begattete als unbegattete Weibchen gefunden. Die Variante RAK 3+4 unterscheidet sich jedoch in der Begattungsrate signifikant von den beiden anderen Varianten (χ^2 -Test, Ryan, $p < 0,05$).

4.2.3 Einfluss von Citral auf die Pheromonwahrnehmung

4.2.3.1 Attraktivität des Pheromons

Die Attraktivität wurde anhand der Rückfangrate gemessen. Diese errechnete sich aus der rückgefangenen Anzahl Falter an der jeweiligen Falle geteilt durch die insgesamt in den Kanal eingesetzte Anzahl Falter. Der Querstrich bezeichnet den Median.

Zwischen den Fallen mit Pheromon und den Kontrollfallen bestanden signifikante Unterschiede (Abb. 4.18)

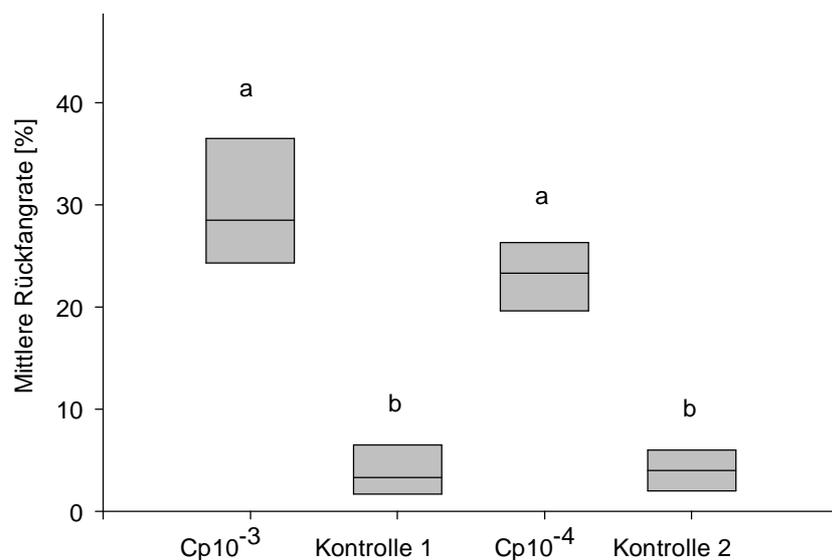


Abb. 4.18: Rückfang der Falter im Laborwindkanal bei Pheromonkonzentrationen (Ph) von 10^{-3} und 10^{-4} (gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied, Tukey-Test, $p < 0,05$)

Es zeigte sich jedoch nur eine geringfügig höhere Attraktivität für die 10^{-3} konzentrierte Pheromonlösung als für die 10^{-4} konzentrierte. Die Rückfangrate betrug insgesamt im Mittel etwa 62 %.

In den anschließenden Versuchen wurde mit Pheromon 10^{-3} verdünnt gearbeitet.

4.2.3.2 Attraktivität des Pheromons in Kombination mit Citral

Im folgendem Versuch wurde die Attraktivität des Pheromons (10^{-3}) mit derjenigen von Pheromon (10^{-3}) in Kombination mit unverdünntem Citral und in einer Verdünnung von 10^{-1} verglichen. Es zeigte sich in diesem Versuch, daß Citral unverdünnt und in Verdünnung von 10^{-1} die Attraktivität des Pheromons signifikant vermindert (Abb. 4.19).

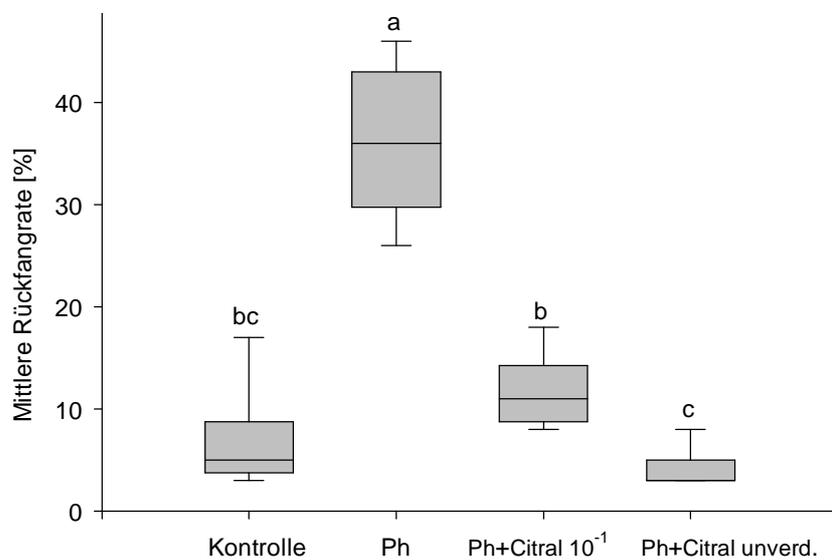


Abb. 4.19: Rückfang der Falter im Laborwindkanal bei Pheromon 10^{-3} und Pheromon 10^{-3} kombiniert mit Citral 10^{-1} verdünnt und unverdünnt (gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied, Tukey-Test, $p < 0,05$)

Insgesamt wurden im Mittel der Wiederholungen 59 % der eingesetzten Falter zurückgefangen.

Statt des unverdünnten Citrals wurde in folgendem Versuch die Attraktivität des Pheromons (10^{-3}) in Kombination mit Citral in einer Verdünnung von 10^{-3} mit den übrigen Ködern verglichen (Abb. 4.20).

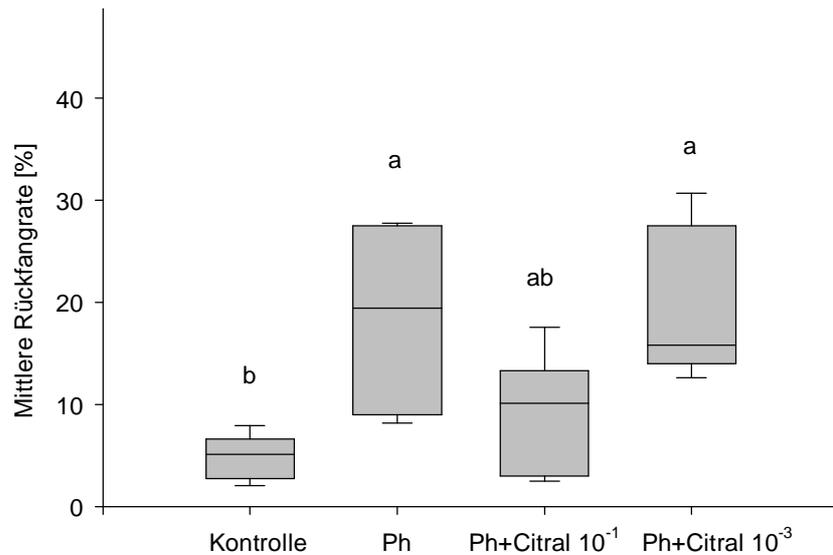


Abb. 4.20: Rückfang der Falter im Laborwindkanal bei Pheromon 10^{-3} und Pheromon 10^{-3} kombiniert mit Citral 10^{-1} und 10^{-3} verdünnt (gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied, Tukey-Test, $p < 0,05$)

Die Attraktivität dieser Variante war mit dem Pheromon allein vergleichbar. Es bestand kein signifikanter Unterschied mehr zwischen Citral in der 10^{-1} Verdünnung und dem Pheromon. Die Rückfangrate war insgesamt mit etwa 53 % mit den übrigen Versuchen vergleichbar.

Inwieweit der Einfluß von Citral auf die Pheromonwahrnehmung der Falter noch nach 24 h vorhanden ist, wurde in folgendem Versuch untersucht. Der Ansatz und die Varianten erfolgten gleich wie im ersten Versuch mit Citral, die 2-3 Tage alten Falter wurden jedoch erst nach 24 h in den Windkanal gesetzt (Abb. 4.21). Die Spritzen mit den Substanzen waren somit 24 Stunden lang belüftet worden. Dieser Versuch wurde nach zwei Tagen beendet.

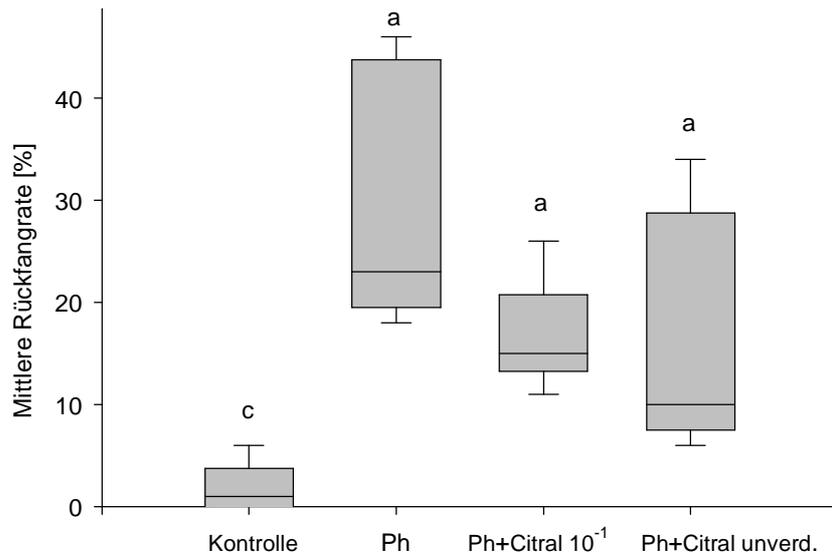


Abb. 4.21: Rückfang der Falter im Laborwindkanal bei Pheromon 10^{-3} und Pheromon 10^{-3} kombiniert mit Citral 10^{-1} und Citral unverdünnt nach 24 h (gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied, Tukey-Test, $p < 0,05$)

Die verminderte Attraktivität durch Citral ist nach 24 h immer noch vorhanden, jedoch gibt es keinen signifikanten Unterschied mehr zwischen den Verdünnungen.

4.2.3.3 Abgabemengen von Citral im Laborwindkanal

Die zwei Peaks von Citral in folgendem Beispiel eines Gaschromatogramms (Abb. 4.22) stellen Citral a und b dar. Es konnte nicht ermittelt werden, welche Retentionszeiten der jeweilige Citraltyp besitzt, deshalb werden sie im folgenden Citral 1 und 2 genannt. 11-Acetat und 12-Acetat stellen Standards dar, die zur Kontrolle der Analyse und zum Errechnen der Citralkonzentration dienen. Die ersten drei Peaks stellen vermutlich Silikonöl dar.

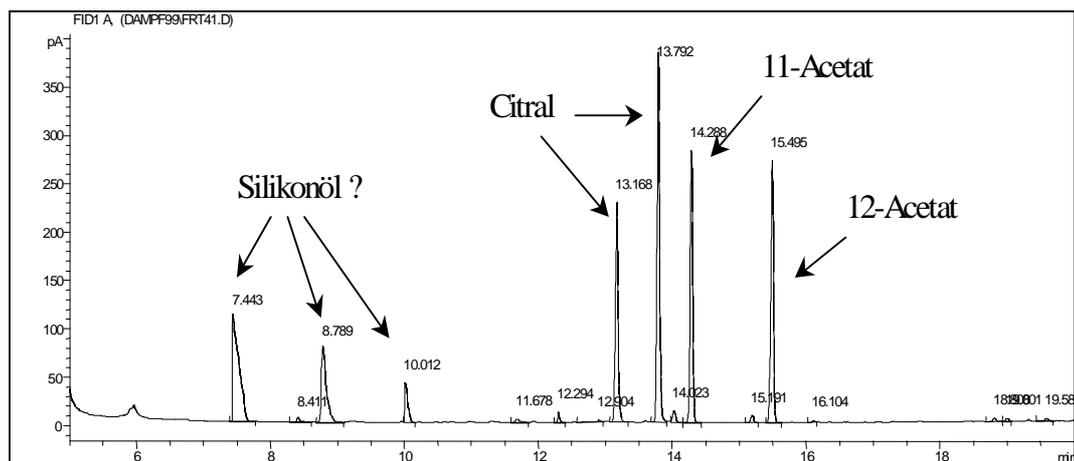


Abb. 4.22: Gaschromatogramm der Abgabe von Citral (10^{-1}) einer frischen Spritze

Zur Berechnung der Citralabgabe wurden Angaben des Gaschromatographen, protokolliert (Tab. 4.11).

Tab. 4.11: Angaben zur Berechnung der Citralabgabe des Gaschromatographen

		Citral 1	Citral 2	Σ Citral ¹	11-Acetat ²	12-Acetat
10^{-1} frisch	Retentionszeit	13,17	13,79		14,29	15,49
	Fläche	640,40	1027,93	1390,27	737,32	746,82
10^{-1} 2 h	Retentionszeit	13,18	13,80		14,31	15,51
	Fläche	300,18	505,51	671,41	756,01	753,66
10^{-1} 4 h	Retentionszeit	13,17	13,79		14,29	15,50
	Fläche	152,79	459,51	512,41	727,51	738,95
10^{-1} 24 h	Retentionszeit	13,19	13,81		14,31	15,51
	Fläche	15,57	27,66	40,72	760,97	742,83
10^{-2} frisch	Retentionszeit	13,15	13,76		14,27	15,47
	Fläche	96,10	191,57	243,21	789,05	787,24
10^{-3} 24 h	Retentionszeit	13,19	13,87		14,29	15,50
	Fläche	1,23	4,15	6,94	764,90	752,02
unverd. 24 h	Retentionszeit	13,13	13,75		14,25	15,45
	Fläche	96,40	368,40	374,84	718,50	717,60

¹ Summe Citral mit Korrekturfaktor

² 300 μ g 11-Acetat

Mit Hilfe zusätzlicher Angaben wie die Sammelzeit im Dampfanalysengerät konnte die Citralkonzentration berechnet werden (Tab. 4.12).

Tab. 4.12: Berechnung der Citralabgabe der verschiedenen Verdünnungen und Alter der Spritzen

	10^{-1} fr.*	10^{-1} 2 h	10^{-1} 4 h	10^{-1} 24 h	10^{-2} fr.	10^{-3} 24 h	unv. 24 h
Stunden¹	0,96	0,96	1,98	1,98	2,65	2,65	1,92
Citral $\mu\text{g/h}$	589,24	277,53	106,72	8,11	34,89	1,03	81,51

¹Zeit im Dampfanalysengerät

*frisch

Nach nur zwei Stunden verringerte sich die Citralkonzentration schon um knapp die Hälfte gegenüber der frischen Spritze. Nach weiteren zwei Stunden halbierte sie sich wiederum. Nach 24 Stunden waren jedoch noch Werte zu erkennen, so daß sich die Abbaurrate von Citral mit der Zeit zu verringern scheint. Bei frischer 10^{-2} konzentrierter Citrallösung erreicht die gemessene Citralmenge nur knapp den zehnten Teil der Citralmenge von frischer 10^{-1} konzentrierter Lösung. Nach 24 Stunden der 10^{-3} konzentrierten Lösung ist die nachgewiesene Menge so gering, daß sie nicht in die Auswertung mit einbezogen wird. Unverdünntes Citral weist nach 24 h etwa genau die 10fache Menge von 10^{-1} verdünntem Citral in der gleichen Zeit auf.

Trägt man die Werte der Citralabgabe zeitabhängig in einer Graphik auf, so wird der Verlauf noch deutlicher (Abb. 4.23).

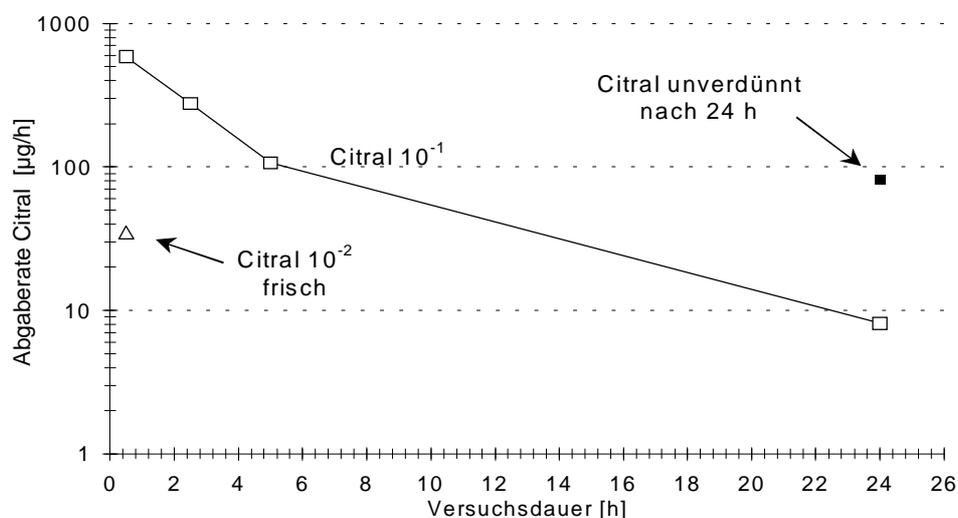


Abb. 4.23: Abgabe von Citral im Laborwindkanal

Da der Unterschied in den Fallenfängen im Laborwindkanal nach 24 h der 10^{-1} verdünnten Citrallösung nicht mehr signifikant ist, tritt der Effekt auf die Pheromonwahrnehmung der Falter folglich in der ersten Aktivitätsphase, d.h. in den ersten Stunden im Kanal auf.

Um die im Laborwindkanal herrschende attraktivitätsmindernde Menge Citral in etwa einschätzen zu können, kann folgende Berechnung durchgeführt werden: Nach vier Stunden gibt die 10^{-1} verdünnte Spritze $100 \mu\text{g/h}$ ab (siehe Tab. 4.12), dies ergibt umgerechnet 28 ng/s . Bei dieser Menge tritt nach den durchgeführten Versuchen eine signifikante Verringerung der Attraktivität der Pheromons auf. Am Ende des Windkanals verteilt sich die Citralmenge, die aus der Spritze austritt, auf einer angenommenen Fläche von $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$, also $0,01 \text{ m}^2$. Die Flußdichte bezeichnet Materialmenge pro Zeit und Fläche:

$$\text{Flußdichte} = \frac{\text{Materialmenge}}{\text{Zeit}} \times \frac{1}{\text{Fläche}} = 28 \text{ ng/s} \times 0,01 \text{ m}^2 = \frac{2800 \text{ ng}}{\text{m}^2\text{s}}$$

Die Dichte berechnet sich wiederum aus der Flußdichte pro Geschwindigkeit der Luft im Laborwindkanal (hier $0,3 \text{ m/s}$):

$$\text{Dichte} = \frac{\text{Flußdichte}}{\text{Geschwindigkeit der Luft}} = \frac{2800 \text{ ng}}{\text{m}^2\text{s}} \times \frac{1}{0,3 \text{ m/s}} = 9333 \text{ ng/m}^3$$

Somit sind nach den Versuchen im Laborwindkanal etwa $9,3 \mu\text{g/m}^3$ Citral nötig, um einen attraktivitätsmindernden Effekt hervorzurufen.

4.2.4 Elektroantennogramme (EAGs) mit Citral

Bei einem EAG-Durchgang bei Laborluft zeigte sich eine geringfügige Konzentration von Pheromon in der Umgebung, da die Peaks etwas kleiner ausfallen als bei der Kalibrierung (Abb. 4.24).

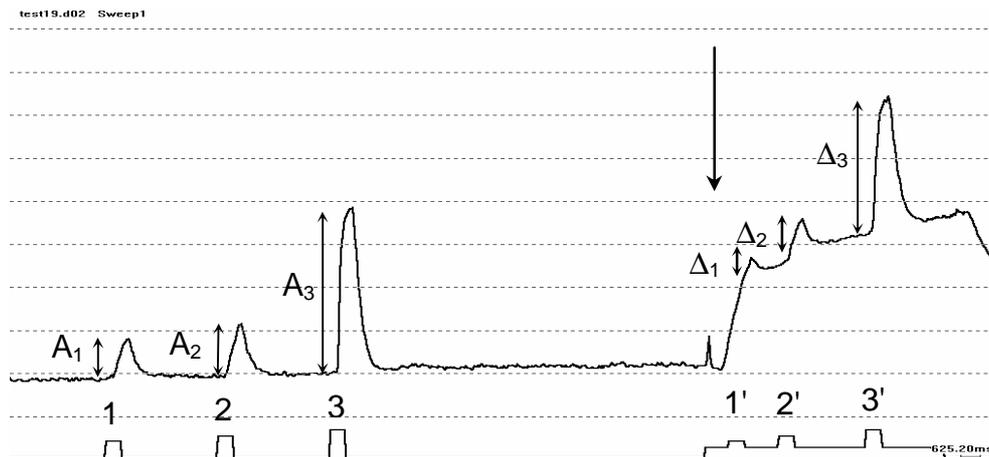


Abb. 4.24: EAG-Messung eines Männchens bei Laborluft

Erklärung: Obere Spur: EAG-Aufzeichnung; **untere Spur:** Aufzeichnung der Aktivität der Spritzen. A₁, A₂ und A₃ bezeichnen die drei verschiedenen Pheromonkonzentrationen zum Kalibrieren der Antenne. Nach dem Öffnen des Filters (Pfeil) werden Antworten im EAG induziert. Die Impulse der Spritzen 1', 2' und 3' erzeugen additive EAG-Antworten Δ₁, Δ₂ und Δ₃, die geringfügige Pheromonkonzentrationen in der umgebenden Luft anzeigen ("Δ-Peaks" sind geringfügig kleiner als "A-Peaks").

In folgenden Versuchen wurde untersucht, welche EAG-Antworten im Laborwindkanal bei verschiedenen Citralkonzentrationen zu erwarten sind. Bei Öffnen des Filters im EAG-Gerät wurde dabei eine Spritze (wie in den Versuchen im Laborwindkanal verwendet) mit der zu untersuchenden Konzentration und einem Luftdurchfluß von 100 ml/min über die Öffnung gehalten (Abb. 4.25).

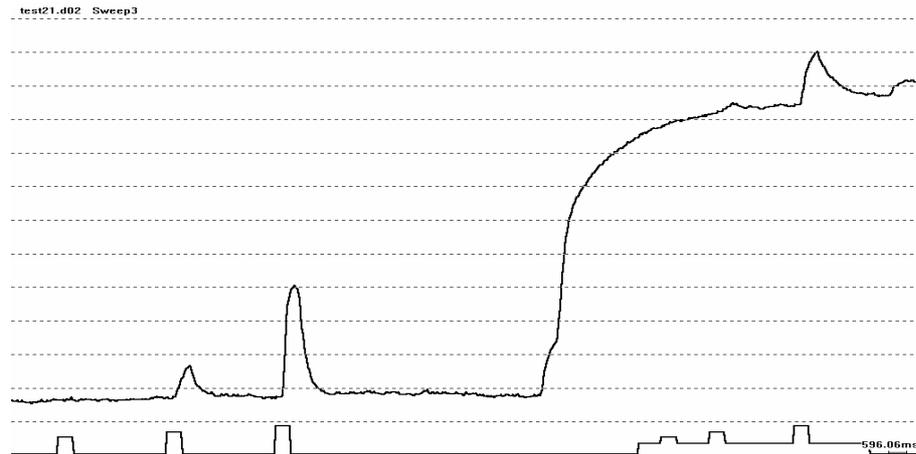


Abb. 4.25: EAG eines Männchens bei unverdünntem Citral nach 24 h

Bei Kontakt mit unverdünntem Citral, das 24 h in einer Spritze belüftet worden ist, zeigt die Antenne noch eine starke Reaktion. Man erkennt darüberhinaus eine Überlagerung der Pheromonrezeption, da die Peaks bei den Impulsen der Spritzen viel kleiner sind, als beim Kalibrieren. Diese Antenne konnte für mehrere Durchgänge genutzt werden, was für die Möglichkeit der Regeneration der Antenne spricht.

Bei folgendem Durchgang wurde kurz nach dem Kalibrieren der Kohlefilter manuell geöffnet und eine Spritze mit Citral 10^{-1} über die Öffnung gehalten (Abb. 4.26), um die Reize ohne den Einfluß des Pheromons zu beobachten. Die Peaks zu Beginn und am Ende (Pfeile) wurden durch das kurzzeitige Einströmen der Außenluft beim Hin- und Weghalten der Spritze verursacht.



Abb. 4.26: EAG eines Männchens bei Citral 10^{-1} nach 24 h

Zum Vergleich wurde das EAG einer "blank"-Spritze gemessen (Abb. 4.27).

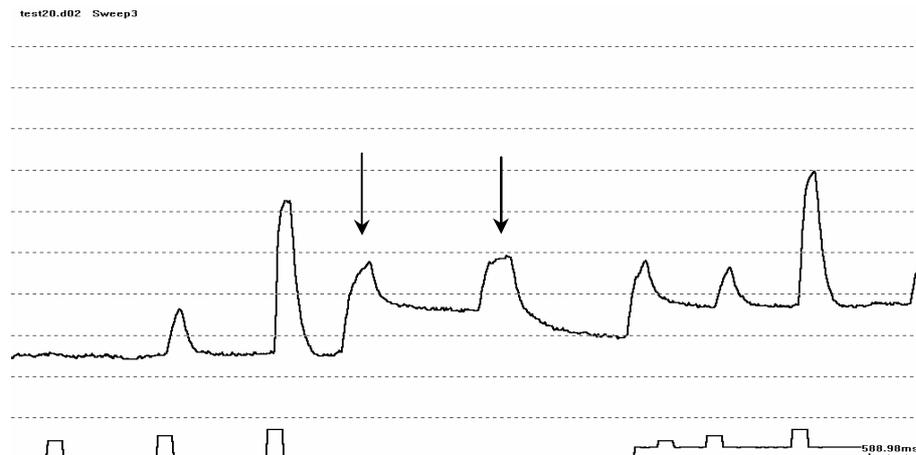


Abb. 4.27: EAG eines Männchens bei einer "blank"-Spritze

Zwischen den EAGs der Spritzen mit 10^{-1} und "blank" ist kein wesentlicher Unterschied erkennbar. Citral 10^{-1} ruft demzufolge nach 24 h keine Reaktion der Antenne mehr hervor.

Bei Induktion der Pheromonspritzen traten bei den Weibchen geringe Antworten auf (Abb. 4.28).

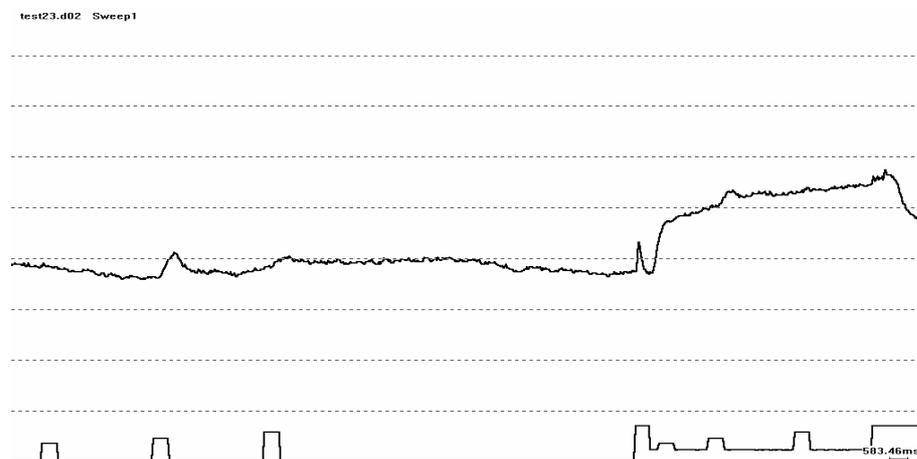


Abb. 4.28: EAG eines Weibchens bei Laborluft

Weibchen scheinen damit nach dieser Untersuchung kaum auf das Pheromon zu reagieren.

Unverdünntes 24 h lang belüftetes Citral ruft dagegen, wie bei den Männchen, eine starke Reaktion hervor (Abb. 4.29).

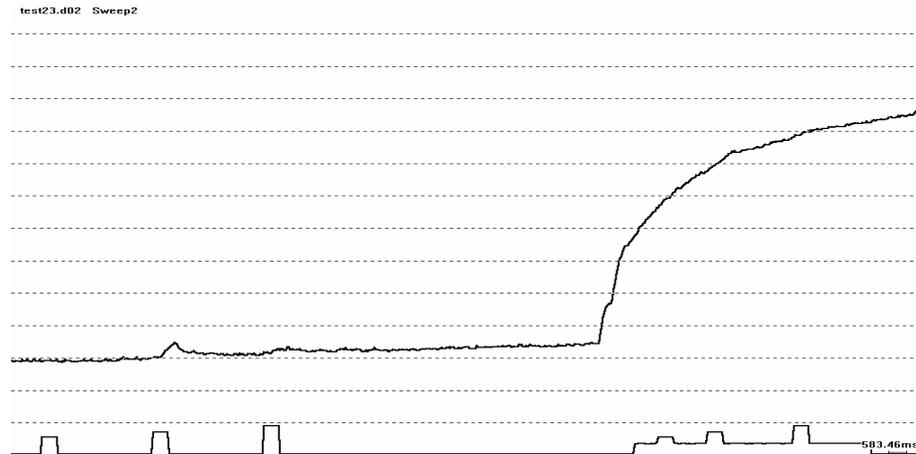


Abb. 4.29: EAG eines Weibchens bei unverdünntem Citral nach 24 h

Die Reaktion zeigt eine ähnliche Stärke, wie bei den Männchen.

24 h lang belüftetes 10^{-1} verdünntes Citral besaß, ebenso wie bei den Männchen, keinen ausgeprägten Effekt mehr (Abb. 4.30).

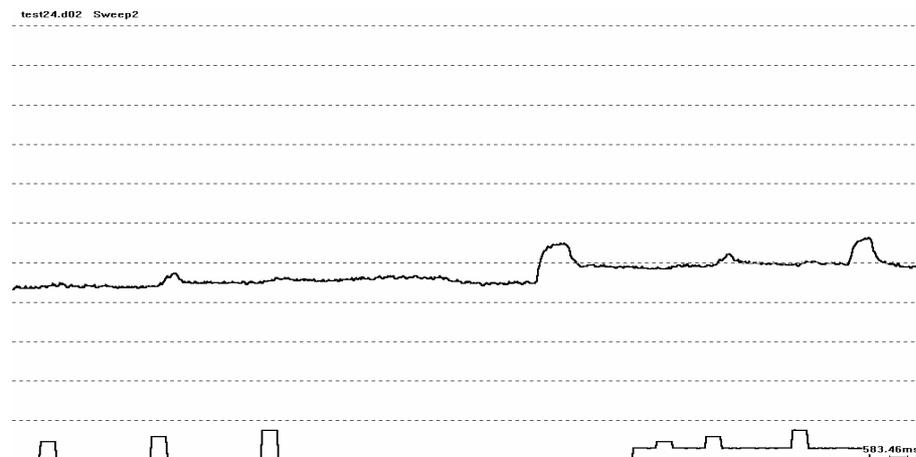


Abb. 4.30: EAG eines Weibchens bei Citral 10^{-1} nach 24 h

Das EAG einer "blank"-Spritze zeigt den gleichen Verlauf wie Citral 10^{-1} verdünnt (Abb. 4.31).

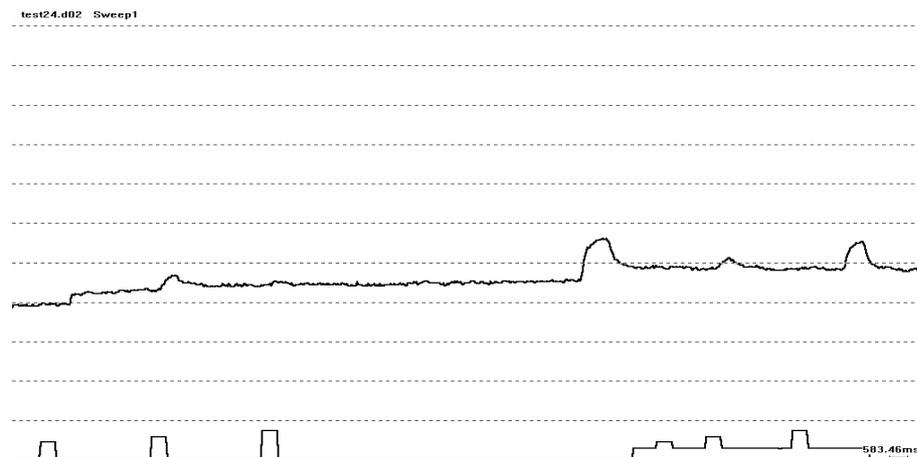


Abb. 4.31: EAG eines Weibchens bei einer "blank"-Spritze

4.2.5 Einfluss von Citral auf die Begattung

4.2.5.1 Verdünnung von Citral mit Hexan

Zur vereinfachten Darstellung der Ergebnisse wurde die Begattungsrate der gesamten Wiederholungen der Kontrolle gleich 1 gesetzt und die anderen Varianten dazu verglichen (Abb. 4.32).

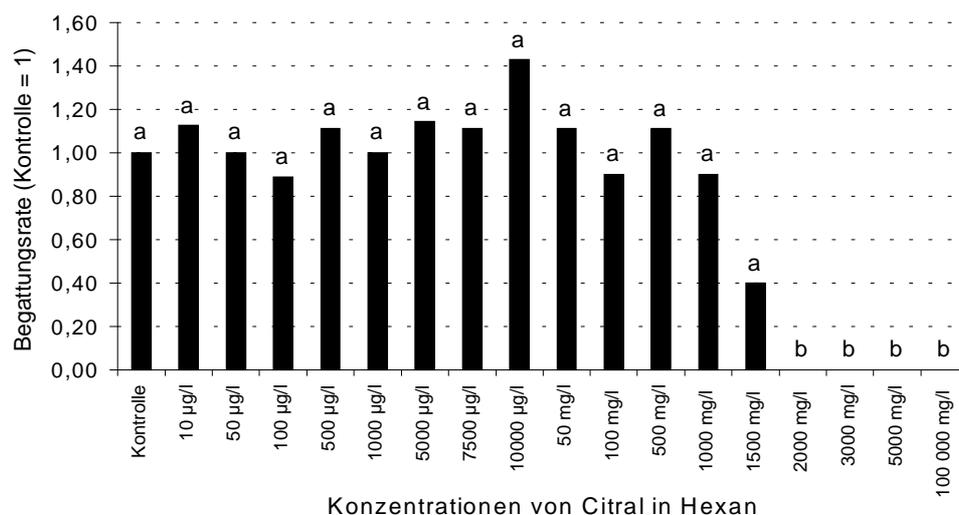


Abb. 4.32: Begattungsraten in Glaszylindern bei steigender Citralkonzentration) (χ^2 -Test, Ryan, $p < 0,05$, gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied)

Citral verhinderte die Begattung ab einer Konzentration von 2000 mg/l. Bei der pipettierten Menge von 100 µl Lösung bedeutet dies 200 µg Citral pro Zylinder (3,3 l) oder 60,6 mg/m³. Die vom Freiland ausgehend theoretisch berechnete Konzentration von 0,72 ng/m³ (siehe 4.1.7.1) wurde dabei um ein Vielfaches überschritten.

4.2.5.2 Verdünnung von Pheromon mit Hexan

Pheromon erreichte eine fast vollständige Verhinderung einer Begattung bei einer Konzentration von 5000 µg/l (Abb. 4.33).

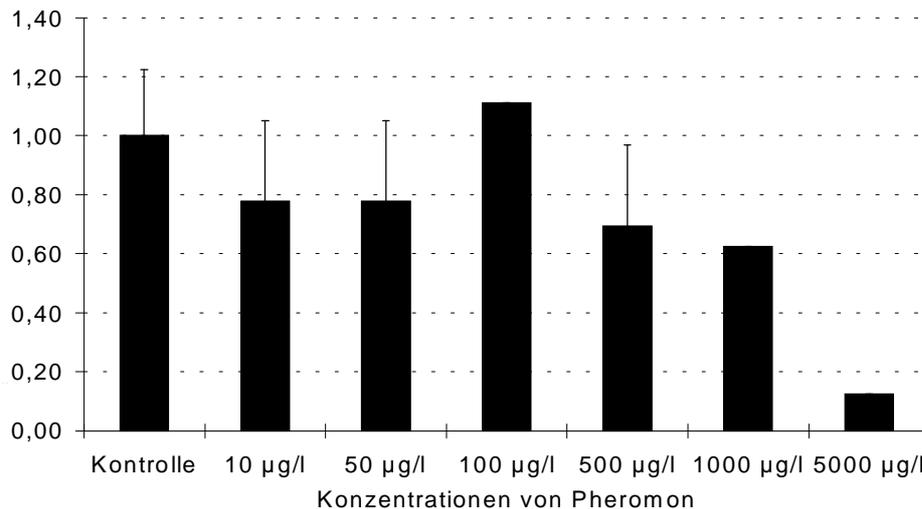


Abb. 4.33: Begattungsraten in Glaszylinder bei steigender Pheromonkonzentration

5000 µg/l entspricht 500 ng Pheromon pro Zylinder (3,3l) oder 152 µg/m³. Hierbei wurde die vom Freiland ausgehend theoretisch berechnete Konzentration von 0,29 ng/m³ (siehe 4.1.7.1) ebenfalls um ein Vielfaches überschritten.

4.2.5.3 Verdünnung von Citral mit Silikonöl

Bei nicht abgedeckten Filterpapierchen trat bei 10⁻¹ verdünntem Citral 95%ige Mortalität der Falter auf (Tab. 4.13). Bei der Verdünnung von 10⁻² war zwar keine Mortalität mehr zu beobachten, die noch lebenden, aber flugunfähigen Falter

zeigten jedoch durch zitternde Beine und Antennen deutliche Anzeichen einer Schädigung der Nerven.

Tab. 4.13: Begattungsraten der verschiedenen Versuche und Citral-Konzentrationen bei den Versuchen 2 bis 5

Varianten	Kontr.	Citral uv.	10 ⁻¹	10 ⁻²	10 ⁻³
Versuch 1 (ohne Abdeckung)	80 %a ¹	-	0 %b *	20 %b	60 %a
Versuch 2 (mit Abdeckung)	70 %a	0 %b **	0 %b	90 %a	-
Versuch 3 (mit Abdeckung)	100 %a	-	0 %b	90 %a	90 %a
Versuch 4 (M 24 h exponiert)	100 %a	-	10 %b	60 %a	100 %a
Versuch 5 (W 24 h exponiert)	90 %a	-	80 %a	90 %a	90 %a

¹(χ^2 -Test, Homogenitätstest nach Ryan, $p < 0,05$, gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied)

* 95%ige Mortalität

** 70%ige Mortalität

Da Citral einen toxischen Effekt bei direktem Kontakt der Falter zu haben schien, wurde dies bei Versuch 2 vermieden, indem die Filterpapierblättchen mit einem Schaumstoffring, dessen eine Seite mit Sarangewebe abgeklebt war, abgedeckt wurden. Unverdünntes Citral rief dann noch eine Mortalität von 70% hervor, bei 10⁻¹ verdünntem Citral starben die Falter zwar nicht mehr, waren aber dennoch stark in ihrer Vitalität beeinträchtigt. Die Verdünnung 10⁻² beeinträchtigte hier die Begattung nicht.

Im Versuch 3 wurde untersucht, ob die Männchen, nachdem sie einen Tag den verschiedenen Konzentrationen von Citral ausgesetzt waren, noch zur Kopulation befähigt sind. Die Verdünnung 10⁻¹ zeigte hier die geringste Begattungsrate auf.

Die Weibchen zeigten dagegen in Versuch 4 keine Beeinträchtigung ihrer Begattungsfähigkeit, nachdem sie 24 h verschiedenen Citral-Konzentrationen ausgesetzt worden waren.

Eine Beobachtung zeigte, daß bei Abdeckung der getränkten Filterblättchen mit einem Ring aus Gummi, statt aus Schaumstoff, der Einfluß auf die Begattung bei der gleichen Verdünnung viel geringer war. In Versuch fünf wurde diese Vermutung bestätigt (Tab. 4.14).

Tab. 4.14: Begattungsraten bei verschiedenen Verdünnungen der Citral, bei Abdeckung der Blättchen mit Gummi- (G) bzw. Schaumstoffringen (S)

Varianten	Kontrolle S	10 ⁻¹ S	Kontrolle G	10 ⁻¹ G
Begattungsraten	70 % ^{a1}	0 % ^b	60 % ^a	89 % ^a

¹(χ^2 - Test, Homogenitätstest nach Ryan, $p < 0,05$, gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied)

Es zeigte sich, daß bei Abdeckung von Citral mit Gummiringen die Begattungsraten signifikant höher war als bei den Schaumstoffringen.

4.2.6 Einfluss von Citral auf die Eiablage

In diesen Versuchen konnte keine signifikante Beeinflussung der Eiablage durch Citral festgestellt werden.

4.2.6.1 Eiablage auf Apfel

Die höchste Anzahl Eier wurde nicht auf Apfel, sondern auf den Rand des Glaszylinders abgelegt (Abb. 4.35). Dies ist vermutlich auf die Degeneration der Apfelwickler, die schon jahrelang im Labor gezüchtet werden, zurückzuführen.

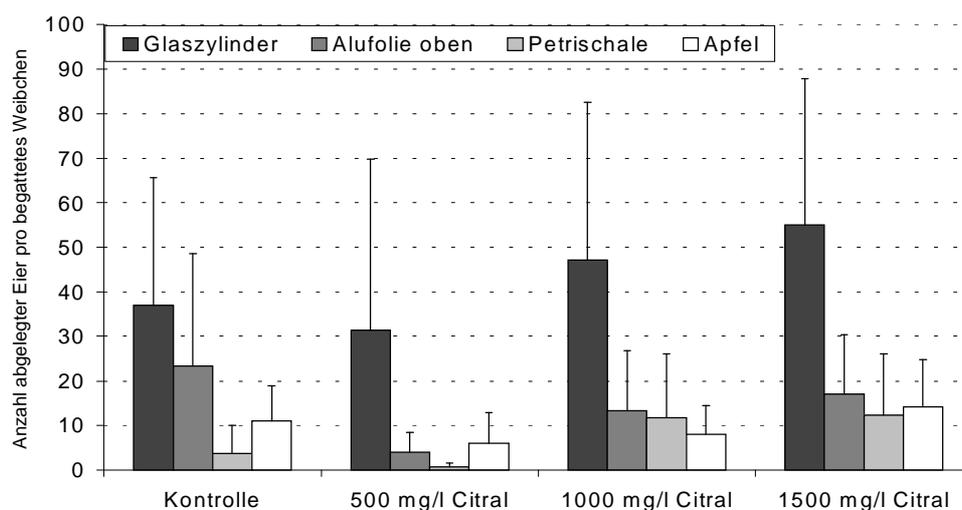


Abb. 4.34: Anzahl abgelegter Eier pro begattetes Weibchen nach Behandlung mit Citral

In der Variante mit 500 mg/l Citral wurden nur drei Weibchen erfolgreich begattet, wobei zwei von ihnen keine bzw. nur zwei Eier ablegten. In der Kontrolle wurden dagegen alle sechs und in den beiden anderen Varianten fünf Weibchen begattet. Die Varianz zwischen der Anzahl abgelegter Eier pro Weibchen in den Wiederholungen war sehr groß. Die Standardabweichung erreichte hier Werte von 40 bis 50 Eier. In der Gesamteiablage nach den zwei Tagen wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Behandlungen festgestellt (Kruskal-Wallis-Test, $p < 0,05$). Im Mittel legten die Weibchen in der Kontrolle insgesamt 75, in der Behandlung mit 500 mg/l 42, bei 1000 mg/l 80 und bei 1500 mg/l sogar 99 Eier ab.

4.2.6.2 Eiablage auf Glaszylinder

Bei dem Apfelwicklerstamm aus Pforzheim wurden in der Kontrolle im Mittel 90 Eier, in der Behandlung von 1000 mg/l 77 Eier und bei 1250 mg/l nur 41 Eier insgesamt abgelegt. Zwischen den Behandlungen bestehen jedoch keine signifikanten Unterschiede in der gesamten abgelegten Anzahl Eier (Tukey-Test, $p < 0,05$) (Abb. 4.36).

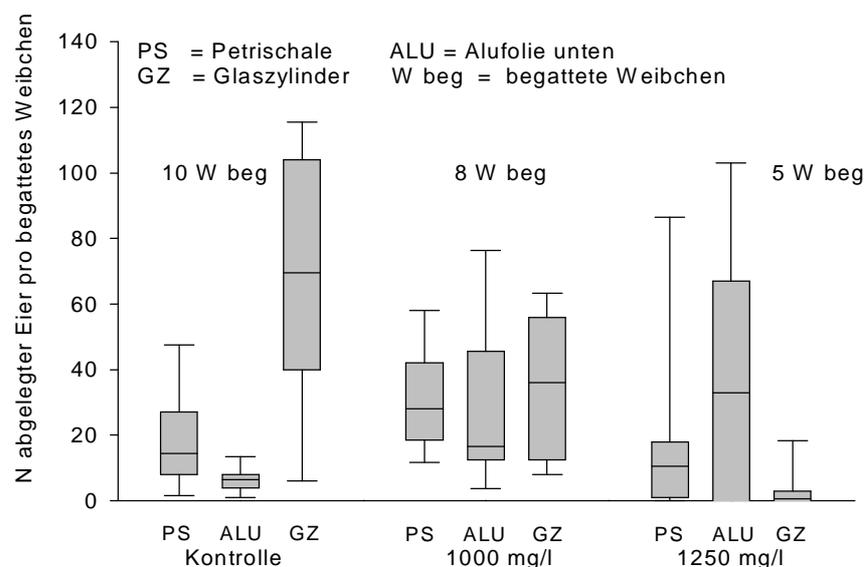


Abb.4.35: Eiablage des Apfelwicklerstammes aus Pforzheim bei verschiedenen Citralkonzentrationen

In der Kontrolle wurde zwar die höchste Anzahl Eier auf den Rand des Glaszylinders abgelegt, zwischen den Orten der Eiablage in den verschiedenen Behandlungen bestehen jedoch ebenfalls keine statistischen Unterschiede (Tukey-Test, $p < 0,05$).

Der Apfelwicklerstamm aus Darmstadt zeigte eine verringerte Fertilität (Abb. 4.37). In der Kontrolle lag die mittlere Anzahl Eier über alle Orte bei 73, bei den Behandlungen 1000, 1250 und 5000 mg/l bei 66, 63 respektive 38. Auch hier wurden in der Kontrolle die meisten Eier auf den Rand der Glaszylinder abgelegt. Jedoch bestehen auch hier keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen und auch zwischen den verschiedenen Orten der Eiablage (Tukey-Test, $p < 0,05$).

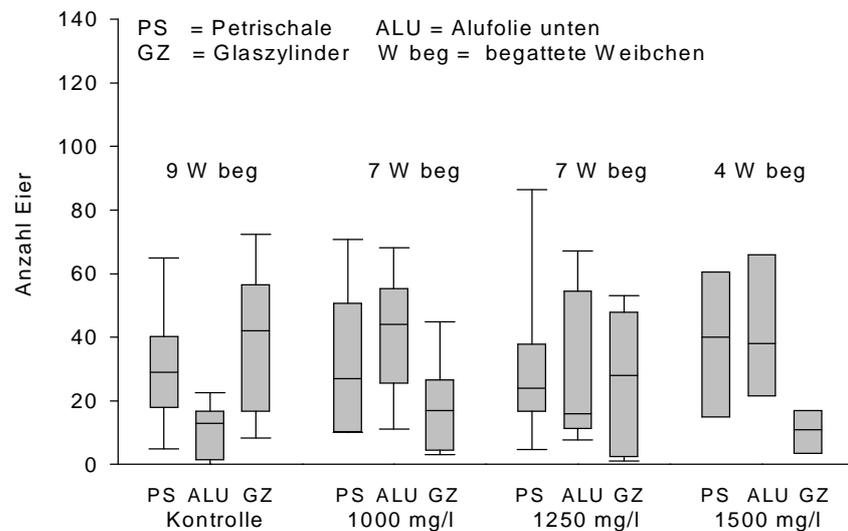


Abb. 4.36: Eiablage des Stammes aus Darmstadt bei verschiedenen Citralkonzentrationen

4.2.7 Einfluss von Citral auf die Penetration frisch geschlüpfter Larven in Apfel

Die Anzahl der Bohrlöcher in Apfel zeigte keine signifikanten Unterschiede bei den verschiedenen Citral-Konzentrationen (Kruskal-Wallis Test, $p < 0,05$) (Abb. 4.38).

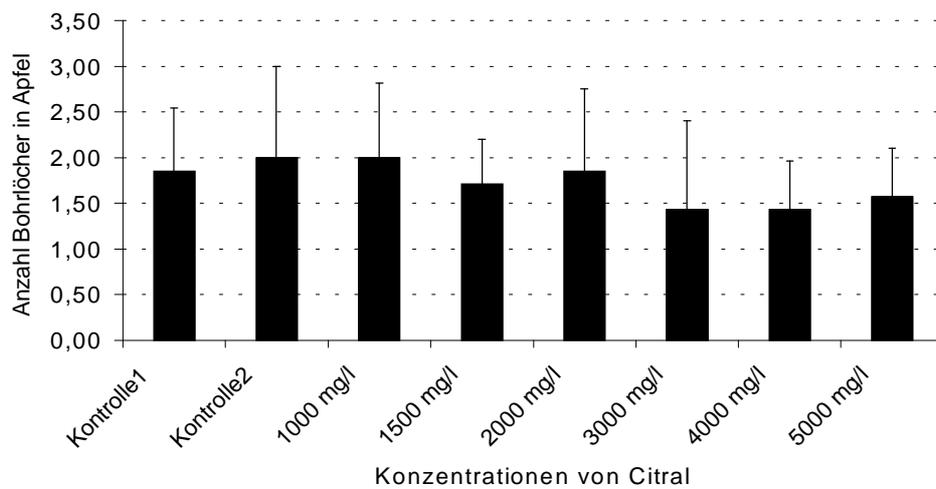


Abb. 4.37: Anzahl Bohrlöcher der Larven nach Behandlung mit verschiedenen Citral-Konzentrationen

5 Versuche mit dem Apfelbaumglasflügler

5.1 Material und Methoden

5.1.1 Versuchstiere

Für Versuche im Halbfreiland und Labor konnte auf Falter aus einer Halbfreilandzucht zurückgegriffen werden. In einem Saranhaus (8 m × 4 m × 2 m) waren vom Apfelbaumglasflügler befallene, stark zurückgeschnittene Bäume eingepflanzt worden. Die Falter konnten sich dort unbehindert vermehren und nach Bedarf für Versuche abgefangen werden. Der Nachteil dieser Methode bestand in der Heterogenität des Alters der gefangenen Falter. Da die Wahrnehmung des Pheromons jedoch altersabhängig ist, müsste dieser Fehler durch eine große Anzahl Falter im Versuch ausgeglichen werden. Die Anzahl Falter, die überhaupt abgefangen werden konnte, war jedoch begrenzt, so daß die Versuchsergebnisse unter diesem Vorbehalt bewertet werden müssen.

Für Versuche mit befruchteten Weibchen wurden aus dieser Halbfreilandzucht Falter in Kopula gefangen.

Zur Bestimmung des Begattungszustandes der Weibchen wurden Spermatophorenpräparationen durchgeführt. Ist die herauspräparierte *Bursa copulatrix* fest und milchig weiß, so hat eine Begattung stattgefunden (Abb. 5.1). Bei unbegatteten Weibchen ist die *Bursa copulatrix* weich und durchsichtig.

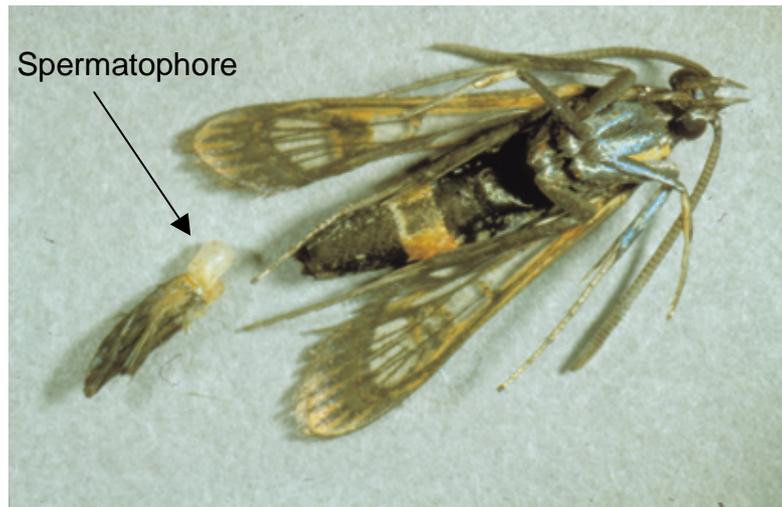


Abb. 5.1: Spermatophorenpräparation bei *S. myopaeformis* (63fache Vergrößerung)

5.1.2 Dispenser

Die Pheromondispenser RAK 7 der BASF AG wurden 1997 zur Verwirrung des Apfelbaumglasflüglers zugelassen und von der Firma für vorliegende Versuche zur Verfügung gestellt. Pro Dispenser waren 160 mg der Pheromonhauptkomponente (Z,Z)-3,13-Octadecadien-1-ol Acetat des Apfelbaumglasflüglers und nur 3-5 % eines Isomeres enthalten. Die Dispenser waren schwarz eingefärbt, um die Verdampfung des schwerflüchtigen Pheromons zu erhöhen. Der Kunststoff bestand aus Polyethylen und zu 12 % aus Vinylacetat.

Die Citraldispenser RAK R bestanden aus einem braunen Kunststoff und waren mit Citral gefüllt. Über die genaue Zusammensetzung des Inhalts wurden von der Firma keine Angaben gemacht.

5.1.3 Freilandversuche

In den Jahren 1998 und 1999 wurden Freilandversuche auf mehreren Anlagen zur Verwirrung vom Apfelbaumglasflügler durchgeführt. Die Prüfung einer neuen Verwirrtechnik mit Pheromondispensern und Citraldispensern in geringerer Aufwandmenge im Vergleich zur herkömmlichen Verwirrung stand dabei im Vordergrund.

5.1.3.1 Versuchsflächen

Für die Freilandversuche wurden Anlagen von Obstbaubetrieben ausgewählt, die nach Angaben der Betriebsleiter und nach eigenen Erhebungen im Jahr 1997 in den letzten Jahren einen hohen Befall vom Apfelbaumglasflügler aufzeigten.

Die Versuche wurden 1998 auf sechs, 1999 auf fünf Anlagen durchgeführt. Davon handelte es sich bei vier Anlagen um zweijährige Versuche. Die Anlagen befanden sich im Rhein-Neckar-Gebiet, in der Nähe von Offenburg, Ravensburg und Dresden (Tab. 5.1).

Tab. 5.1: Angaben zu den Versuchsflächen

Anlage	Versuchsjahre	Apfelsorte	Pflanzabstände	Pflanzjahr
1. Edingen 1	1998	Jonagold	3,50 × 1,50 m	1976
2. Edingen 2	1998 / 1999	Braeburn	3,20 × 1,00 m	1990
3. Edingen 3	1998 / 1999	Jonica/ Elstar	3,50 × 1,25 m	1976
4. Wiesloch	1998 / 1999	gemischt	3,50 - 4,00 × 1,00 - 1,50 m	1980 - '90
5. Tiergarten	1998	Jonagold/ Elstar/ Rubinette	3,20 × 1,00 m	1990 – '95
6. Bavendorf	1998 / 1999	Cox/ Jonagold/ Elstar/ Boskoop	3,00 - 3,80 × 0,80 - 1,60 m	1976 – '90
7. Dresden	1999	Golden Delicious	3,50 – 1,50 m	ca. 1979

5.1.3.2 Versuchsdurchführung

In den Freilandversuchen gegen den Apfelbaumglasflügler wurden die Pheromondispenser RAK 7 der BASF verwendet. Zur Prüfung des Bekämpfungserfolges der neuen Technik mit Citraldispensern wurden in beiden Jahren, 1998 und 1999, in den entsprechenden Versuchsanlagen die Citraldispenser zu den RAK 7 - Dispensern dazugehängt. Die Aufwandmenge betrug 125 Pheromon- und Citraldispenser pro Hektar (125 Ph+C/ha). Dies entspricht etwa 13 g Pheromon und einer zunächst unbekanntem Citralkonzentration pro ha. Auf der Anlage Wiesloch

wurden zusätzlich drei weitere Varianten mit 500 (500 Ph/ha, entspricht etwa 53 g Pheromon pro ha), 250 (250 Ph/ha, entspricht etwa 26 g Pheromon pro ha) Pheromondispensern und mit 125 Citraldispensern (125 C/ha) pro Hektar angelegt. Der Vergleich dieser Verwirrungsmethode mit einer unbehandelten Kontrolle stand bei den durchgeführten Versuchen gegen den Apfelbaumglasflügler im Vordergrund (Tab. 5.2).

Tab. 5.2: Varianten und Größe der Versuchsanlagen

	Kontrolle	125 Ph+C/ha	500 Ph/ha	250 Ph/ha	125 C/ha
1. Edingen 1	0,7 ha	0,7 ha	-	-	-
2. Edingen 2	0,5 ha	0,5 ha	-	-	-
3. Edingen 3	0,7 ha	0,7 ha	-	-	-
4. Wiesloch	1,8 ha	2,4 ha	1,7 ha	0,8 ha	0,6 ha
5. Tiergarten	0,6 ha	0,6 ha	-	-	-
6. Bavendorf	0,7 ha	0,7 ha	-	-	-
7. Dresden	3,0 ha	3,5 ha	-	-	-

Die Anlagen wurden, außer Anlage 4 und 7, quer zu den Baumreihen durch eine Markierung in der Mitte in eine Kontrollfläche und behandelte Fläche - je nach Windrichtung - eingeteilt. Auf Anlage 4 wurden fünf, auf Anlage 7 zwei Varianten angelegt, die jeweils eine zusammenhängende Fläche darstellten und durch Wege voneinander getrennt waren.

Die Dispenser wurden je nach Anlage Anfang bis Ende Mai ausgebracht (Tab. 5.3).

Tab. 5.3: Ausbringen der Dispenser

	Edingen 1	Edingen 2	Edingen 3	Wiesloch	Tiergarten	Bavendorf	Dresden
1998	14. Mai	29. Mai	14. Mai	15. Mai	8. Mai	18. Mai	-
1999	-	11. Mai	11. Mai	12./13. Mai	-	17. Mai	25. Mai

Auf eine Randabhängung wurde bei allen Anlagen verzichtet, da bei der geringen Größe der Anlagen eine Überhöhung der Pheromon- bzw. Citralkonzentration befürchtet wurde.

Folgende Erhebungsmethoden wurden angewendet:

1. Pheromonfallen
2. Saftfallen
3. Zählen der Bohrmehlauswurfstellen
4. Quantitative Larvenauszählung von gerodeten Bäumen

Bei den Anlagen Edingen 1 bis 3 und Tiergarten handelte es sich um private Obstanlagen, die nach den Richtlinien des Integrierten Anbaus bewirtschaftet wurden, bei der Anlage Wiesloch um eine Gemeinschaftsanlage (daher gab es viele verschiedene Apfelsorten auch innerhalb einer Reihe). Die Anlage in Bavendorf bei Ravensburg ist eine Versuchsanlage der Universität Hohenheim (Versuchsstation 302), die Anlage bei Dresden befindet sich im Besitz der Obstbau "Pirna" GmbH.

Auf den Anlagen Edingen 3 und Wiesloch in den Varianten mit 500 bzw. 250 Pheromondispensern pro Hektar waren im Versuchsvorjahr 1997 Befallserhebungen mit Pheromon- und Saftfallen durchgeführt worden.

5.1.3.3 Pheromonfallen

In Verwirrungsanlagen werden Pheromonfallen zur Abschätzung des Verwirrungserfolges eingesetzt (siehe 4.1.3.3). Sie wurden jeweils zu den gleichen Zeitpunkten wie die Dispenser aufgehängt und vom 21.5.98 bis 10.9.98 bzw. vom 20.5.99 bis 9.9.99 wöchentlich kontrolliert. Die Köder stammten von dem IPO-DLO in Wageningen und reichten die ganze Flugperiode aus. Die Anzahl der Pheromonfallen pro Parzelle variierte je nach Größe der Anlagen von zwei bis drei.

Unter der Voraussetzung gleicher Individuendichte in den einzelnen Varianten lassen sich aus den Fängen in den Pheromonfallen für jede Variante und Anlage der Verwirrungsgrad nach folgender Formel (ABBOTT 1925) berechnen:

$$\text{Verwirrungsgrad [\%]} = \frac{\text{Anzahl in Kontrolle} - \text{Anzahl in Variante}}{\text{Anzahl in Kontrolle}}$$

5.1.3.4 Saftfallen

Bei den Saftfallen handelt es sich um 250 ml Bellaplast-Suppentassen, die an einem hakenförmigen Draht befestigt sind. Zum Schutz gegen Regen und Blätter befindet sich knapp oberhalb der Falle der Deckel einer Petrischale. Die Fallen werden in einer Höhe von 1,20 m in die Bäume, möglichst schattig, gehängt, um ein zu schnelles Austrocknen zu vermeiden.

Diese Fallen werden mit Saft gefüllt, der gleichermaßen für männliche als auch für weibliche Falter attraktiv ist. Somit erhält man einen Überblick über das Geschlechterverhältnis wie auch über den Begattungszustand der Weibchen.

Die Saftfallen wurden mit einer für Glasflügler attraktiven Saftmischung nach STÜBER (1988) gefüllt:

- 80 % Apfelsaft
- 15 % Zuckerrübensirup
- 5 % Apfelessig

Der Saft wurde wöchentlich erneuert, die Falter ausgezählt und die gefangenen Weibchen auf ihren Begattungszustand durch Spermatophorenpräparation untersucht.

Die Fallen blieben vom 11.6.98 bis 27.8.98 bzw. 10.6.99 bis 26.8.99 in den Anlagen. Je nach Größe der Versuchsanlage wurden drei bis vier Saftfallen pro Parzelle in Edingen 1 und 2 und Wiesloch ausgebracht. 1999 fiel die Anlage Edingen 1 wegen Rodung (siehe 4.1.3.6) aus.

5.1.3.5 Bohrmehlauswurfstellen

Der Larvenfraß an der lebenden Wirtspflanze kann an dem nach außen abgegebenen rötlich gefärbten Kot erkannt werden (Abb. 5.2).

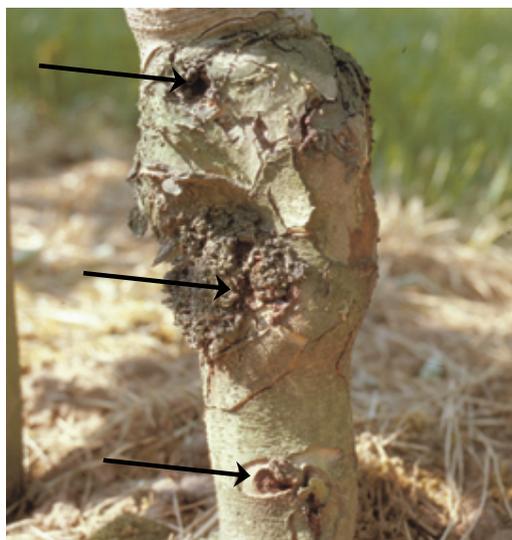


Abb. 5.2: Bohrmehlauswurfstellen (→) der Larven des Apfelbaumglasflüglers

Diese Stellen können gezählt und zur Befallsermittlung mit einbezogen werden.

Zur Erfassung des Ausgangsbefalls in den Versuchsflächen wurden im Mai 1998 erstmals die Bohrmehlauswurfstellen gezählt. In den Anlagen Edingen 1 bis 3 wurden diese Stellen an 15 Bäumen, auf der Anlage Bavendorf an 10 Bäumen pro Parzelle und Sorte erfaßt (Tab.5.4).

Tab. 5.4: Datum und Apfelsorten der Erfassung von Bohrmehlauswurfstellen

	Edingen 1	Edingen 2	Edingen 3	Bavendorf
1998	22.5	28.5	27.5	18.5 und 26.6
1999	-*	26.4 und 27.5	26.4 und 27.5	17.5
2000	-	17.5	-*	-**
Sorten	Jonagold	Braeburn	Jonica	Cox, Jonagold, Boskoop

* ausgefallen wegen Rodung

** zu geringer Befall

Im Mai 1999 und 2000 wurden in den Anlagen erneut die Bohrmehlauswurfstellen gezählt, um den Neubefall zu erfassen und somit den Bekämpfungserfolg der Versuche im Vorjahr abschätzen zu können.

Die Anlage Edingen 1 wurde im Herbst 1998 gerodet und somit konnte hier der quantitative Larvenbefall festgestellt werden (vgl. 5.1.3.6).

In den Anlagen in Wiesloch gestaltete es sich zu schwierig die Bohrmehlauswurfstellen zu zählen, da schon innerhalb einer Reihe die Apfelsorten sehr stark variierten und die Baumstämme größtenteils mit einem Hasennetz versehen waren.

5.1.3.6 Quantitative Larvenauszählung in gerodeten Bäumen

Die Anlage Edingen 1 wurde im Herbst 1998 gerodet. Um den quantitativen Larvenbefall der Varianten zu vergleichen, wurden bei 20 zufällig ausgesuchten Bäumen pro Parzelle (Kontrolle und 125 Ph+C/ha) die Larven herauspräpariert und in drei Größenklassen eingeordnet:

A: < 7 mm

B: 7 - 10 mm

C: > 10 mm

Vor der Rodung wurden nochmals die Bohrmehlauswurfstellen an 15 Bäumen pro Variante erfaßt, um die Boniturmethode zu vergleichen.

5.1.3.7 Abgabe der Dispenser

Zur Abschätzung der Citral- bzw. Pheromonmenge in der Anlage und zur Überprüfung der Dispenser wurden 1998, 1999 und 2000 jeweils zwölf Referenz-Dispenser der Typen RAK 7 und RAK R ins Freiland gehängt und wöchentlich gewogen (siehe auch 4.1.3.6).

5.1.4 Einfluss von Citral auf die Pheromonwahrnehmung

Ob und inwiefern Citral einen Einfluß auf die Pheromonwahrnehmung der Falter ausübt, wurde in einem Laborwindkanal (Beschreibung siehe 4.1.5.1) untersucht.

Dafür wurde zunächst die Attraktivität des Pheromons - in Form der Hauptkomponente (Z,Z)-3,13-Octadecadien-1-ol Acetat - wie auch des Citrals allein in verschiedenen Verdünnungen getestet und anschließend die Attraktivität des Pheromons in Kombination mit Citral untersucht. Das Pheromon wurde von der ipodlo PHEROBANK in Wageningen bezogen und wies nach deren Information eine Reinheit von mindestens 98 % auf.

Für die vorliegenden Versuche wurden, wie in den Untersuchungen von MEIWALD (1995), verschiedene Verdünnungen des Pheromons und Citrals in Silikonöl (Typ 3, Art. 12525, Merck, Darmstadt) hergestellt (siehe auch 4.1.5). Die jeweilige Verdünnung wurde auf Filterpapier aufgetragen und in Einmal-Plastikspritzen gelegt. Für den Test einer Substanz wurden 1 ml-Spritzen und Filterpapier der Größe 4 × 60 mm, zum Test zweier Substanzen in Kombination wurden 2 ml-Spritzen und zwei nebeneinanderliegende Filterpapierstreifen der Größe 4 × 40 mm verwendet. Auf die 4 × 60 mm großen Papierstreifen wurden 30 µl, auf die 4 × 40 mm großen 20 µl pipettiert. Auf die Spritzen wurde jeweils ein passender Schlauchverbinder gesteckt und durch einen Silikonschlauch mit einem Durchflussmeßgerät verbunden.

Zunächst wurden Falter ohne jegliche Duftstoffe in den Köderspritzen im Laborwindkanal freigelassen, um das Verhalten zu beobachten.

Anschließend wurden Vorversuche zur Ermittlung einer geeigneten Pheromonkonzentration mit 20 Faltern je Wiederholung durchgeführt

Die Anzahl der Falter je Wiederholung in den Hauptversuchen zum Einfluß von Citral variierte von 18 bis 31.

5.1.5 Kopulationsbedingungen des Apfelbaumglasflüglers

Mit der Intention, die Kopulationsrate von Falterpärchen des Apfelbaumglasflüglers in Käfigen in den verschiedenen Versuchsanlagen zu untersuchen, wurde zunächst beobachtet, wie hoch die Begattungsrate in Kopulationskäfigen unter natürlichen Bedingungen ist. Darüberhinaus wurde dabei versucht, eine Abhängigkeit der Kopulation des Apfelbaumglasflüglers von klimatischen Faktoren herzustellen.

Dazu wurden Falterpärchen in zylinderförmige Kopulationskäfige aus Draht (30 cm \varnothing , 30 cm Höhe) eingesetzt, die mit Moskitonetz bespannt und an Bambusstäben in einer Höhe von etwa 1 m befestigt waren.

Nach diesem Verfahren gelang bei der Zucht der Sesiiden-Gattung *Chamaesphecia* eine nahezu 100%ige Kopulationsrate, wenn die Käfige in die pralle Sonne gestellt wurden (mündliche Mitteilung¹).

Um den Einfluß verschiedener Standorte in die Kopulationsrate mit einzubeziehen, wurden in vorliegenden Untersuchungen die Käfige ins Freiland, fern von Apfelbäumen, innerhalb einer Apfelanlage und in einer Gewächshauszelle platziert und die Kopulationsrate mit den verschiedenen abiotischen Faktoren verglichen.

5.1.6 Statistik

Statistische Verrechnungen wurden mit dem Programm SAS (Version 6.12) durchgeführt.

Vor Anwendung des t- und des Tukey-Tests fand zunächst eine Prüfung auf Normalverteilung statt. Waren die Daten nicht normalverteilt wurden sie transformiert und anschließend nochmals auf ihre Normalverteilung geprüft.

Zur Darstellung der statistisch verrechneten Ergebnisse der Versuche im Laborwindkanal wurden Box-plots gewählt, die das 5. und 95. Perzentil, den Median und die Standardabweichung anzeigen.

¹ International Institute of Biological Control, Délemont, Schweiz

5.2 Ergebnisse

5.2.1 Freilandversuche

5.2.1.1 Befallserhebungen im Versuchsvorjahr 1997

Im Jahr 1997 wurde auf drei Anlagen, auf denen 1998 Versuche stattfanden, der Befall von Apfelbaumglasflügler anhand von Pheromonfallen und Saftfallen erhoben.

Vom 19.6. - also später als in den Versuchsjahren '98 und '99 - bis 11.9 fanden wöchentliche Auszählungen der gefangenen Falter in den Fallen statt (Tab. 5.5).

Tab. 5.5: Anzahl Falter pro Pheromon- bzw. Saftfalle im Jahr 1997

Anlage	Falter pro	Falter pro Saftfalle					M/Wges
	PF	insg.	M	Wb ¹	Wub ²	Wb/Wub	
Edingen 3	195	5	3	2	0	6	1,5
Wiesloch (500 Ph/ha*)	593	180	140	38	3	11	3,4
Wiesloch (250 Ph/ha*)	485	158	118	37	4	11	2,9

¹Weibchen begattet ²Weibchen unbegattet

* Variante in den Versuchsjahren 1998 und 1999

5.2.1.2 Pheromonfallen

Zwischen den Fängen in der Kontrollfläche und der Fläche mit den Citraldispensern bestand in beiden Jahren 1998 und 1999 in allen Versuchsanlagen ein deutlicher Unterschied. Die berechneten Verwirrungsgrade nach ABBOTT (1925) lagen zwischen 70 und 100 % (Tab. 5.6 und 5.7).

Tab. 5.6: Gesamtanzahl Falter pro Pheromonfalle und Verwirrungsgrad der Citralvariante 1998

Anlage	Anzahl gefangener Falter pro Pheromonfalle		Verwirrungsgrad in [%]
	Kontrolle	Citralparzelle	
Edingen 1	275	32	88
Edingen 2	403	15	96
Edingen 3	136	0	100
Wiesloch	395	96	96
Bavendorf	40	4	90
Tiergarten	47	14	70
		Median	93

Tab.5.7: Gesamtanzahl Falter pro Pheromonfalle und Verwirrungsgrad der Citralvariante 1999

Anlage	Anzahl gefangener Falter pro Pheromonfalle		Verwirrungsgrad in [%]
	Kontrolle	Citralparzelle	
Edingen 2	370	2	99
Edingen 3	191	3	98
Wiesloch	401	16	96
Bavendorf	46	3	93
Dresden	160	90	88
		Median	96

In den Anlagen Tiergarten und Bavendorf wurden im Vergleich zu den Anlagen im Rhein-Neckar-Gebiet insgesamt viel weniger Falter gefangen. Dennoch zeigt sich auch hier in beiden Fällen ein bedeutender Unterschied zwischen der Citralvariante und der Kontrolle.

Bei der statistischen Verrechnung der beiden Varianten in den jeweiligen Jahren von "Kontrolle" und "Citral" mit den 6 bzw. 5 Anlagen als Wiederholung wurde in beiden Fällen ein signifikanter Unterschied festgestellt (Wilcoxon-Test, $p < 0,05$).

Die übrigen Varianten auf der Anlage Wiesloch zeigten unterschiedliche Ergebnisse (Tab. 5.8).

Tab. 5.8: Anzahl Falter pro Pheromonfalle und Verwirrungsgrade [%] der übrigen Varianten in Wiesloch 1998 und 1999

		Kontrolle	500 Ph/ha	250 Ph/ha	125 C/ha
1998	Anzahl Falter	395	1	4	330
	Verwirrungsgrad [%]	-	100	99	16
1999	Anzahl Falter	401	1	7	349
	Verwirrungsgrad [%]	-	100	98	13

In der Anlage Wiesloch wurden in der Standard-Verwirrung von 500 Pheromondispensern pro Hektar und sogar in der halben Aufwandmenge ebenfalls bis zu 100 % Verwirrungsgrad erreicht. Die Citraldispenser allein scheinen nach den Pheromonfallenfängen keinen Verwirrungseffekt zu besitzen.

5.2.1.3 Saftfallen

Den größten Anteil der gefangenen Falter in den Saftfallen machten in beiden Jahren in fast allen Fällen mit durchschnittlich 66 % die Männchen aus (Tab. 5.9). Der Anteil begatteter Weibchen schwankte von 18 bis 51 % und war immer höher als der Anteil unbegatteter Weibchen, der bei durchschnittlich 3 % lag.

Zwischen Kontrolle und den behandelten Flächen bestand kein eindeutiger Unterschied. Das Verhältnis von begatteten zu unbegatteten Weibchen war zwar in der Kontrolle immer am höchsten, aufgrund der geringen Anteile der unbegatteten Weibchen ist diese Aussage jedoch zu unsicher. In den Citralparzellen wurden außer in Wiesloch im zweiten Versuchsjahr mehr Falter als in der Kontrolle gefangen. In diesem Jahr war dort der Anteil der Männchen in allen Varianten nur noch doppelt so hoch wie der der Weibchen. Im Jahr zuvor war der Anteil Männchen noch dreifach so hoch. Eine Verringerung der Anzahl gefangener Falter insgesamt konnte im zweiten Versuchsjahr nicht beobachtet werden.

Tab. 5.9: Anzahl Falter pro Saftfalle 1998

Anlage	Variante	insg	M	Wbeg	Wubeg	Wb/Wub	M/Wges
Edingen 1	Kontrolle	160	75	82	3	27	0,9
	125 Ph+C/ha	241	139	87	15	6	1,4
Edingen 2	Kontrolle	238	138	93	3	35	1,4
	125 Ph+C/ha	317	189	114	11	11	1,5
Wiesloch	Kontrolle	155	113	41	1	31	2,8
	125 Ph+C/ha	209	158	46	5	9	3,0
	500 Ph/ha	160	121	29	10	3	3,1
	250 Ph/ha	284	218	56	10	5	3,3
	125 C/ha	105	81	25	0	-	3,2

1999 bot sich ein ähnliches Bild (Tab. 5.10).

Tab. 5.10: Anzahl Falter pro Saftfalle 1999

Anlage	Variante	insg	M	Wbeg	Wubeg	Wb/Wub	M/Wges
Edingen 2	Kontrolle	277	218	89	2	45	2,3
	125 Ph+C/ha	298	178	122	3	41	1,5
Wiesloch	Kontrolle	195	146	62	3	21	2,2
	125 Ph+C/ha	117	73	40	4	10	1,7
	500 Ph/ha	138	87	44	6	7	1,7
	250 Ph/ha	194	111	72	12	6	1,3
	125 C/ha	112	68	42	3	14	1,5

An einigen Terminen wurden manche Saftfallen von Vögeln zerstört, so daß die absoluten Zahlen unter diesem Vorbehalt bewertet werden müssen.

5.2.1.4 Bohrmehlauswurfstellen

Da auf der Anlage Edingen 1 die Bohrmehlauswurfstellen nur einmal vor der Rodung erfaßt wurden, werden sie unter 5.2.1.5, bei der Auswertung der quantitativen Larvenpräparation dargestellt.

Auf den Anlagen Edingen 3 und Bavendorf herrschte ein sehr geringer Befall. Im Jahr 1999 verringerte sich auf der Anlage Edingen 3 die Anzahl der Befallsstellen geringfügig. (Tab. 5.11).

Tab. 5.11: Anzahl Bohrmehlauswurfstellen auf der Anlage Edingen 3

Sorte	Datum	Kontrolle		125 Ph+C/ha		
		Summe	MW	Summe	MW	
Jonica	Vorbefall	27.05.98	6	0,4	5	0,3
		26.04.99	5	0,3	2	0,1
		27.05.99	4	0,3	2	0,1

Auf der Anlage Bavendorf verringerte sich die Anzahl Befallsstellen nach dem ersten Versuchsjahr ebenfalls (Tab. 5.12).

Tab. 5.12: Anzahl Bohrmehlauswurfstellen auf der Anlage Bavendorf

Sorte	Datum	Kontrolle		125 Ph+C/ha		
		Summe	MW	Summe	MW	
Cox	Vorbefall	18.05.98	7	0,7	1	0,1
	"	26.06.98	2	0,2	0	0,0
		17.05.99	1	0,1	0	0,0
Jonagold	Vorbefall	18.05.98	2	0,2	0	0,0
	"	26.06.98	0	0,0	0	0,0
		17.05.99	0	0,0	3	0,3
Boskoop	Vorbefall	18.05.98	5	0,5	2	0,2
	"	26.06.98	1	0,1	0	0,0
		17.05.99	3	0,3	1	0,1

Da der Befall so gering ausfiel, wurde bei diesen Anlagen auf eine statistische Auswertung verzichtet.

Auf der Anlage Edingen 2 verringerte sich die Anzahl Bohrmehlauswurfstellen sowohl in der behandelten Variante wie auch in der Kontrolle im Jahr 1999 gegenüber dem gezählten Ausgangsbefall im Jahr 1998 (Abb. 5.3).

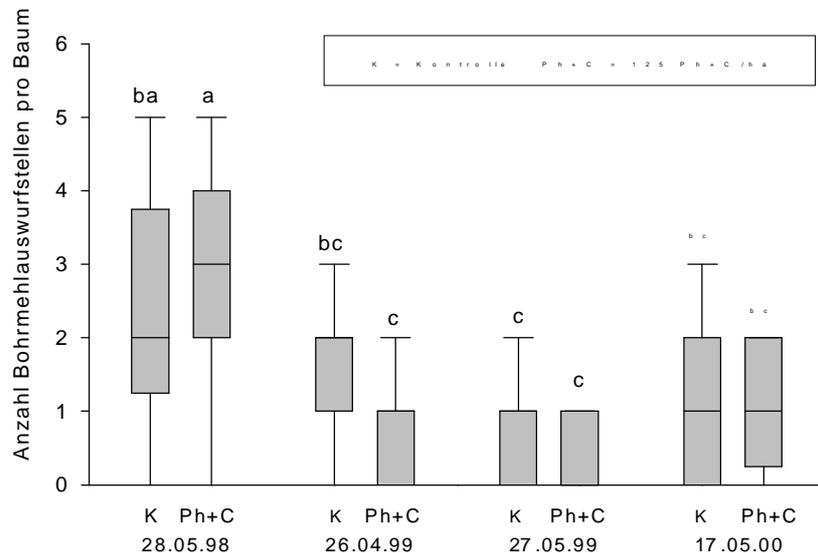


Abb. 5.3: Mittlere Anzahl Bohrmehlauswurfstellen pro Baum in den Anlagen Edingen 2 (Tukey-Test, $p < 0,05$, gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied)

In der Kontrolle verringerte sich die Anzahl der Befallsstellen um 40 bzw. 12 % in der Citralvariante um 74 bzw. 61 %.

Am zweiten Auszählungstermin 1999 wurden gegenüber dem ersten Termin in Edingen 2 weniger Befallsstellen gezählt. Da die Tiere während der Verpuppung kein Bohrmehl abgeben und zum Teil Ende Mai schon geschlüpft waren, könnte das Bohrmehl vom Regen abgewaschen werden und so als Befallsstelle nicht mehr erkennbar gewesen sein.

Auf der Anlage Edingen 2 erhöhte sich im Jahr 2000 der Befall in beiden Varianten wieder leicht.

5.2.1.5 Quantitative Larvenauszählung in gerodeten Bäumen

Zum Vergleich der Übereinstimmung der gezählten Bohrmehlauswurfstellen und des tatsächlichen Befalls wurden vor der Rodung der Anlage 3 am 22.05.1998 die Bohrmehlauswurfstellen an 15 Bäumen der Kontrolle und der Variante 125 Ph+C/ha ausgezählt (Tab. 5.13).

Tab. 5.13: Bohrmehlauswurfstellen auf der Anlage 3 vor der Rodung

	Summe*	MW
Kontrolle	122 a	8 a
125 Ph+C/ha	110 a	7 a

* von 15 Bäumen

Die visuell erfassten Stellen in der behandelten Parzelle waren minimal geringer als in der Kontrolle.

Beim Herauspräparieren der Larven wurde der Unterschied zwischen den Varianten deutlicher (Tab. 5.14).

Tab. 5.14: Summe und mittlere Anzahl Larven pro Baum (MW) in den 1998 gerodeten Bäumen auf der Anlage Edingen 3

Klasse	< 7 mm		7 - 10 mm		> 10 mm		Gesamt-	
	Summe	MW	Summe	MW	Summe	MW	Summe	MW
Kontrolle	143 a*	7,2 a	49 a	2,5 a	51 a	2,6 a	243 a	12,3 a
125 Ph+C/ha	81 b	4,1 b	41 a	2,1 a	37 a	1,9 a	160 b	8,1 b

*gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied, t-Test, $p > 0,05$

Es ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Varianten in der Anzahl Larven in der Größenklasse < 7 mm und der Gesamtanzahl.

5.2.1.6 Dispenser

Die Gewichtsmessungen der Referenz-Citraldispenser 1998 im Schatten ergab, daß der verwendete Kunststoff eine zu hohe Abgaberate besaß (Abb. 5.4).

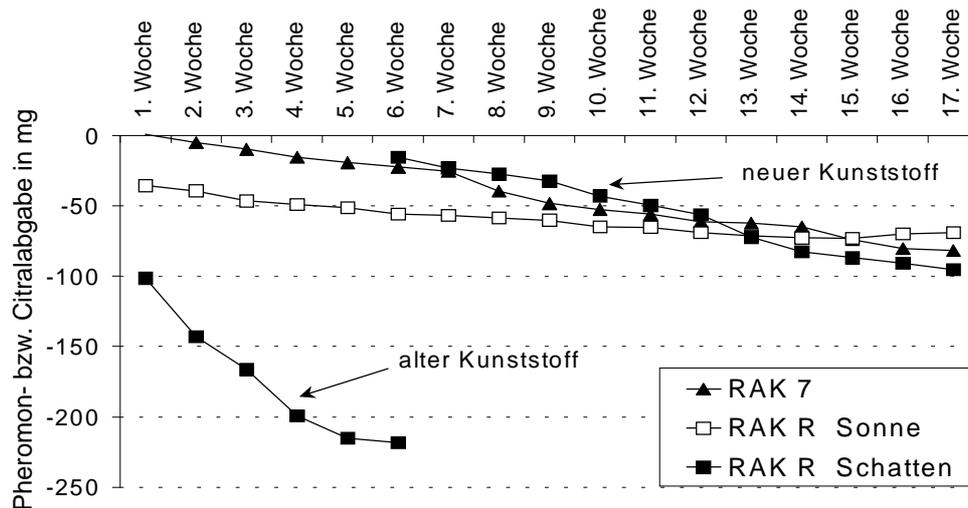


Abb. 5.4: Abgabe der RAK 7- und RAK R-Dispenser bei *S. myopaeformis* 1998

Da diese Dispenser teilweise auch auf den Versuchsflächen verwendet worden waren, wurden diese und die Referenz-Dispenser durch neue, aus einem anderen Kunststoff, ersetzt. Diese Dispenser wiesen, trotz Schatten, eine leicht höhere Abgaberate auf, als die der Sonne exponierten (vgl. Tab.5.15).

Im Jahr 1999 nahmen in der ersten Woche beide Dispenserarten sehr unterschiedlich im Gewicht ab (Abb. 5.5). Der Gewichtssprung in der 5. bzw. 6. Woche entstand durch das Kalibrieren der Waage. Aus diesen Gründen wurden diese Meßdaten bei der Darstellung und bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

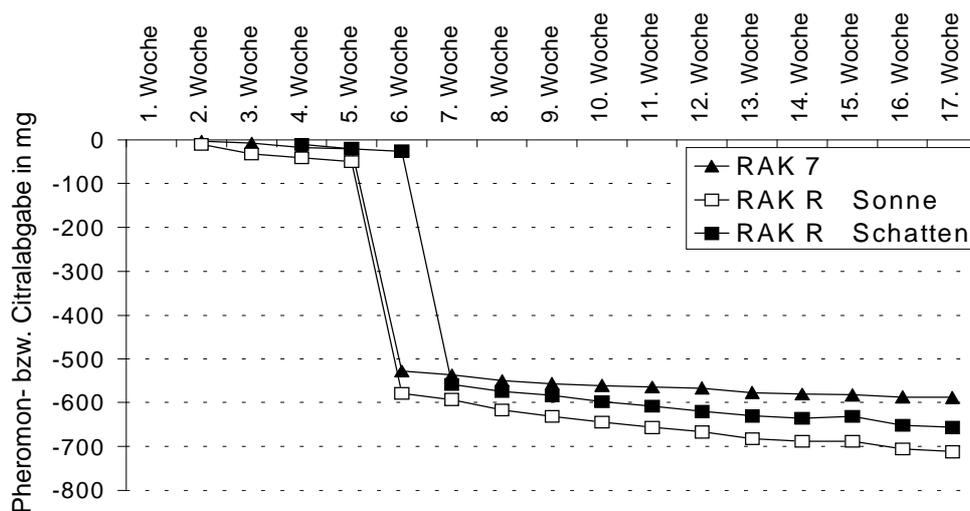


Abb. 5.5: Abgabe der RAK 7- und RAK R-Dispenser bei *S. myopaeformis* 1999

Im Jahr 2000 waren wieder regelmäßige Abgaberaten zu verzeichnen, wobei die der Citraldispenser ähnliche Raten wie im Jahr zuvor, jedoch viel höhere als im Jahr 1998 aufzeigten (Abb. 5.6).

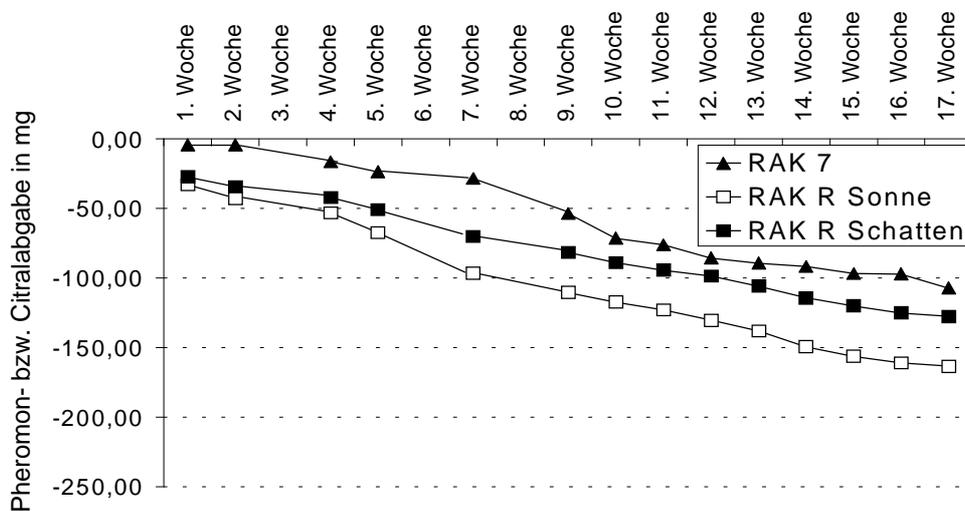


Abb. 5.6: Abgabe der RAK 7- und RAK R-Dispenser bei *S. myopaeformis* 2000

Die Pheromondispenser RAK 7 wiesen in allen drei Versuchsjahren etwa gleiche Abgaberaten auf (Tab. 5.15).

Die Abgaberaten der Citraldispenser in der Sonne waren im ersten Jahr viel niedriger als in den beiden Folgejahren. 1999 gaben sie in 15 Wochen mehr als doppelt so viel Citral ab wie im Jahr zuvor in 17 Wochen.

Die in den Schatten gehängten Citraldispenser, aus dem neuen Kunststoff, waren in allen drei Jahren in ihrer Abgabe vergleichbar.

Tab. 5.15: Pheromon- und Citralabgabe pro Dispenser in mg bei *S. myopaeformis*

Dispenser		Jahr	Wochen	Abgabe	Σ Abgabe	wöch. Abgabe
RAK 7		1998	1. - 17.		82	5,2
		1999	2. - 5.	20	81	5,4
			7. - 17.	61		
2000		1. - 17.		107	5,8	
RAK R	Sonne	1998	1. - 17.		69	2,1
		1999	2. - 5.	50	184	12,3
			7. - 17.	134		
2000		1. - 17.		164	10,0	
RAK R	Schatten alt	1998	1. - 6.	218	218	23,4
			neu	6. - 17.	95	95
RAK R	Schatten neu	1999	4. - 6.	20	118	9,6
			8. - 17.	98		
		2000	1. - 17.		128	8,1

Zur besseren Übersicht wurden die Abgaben der Dispenser pro Hektar berechnet (Tab. 5.16).

Tab. 5.16: Berechnete Pheromon- und Citralabgabe insgesamt pro Hektar

	Pheromonparzelle		Citralparzelle	
	500 RAK 7/ha	250 RAK 7/ha	Pheromon	Citral
			125 RAK 7/ha	125 RAK R/ha
1998	41 g/ha	21 g/ha	10 g/ha	12 g/ha*
1999	41 g/ha	21 g/ha	10 g/ha	15 g /ha
2000	54 g/ha	27 g/ha	13 g/ha	16 g/ha*

* nach Citraldispensern neu im Schatten

5.2.2 Einfluss von Citral auf die Pheromonwahrnehmung

5.2.2.1 Vorversuche zur Attraktivität des Pheromons

Aufgrund der geringen Zahl an verfügbaren Falter aus der Halbfreilandzucht konnten nur wenige Versuche mit dem Apfelbaumglasflügler durchgeführt werden. Zunächst wurde die Flugaktivität der Falter ohne jegliche Duftstoffe als Köder im Laborwindkanal beobachtet. Dazu wurden 30 bis 40 männliche Falter aus der Halbfreilandzucht - dementsprechend unterschiedlichen Alters - abgefangen und ab etwa 10 Uhr in den Kanal gesetzt. Nach zwei Tagen wurden sie wieder eingefangen (Tab. 5.17).

Tab. 5.17: Rückfang der Falter an den Fallen ohne Köder in [%]

	Falter insg.		Falle 1	Falle 2	Falle 3	Falle 4
1. Wdh	30	1. Tag	3	17	13	30
		2. Tag	3	13	13	13
2. Wdh	40	1. Tag	23	30	8	5
		2. Tag	0	0	5	5
3. Wdh	30	1. Tag	10	3	10	7
		2. Tag	0	0	0	0

Nach den Vorversuchen fliegen die Falter die Fallen zum Teil auch ohne Köder an.

Auffallend war die hohe Mortalitätsrate der Falter im Laborwindkanal. Nach maximal drei Tagen waren alle Falter im Kanal tot. Dies könnte vermutlich an der zu geringen Luftfeuchtigkeit liegen. Andere mögliche Faktoren waren nicht erkennbar, Rücksprachen mit Fachkollegen ergaben keine verwertbaren Aufschlüsse.

Anschließend wurde die Attraktivität verschiedener Pheromonkonzentrationen und von Citral getestet. Je Versuch wurden 20 Falter eingesetzt und viermal (Abb.5.7) bzw. fünfmal (Abb. 5.8) wiederholt.

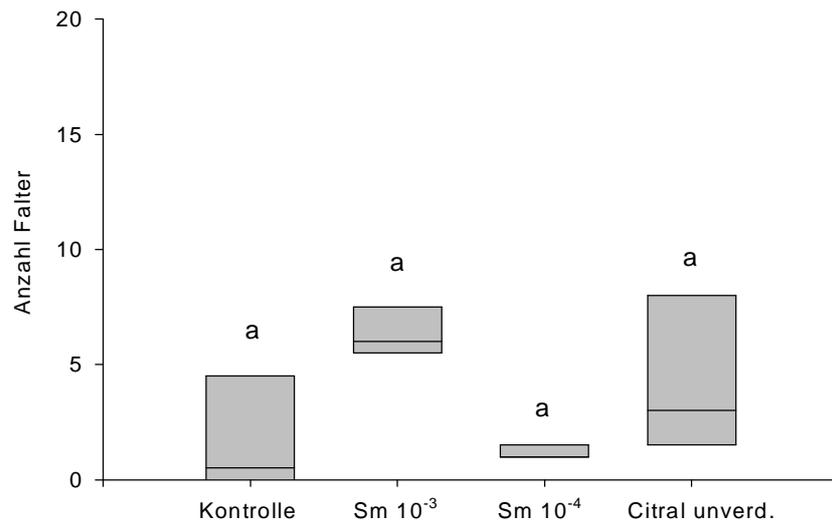


Abb. 5.7: Attraktivität des Pheromons in verschiedenen Verdünnungen und von unverdünntem Citral (gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied, Tukey-Test, $p < 0,05$)

Die Verdünnung 10^{-3} zeigte bei folgendem Versuch eine geringere Attraktivität als im ersten Versuch (Abb. 5.8).

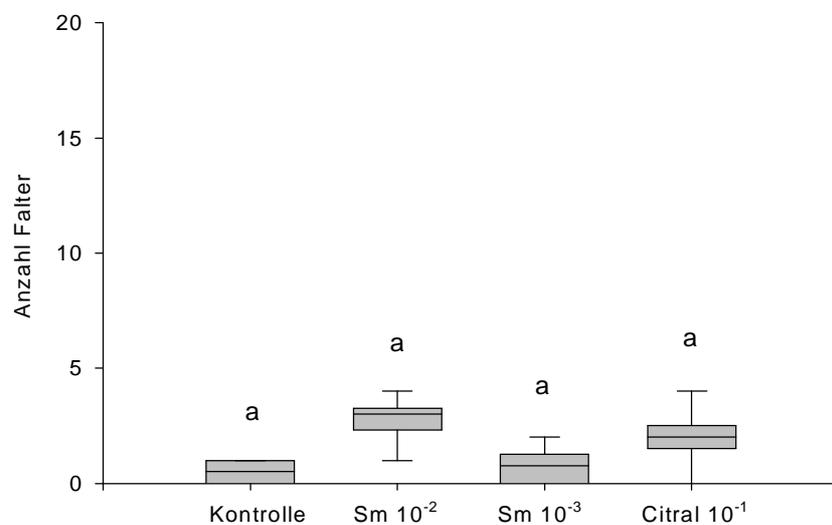


Abb. 5.8: Attraktivität des Pheromons in verschiedenen Verdünnungen und von Citral in einer Verdünnung von 10^{-1} (gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied, Tukey-Test, $p < 0,05$)

Da die 10^{-2} -Verdünnung des Pheromons keine wesentliche Steigerung der Attraktivität ergab, wurde in den Hauptversuchen mit einer Verdünnung von 10^{-3} gearbeitet.

5.2.2.2 Attraktivität des Pheromons in Kombination mit Citral

In den Hauptversuchen wurde untersucht, ob und inwieweit Citral einen Einfluß auf die Pheromonwahrnehmung der Falter ausübt (Abb. 5.9).

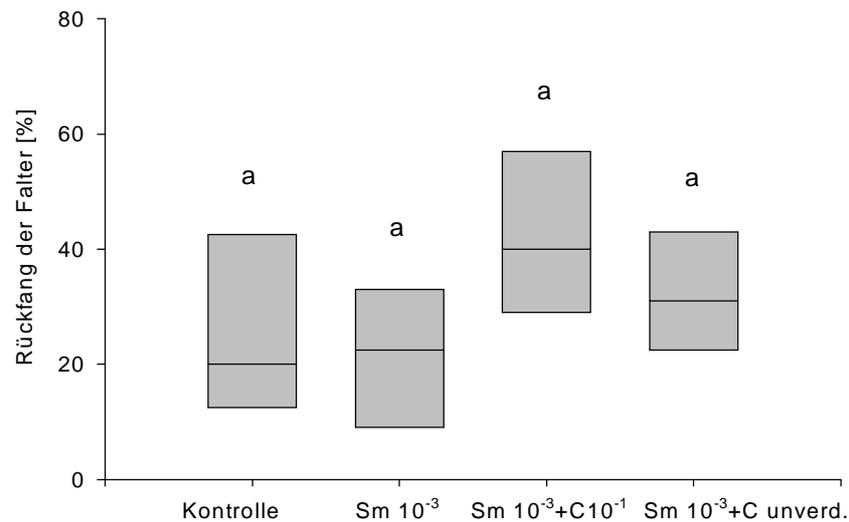


Abb. 5.9: Attraktivität des Pheromons in Kombination mit Citral (gleiche Buchstaben bedeuten keinen signifikanten Unterschied, Tukey-Test, $p < 0,05$)

Die Falter flogen bei diesem Versuch die Fallen sehr unterschiedlich an, so daß kein Unterschied in der Attraktivität festgestellt werden konnte. Die Attraktivität des synthetisch hergestellten Pheromons schien nicht sehr hoch zu sein.

Bei folgendem Versuch wurde die Attraktivität des Pheromons aus den Dispensern mit dem vorher verwendeten Pheromon verglichen (Abb. 5.10). Es konnten hier nur noch zwei Wiederholungen durchgeführt werden, da sich die Flugperiode von *S. myopaeformis* dem Ende neigte.

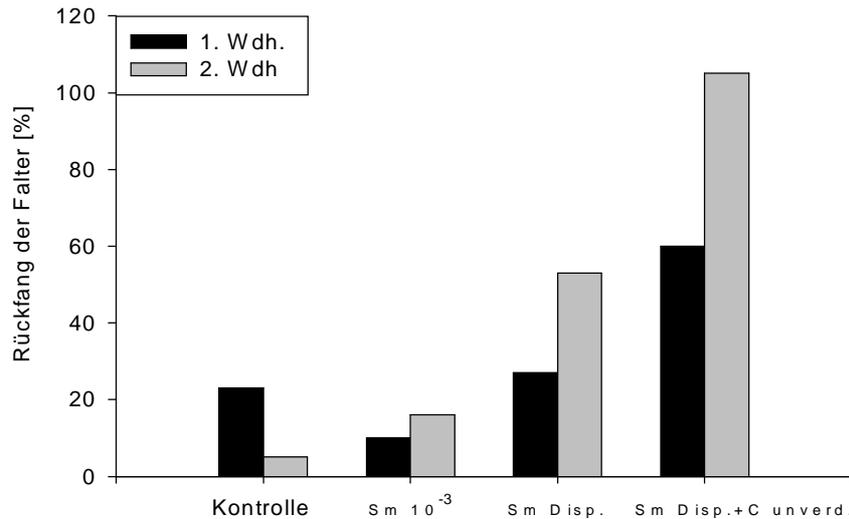


Abb. 5.10: Rückfang von *S. myopaeformis* bei verschieden beköderten Fallen

Das Pheromon aus den Dispensern zeigte eine höhere Attraktivität als das Pheromon aus Wageningen. In Kombination mit Citral ist hier keine reduzierte, eher eine erhöhte Attraktivität des Pheromons erkennbar.

In der zweiten Wiederholung wurde bei Falle vier eine Rückfangrate von über 100 % angezeigt. Dafür kann keine sichere Erklärung gegeben werden. Es wäre möglich, daß einige dieser großen Falter diese Falle öfter anfliegen, bevor der Elektroschlag tödlich wirkt.

5.2.3 Kopulationsbedingungen des Apfelbaumglasflüglers

1. Versuch: Käfige fern von Apfelbäumen

18 Käfige (30 cm Höhe × 30 cm Ø) mit je einem Falterpärchen wurden ins Freiland, fern von Apfelbäumen gestellt, um einen eventuellen Einfluß der Duftstoffe der Wirtspflanze weitestgehend zu minimieren. Alle halbe Stunde wurden die Falter in den Käfigen auf eine Kopulation kontrolliert. Zusätzlich wurde zum Vergleich in der Halbfreilandzucht in einem Saranhaus (siehe 5.1.1) die Falter, die sich in Kopula befanden, gezählt (Tab. 5.18). Dies wurde mit der Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und der Temperatur verglichen (Abb. 5.11).

Tab. 5.18: Anzahl Kopulationen in den Käfigen und dem Saranhaus in Versuch 1

Uhrzeit	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
Käfige	2	1	1	0	0	0	0	0	0
Saranhaus	8	5	8	11	6	8	5	3	2

Von den 18 Käfigen fanden nur in 4 Kopulationen statt, also etwa 20 %. Im Sarankäfig erfolgten dagegen zahlreiche Kopulationen. Demnach gab es für die Kopulation der Apfelbaumglasflügler eigentlich günstige klimatische Bedingungen.

Die Temperatur betrug an diesem Tag 23-25° C; die Windgeschwindigkeit erreichte nicht mehr als 5 m/s. Die Globalstrahlung schwankte zwischen 200 und 1000 W/m².

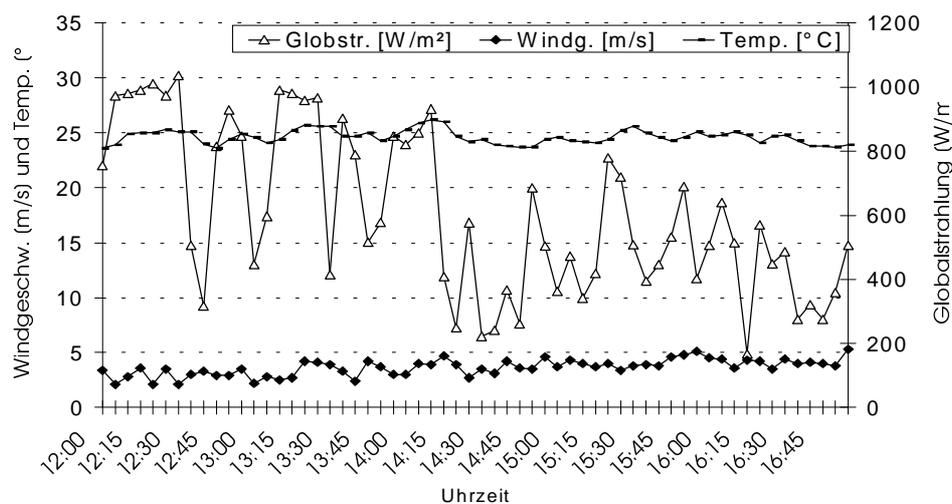


Abb. 5.11: Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Temperatur im Freiland während Versuch 1

Die Falterpaare mit erfolgter Kopulation in den Käfigen wurden abends entfernt. Eine anschließende Spermatophorenpräparation der weiblichen Falter bestätigte die erfolgten Kopulationen. Am folgenden Tag wurde die Beobachtung der restlichen 14 Käfige fortgesetzt (Tab. 5.18, Abb. 5.12).

Tab. 5.18: Anzahl Kopulationen in den Käfigen und dem Saranhaus bei Versuch 1 am folgenden Tag

Uhrzeit	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30	16.00
Käfige	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Saranhaus	2	3	3	3	2	0	0	0	0

Am folgenden Tag fanden keine weiteren Kopulationen in den Käfigen statt; auch im Saranhaus war die beobachtete Anzahl der Falter in Kopula gegenüber dem Vortag reduziert.

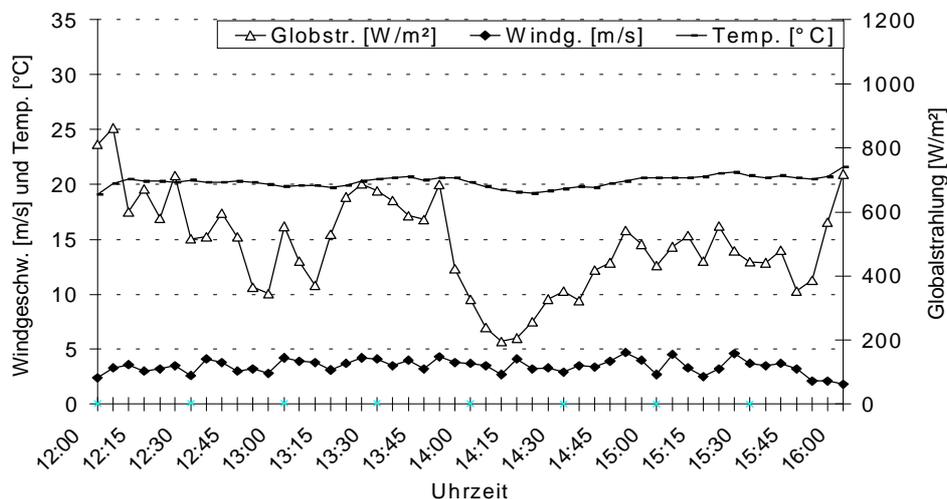


Abb. 5.12: Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Temperatur im Freiland während Versuch 1 am folgenden Tag

Da sich weder die Windgeschwindigkeit noch die Globalstrahlung wesentlich geändert hatte, lag dies vermutlich an der geringeren Temperatur von 20 °C.

2. Versuch: Käfige innerhalb eine Apfelanlage

In diesem Versuch wurden 20 Kopulationskäfige in eine Apfelanlage gestellt, um zu prüfen, ob die generell geringe Kopulationsrate in Versuch 1 auf die fehlenden Duftstoffe der Wirtspflanze zurückzuführen ist. Die Falterpärchen wurden kurz vor Mittag in die Käfige eingesetzt und abends auf ihren Begattungszustand durch Spermatophorenpräparation untersucht.

An diesem Tag lag die Temperatur bei etwa 30 °C und es herrschte bis 15 Uhr ein wolkenloser Himmel (Abb. 5.13), offensichtlich optimale Bedingungen für den Apfelbaumglasflügler.

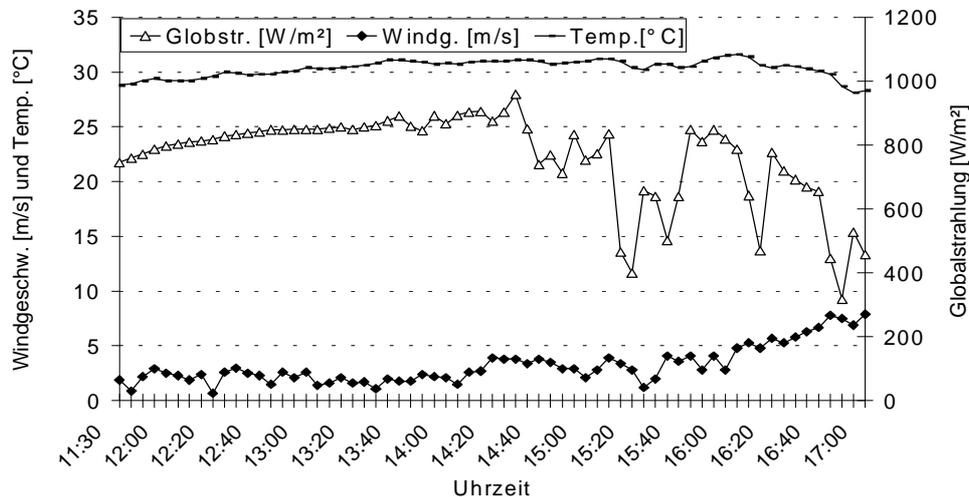


Abb. 5.13: Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Temperatur im Freiland während Versuch 2

Nach der Spermatophorenpräparation waren von den 20 Falterpärchen 11 Weibchen begattet, also etwa 50 %. Auffallend war die hohe Mortalitätsrate der Falter. Es waren 11 Männchen und 2 Weibchen nach dem Einsammeln der Käfige tot.

3. Versuch: Vergleich zwischen Freiland und Gewächshaus

Hier wurden 5 Käfige ins Freiland und zum Vergleich 8 Käfige in eine Gewächshauszelle gehängt, in der eine Temperatur von 25 °C herrschte (Abb. 5.14).

Im Freiland fanden keine Kopulationen statt, während in der Gewächshauszelle 2 Falterpärchen kopulierten. Dies ist wahrscheinlich wiederum in der Temperatur begründet. Am folgenden Tag wurden, bei vergleichbarer Globalstrahlung 7 Käfige mit jeweils einem Falterpärchen in die Gewächshauszelle gehängt. Es fanden 2 Kopulationen statt.

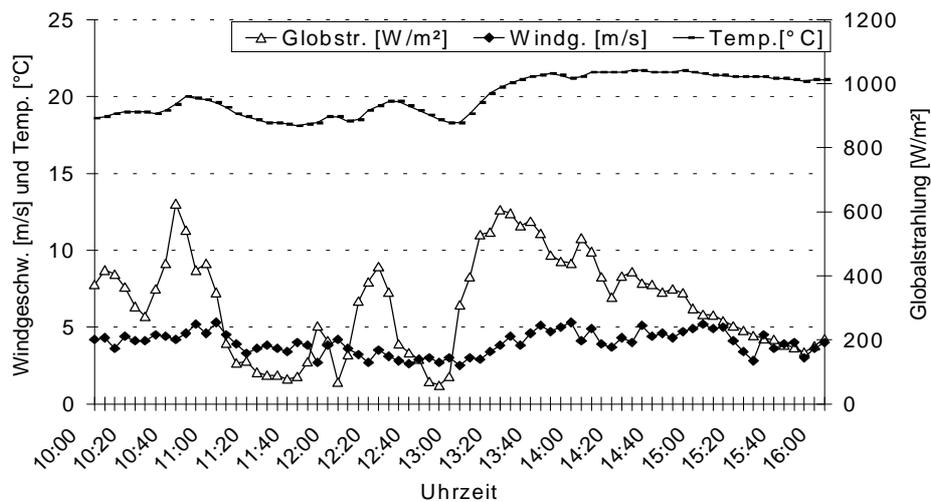


Abb. 5.14: Globalstrahlung, Windgeschwindigkeit und Temperatur im Freiland während Versuch 3

4. Versuch: Käfige im Gewächshaus bei geringer Globalstrahlung

Bei 8 in eine Gewächshauszelle (25° C) gehängten Käfigen an einem Regentag (Abb. 5.15) erfolgten 3 Kopulationen.

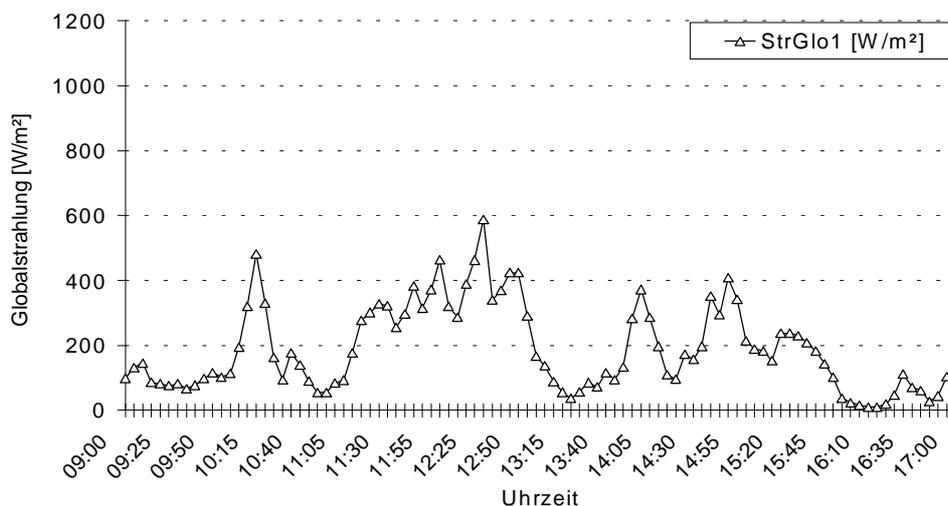


Abb. 5.15: Globalstrahlung im Freiland während Versuch 4

Demnach hängt eine Kopulation vom Apfelbaumglasflügler weniger von der Einstrahlung ab.

Die Kopulationskäfige schienen sich nach diesen Erfahrungen nicht zu weiteren Versuchen zu eignen.

5.2.4 Zusätzliche Beobachtungen

In Kopulationskäfigen, die in eine Klimakammer mit 25° C und 55 % RLF gehängt wurden, und in denen sich 1-2 Tage alte Pärchen des Apfelbaumglasflüglers befanden, wurde keine Kopulation beobachtet. Obwohl die Weibchen in Lockstellung waren, zeigten die Männchen keinerlei Aktivität. Dies legt die Vermutung nahe, daß die Windbewegung oder günstige Luftzirkulation ebenfalls, außer der Temperatur, eine maßgebende Rolle bei der Kopulation spielt.

Zur Entwicklung eines kleinen Windkanals zur Beobachtung von Einzeltieren, wurden zwei Glaszylinder (\varnothing 13,5 cm, Höhe 25 cm) aneinander befestigt und quer gelegt. Auf der einen Seite befand sich eine Pheromonquelle (Pheromonköder) und auf der anderen wurden 1-2 Tage alte männliche Falter freigelassen. Nach einiger Zeit der Beobachtung wurde noch keine Reaktion der Falter auf die Pheromonquelle bemerkt. Ferner wurde künstliches Pheromon, das auf Filterpapier aufgetragen und in eine Einwegspritze gelegt wurde, durch die Luft mittels einer Aquariumpumpe gepumpt wurde, getestet. Auch hier wurde keine gerichtete Reaktion beobachtet. Auch nachdem ein Weibchen als Pheromonquelle in diesen Windkanal gesetzt wurde, kam es zu keiner Reaktion.

6 Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es, die Eignung einer neuen Bekämpfungsmaßnahme im Obstbau gegen zwei Schadlepidopteren, dem dämmerungsaktiven *C. pomonella* und dem tagaktiven *S. myopaeformis* zu überprüfen.

Da die Verwirrungsmethode bisher keine Wirkungssicherheit bietet und gegenüber chemischen Bekämpfungsmitteln teurer ist, wurde von der BASF eine neue Methode entwickelt, die im Kostenaufwand billiger und wirkungssicherer sein sollte. Es werden dabei Dispenser mit dem entsprechenden Pheromon in der einen und Citral - einem Monoterpen - in der anderen Kammer in einer von der BASF zunächst empfohlenen Aufwandmenge von 125 Ampullen pro Hektar in einer Obstanlage ausgebracht.

Um die Bekämpfungserfolge der neuen Technik gegen den Apfelbaumglasflügler und den Apfelwickler zu überprüfen, wurden verschiedene Freiland- und Halbfreilandversuche durchgeführt. Weiterhin sollten einige Laborversuche die Wirkungsweise von Citral auf die Pheromonwahrnehmung der Schädlinge klären helfen.

6.1 Versuche mit dem Apfelwickler

Gegenüber der bisherigen Bekämpfung des Apfelwicklers mit der Verwirrungsmethode durch 500 RAK 3+4-Dispensern pro Hektar unterscheidet sich die neue Bekämpfungsmethode mit einem Zusatzstoff durch zwei Faktoren. Zum einen wird der Aufwand an Pheromondispensern auf ein Viertel reduziert, zum anderen kommt der Zusatzstoff Citral hinzu. Dies bedingt, daß der Bekämpfungseffekt beider einzelner Faktoren abgeschätzt und dem Bekämpfungseffekt beider kombinierter Faktoren zusammen gegenübergestellt werden sollte, um letztendlich die neue Methode bzw. die optimierende Wirkung des Citrals ganzheitlich bewerten zu können.

Zur Evaluierung des Citral-Effektes hätte bei den Freilandversuchen gegen *C. pomonella* zusätzlich eine Variante mit 125 Pheromondispensern pro Hektar

angelegt werden müssen. Da die Versuche jedoch nur auf Anlagen von Erwerbsobstbauern durchgeführt werden konnten, wäre das Risiko einer Ernteeinbuße zu groß gewesen. Aufgrund der wirtschaftlichen Bedeutung von *C. pomonella* war es weiterhin in Freilandversuchen kaum möglich, die Citralvariante mit einer unbehandelten Kontrolle, wie bei Versuchen gegen *S. myopaeformis*, zu vergleichen. Nur auf der Anlage in Großsachsen konnte eine kleine Kontrollparzelle von 80 Bäumen gelassen werden. Die Anwendung der noch wenig überprüften Methode mit Citral stellte schon allein für die Obstanbauern ein Risiko dar. Daher sollte nur überprüft werden, ob der gleiche Bekämpfungserfolg mit der Citral-Methode erreicht werden kann, wie mit der gängigen Verwirrungsmethode. 1998 war es möglich, auf einer und 1999 auf zwei Anlagen die Citralvariante mit der Verwirrungsmethode zu vergleichen.

Einen ersten Anhaltspunkt für den Bekämpfungserfolg bei der Verwirrungsmethode liefern die Fänge in Pheromonfallen. Da der Duftstoffhintergrund in der Anlage die Partnerfindung verhindern soll, dürften in den Pheromonfallen, die hierbei die Weibchen simulieren, ebenfalls keine Falter gefangen werden.

In beiden Jahren waren in allen Parzellen jedoch Falterfänge zu verzeichnen. Auf der Anlage Dossenheim wurden 1998 insgesamt 32 Falter in der Citralparzelle und 19 Falter in der Verwirrparzelle gefangen, im darauffolgendem Jahr 7 bzw. 5 Falter. Die hohen Fangzahlen 1998 sind unter anderem auf die erhöhten Fänge kurz nach dem Wechsel der Köder Mitte Juli von 15 in der Citralparzelle und 5 in der Verwirrparzelle zurückzuführen. Der Wechsel der Köder erfolgte in diesem Jahr relativ spät, da nach dem Hersteller die Köder nach 4 - 6 Wochen erschöpft sind. Auf der Anlage Großsachsen fielen die Fangzahlen höher aus. In der Citralparzelle waren insgesamt 28, in der Verwirrparzelle 12 und in der Kontrollparzelle 22 Falter in den Fallen.

Bei einem guten Bekämpfungserfolg einer Verwirrung sollten bestenfalls, wie oben erwähnt, gar keine Falter gefangen werden. Falter, die in einer Verwirrungsanlage das Pheromon einer Pheromonfalle lokalisieren können, wären in der Lage, auch das Pheromon eines Weibchens wahrzunehmen. Demnach wäre zu vermuten, daß die Populationsdichte der Falter in beiden Anlagen und Jahren zu hoch war und die Falter durch Zufallstreffer die Pheromonfallen fanden.

Weiterhin ist die Fängigkeit von Pheromonfallen auch von der Köderbeladung abhängig. Nach BARRETT (1995) fingen Fallen mit 10 mg Pheromon in Verwirrungsanlagen mehr Falter als Fallen mit 1 mg Pheromon. Über die Beladung der verwendeten Köder liegen jedoch keine Angaben vor.

In der Citralparzelle waren immer höhere Fangzahlen zu verzeichnen als in der Verwirrparzelle. Dies deutet einen schlechteren Bekämpfungserfolg der Citral-Methode an. Die Pheromonfallenfänge geben jedoch nur einen Anhaltspunkt des Bekämpfungserfolges in Verwirrungsanlagen wieder und sagen nichts über den tatsächlichen Befall aus (MANI et al. 1978, CHARMILLOT 1985). Die Ergebnisse dieser Methode können nur im Zusammenhang mit anderen Boniturmethode bewertet werden.

In den Fallen mit virginen Weibchen im Jahr 1999 waren ebenfalls Falterfänge zu verzeichnen. Auf der Anlage Dossenheim befanden sich insgesamt 18 Falter in der Citralvariante, 3 Falter in der Verwirrparzelle, auf der Anlage Großsachsen 99 Falter in der Citralvariante und 5 Falter in der Verwirrparzelle. Dies bedeutet, daß die männlichen Falter in beiden Parzellen in der Lage waren, das Pheromon der Weibchen zu lokalisieren. Eine Verhinderung der Partnerfindung, auf dessen Prinzip beide Bekämpfungsmethoden beruhen, war somit in diesen Anlagen nicht erreicht. Wie oben erwähnt, könnte eine mögliche Ursache eine zu hohe Populationsdichte der Falter in den Anlagen sein.

Die Fänge in der Citralvariante liegen hier, vor allem auf der Anlage Großsachsen, deutlich über denen der Verwirrungsmethode. Dies spiegelt sich dort auch im Fruchtbefall wieder, während es auf der Anlage Dossenheim keinen erkennbaren Unterschied zwischen den Parzellen im Fruchtbefall gibt. Eine mögliche Ursache könnte in einem zu hohen Vorbefall in der Citralvariante, in einer zu geringen Dispenserdichte, wie auch in einem Einflug begatteter Weibchen aus der Kontrolle auf der Anlage Großsachsen liegen. Auf diese Punkte wird jedoch an späterer Stelle noch näher eingegangen.

Verglichen mit den Fallen mit synthetischem Köder waren die Fänge pro Falle mit virginen Weibchen im gleichen Zeitraum höher. CROFT et al. (1986) stellte dies gleichen bei *Argyrotaenia citrana* (Fernald) (Lepidoptera: Tortricidae) fest. Je höher der Anteil an Fallen mit virginen Weibchen, desto geringer wurden die Falter-

fänge in den Pheromonfallen mit synthetischem Köder. Eine Beeinflussung der Anzahl Weibchen in einer Anlage auf die Fängigkeit von Pheromonfallen stellten noch andere Autoren fest (HOWELL 1974, ELKINTON & CARDÉ 1984). Die Attraktivität des natürlichen Pheromons scheint höher als die verwendeten synthetischen Köder zu sein.

Die Attraktivität der Fallen an sich mit virginen Weibchen und mit 1 mg Pheromon beköderter Fallen waren nach BARRETT (1995) hinsichtlich der Fängigkeit von *C. pomonella* gleich. Fallen mit 10 mg Pheromon erwiesen sich dagegen fängiger. Vergleichende Untersuchungen über die Attraktivität von synthetischen Ködern und virginen Weibchen bzw. deren Pheromon-Extrakte im Labor erscheinen in der Literatur widersprüchlich. Während nach EL-SAYED et al. (1999) lockende Weibchen und deren Extrakte sich für die Männchen attraktiver als eine Mischung aus drei bzw. fünf Pheromonkomponenten erwiesen, ergaben Untersuchungen von McDONOUGH et al. (1995) das Gegenteil. EL-SAYED et al. (1999) vermuten, daß dieser Widerspruch in den unterschiedlichen Methoden der Pheromonextraktion begründet sein könnte. Die Herstellung eines Pheromonbouquets durch Drüsenextraktion oder durch Duftstoffanalyse lieferten unterschiedliche Ergebnisse. Wichtig ist, wie gut das synthetische Gemisch die natürliche Zusammensetzung und Konzentration trifft. In vorliegenden Freilandversuchen schienen die Weibchenfallen eine höhere Attraktivität zu besitzen als die Fallen mit synthetischem Köder.

Auf der Anlage Großsachsen wurden im Vergleich zur Anlage Dossenheim - wie auch die Fallen mit synthetischem Köder ergaben - viel mehr Falter gefangen. Die Anzahl gefangener Falter betrug über den gleichen Zeitraum in beiden Behandlungen in den jeweils 10 Fallen insgesamt 21 in Dossenheim und 104 in Großsachsen. Dies liegt vermutlich in dem unterschiedlich hohen Befall des Vorjahres und damit unterschiedlichen Populationsdichten der beiden Anlagen begründet, worauf später näher eingegangen wird.

Während die unterschiedlichen Pheromonfallenfänge in den Varianten auf der Anlage Dossenheim sich nicht in einem unterschiedlichem Fruchtbefall widerspiegelten, bestätigten sie dies auf der Anlage Großsachsen. In Dossenheim überschritt der Fruchtbefall in beiden Jahren nur am letzten bzw. vorletzten Boni-

turtermin die Schadschwelle von 2 %. In Großsachsen dagegen wurde die Schadschwelle teilweise schon bei der ersten Fruchtbonitur Ende Juni sowohl in der Verwirrparzelle als auch in der Citralparzelle überschritten. Der Befall in der Kontrollparzelle erreichte sogar knapp 9 %. Zwei Wochen später stieg der Befall in der Verwirrparzelle auf maximal 3,5 % in der Randreihe, in der Citralparzelle auf maximal 12 % bei der Sorte Jonagold an. In der Kontrollparzelle ergab sich eine Steigerung auf 9,5 %.

Auf der Anlage Großsachsen versagte nach diesen Ergebnissen sowohl die Verwirrungsmethode als auch die neue Bekämpfungsmethode mit Citral. Zahlreiche Erfahrungen bestätigten das Scheitern der Verwirrungsmethode bei hoher Populationsdichte (BEROZA & KNIPLING 1972, MOFFITT & WESTIGARD 1984, AUDEMARD et al. 1989, HOWELL et al. 1992, MANI & SCHWALLER 1992, CARDÉ & MINKS 1995, CASAGRANDE & JONES 1997, NEUMANN 1997, SANDERS 1997).

Für das schlechte Abschneiden der Citralvariante auf der Anlage Großsachsen können verschiedene Faktoren verantwortlich sein. Zum einen schwankte der Vorjahresbefall in diesem Bereich der Anlage von 2 bis zu 9,9 %, während er im Bereich der Verwirrparzelle mit 1 % deutlich darunter lag. Aufgründessen verfügte dieser Teil der Anlage schon über schlechtere Voraussetzungen. Zum anderen schloß die unbehandelte Kontrollparzelle direkt an die Citralparzelle im Südwesten an, so daß ein Einflug begatteter Weibchen nicht ausgeschlossen werden kann. Verschiedene Autoren weisen auf die Bedeutung dieses Faktors für den Erfolg einer Verwirrungsmethode hin (CARDÉ & MINKS 1995, NEUMANN 1997, SANDERS 1997). Eine Beeinflussung der windaufwärtsgelegenen Kontrollparzelle durch Pheromon und Citral ist wahrscheinlich kaum aufgetreten. Nach FÄRBERT et al. (1997) und KOCH & WITZGALL (2000) ist nach 10 m bzw. 5 m Entfernung vom pheromonbehandeltem Rand windaufwärtsgelegener Richtung kaum noch Pheromon nachweisbar.

Darüberhinaus handelt es sich bei der angewendeten Dichte von 125 Dispensern pro Hektar um eine vorläufige Empfehlung, über die es noch keine Erfahrungen gibt und die daher variierbar ist.

In Verwirrungsversuchen von WITZGALL et al. (1996) erzielten Pheromondispenser und Dispenser mit Pheromon-Actetat - einem sogenannten Pheromonantagonis-

ten - einen besseren Erfolg als die Pheromondispenser allein. Dieser Erfolg war stark abhängig von der Dichte der Dispenser. Ein Abstand von 17 m erzielte gar keine Reduktion, ein Abstand von 10 m erzielte dagegen eine Reduktion um 90 % der Pheromonfallenfänge gegenüber der Kontrolle. Dies wurde mit einer erhöhten Überlappung der Pheromon- und der "Antipheromon"-Wolke der Fallen und der Dispenser erklärt. Demnach kann der Erfolg der Citralvariante von der Dichte der Dispenser abhängen und sollte in weiteren Versuchen evaluiert werden.

Der Anteil von Citral am Bekämpfungserfolg kann in diesen Freilandversuchen wie anfangs erwähnt, schwerlich abgeschätzt werden. Bei Ausklammern eines Effektes von Citral wäre es möglich, daß der Bekämpfungserfolg auf der Anlage Dossenheim allein auf einem Effekt der Pheromondispenser beruht und der höhere Befall in Großsachsen auf eine zu geringe Dispenserdichte bzw. Pheromonkonzentration zurückzuführen ist. Eine Verringerung der Dispenserdichte von 500 auf 300 pro Hektar resultierte in höheren Pheromonfallenfängen (VAN DEVENTER et al. 1994). Nach SANDERS (1997) kommt der Dichte von Pheromonquellen in der Verwirrung eine hohe Bedeutung zu. Je höher die Dichte desto weniger Männchen flogen zum "Ziel"-Weibchen. Eine geringe Dispenserdichte hat zur Folge, daß Wirkstofflücken entstehen und damit zu erfolgreichen Begattungen führen können. In der Citralvariante müssen die Dispenser jeweils etwa 9 m ihres Umkreises abdecken, in der gängigen Verwirrung 4,5 m. In Untersuchungen von KEHAT et al. (1999) führte eine Entfernung von Shin-Etsu-Dispensern von 9-14 m noch zu guten Bekämpfungserfolgen gegen *P. gossypiella*, während eine Entfernung von 20 m unbefriedigende Ergebnissen ergaben. Bei hohem Befallsdruck war jedoch eine Entfernung von 10 m schon unzureichend. Demzufolge könnte die geringe Dispenserdichte bei geringem Befallsdruck in der Anlage Dossenheim durchaus zu dem positiven Resultat geführt haben.

Nach Untersuchungen von FÄRBERT et al. (1997) wäre eine erfolgreiche Bekämpfung auch möglich, wenn nur der Rand einer Anlage mit einer höheren Dichte an Dispensern abgehängt werden würde. Noch nach 100 m windabwärts konnte innerhalb der Anlage eine ähnlich hohe Pheromonkonzentration wie am Rand gemessen werden. Versuche von CHARMILLOT et al. (1995) zur Bekämpfung von *L.*

botrana zeigten eine erfolgreiche Verwirrung durch Umrandung einer 10 ha großen Anlage mit einer erhöhten Aufwandmenge an Dispensern.

Somit kann auch nicht ausgeschlossen werden, daß die Pheromondispenser allein den Bekämpfungserfolg auf der Anlage Dossenheim verursachten.

Um die Ergebnisse mit anderen aus Freilandversuchen zu vergleichen, ist nicht nur die Dispenserdichte wichtig, sondern auch die effektive Pheromonkonzentration in der Anlage, d.h. die Abgaberate der Dispenser. Seit der Einführung der Doppeldispenser RAK 3+4 im Jahr 1987 wurde jedoch die Inhaltsmenge, wie auch deren Ababeeigenschaften oft verändert, was einen Vergleich der Ergebnisse in den verschiedenen Versuchsjahren schwierig gestaltet (CHARMILLOT & PASQUIER 1992). Darüberhinaus unterscheiden sich die Angaben in der Literatur auch untereinander. Nach Angaben von MANI & SCHWALLER (1992) beinhalteten die Dispenser in den Jahren 1988 bis 1991 240 bzw. 280 mg Pheromon, nach CHARMILLOT & PASQUIER (1992) schwankten die Inhaltsmengen zwischen 200 und 584 mg, nach BOSCHERI et al. (1992) von 500 bis 340 mg in den gleichen Jahren. Da es darüberhinaus inzwischen viele verschiedene Dispensertypen gibt (VICKERS & ROTHSCHILD 1991, MANI & SCHWALLER 1992, CARDÉ & MINKS 1995) und auch teilweise, wie oben erwähnt, innerhalb eines Typs Schwankungen in der Füllmenge auftreten können, wären Angaben über die effektive Abgaberate über die Saison hinweg sinnvoller. Weiterhin können verschiedene Dispensertypen, die den gleichen aktiven Inhaltsstoff beinhalten, sich in unbedeutenden Bestandteilen unterscheiden, welche den Bekämpfungserfolg durchaus beeinflussen könnten (CARDÉ & MINKS 1995). Ferner kann sich das Verhältnis der Formulierungssubstanzen mit dem Alter der Dispenser ändern (KNIGHT 1995). Über diese Faktoren werden jedoch bei den meisten Veröffentlichungen kaum Angaben gemacht.

In vorliegender Arbeit wurden bei 500 RAK 3+4-Dispensern pro Hektar und 140 mg pro Dispenser etwa 70 g pro Hektar Pheromon über die Saison ausgebracht, in der Citralparzelle 17,5 g Pheromon. Nach eigenen Untersuchungen wurden 1999 jedoch nur effektiv 23 g Apfelwickler-Pheromon pro Hektar von den Ampullen abgegeben. In der Citralparzelle betrug die Abgabe der RAK 3R-Dispenser im Jahr 1999 etwa 7 g Pheromon und 15 g Citral pro Hektar.

CHARMILLOT (1985) berichtet von besten Ergebnissen in der Verwirrung gegen *C. pomonella* bei einer stündlichen Verteilung von 5 mg/ha Pheromon. Bei 500 Dispensern pro Hektar beträgt die stündliche Verteilung der in dieser Arbeit verwendeten Dispenser etwa 8 mg, bei 125 Dispenser etwa 2 mg Pheromon pro Hektar. Demnach wäre letztere Pheromonmenge zu gering, um für den guten Bekämpfungserfolg auf der Anlage Dossenheim verantwortlich zu sein.

Für einen Bekämpfungserfolg der Verwirrungsmethode spielt die Populationsdichte der Falter eine entscheidende Rolle (AUDEMARD et al. 1989, HOWELL et al. 1992, CARDÉ & MINKS 1995, CASAGRANDE & JONES 1997, SANDERS 1997). Durch unterschiedliche Besatzdichte von Falterpaaren in Großkäfigen (8 m³), die in behandelten und unbehandelten Apfelanlagen aufgestellt wurden, sollte diese Abhängigkeit dargestellt werden. Die Begattungsrate unterschied sich jedoch bei allen Dichten von 50 bis 6 Falterpaaren pro Käfig und in allen Varianten nicht signifikant von der Kontrolle. Sie betrug zwischen 70 und 100 %. Nach der hypothetischen Rechnung in 4.2.2.1 sind bei 2 % Fruchtbefall zwei Äpfel pro 8 m³ befallen. Demnach wäre die Dichte von 6 Falterpaaren auf 8 m³ noch zu hoch. Nach der Berechnung dürfte maximal ein Falterpärchen pro Käfig eingesetzt werden. Bei der Größe der Käfige wäre die Wiederfindungsrate dann jedoch zu gering.

In Versuchen von WINKELMANN-VOGT (1986) konnte bei einer Besetzung von 20 und 40 Faltern *E. ambiguella* in 10,8 m³ großen Käfigen in pheromonbehandelten Anlagen ein Wirkungsgrad von etwa 77 % erreicht werden. Dies liegt vermutlich in der unterschiedlichen Sensibilität der Falter verschiedener Arten für Pheromone begründet (SANDERS & LUCIUK 1996). Eine weitere Möglichkeit für das Scheitern der beiden Bekämpfungsmethoden in diesen Versuchen könnte im Versuchsaufbau liegen. Durch das engmaschige Sarangewebe der Käfige ergibt sich ein verringerter Luftaustausch zwischen der Umgebung und dem Inneren der Käfige und somit eine möglicherweise geringere Pheromon- bzw. Citralkonzentration innerhalb der Käfige. Dies müßte jedoch zum Beispiel durch Messungen mit einem EAG-Gerät bestätigt werden.

In Versuchen mit kleinen Käfigen (Kopulationskäfige), die ein Volumen von 0,02 m³ bzw. 21 l besaßen und in den verschieden behandelten Anlagen aufgestellt waren, gab es in allen Wiederholungen, außer in einer der Variante RAK

3+4, mehr begattete als unbegattete Weibchen. Das Verhältnis der begatteten zu den unbegatteten Weibchen war jedoch in der Variante RAK 3+4 signifikant geringer als in den beiden anderen Varianten. Das Moskitonetz, mit dem die Käfige bespannt waren, besaß eine Maschenweite von 1,5 mm. Durch den dadurch besseren Luftaustausch mit der Umgebung könnte dies den Unterschied zu den Ergebnissen in den Begattungsraten in den Großkäfigen begründen. Die Dichte von einem Falterpaar in den Kopulationskäfigen würde einem vielfachen der in den Großkäfigen verwendeten Dichten entsprechen. Die Versuche in den Großkäfigen sollten daher mit einer Gaze größerer Maschenweite noch einmal wiederholt werden.

Die Versuche im Laborwindkanal sollten zeigen, ob und inwieweit Citral einen Einfluß auf die Pheromonwahrnehmung der Falter besitzt. Es ergab sich eine signifikante Reduktion der Attraktivität des Pheromons in Kombination mit Citral in unverdünnter und in 10^{-1} verdünnter Form. In Untersuchungen von MEIWALD (1995) verringerte unverdünntes Citral ebenfalls die Attraktivität des Pheromons bei *L. botrana* in einem Laborwindkanal.

In vorliegenden Versuchen konnten die Falter die Duftwolken von Citral und Pheromon in den kombiniert beköderten Falle nur in vermischter Form wahrnehmen. Die Duftwolken der verschiedenen Fallen konnten sie jedoch trennen, da signifikante Unterschiede in der Attraktivität auftraten.

Der Einfluß einer Substanz auf die Pheromonwahrnehmung hängt zum Teil von dessen Entfernung zur Pheromonquelle ab. In Untersuchungen von ROTHSCHILD (1974) und DATERMAN et al. (1975) mit *Grapholita molesta* (Busck) und *Rhyacionia buoliana* (Den. et Schiff.) erwiesen Pheromonantagonisten, wie Dodecylacetat oder Isomere des Pheromons, nur eine attraktivitätsmindernde Wirkung, wenn sie entweder mit dem Pheromon selbst vermischt wurden oder sich in dessen nächster Nähe befanden. Bei weiterer Entfernung von der Pheromonquelle war dieser Effekt jedoch nicht mehr zu beobachten. Teilweise stiegen die Fallenfänge dann sogar an.

Bei anderen Pheromonantagonisten scheint jedoch keine solche Abhängigkeit zu bestehen. Isomere des Codlemones erwiesen sich in Windkanal-Tests als attraktivitätsmindernd für *C. pomonella* (MCDONOUGH et al. 1993). Im Freiland verhin-

dernten Codlemone-Isomere Fänge in den 20 bis 70 cm entfernt aufgehängten Weibchenfallen (McDONOUGH et al. 1994, McDONOUGH et al. 1996). Der gleiche Effekt wurde bei Codlemone-Acetat beobachtet. Diese Substanz reduzierte in einem Windkanal ebenfalls stark die Attraktivität des Codlemons für *C. pomonella* (PREISS & PRIESNER 1978). In Freilandversuchen bestätigten sich diese Ergebnisse (HATHAWAY et al. 1979, WITZGALL et al. 1996).

Inwieweit der attraktivitätsmindernde Effekt von Citral von dessen Entfernung zur natürlichen Pheromonquelle abhängt, müßte noch eingehender untersucht werden.

Ein weiterer Vorteil des Codlemone-Acetats besteht in seiner nicht attraktiv wirkenden Eigenschaft auf *C. pomonella*. Der Effekt einfliegender Falter aus der Umgebung, die von Codlemone-Dispenser angezogen werden, unterbleibt hierbei. Dies wäre auch ein Vorteil von Citral.

Ein Rückschluß auf Reaktionen im Freiland kann aus den Ergebnissen im Laborwindkanal noch nicht gezogen werden. Nach MEIWALD (1995) ergaben Versuche von unverdünntem Citral in einem Freilandwindkanal einen synergistischen Effekt bei *L. botrana*. Bei Verteilung von Filterpapieren, welche mit unverdünntem Citral getränkt worden waren, erhöhte sich deutlich die Rückfangrate pheromonbeködeter Fallen. Wurden die Filterpapiere mit 10^{-1} verdünntem Citral getränkt, verringerte sich jedoch wieder die Rückfangrate. KIRCHERT (2000) führte einen Versuch nach dem gleichen Versuchsaufbau von MEIWALD (1995) mit unverdünntem Citral mit *C. pomonella* durch. Hierbei waren die Fallenfänge gegenüber der Kontrolle stark reduziert. Es handelt sich jedoch um das Ergebnis von nur einer Wiederholung, die durch weitere Versuche erst bestätigt werden müssen.

Im Laborwindkanal unterschieden sich nach 24 h die mit Citral beköderten Fallen nicht mehr signifikant von der mit Pheromon beköderten Falle. Demnach erzeugte Citral in den ersten 24 Stunden bzw. in der ersten Aktivitätsphase der Falter seine attraktivitätsmindernde Wirkung. Dies läßt auf eine verminderte Abgaberate des Citrals schließen. Mit Hilfe eines sogenannten Dampfanalysengerätes und anschließender gaschromatographischer Analyse wurde festgestellt, daß sich die Abgaberate von Citral nach jeweils zwei Stunden halbierte. Nach vier Stunden

gaben die Spritzen mit 10^{-1} verdünntem Citral nur noch etwa 100 $\mu\text{g}/\text{h}$ gegenüber knapp 600 $\mu\text{g}/\text{h}$ bei einer frischen Spritze ab. Diese 100 $\mu\text{g}/\text{h}$ können als Minimumkonzentration für die Erzeugung einer attraktivitätsmindernden Wirkung von Citral auf gleichzeitig ausgebrachtes Pheromon angesehen werden. Nach der Berechnung auf Seite 46 entspricht dies einer Dichte im Windkanal von etwa 9,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Citral. In einer behandelten Anlage besteht nach einer Berechnung auf S. 23 eine Citraldichte von etwa 0,72 ng/m^3 , in der Nähe eines Dispensers etwa 2320 ng/m^3 . Demnach wäre annäherungsweise mindestens eine Citraldichte überall in der Anlage nötig, wie sie in der Nähe eines Dispensers herrscht. Dies bedeutet, daß die Dispenserdichte auf einen Dispenser pro Meter erhöht werden müßte. Dies wäre ein Ansatz für weitere Untersuchungen.

Untersuchungen mit einem Elektroantennogramm sollten zeigen, ob und in welcher Form Citral die vom Pheromon ausgelösten Reize beeinflusst. Unverdünntes Citral erzeugte sowohl bei den Männchen, wie auch bei den Weibchen noch nach 24 h eine starke Reaktion der Antenne; zehnfach verdünntes Citral löste dagegen keine Reaktion mehr aus. Die additiven Pheromonimpulse bei Öffnen des Fliters wurden vom unverdünntem Citral fast vollständig überlagert. Beim Männchen zeigte nur die höchste Pheromonkonzentration noch einen kleinen Peak an. Stammte die Reaktion nicht von Citral, sondern von Pheromon, zeigte dies eine Pheromonkonzentration in der Umgebung an, die zwischen der in den Spritzen zwei und drei liegen würde. Da die Antennen von Männchen wie auch von Weibchen gleichermaßen auf Citral reagieren, ist zu vermuten, daß Citral unspezifisch auf die Antennenrezeptoren einwirkt. Dies bedeutet, daß die Falter ab einer bestimmten Citral-Konzentration vermutlich kein Pheromon mehr wahrnehmen können. Nach RYAN & BYRNE (1988) wirkt Citral als kompetitive Hemmsubstanz für das Enzym Acetylcholinesterase. Dieses Enzym ist eine synaptische Überträger-substanz in olfaktorischen und mechanosensorischen Rezeptorneuronen der Antennen (DETTNER & PETERS 1999).

Bei verschiedenen Insekten wurde eine Reaktion auf Citral festgestellt. Nach SUCKLING et al. (1996) reagierten bei *Epiphyas postvittana* (Walker) sowohl die Antennen der Weibchen als auch die der Männchen auf Citral. Desgleichen stellte VAN DER PERS (1981) bei *Yponomeuta vigintipunctatus* (Retzius) und *Ado-*

xophyes orana (F. v. R.) fest. Diese Untersuchungen evaluierten die Reaktionen der Insekten auf Pflanzenextrakte, nicht aber eine mögliche Interaktion mit der Pheromonwahrnehmung.

In vorliegender Untersuchung wurde nur eine geringe Reaktion der Weibchen-Antennen auf die Pheromongemische der Kalibrierspritzen beobachtet. Nach EBBINGHAUS (1998) wurde dagegen das arteigene Pheromon sowohl vom Apfelwickler-Männchen wie auch von den Apfelwickler-Weibchen detektiert. Möglicherweise liegt dies an der vom Autor verwendeten GC-EAD Technik, deren Aufzeichnungen empfindlicher als herkömmliche Elektrogramme erscheinen. Die Reizschwelle der Weibchen lag nach EBBINGHAUS (1998) deutlich höher als bei den Männchen. SCHNEIDER (1992) berichtet dagegen, daß Weibchen nicht in der Lage sind, ihre eigenen Pheromonkomponenten zu detektieren. Es ist jedoch bisher nur bei wenigen weiblichen Lepidopteren die Wahrnehmung der eigenen Pheromons untersucht worden (HANSSON 1995).

Von einer Reaktion der Antennen kann nicht auf die Art einer Verhaltensreaktion der Falter geschlossen werden. SUCKLING et al. (1996) konnten keinen Zusammenhang zwischen der Antennenreaktion und einer repellenten oder attraktiven Wirkung auf die Eiablage von *E. postvittana* feststellen. Daher kann aus den Ergebnissen der EAG-Versuche in vorliegender Arbeit keine Schlußfolgerung auf mögliche Verhaltensreaktionen der Falter gezogen werden.

In Versuchen zum Einfluss von Citral auf die Begattung wurde eine vollständige Verhinderung der Kopulation bei 2000 mg/l Citral erreicht. Dies bedeutet 200 µg Citral je 3,3 l des Glaszylindervolumens oder 60,6 mg/m³. Dies ist eine mehrere millionenfach größere Dichte als die theoretisch berechnete Dichte im Freiland von 0,72 ng/m³ oder 2320 ng/m³ in der Nähe eines Dispensers. Vermutlich lagerte sich ein Großteil von Citral an das Glas des Zylinder und wirkte so als Puffer. Die Pheromondichte, bei der eine Verhinderung der Kopulation beobachtet wurde von 152 µg/m³ ist ebenfalls um ein vielfaches höher als die theoretisch berechnete Pheromondichte im Freiland von 0,29 ng/m³ bzw. 920 ng/m³ in der Nähe eines Dispensers. Dies legt den Schluß nahe, daß das Glas der Zylinder diese Substanzen adsorbiert hat.

Bei höheren Konzentrationen als 2000 mg/l waren Anzeichen einer Nervenschädigung der Falter zu beobachten. Die Antennen zitterten und die Beine waren seitlich abgespreizt und schienen nicht mehr kontrollierbar zu sein. Da in diesen Versuchen die auf die Petrischale pipettierte Lösung nicht abgedeckt wurde, kann ein direkter Kontakt der Falter mit Citral nicht ausgeschlossen werden. Bei Verwendung der Filterpapierblättchen trat bei 10^{-1} verdünntem Citral 95%ige Mortalität auf, wenn diese nicht abgedeckt wurden. Nach Abdeckung starben die Falter nicht mehr, sie zeigten jedoch, wie oben erwähnt, neurale Schädigungen an. Diese Beobachtungen weisen sowohl auf eine Kontakttoxizität, wie auch auf eine Toxizität von Citral über die Dampfphase hin. Die Toxizität von Citral und verwandter Monoterpenoide auf verschiedene Insekten wurde schon mehrfach untersucht. In Untersuchungen zu insektiziden Eigenschaften verschiedener Monoterpenoide auf die Hausfliege *Musca domestica* L. zeigte Citral einen LC_{50} -Wert bei topikaler Applikation von 61 μg und über die Dampfphase von 13 $\mu\text{g}/\text{cm}^3$ (RICE & COATS 1994). Letzterer Wert bedeutet umgerechnet 42,9 mg auf 3,3 l. In vorliegender Arbeit wurde bei 200 μg auf 3,3 l zwar keine Begattung, aber auch noch keine Mortalität beobachtet. Beim roten Blumenkäfer *Tribolium castaneum* (Herbst) lag letzterer Wert bei $>1780 \mu\text{g}/\text{cm}^3$. Bei den Termiten *Coptotermes formosanus* (Shiraki) wirkte Citral ebenfalls toxisch über die Dampfphase (CORNELIUS et al. 1997). Zur Bekämpfung von Bienen parasitierender Milben erwies sich Citral als ein geeignetes Mittel, da es toxischer gegenüber den Milben als gegenüber den Bienen war (ELLIS & BAXENDALE 1997).

Über die Wirkung von Citral auf physiologischer Ebene wurde bisher wenig berichtet. Nachdem die Käfer *Tribolium castaneum* (Herbst), citralbehandeltem Filterpapier ausgesetzt waren, traten nach Untersuchungen von RYAN & BYRNE (1988) vor ihrem Tod Lähmungserscheinungen auf. Weitere Untersuchungen zur Wirkungsweise zeigten, wie schon erwähnt, daß Citral, wie auch andere Monoterpenoide, kompetitive Hemmsubstanzen für das Enzym Acetylcholinesterase sind.

Wurden Männchen 24 h lang einer 10^{-1} konzentrierten Citrallösung exponiert, so waren sie danach kaum mehr in der Lage, anschließend beigefügte frische Weibchen zu begatten. Möglicherweise konnten diese Männchen das Pheromon der Weibchen nicht mehr wahrnehmen, da das Citral zuvor pheromonblockierende

Effekte in den Antennen hervorgerufen hatte. Nach HUTT & WHITE (1977) war die Begattungsrate bei Entfernung der Antennen ebenfalls signifikant geringer als in der Kontrolle. Ferner wäre möglich, daß die Falter durch Citral in ihrer Vitalität so beeinträchtigt waren, daß sie zu einer Kopulation nicht mehr in der Lage waren. Bei Exponieren der Weibchen erfolgte dagegen eine Kopulation anschließend zugesetzter Männchen. Somit waren die Weibchen in ihrer Pheromonabgabe nicht durch Citral beeinträchtigt.

In weiteren Laborversuchen konnte kein Einfluß von Citral auf die Eiablage von *C. pomonella* festgestellt werden.

In Versuchen zur Eiablage der Falter auf Apfel war kein signifikanter Unterschied in der Anzahl abgelegter Eier erkennbar. Die Gesamtanzahl Eier war bei den Behandlungen mit 1000 und 1500 mg/l Citral gar höher als in der Kontrolle. Weiterhin bevorzugten die Falter in hohem Maße die glatte Oberfläche des Glaszylinders statt des Apfels. Die jahrelange Zucht im Labor, ohne jegliche Berührung mit dem natürlichen Wirt, dem Apfel, könnte hier dessen fehlende Attraktion ausgemacht haben. Hier wäre möglich, daß die Äpfel einen Teil des Citrals adsorbierten und dadurch dessen Wirkung verringerten. Dies würde jedoch auch bedeuten, daß auch im Freiland die Bäume durch die Blätter oder den Äpfeln die Wirkung von Citral reduzieren könnten. Diese Vermutung bedarf weiterer Untersuchungen und Erforschung.

In letztem Versuch zur Eiablage wurden jegliche möglicherweise adsorbierend wirkende Objekte weggelassen. Die Versuche wurden gleichermaßen wie die Begattungsversuche gestaltet, außer daß sie über vier Tage dauerten und zusätzlich die Anzahl abgelegter Eier erfaßt wurden. Bis zu 1250 mg/l waren bei der bisherigen Zucht keine Auswirkungen auf Anzahl abgelegter Eier zu beobachten. Auch bei einem anderen Apfelwicklerstamm, aus Darmstadt, konnte bei bis zu 1500 mg/l kein Effekt beobachtet werden. Die Anzahl Eier bei letzterer Behandlung war mit 38 zwar am geringsten, es bestand jedoch kein signifikanter Unterschied zu den anderen Behandlungen. Die geringer werdende Anzahl Eier bei steigender Citralkonzentration könnte in diesem Versuch auch auf einen toxischen Effekt und die damit verringerte Fitness der Falter zurückgeführt werden.

In der Literatur waren keine Untersuchungen zu möglichen Effekten von Citral auf die Eiablage oder Fertilität von *C. pomonella* zu finden. Die Auswirkung auf andere Insekten scheint unterschiedlich. Nach BINDER & ROBBINS (1997) wirkt Citral stimulierend auf die Eiablage von *O. nubilalis*, in Untersuchungen von SAXENA & BASIT (1982) wurde dagegen eine Reduktion der Eiablage bei der Heuschrecke *A. devastans* festgestellt.

Bei anderen Monoterpenen, wie Linalool, Eugenol oder Terpeneol wurde eine Verhinderung der Eiablage bei dem Käfer *Acanthoscelides obtecus* (Say) beobachtet (REGNAULT-ROGER & HAMRAOUI 1995). Eine Mischung verschiedener Monoterpene hatte auf die Kohlflye *Delia radicum* (L.) in einem Wahltest einen abschreckenderen Effekt auf die Eiablage als bei einem Nicht-Wahltest (NTIAMOAH & BORDEN 1996). Bei vorliegenden Versuchen hatten die Weibchen von *C. pomonella* keine Wahlmöglichkeit für ihre Eiablage. Möglicherweise könnte Citral bei einem Wahlversuch einen repellenten Effekt aufweisen.

Frisch geschlüpfte Larven des Apfelwicklers konnten in vorliegenden Versuchen durch Citralduft in ihrer Umgebung nicht davon abgehalten werden, in ihren Wirt, den Apfel, einzudringen. Bis zu einer Konzentration von 5000 mg/l - oder 0,5 mg Citral pro Glaszylinder - wurde kein signifikanter Effekt beobachtet. Untersuchungen von LANDOLT et al. (1999) erwiesen in einem Olfaktometer einen repellenten Effekt verschiedener Pflanzenöle, darunter Zitrone, auf frisch geschlüpfte Larven des Apfelwicklers. Bei einer Menge von 10 mg Öl wirkte das Öl als Hintergrundduft auf die Larven abschreckend. Möglicherweise waren die verwendeten Konzentrationen in vorliegenden Versuchen zu gering, um einen Effekt hervorzurufen. Citral zeigte bei anderen Insektenarten auch larvizide Eigenschaften. Citralbehandelter Sand erwies sich als toxisch für Larven von *Diabrotica undecimpunctata* (Howard) (RICE & COATS 1994). Bei *Trichoplusia ni* (Huebner) wirkte eine Citral-Konzentration von 300 ppm im Nährmedium toxisch (GREEN & BERENBAUM 1994). Andere Monoterpene zeigten ebenfalls toxische (GUNDERSON ET AL. 1985, KARR & COATS 1988) und auch fraßabschreckende (DOSKOTCH ET AL. 1980, REGNAULT-ROGER & HAMRAOUI 1995) Wirkungen bei Larven auf.

6.1.1 Schlußfolgerung

Die Freilandversuche ergaben keine eindeutigen Ergebnisse über den Bekämpfungserfolg der neuen Technik bzw. über die optimierende Wirkung von Citral. Wie Laborversuche zeigten, ist jedoch durchaus ein Effekt von Citral auf die Pheromonwahrnehmung von *C. pomonella* vorhanden. Citral rief eine starke Reaktion der Antennen hervor und überlagerte bei hoher Konzentration die Reaktion auf das Pheromon. Damit ist die Wahrnehmung des Pheromons in Gegenwart von Citral ab einer bestimmten Konzentration stark verringert, wie auch die Versuche im Laborwindkanal zeigten. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß bei geringerer Konzentration eine Verhaltensänderung auftritt.

Weiterhin besitzt Citral toxische Eigenschaften, wie aus den Begattungsversuchen in den Glaszylindern zu ersehen ist. Vermutlich greift Citral - nach eigenen beobachteten Reaktionen der Falter und nach Literaturangaben - in das Nervensystem der Falter ein und wirkt ab einer bestimmten Konzentration tödlich.

Wird von diesen Erkenntnissen ausgegangen, so kann eine Verhinderung der Kopulation im Freiland aufgrund toxischer Eigenschaften von Citral und aufgrund der Überlagerung von Pheromon ab einer bestimmten Citraldichte hervorgerufen werden. Nach Berechnungen in 4.2.3.3 ist hierfür die ausgebrachte Citralmenge von 125 Dispensern pro Hektar jedoch viel zu gering.

Inwieweit das Verhalten der Falter durch Citral beeinflusst wird und um den Bekämpfungserfolg bei höheren Dispenserdichten im Freiland zu untersuchen, sind weitere Freiland- sowie Laborversuche notwendig.

6.2 Versuche mit dem Apfelbaumglasflügler

Die Planung für die Freilandversuche gegen *S. myopaeformis* wurde durch verschiedene Faktoren erschwert. Anlagen mit massiven Befall waren in den Versuchsjahren kaum zu finden. Der Apfelbaumglasflügler hat in neuerer Zeit wieder an Bedeutung verloren, nachdem er in den 80er Jahren sogar als bedrohte Art in die rote Liste aufgenommen worden war (DICKLER 1986). Dies und die Maßgabe zur Anlegung verschiedener Varianten auf großen zusammenhängenden Flächen erschwerten die Versuchsplanung erheblich. Die schließlich ermittelten Versuchsfelder wurden auf Grund dessen in eine behandelte Parzelle und in eine Kontrollparzelle eingeteilt, um möglichst über viele Wiederholungen auf verschiedenen Standorten zu verfügen. Nur die Anlage in Wiesloch war groß genug, daß mehrere Varianten angelegt werden konnten.

Der tatsächliche Befall bzw. die tatsächliche Befallsminderung durch Bekämpfungsmaßnahmen ist bei Holz- und Rindenschädlingen wie *S. myopaeformis* schwer zu bestimmen. Deshalb wurden verschiedene Boniturmethode herangezogen, die sich jedoch teilweise sehr zeitaufwendig gestalteten und teils aus technischen Gründen nicht auf allen Versuchsanlagen angewendet werden konnten.

Weiterhin sollten Versuche unter Laborbedingungen die Wirkung von Citral auf die Falter klären helfen. In der Literatur sind kaum Laborversuche mit dem Apfelbaumglasflügler zu finden. Es scheint bisher noch nicht gelungen zu sein, bei *S. myopaeformis* eine Kopulation unter Laborbedingungen zu erreichen, geschweige denn eine Massenzucht aufzubauen.

Die unter diesen Gesichtspunkten durchgeführten Versuche werden nun im Folgenden diskutiert.

Wie bei den Freilandversuchen gegen *C. pomonella* wurden zur Überprüfung des Bekämpfungserfolges Pheromonfallen mit synthetischem Köder in die Parzellen gehängt. In den Freilandversuchen zeigten die Pheromonfallenfänge einen signi-

fikanten Unterschied zwischen der neuen Technik und der Kontrolle. Die Wirkungsgrade bewegten sich in allen Versuchsanlagen zwischen 70 und 100 % im ersten und zwischen 88 und 99 % im zweiten Jahr. Die ausgebrachte Mittelmenge betrug dabei zwischen 10 - 13 g Pheromon und 12 - 15 g Citral pro Hektar.

Die Varianten mit 500 Pheromondispensern pro Hektar (ca. 41 - 54 g Pheromon/ha) und sogar noch in der halben Aufwandmenge von 250 Pheromodispensern pro Hektar (ca. 21 - 27 g Pheromon/ha) erreichten Verwirrungsgrade von etwa 100 % in beiden Jahren.

Die Erfahrungen in bisherigen Verwirrungversuchen gegen den Apfelbaumglasflügler beruhen auf einer Standardaufwandmenge der RAK 7-Dispenser von 500 pro Hektar (HARZER 1991, AUDEMARD et al. 1992, WIRSCHING 1993). Die Verwirrungsgrade betragen in diesen Untersuchungen ebenfalls fast ausnahmslos 100 %. Bei Verwendung anderer Ampullentypen, wie Hercon oder Shin-Etsu-Dispenser mit einer Pheromonmenge von 100 g/ha und darüber wurden ähnliche Ergebnisse erzielt (STÜBER 1988, AUDEMARD et al. 1992).

Die Parzelle mit 125 Citraldispensern pro Hektar zeigte mit Verwirrungsgraden von 13 bzw. 16 % keinerlei Verwirrungseffekte. Dies legt die Vermutung nahe, daß die beobachteten Verwirrungsgrade der neuen Technik auf den alleinigen Verwirrungseffekt der Pheromodispenser beruht. Es gibt bisher jedoch keinerlei Erfahrungen mit Verwirrungseffekten von *S. myopaeformis* in einer solch niedrigen Pheromonmenge von 10 - 13 g pro Hektar. Bei einer Aufwandmenge von etwa 34 g Pheromon pro Hektar wurden bei hohem Befallsdruck ebenfalls ein Verwirrungsgrad von 100 % erreicht (KYPARISSOUDAS & TSOURGIANNI 1998).

Es wäre jedoch ebenfalls möglich, daß Citral nur als Zusatzstoff zum Pheromon seine Wirksamkeit im Freiland entfaltet. Inhibitoren oder Antagonisten der Pheromonwahrnehmung scheinen allein keine ausreichenden Bekämpfungserfolge zu liefern (DATERMAN et al. 1975, BENGTSSON et al. 1994, EVENDEN et al. 1999).

Die Gesamtanzahl der gefangenen Falter bewegte sich in den zwei Jahren in den Kontrollparzellen in ähnlicher Größenordnung. Bei der geringen Größe der Versuchsanlagen ist ein Einflug der beweglichen Falter in die benachbarte Parzelle nicht ausgeschlossen.

Die Fänge in den Pheromonfallen geben jedoch nur einen Anhaltspunkt eines Bekämpfungserfolges und sagen nichts über die wirkliche Befallsreduktion aus (MANI et al. 1978, CHARMILLOT 1985, STÜBER 1988).

In den Saftfallenfängen war der Anteil an Männchen in allen Anlagen am höchsten. Dies könnte am erhöhten Anteil der Männchen an der Population mit 54,8 % liegen (STÜBER 1988). Begattete Weibchen flogen die Saftfallen zu 18 - 51 % an; für die unbegatteten Weibchen waren sie mit etwa 3 % am geringsten attraktiv. Die hohe Attraktivität der Saftfallen für begattete Weibchen ist in dem erhöhten Flüssigkeitsbedarf der Weibchen während der Eireifung und Eiablage begründet. Die Unterschiede zwischen den Behandlungen waren in den verschiedenen Anlagen und in den beiden Versuchsjahren uneinheitlich. Zwar ist das Verhältnis von begatteten zu unbegatteten Weibchen in der Kontrolle immer am höchsten, diese Aussage ist jedoch aufgrund der sehr geringen Anteile der unbegatteten Weibchen zu unsicher. In Untersuchungen von STÜBER (1988) war der Anteil begatteter Weibchen im ersten Versuchsjahr in der Verwirrparzelle ebenso höher als der der unbegatteten, im Folgejahr war dieser Anteil jedoch deutlich geringer. In anderen Untersuchungen war der Anteil unbegatteter Weibchen in den Verwirrungsanlagen deutlich höher als in den Kontrollparzellen (WIRSCHING 1993, KYPARISSOUDAS & TSOURGIANNI 1998). Der hohe Anteil begatteter Weibchen in den Verwirrparzellen könnte in dem Einflug der Falter aus der Kontrolle in den doch relativ kleinen Parzellen begründet sein. Begattete Weibchen führen vor und während der Eiablage Flüge durch und sind weniger ortstreu als unbegattete Weibchen (STÜBER 1988). PEARSON (1995) berichtet von einem erhöhten Befall von *Melittia cucurbitae* (Harris) (Sesiidae) in pheromonbehandelten Anlagen. Da begattete und unbegattete Weibchen in Elektroantennogramm-Tests auf das Pheromon reagierten, vermutet er eine hohe Attraktivität des Pheromons für diese Art. Da in den meisten Untersuchungen mit *S. myopaeformis* die Verwirrungsmethode jedoch erfolgreich war, trifft es auf diese Art wahrscheinlich nicht zu. Es wird auch berichtet, daß in Verwirrungsanlagen unbegattete Weibchen oft den Ort wechselten (STÜBER 1988). Ob diese in die Verwirrparzelle einfliegen, ist jedoch ungewiß. Desorientierte Männchen weisen ebenfalls ein planloses Herumfliegen in Verwirrungsanlagen auf (STÜBER 1988) und könnten dann in die benachbarte Kontrollparzelle

hineingeraten. Ein Einfliegen von der Kontrolle in die Verwirrparzelle ist jedoch weniger wahrscheinlich, da Männchen von zu hohen Pheromondosen abgestoßen werden.

Die Gesamtanzahl Falter der Saftfallenfänge in der Citralvariante war im ersten Jahr in allen drei Anlagen um 25 - 34 % höher als in der Kontrolle. Im zweiten Jahr war die Anzahl in Edingen 2 um 21 % erhöht, in Wiesloch jedoch um 40 % geringer.

In Untersuchungen von STÜBER (1988) waren die Gesamtfänge in den Saftfallen in der Verwirrparzelle um fast die Hälfte reduziert, im Folgejahr um 30 %. Nach WIRSCHING (1993) waren die Gesamtfänge auf zwei Anlagen in der Verwirrparzelle um über 60 % bzw. knapp 40 % gegenüber der Kontrolle reduziert, auf zwei Anlagen in etwa gleich und auf drei Anlagen waren die Gesamtfänge in der Verwirrparzelle jedoch deutlich erhöht. Dies wurde mit unterschiedlichen Populationsdichten in den Parzellen erklärt.

Die Zählung der Bohrmehlauswurfstellen stellt eine weitere Methode zur Bestimmung des aktuellen Befalls dar. Bei hoher Aktivität der Larven ist das nach außen abgegebene rötliche Bohrmehl am Baumstamm gut zu erkennen. In den Anlagen Edingen 3 und Bavendorf war der Vorbefall sehr gering, es befanden sich im Mittel meist weniger als 0,5 Larven in je einem Baum. Auf der Anlage Edingen 2 lag der Vorbefall bei etwa 2,5 bis 3 Larven pro Baum. Der Befall auf der ersten Anlage verringerte sich leicht im darauffolgendem Jahr, während er sich auf der Anlage Edingen 2 in der Citralvariante signifikant verminderte. Dort verringerte sich jedoch auch der Befall in der Kontrolle. Dies könnte zum einen durch natürliche jährliche Populationsschwankungen, wie auch zum anderen durch einen Einfluß der Citralvariante auf die benachbarte Kontrolle zu erklären sein. Im zweiten Jahr erhöhte sich die Anzahl der Befallsstellen auf der Anlage Edingen 2 in beiden Varianten wieder leicht.

In Verwirrungsversuchen von STÜBER (1988) schwankte die Anzahl der Befallsstellen innerhalb der vier Versuchsjahre in den Kontrollparzellen ebenfalls, jedoch bestand schon nach dem ersten Versuchsjahr ein signifikanter Unterschied zwischen der behandelten und unbehandelten Parzelle. Der Befall lag hierbei viel höher als in den vorliegenden Versuchspartellen. WIRSCHING (1993), HARZER

(1991b) und KYPARISSOUDAS & TSOURGIANNI (1998) beobachteten ebenfalls eine Reduzierung der Befallsstellen nach einer Pheromonbehandlung.

Die Methode der Zählung der Bohrmehlauswurfstellen ist mit Ungenauigkeiten behaftet, wie beispielsweise die zweimalige Zählung des Vorbefalls auf der Anlage Bavendorf bei drei verschiedenen Apfelsorten zeigte. Bei der zweiten Zählung Ende Juni, gut einen Monat nach der ersten, wurden schon weniger Befallsstellen gezählt. Desgleichen ist bei der zweiten Zählung Ende Mai, einen Monat nach der ersten, auf der Anlage Edingen 2 im Jahr 1999 zu beobachten. Nach Untersuchungen von STÜBER (1988) stieg die Anzahl der Befallsstellen in einem Jahr bis Juni, im darauffolgendem Jahr bis August an und verringerte sich im folgenden Monat wieder. Diese Varianz der gezählten Befallsstellen wird unter anderem durch witterungsbedingte Veränderungen verursacht, da das Bohrmehl durch Regen abgewaschen werden kann. Weiterhin sind bei einer hohen Larvendichte einzelne Befallsstellen schwer zu unterscheiden und die Befallsstellen nur bei hoher Aktivität der Larven gut zu erkennen.

Wie die quantitative Präparation der Larven auf der Anlage Edingen 3 ergab, stimmten die gezählten Werte der Befallsstellen auch nicht mit der tatsächlichen Larvendichte überein. In der Kontrolle wurden doppelt so viele, in der Citralparzelle 45 % mehr Larven gefunden, als an Befallsstellen erfaßt wurden. Diese Unstimmigkeit stellte auch STÜBER (1988) fest. Nach STÜBER (1988) konnte auch keine Korrelation zwischen der Anzahl Bohrmehlauswurfstellen und der tatsächlichen Larvendichte festgestellt werden. Qualitativ war diese Methode jedoch mit anderen Überprüfungsmethoden durchaus vergleichbar. Deshalb kann diese Boniturmethode zur Befallsbestimmung miteinbezogen werden, zumal nur in seltenen Fällen das Roden der Wirtspflanzen zur Herauspräparation der Larven möglich ist.

Das Herauspräparieren der Larven aus den gerodeten Bäumen der Anlage Edingen 1 zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrolle und der Citralvariante. Dieser Unterschied bestand jedoch nur in der Anzahl Larven unter 7 mm. Die Anzahl war mit etwa 7 Larven in der Kontrolle und 4 Larven in der Citralvariante in dieser Größenklasse am höchsten. Durch die geringe Größe ist die gefundene Anzahl jedoch auch mit den höchsten Unsicherheiten behaftet.

Als Verdampfer der Substanzen wurden in dieser Arbeit die Dispenser der Firma BASF AG RAK 7 - die 1997 zur Bekämpfung von *S. myopaeformis* zugelassen wurden - und RAK R verwendet. Den Dispensern kommt in der Bekämpfungsmethode eine hohe Bedeutung zu. Sie müssen die Substanzen bzw. den aktiven Inhaltsstoff in genügender Menge - vor allem in der Zeit des Begattungsfluges des Schädling - und möglichst gleichmäßig abgeben, vor Zersetzung schützen und eine lange Lebensdauer besitzen (CARDÉ & MINKS 1995, OGAWA 1997). Das Versagen der Verwirrungsmethode wurde teilweise auf die schlechte Qualität der Dispenser zurückgeführt (MANI & SCHWALLER 1992). Deshalb sollte bei Anwendung der Verwirrungsmethode immer eine Überprüfung der Abgabe der Dispenser mit durchgeführt werden, um bei einem eventuellen Versagen der Methode eine ungenügende Pheromonkonzentration in der Anlage ausschließen zu können.

In dieser Arbeit wurden die Abgaberaten anhand von 12 Referenzdispensern gemessen, die wöchentlich gewogen wurden. Dies gibt einen Anhaltspunkt für die ungefähre Konzentration des Pheromons bzw. Citrals in den Anlagen.

Eine andere Methode sind Pheromon adsorbierende Kollektoren, die auf der Anlage selbst angebracht werden und nach 5-24 Stunden durch eine Standard Gaschromatographie-Massenspektrometrie-Technik analysiert werden (FLINT et al. 1993). Tägliche Veränderungen der Substanzkonzentrationen in der jeweiligen Anlage durch Wind- oder Temperatur werden jedoch bei diesen Methoden vernachlässigt. Hierfür wäre ein tragbares Elektroantennogramm-Meßsystem geeignet, mit dem auch eine Messung der Verteilung der Pheromondichte innerhalb einer Anlage möglich ist (FÄRBERT et al. 1997).

In vorliegenden Messungen wurde in den Jahren 1998, 1999 und 2000 eine Abgabe von 82, 81 und 107 mg Pheromon innerhalb von 17 Wochen pro RAK 7-Dispenser gemessen. Nach WIRSCHING (1993) ergab sich eine Abgabe pro Dispenser von 49 mg Pheromon innerhalb von 12 Wochen, was in etwa 70 mg in 17 Wochen entspricht. Theoretisch sollte eine Abgabe von etwa 100 mg pro Ampulle erreicht werden (WIRSCHING 1993). Demnach besaßen die verwendeten Dispenser eine zufriedenstellende Abgaberate. Bei anderen Untersuchungen zur Verwir-

Verwirrung von *S. myopaeformis* waren keine Angaben über die Abgabe der Dispenser verzeichnet.

Die Citraldispenser besaßen eine unterschiedliche Abgaberate. In den Jahren 1998, 1999 und 2000 gaben die in die Sonne gehängten Ampullen 69, 184 und 164 mg Citral ab, die in die Schatten gehängten in den Jahren 1999 und 2000 118 und 128. 1998 betrug die Abgaberate letzterer Dispenser in 12 Wochen 95 mg Citral, was in etwa 134 mg in 17 Wochen entspricht.

Da bisher noch keine derartigen Untersuchungen durchgeführt wurden, können hier keine Vergleiche der Abgaberraten angestellt werden. Im ersten Versuchsjahr wurden noch teilweise Dispenser aus einem anderen Kunststoff verwendet, die eine zu hohe und damit zu schnelle Abgabe von Citral aufzeigten. Die Dispenser in der Sonne im Jahr 1998 scheinen mit 69 mg eine zu geringe Abgaberate zu besitzen, da die im selben Jahr neu aufgehängten Dispenser im Schatten innerhalb von 12 Wochen schon 95 mg Citral abgaben, was in etwa 136 mg in 17 Wochen entsprechen und damit den Abgaben in den Folgejahren gleichkommen würde.

In einem Laborwindkanal sollte überprüft werden, ob und inwieweit Citral einen Einfluß auf die Pheromonwahrnehmung der Falter besitzt. Für diese Versuche konnte nur auf Falter aus der Halbfreilandzucht zurückgegriffen werden. Die eingefangenen männlichen Falter waren demnach unterschiedlichen Alters und konnten somit schon einmal kopuliert haben. Falter, die das Pheromonbouquet eines Weibchen zuerst wahrgenommen haben, reagieren anschließend auf synthetisches Pheromon als Attraktant nicht mehr so gut. Darüberhinaus war die Anzahl verfügbarer Falter aus der Halbfreilandzucht begrenzt, so daß maximal 40 Falter pro Wiederholung eingesetzt werden konnten. In Vorversuchen flogen die Falter die Elektrofallen auch ohne Köder an. Möglicherweise wurden sie durch das glänzende Metall der Fallen angezogen.

Das in dieser Arbeit verwendete Pheromon im Laborwindkanal bestand aus mindestens 98 % (Z,Z)-3,13-Octadecadien-1-ol. Über die restlichen 2 % bestehen keine Angaben. Doch schon geringe Verunreinigungen des synthetischen Pheromons können zu einer verminderten Attraktivität führen (KARANDINOS et al. 1977, BONESS 1978, ARN et al. 1997). Im Freiland erwies sich eine Mischung aus

94,5 % (Z,Z)-3,13-Octadecadien-1-ol und deren Isomeren von 0,9 % E,E, 2,3 % Z,E und 2,3 % E,Z neben (Z,Z)-3,13-Octadecadien-1-ol allein als hochattraktiv (VOERMANN et al. 1978).

Bei Beköderung der Fallen mit verschiedenen Pheromonkonzentrationen schienen die Falter teilweise diese Fallen gegenüber der Kontrolle zu bevorzugen, es bestand jedoch kein signifikanter Unterschied. Die verwendete Pheromonkonzentration besitzt ebenfalls eine hohe Bedeutung für die Attraktivität. In Untersuchungen in einem Laborwindkanal mit *L. botrana* wurde unter ähnlichen Bedingungen mit einer Verdünnung von 10^{-3} die höchste Attraktivität erreicht (MEIWALD 1995). McDONOUGH et al. (1993) stellte eine Optimumkurve für die Attraktivität des Pheromons bei *C. pomonella* fest.

Bei Verwendung des Pheromons aus den Dispensern RAK 7 war eine höhere Attraktivität zu beobachten. Dabei handelt es sich, nach Angaben der BASF jedoch auch um (Z,Z)-3,13-Octadecadien-1-ol. Über die Reinheit dieses Pheromons wurden leider keine Angaben gemacht.

Die Attraktivität des Pheromons ist auch von äußeren Umweltbedingungen abhängig. Nach STÜBER (1988) spielen Temperatur und Windgeschwindigkeit bei der Partnerfindung und Kopulation von *S. myopaeformis* eine wesentliche Rolle. Nur bei weniger als 1,6 m/s Windgeschwindigkeit und über 20° C wurden erfolgreiche Kopulationen beobachtet (STÜBER 1988). In vorliegenden Versuchen wurden jedoch diese Bedingungen mit 0,2-0,5 m/s Windgeschwindigkeit und 21-24° C im Laborwindkanal eingehalten.

Optimale Sonnenscheinbedingungen scheinen für die Partnerfindung und Kopulation bei den Sesiiden ebenfalls eine wichtige Rolle zu spielen (SMITH 1965, ELNAHAL et al. 1978, STÜBER 1988). In den Versuchen zu den Kopulationsbedingungen von *S. myopaeformis* in dieser Arbeit wurde, wie nachfolgend noch diskutiert wird, zwar festgestellt, daß eine Kopulation auch an einem Regentag möglich ist, im Laborwindkanal herrschte jedoch mit maximal 1100 Lux demgegenüber immer noch eine wesentlich geringere Strahlung. Darüberhinaus wurde der Kanal durch Halogenlampen nur von oben bestrahlt, so daß die meisten Falter an der Decke des Kanals entlangflogen. Diese nicht sehr freilandähnlichen Bedingungen könnten ebenfalls zu den nicht attraktiv wirkenden Pheromonquellen der Fallen geführt haben.

Möglicherweise könnte auch die relativen Luftfeuchte von 40 % im Windkanal einen Einfluß auf die Pheromonwahrnehmung der Falter ausgeübt haben - vor allem, da die Mortalität der Falter nach ein bis zwei Tagen im Kanal sehr hoch war. Nach ROYER & McNEIL (1993) nahm jedoch die Pheromonwahrnehmung von *Ostrinia nubilalis* ab etwa 50 % relativer Luftfeuchte wieder ab.

Männchen von *S. myopaeformis* orientieren sich im Nahbereich des Weibchens (5-10 cm) fliegend vorwiegend visuell (STÜBER 1988). Desgleichen wurde auch bei *S. exitiosa* festgestellt (BARRY & NIELSEN 1984). Nach kurzzeitiger Wahrnehmung visueller Stimuli nimmt das Männchen fliegend die für die Kopulation geeignete Position ein. In der Nähe synthetischer Pheromonquellen, wie auch nicht lockender Weibchen, zeigten die Männchen dieses Verhalten nicht (STÜBER 1988). Die Bedeutung des visuellen Reizes im Nahbereich kommt bei den auffällig gefärbten Imagines von *S. myopaeformis* auch in den signifikant höheren Fängen von schwarz - rot gefärbten Fallen zum Ausdruck (STÜBER 1988). Für *S. tipuliformis* waren gelb und grün eingefärbte Pheromonfallen am attraktivsten (BUDA & KARALIUS 1993). Möglicherweise wäre die Fängigkeit der Fallen durch Einfärbung oder durch ein Simulationsmodell eines Weibchens höher ausgefallen. Nach HAYNES & BIRCH (1984) konnten bei *Platyptilia carduidactyla* (Riley) (Lepidoptera: Pterophoridae) nur in Anwesenheit eines Weibchenmodells Kopulationsversuche an einer synthetischen Pheromonquelle ausgelöst werden.

Citral allein, wie auch bei Zusatz zum Pheromon, ergab weder eine verminderte noch eine erhöhte Attraktivität im Vergleich zu den anderen Fallen. Bei Verwendung des Pheromons aus den Dispensern in Kombination mit Citral konnte eine leichte Erhöhung der Attraktivität beobachtet werden. Dies konnte jedoch nicht durch weitere Wiederholungen bestätigt werden. Über eine synergistische Wirkung von Citral ist in der Literatur bisher nichts bekannt.

Um geeignete Versuche zum Einfluß von Citral auf die Begattung von *S. myopaeformis* anzustellen, wurde zunächst überprüft, welche Faktoren für eine erfolgreiche Kopulation notwendig sind. Nach Untersuchungen von SÖNTGEN (1989) mit *S. myopaeformis* konnte keine Begattung im Labor bzw. Gewächshaus, sondern nur im Freiland mit einer Kopulationsrate von 36 % erreicht werden. Nach Erfahrungen von GASSMANN (mündliche Mitteilung) kopulierten die Sesien-Gattungen *Chamaesphecia* und *Tinthia* ebenfalls nicht im Labor, sondern nur im Freiland in

der Sonne. In Gaze-Zylindern von 20 cm Durchmesser und 20 cm Höhe konnte dabei an warmen ($> 25^{\circ}\text{C}$) und sonnigen Tagen eine fast 100%ige Kopulationsrate erreicht werden.

In eigenen Versuchen wurden in einem ersten Versuch, fern von Apfelbäumen eine Kopulationsrate von 20 % bei etwa 25°C , in einem zweiten Versuch innerhalb einer Apfelanlage eine Kopulationsrate von 50 % bei etwa 30°C erreicht. Bei 20°C im Freiland erfolgte keine Kopulation in den Käfigen - wie Versuch 1 am zweiten Tag, und auch Versuch 3 zeigte - und auch in der Halbfreilandzucht konnten weniger Kopulationen beobachtet werden. Die Mindesttemperatur bei Freilandbeobachtungen, in denen Kopulationen stattfanden, betrug nach STÜBER (1988) $20,4^{\circ}\text{C}$. Somit scheint die Temperatur in vorliegenden Versuchen für die geringe Kopulationsrate keine begrenzende Rolle gespielt zu haben. Für die leicht höhere Kopulationsrate innerhalb der Apfelanlage könnte der Geruch der Wirtspflanze verantwortlich gewesen sein.

Nach Beobachtungen von STÜBER (1988) sind Windverhältnisse für die Partnerfindung und Kopulation bei *S. myopaeformis* von Bedeutung. Ab $1,6\text{ m/s}$ Windgeschwindigkeit wurde die Begattung erschwert und die Falter veranlaßt weitere Schleifen zu fliegen. BARRY & NIELSEN (1984) beobachteten ähnliches bei *S. exitiosa* ab einer Windgeschwindigkeit von 9 km/h bzw. $2,5\text{ m/s}$. In vorliegenden Untersuchungen herrschte während des ersten Versuches eine Windgeschwindigkeit von durchschnittlich $2,5\text{ m/s}$, im zweiten von 2 m/s , wobei der Wind durch umstehende Gebüsche, Gebäude oder Bäume gebremst wurde. War die Windgeschwindigkeit der begrenzende Faktor, so war möglicherweise der Raum in den Käfigen zu eng, um weitere Schleifen zu fliegen.

In Versuch 3 und 4 erfolgten Kopulationen in einer Gewächshauszelle, in der eine Temperatur von 25°C herrschte. An diesen Tagen war es im Freiland sehr bewölkt. Nach diesen Erfahrungen scheint für eine Kopulation für *S. myopaeformis* die Temperatur und wahrscheinlich auch die Windbedingungen eine große Rolle zu spielen. Entgegen den Ergebnissen von EL-NAHAL et al. (1978) kommt der Beleuchtungsintensität voraussichtlich eine geringere Rolle zu. In weiteren Versuchen in Glaszylindern und in Phytokammern, in denen eine wesentlich geringere Luftzirkulation herrschte als in obigen Versuchen, erfolgten keine Kopulationen. Nach SCHRÖDER (mündliche Mitteilung) können selbst kleinste Rückstände von

Pheromon bereits zu einer Konfusion und einem Verhindern der Kopulation führen.

Vor einer Kopulation in einem Käfig wurde beobachtet, daß die Männchen rege umherflogen, bis sie - wie auch Untersuchungen von STÜBER (1988) zeigen - etwa 10-20 cm vom lockenden Weibchen entfernt fliegend in der Luft verharrten, das Weibchen fixierten und schließlich zur Kopulation ansetzten. Oft zeigten die Männchen jedoch keinerlei Reaktion auf ein ebenfalls im Käfig sitzendes lockendes Weibchen. Neben oben genannten Faktoren für die geringe Kopulationsbereitschaft von *S. myopaeformis* in einem Käfig müssen daher noch andere eine Rolle spielen. In HERING (1926) wird erwähnt, daß die Lust zur Paarung bei den Nachtfaltern viel größer sei, als bei den Tagfaltern. Daraus erkläre sich die geringe Zahl der Arten von Tagfaltern, bei denen eine Paarung in Gefangenschaft gelungen sei. Bei ihnen könnten nie die nötigen Lebensbedingungen in der Gefangenschaft gegeben werden; sie bräuchten eine intensive Flugbewegung in freier Luft um ihre Lebenstätigkeit zu steigern, bevor sie willig zur Kopulation seien.

6.2.1 Schlußfolgerung

Weder aus den Ergebnissen der Freiland- noch der Laborversuche mit *S. myopaeformis* läßt sich ein eindeutiger Effekt der neuen Bekämpfungstechnik bzw. ein Effekt von Citral auf die Pheromonwahrnehmung der Falter erkennen. Da der tatsächliche Befall von dem Apfelbaumglasflügler in einer Anlage schwerlich direkt festgestellt werden kann, erforderten die Freilandversuche einen hohen Arbeitsaufwand. Laborversuche gestalteten sich ebenfalls schwierig. Nur in wenigen Fällen konnten Falter in einem Käfig zur Kopulation gebracht werden. Ein stark begrenzender Faktor stellte die fehlende Zucht von *S. myopaeformis* dar. Für zukünftige Versuche mit diesem Insekt, vor allem im Labor, wäre die Entwicklung einer Massenzucht unbedingt notwendig.

Um den Bekämpfungserfolg der neuen Technik mit Citral gegen den Apfelbaumglasflügler endgültig zu evaluieren, sind auf jeden Fall weitere Versuche notwendig.

7 Zusammenfassung

In vorliegender Arbeit wurde anhand zweier Schadorganismen, dem Apfelwickler *Cydia pomonella* L. und dem Apfelbaumglasflügler *Synanthedon myopaeformis* Borkh. eine neue Bekämpfungstechnik getestet. Dabei handelt es sich um eine Modifikation der Verwirrungsmethode. Das Pheromon der entsprechenden Art und der Zusatzstoff Citral, ein Monoterpen, werden, in Dispenser gefüllt, in einer Obstanlage in einer zunächst empfohlenen Dichte von 125 Ampullen pro Hektar ausgebracht. Diese Methode wurde in Freilandversuchen gegen beide Schädlinge getestet und im Labor die Wirkungsweise des Citrals evaluiert.

Beim Apfelwickler ergaben sich auf einer Apfelanlage mit geringem Befallsdruck keine erkennbaren Unterschiede zwischen der gängigen Verwirrungsmethode mit 500 Pheromondispensern pro Hektar und der neuen Technik mit Citral hinsichtlich der Pheromonfallenfänge mit synthetischen Ködern und dem Fruchtbefall. Die Fänge in den Fallen mit virginen Weibchen waren in der Citralvariante geringfügig höher. Auf einer Anlage mit hohem Befallsdruck versagte sowohl die gängige Verwirrungsmethode mit bis zu 3,5 % Fruchtschaden am zweiten Boniturtermin, als auch die Citralvariante mit bis zu 12 % Fruchtschaden. Bei den Weibchenfallen waren in der Citralvariante die Fangzahlen viel höher als in der zu vergleichenden Variante. Durch wöchentliches Wiegen der Dispenser wurde die Abgabe von Citral und Pheromon verfolgt. Die eingesetzten RAK 3-Dispenser wiesen in etwa eine Gesamtabgabe von 75 mg, die RAK 3R-Dispenser 200 mg und die RAK R-Dispenser 123 mg auf. Die Abgabe war teilweise sehr uneinheitlich.

In Halbfreilandversuchen in Großkäfigen konnte keine Abhängigkeit des Bekämpfungserfolges von der Populationsdichte festgestellt werden. Vermutlich waren jedoch die eingesetzten Falterdichten zu hoch. In kleinen Kopulationskäfigen war die Begattungsrate in der Pheromonparzelle signifikant geringer als in der Citral- und Kontrollparzelle.

In einem Laborwindkanal konnte eine signifikante Verringerung der Attraktivität des Pheromons durch unverdünntes und 10^{-1} verdünntes Citral festgestellt werden. Nach 24 Stunden ließ dieser Effekt wieder nach. Bei einer Analyse der Citra-

labgabe der eingesetzten Köder ergab sich eine Halbwertszeit von etwa zwei Stunden. Nach vier Stunden wurden noch etwa $100 \mu\text{g/h } 10^{-1}$ verdünntes Citral in den Kanal abgegeben.

Mit Hilfe eines Elektroantennogramm-Gerätes wurde eine starke Reaktion der Antennen bei Männchen und Weibchen von *C. pomonella* auf Citral festgestellt. Die Reaktion der Antennen auf Pheromon wurde dabei stark überlagert.

In Laborversuchen konnte in einem geschlossenen System eine Begattung der Falter ab einer Konzentration von 2000 mg/l verhindert werden. Männliche Falter, die 24 h Citral ausgesetzt waren, waren nicht mehr in der Lage eine Kopulation mit frisch eingesetzten Weibchen durchzuführen, Citral-exponierte Weibchen dagegen wurden nach 24 h von frisch zugesetzten Männchen begattet.

Eine Beeinflussung der Eiablage bis zu 1500 mg/l Citral konnte in vorliegender Arbeit nicht nachgewiesen werden. Weiterhin wurden Erstlarven des Apfelwicklers bei bis zu 5000 mg/l Citral nicht gehindert, in den Apfel einzudringen.

Freilandversuche des Apfelbaumglasflüglers erwiesen auf fünf bzw. sechs Versuchsanlagen signifikant geringere Pheromonfallenfänge in den Citralparzellen gegenüber den Kontrollparzellen. Auf einer Anlage erreichten die Parzellen mit 500 und 250 Pheromondispensern pro Hektar ebenfalls Verwirrungsgrade von bis zu 100 %. In einer Parzelle mit 250 Citraldispensern pro Hektar konnte kein Verwirrungseffekt beobachtet werden. Bei den Saftfallen ist kein Unterschied in der Anzahl begatteter oder unbegatteter Weibchen zwischen den Varianten zu erkennen. Die Anzahl begatteter Weibchen war in allen Varianten viel höher als die der unbegatteten. Die Anzahl der Bohrmehlauswurfstellen war in zwei Anlagen für eine Auswertung zu gering. Auf einer Anlage verringerten sie sich nach dem ersten Versuchsjahr in der Citralparzelle signifikant. In der Pheromonparzelle verringerten sie sich jedoch auch, so daß nach dem zweiten Versuchsjahr kein Unterschied zwischen den Behandlungen mehr festzustellen war. Bei einer quantitativen Auszählung der Larven in zufällig ausgewählten Bäumen auf einer Anlage ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Citral- und der Kontrollparzelle. Dieser Unterschied beruht jedoch nur auf einer verringerten Anzahl der Larven bis zu 7 mm. Die Dispenser RAK 7 gaben insgesamt etwa 90 mg Pheromon ab, die Citraldispenser RAK R 150 mg.

Die Versuche mit *S. myopaeformis* in einem Laborwindkanal wiesen einige Schwierigkeiten auf. Die Falter flogen die Fallen teilweise auch ohne Köder an und schienen darüberhinaus sehr beeinflusst von der oberhalb des Kanals angebrachten Beleuchtung. Die Attraktivität der mit Pheromon beköderten Fallen erwies sich als nicht sehr hoch. Weder unterschiedliche Pheromonkonzentrationen noch eine Kombination mit Citral erbrachten Unterschiede in der Attraktivität.

Bei der Untersuchung der Bedingungen für eine erfolgreiche Kopulation bei *S. myopaeformis* erwies sich die Beleuchtungsintensität als nicht ausschlaggebend. Auch bei starker Bewölkung fanden Kopulationen statt. Eine wesentliche Bedeutung scheinen Temperatur und Windgeschwindigkeit zu besitzen. Allgemein erreichte die Kopulationsrate in kleinen Käfigen (30 cm Höhe, 30 cm Ø) kaum 50 % und war damit sehr gering.

Im Labor konnten Falter des Apfelbaumglasflüglers nicht zur Kopulation gebracht werden.

8 Literaturverzeichnis

- ABBOTT (1925): A method for computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* **18**: 265-267.
- ARN, H., BRAUCHLI, J., KOCH, U.T., POP, L., RAUSCHER, S. (1997): The need for standards in pheromone technology. In: Witzgall, P. and Arn, H. (eds): Technology transfer in mating disruption. *IOBC wprs Bulletin* **20** 27-34.
- ARN, H., LOUIS, F. (1997): Mating disruption in european vineyards. In: Cardé, R.T. Minks, A.K. (eds.): *Insect pheromone research - new directions*. New York: Chapman & Hall pp. 377-382.
- AUDEMARD, H. (1991): Population dynamics of the codling moth. In: Van der Geest, L.P.S. Evenhuis, H.H. (eds.): *Tortricid pests, their biology, natural enemies and control*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. 329-338.
- AUDEMARD, H., ARMAND, E., LEBLON, C. (1992): Essais de lutte par confusion sexuelle contre les lepidopteres nuisibles aux vergers de pommiers dans la basse vallée du Rhône. In: C. Ioratti & H. Arn (eds.): *Proceedings working group meeting*. *IOBC wprs Bulletin* **15** (5): 94-97.
- AUDEMARD, H., BEZUT, M. (1972): La sésie du pommier dans le Bas-Languedoc. *Essais de lutte. Def. Végétaux* **157**: 1-15.
- AUDEMARD, H., LEBLON, C., NEUMANN, U., MARBOUTIE, G. (1989): Bilan de sept années d'essais de lutte contre la Tordeuse orientale du pêcher *Cydia molesta* Busck (Lep., Tortricidae) par confusion sexuelle des mâles. *J. Appl. Entomol.* **108**: 191-207.
- BAGGIOLINI, M., ANTONIN, P. (1976): La sésie du pommier (*Synanthedon myopiformis* Borkh.) nuisible aux cultures de poirier du Valais central. *Mitt. d. Schw. Entomol. Ges.* **49**: 7-16.
- BALAZS, K., BUJAKI, G., FARKAS, K. (1996): Incorporation of Apple Clearwing (*Synanthedon myopaeformis* Borkh.) control into the IPM system of apple. *IOBC wprs Bulletin* **19** (4): 134-139.

-
- BARNES, M.M. (1991): Codling moth occurrence, host race formation and damage. In: Van der Geest, L.P.S. Evenhuis, H.H. (eds.): Tortricid pests, their biology, natural enemies and control. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. pp. 313-327.
- BARRETT, B.A. (1995): Effect of synthetic pheromone permeation on captures of male codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) in pheromone and virgin female moth-baited traps at different tree heights in small orchard blocks. Environ. Entomol. **24**: 1201-1206.
- BARRY, M.W., NIELSEN, D.G. (1984): Behavior of adult Peachtree Borer (Lepidoptera: Sesiidae). Ann. Entomol. Soc. Am. **77**: 246-250.
- BENGTSSON, M., KARG, G., KIRSCH, P.A., LÖFQVIST, J., SAUER, A.E., WITZGALL, P. (1994): Mating disruption of the Pea moth *Cydia nigricana* F. (Lepidoptera, Tortricidae) with a repellent blend of sex pheromone and attraction inhibitors. J. Chem. Ecol. **20**: 871-887.
- BEROZA, M. (1974): Sex Pheromones: (E,E)-8,10-Dodecadien-1-ol in the Codling moth. Science **183**: 89
- BEROZA, M., KNIPLING, E.F. (1972): Gypsy moth control with the sex attractant pheromone. Science **177**: 19-27.
- BINDER, B.F., ROBBINS, J. (1997): Effect of terpenoids and related compounds on the oviposition behavior of the European Corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Pyralidae). J. Agric. Food Chem. **45**: 980-984.
- BONESS, M. (1978): Erfahrungen mit Sexualpheromonen von Lepidopteren. Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz **51**: 161-166.
- BÖRNER H. (1990): Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. Stuttgart. Eugen Ulmer Verlag.
- BOSCHERI, S., RIZZOLI, W., PAOLI, N. (1992): Experience with mating disruption for control of the codling moth and leafrollers at the Laimburg Experiment Station (South Tirol - Bolzano). In: Ioratti, C. and Arn, H. (eds): Proceedings working group meeting. IOBC wprs Bulletin **15** (5): 81-87.
- BUDA, V., KARALIUS, V. (1993): Chemical communication in the clearwing *Synanthedon tipuliformis* CL. (Lepidoptera: Sesiidae) and its modulation by visual input. In: Wiese, K. (eds.): Sensory systems of arthropods pp. 441-447.

-
- BUTENANDT, A., BECKMANN, R., STAMM, D., HECKER, E. (1959): Über den Sexuallockstoff des Seidenspinners *Bombix mori*, Reindarstellung und Konstitution. Z.Naturforsch. **14b**: 283-284.
- CARDÉ, R.T., MINKS, A.K. (1995): Control of moth pests by mating disruption: successes and constraints. Annu. Rev. Entomol. **40**: 559-585.
- CASAGRANDE, E. AND JONES, O.T. (1997): Commercial exploitation of mating disruption technology: difficulties encountered and key to success. In: Witzgall, P. and Arn, H. (eds): Technology Transfer in Mating Disruption. 9.-10. September 1996 Montpellier (France). IOBC wprs Bulletin **20** (1): 11-17.
- CHARMILLOT, P.J. (1981): La lutte en vergers contre *Laspeyresia pomonella* L. et *Adoxophyes orana* F.v.R. par la technique de confusion. Mitt. dtsh. Ges. allg. angew.Entomol. **2**: 298-302.
- CHARMILLOT, P.J. (1985): Bekämpfung der Obstmade durch Verwirrung. Obstbau, Weinbau **22**: 247-248.
- CHARMILLOT, P.J., PASQUIER, D. (1992): Lutte par confusion contre le carpocapse *Cydia pomonella* L. Expérimentation de longue durée en Suisse romande. Rev. Suisse Vitic. Arboric. Hortic. **24**: 213-220.
- CHARMILLOT, P.J., PASQUIER, D., ALIPAZ, N.J., NEUMANN, U. (1995): Effet d'une ceinture de diffuseur à attractif sexuel sur la distribution des captures de mâles, des accouplements de femelles attachées et de l'attaque de *Lobesia botrana* Den. & Schiff. en vignoble. J. Appl. Entomol. **119**: 201-206.
- CORNELIUS, M.L., GRACE, J.K., YATES, J.R. (1997): Toxicity of monoterpenoids and other natural products to Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). J. Econ. Entomol. **90**: 320-325.
- CROFT, B.A., KNIGHT, A.L., FLEXNER, J.L., MILLER, R.W. (1986): Competition between caged virgin female *Argyrotaenia citrana* (Lepidoptera: Tortricidae) and pheromone traps for capture of released males in a semi-enclosed courtyard. Environ. Entomol. **15**: 232-239.
- CROFT, B.A., RIEDL, H.W. (1991): Chemical control and resistance to pesticides of the Codling moth. In: van der Geest, L.P.S. Evenhuis, H.H. (eds.): Tortricid

- Pests - their biology, natural enemies and control. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. pp. 371-387.
- DATERMAN, G.E., DOYLE DAVES, G., SMITH, G. (1975): Comparison of sex pheromone versus an inhibitor for disruption of pheromone communication in *Rhyacionia buoliana*. Environ. Entomol. **4**: 944-946.
- DETTNER, K., PETERS, W. (1999): Lehrbuch der Entomologie. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart pp. 921
- DICKLER, E. (1976): Zur Biologie und Schadwirkung von *Synanthedon myopaeformis* Brkh. (Lepid., Aegeriidae), einem neuen Schädling in Apfeldichtpflanzungen. Z. ang. Entomol. **82**: 259-266.
- DICKLER, E. (1986): Der Apfelbaumglasflügler, *Synanthedon myopaeformis*, ein ernstzunehmender Schädling in modernen Apfelanlagen. Gesunde Pflanzen **38**: 18-23.
- DOSKOTCH, R.W., CHENG, H.-Y., ODELL, T.M., GIRARD, L. (1980): Nerolidol: an anti-feeding sesquiterpene alcohol for Gypsy Moth larvae from *Melaleuca leucadendron*. J. Chem. Ecol. **6**: 845-851.
- EBBINGHAUS, D., LÖSEL, P.M., LINDEMANN, M., SCHERKENBECK, J., ZEBITZ, C.P.W. (1997): Detection of major and minor sex pheromone components by the male Codling Moth *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae). J. Insect Physiol. **44**: 49-58.
- EBBINGHAUS, D. (1998): Die Wahrnehmung von Pheromonen und flüchtigen Inhaltsstoffen der Wirtspflanze *Malus domestica* beim Apfelwickler *Cydia pomonella* L. Dissertation Universität Hohenheim pp. 116.
- EBERT, G. (1997): Schmetterlinge Baden Württembergs. Eugen Ulmer GmbH & Co. Stuttgart
- ELKINTON, J.S., CARDÉ, R.T. (1984): Effect of wild and laboratory-reared female Gypsy moths, *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera: Lymantriidae), on the capture of males in pheromone-baited traps. Environ. Entomol. **13**: 1377-1385.
- ELLIS, M.D., BAXENDALE, F.P. (1997): Toxicity of seven monoterpenoids to tracheal mites (Acari: Tarsonemidae) and their Honey bee (Hymenoptera: Apidae) hosts when applied as fumigants. J. Econ. Entomol. **90**: 1087-1991.

-
- EL-NAHAL, A.K.M., AWADALLAH, A.M., ISMAIL, I.I., ZAKLAMA, S.F., WILSON, A. (1978): On the biology of the Clearwing moth, *Synanthedon myopaeformis* Borkh. (Lepidoptera, Aegeriidae). *Agric. Res. Rev.* **56**: 57-64.
- EL-SAYED, A., BENGTSSON, M., RAUSCHER, S., LÖFQVIST, J., WITZGALL, P. (1999): Multicomponent sex pheromone in Codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Environ. Entomol.* **28**: 775-779.
- EVENDEN, M.L., JUDD, G.J.R., BORDEN, J.H. (1999): Mating disruption of two sympatric, orchard-inhabiting tortricids, *Christoneura rosaceana* and *Pandemis limitata* (Lepidoptera: Tortricidae), with pheromone components of both species' blends. *J. Econ. Entomol.* **92**: 380-390.
- FÄRBERT, P. (1995): Pheromondichte-Messungen bei Freilandexperimenten zur Paarungsstörung bei *Pectinophora gossypiella* und *Lobesia botrana*. Dissertation, Universität Kaiserslautern pp 131.
- FÄRBERT, P., KOCH, U.T., FÄRBERT, A., STATEN, R.T. (1997): Measuring pheromone concentrations in cotton fields with the EAG method. In: Cardé, R., T. Minks, A., K. (eds.): *Insect pheromone research - new directions*. New York: Chapman & Hall pp. 347-358.
- FÄRBERT, P., KOCH, U.T., FÄRBERT, A., STATEN, R.T., CARDÉ, R.T. (1997): Pheromone concentration measured with electroantennogramm in cotton fields treated for mating disruption of *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *J. Econ. Entomol.* **26**: 1105-1116.
- FLINT, H.M., YAMAMOTO, A.K., PARKS, N.J., NYOMURA, K. (1993): Aerial concentrations of gossyplure, the sex pheromone of the pink bollworm (Lepidoptera Gelechiidae) within and above cotton fields treated with long lasting dispensers. *Environ. Entomol.* **22**: 43-48.
- GASTON, L.K., SHOREY, H.H., SAARIO, C.A. (1967): Insect population control by use of sex pheromone to inhibit orientation between the sexes. *Nature* **213**: 1155.
- GEORGE, D.A., McDONOUGH, L.M., HATHAWAY, D.O., MOFFITT, H.R. (1975): Inhibitors of sexual attraction of male codling moths. *Environ. Entomol.* **4**: 606-608.

-
- GREEN, E.S., BERENBAUM, M.R. (1994): Phototoxicity of Citral to *Trichoplusia ni* (Lepidoptera: Noctuidae) and its amelioration by vitamin A. Photochem. Photobiol. **60**: 459-462.
- GUNDERSON, C.A., SAMUELIAN, J.H., EVANS, C.K., BRATTSTEN, L.B. (1985): Effects of the Mint monoterpene pulegone on *Spodoptera eridania* (Lepidoptera: Noctuidae). Environ. Entomol. **14**: 859-863.
- HANSSON, B.S. (1995): Olfaction in Lepidoptera. Experientia **51**: 1003-1027.
- HARZER, U. (1991): Verwirrmethode zur Bekämpfung des Apfelglasflüglers. Obstbau, Weinbau **6/91**: 195
- HATHAWAY, D.O., MCDONOUGH, L.M., GEORGE, D.A., MOFFITT, H.R. (1979): Antipheromone of the Codling moth: Potential for Control by Air Permeation. Environ. Entomol. **8**: 318-312.
- HAYNES, K.F., BIRCH, M.C. (1984): Mate-locating and courtship behavior of the artichoke plume moth, *Platyptilia carduidactyla* (Lepidoptera: Pterophoridae). Environ. Entomol. **13**: 399-408.
- HERING, M. (1926): Biologie der Schmetterlinge. Julius Springer ed, pp. 480.
- Hess, D. (1999): Pflanzenphysiologie: Grundlagen von Stoffwechsel und Entwicklung der Pflanzen, Eugen Ulmer GmbH & Co, Stuttgart pp. 608.
- HOWELL, J.F. (1974): The competitive effect of field populations of Codling moth on sex attractant trap efficiency. Environ. Entomol. **3**: 803-807.
- HOWELL, J.F., KNIGHT, A.L., UNRUH, T.R., BROWN, D.F., KRYSAN, J.L., SELL, C.R., KIRSCH, P.A. (1992): Control of Codling moth in apple and pear with sex pheromone-mediated mating disruption. J. Econ. Entomol. **85**: 918-925.
- HUTT, R.B., WHITE, L.D. (1977): Mating response to visual stimulus in the male Codling moth. Environ. Entomol. **6**: 567-568.
- KAAE, R.S., SHOREY, H.H., GASTON, L.K., HUMMEL, H.H. (1974): Sex pheromones of lepidoptera: disruption of pheromone communication in *Trichoplusia ni* and *Pectinophora gossypiella* by permeation of the air with nonpheromone chemicals. Environ. Entomol. **3**: 87-89.
- KAFKA, W.A. (1970): Molekulare Wechselwirkungen bei der Erregung einzelner Riechzellen. Z. Vergl. Physiol. **70**: 105-143.

-
- KARANDINOS, M.G., TUMLINSON, J.H., EICHLIN, T.D. (1977): Field evidence of synergism and inhibition in the sesiidae sex pheromone system. *J. Chem. Ecol.* **3**: 57-64.
- KARR, L.L., COATS, J.R. (1988): Insecticidal properties of d-Limonene. *J. Pesticide Sci.* **13**: 287-290.
- KEHAT, M., ANSHELEVICH, L., GORDON, D., HAREL, M., ZILBERG, L., DUNKELBLUM, E. (1999): Effect of density of pheromone sources, pheromone dosage and population pressure on mating of pink bollworm, *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae). *Bull. Entomol. Res.* **89**: 339-345.
- KIRCHERT, J. (2000): Optimierung der Verwirrungsmethode zur Bekämpfung des Apfelwicklers *Cydia pomonella* (Lepidoptera, Tortricidae). Universität Heidelberg, pp 83.
- KNIGHT, A.L. (1995): Evaluating pheromone emission rate and blend in disrupting sexual communication of Codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Environ. Entomol.* **24**: 1396-1403.
- KOCH, U.T. AND WITZGALL, P. (2000): EAG-measurements of pheromone concentrations in apple orchards treated for mating disruption of *Cydia pomonella*. In: P. Witzgall & J. Kienzle (eds): Pheromones for insect control in orchards and vineyards. IOBC wprs Bulletin. Vol. 23 - in press.
- KYPARISSOUDAS, D.S., TSOURGIANNI, A. (1998): Control of *Synanthedon (Aegeria) myopaeformis* by mating disruption using sex pheromone dispensers in Northern Greece. *Entomol. Hellenica* **11**: 35-40.
- LANDOLT, P.J., HOFSTETTER, R.W., BIDDICK, L.L. (1999): Plant essential oils as arrestants and repellents for neonate larvae of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *Environ. Entomol.* **28**: 954-960.
- MANI, E. AND SCHWALLER, F. (1992): Results of 12 years experience to control codling moth, *Cydia pomonella* L. by mating disruption. In: Ioratti, C. and Arn, H. (eds): Proceedings working group meeting. IOBC wprs Bulletin **15** (5): 76-80.
- MANI, E., ARN, H., WILDBOLZ, T., HAURI, H. (1978): Ein Feldversuch zur Bekämpfung des Pflaumenwicklers mit der Desorientierungsmethode bei hoher Populationsdichte. *Mitt. d. Schw. Entomol. Ges.* **51**: 307-314.

-
- McDONOUGH, L.M., CHAPMAN, P.S., WEISSLING, T.J., SMITHHISLER, C.L. (1996): Efficacy of nonpheromone communication disruptants of Codling moth (*Cydia pomonella*): effect of pheromone isomers and of distance between calling females and dispensers. *J. Chem. Ecol.* **22**: 415-423.
- McDONOUGH, L.M., DAVIS, H.G., CHAPMAN, P.S., SMITHHISLER, C.L. (1994): Codling moth (*Cydia pomonella*): Disruptants of sex pheromonal communication. *J. Chem. Ecol.* **20**: 171-181.
- McDONOUGH, L.M., DAVIS, H.G., CHAPMAN, P.S., SMITHHISLER, C.L. (1993): Response of male Codling moths (*Cydia pomonella*) to components of conspecific female sex pheromone glands in flight tunnel tests. *J. Chem. Ecol.* **19**: 1737-1748.
- McDONOUGH, L.M., DAVIS, H.G., CHAPMAN, P.S., SMITHHISLER, C.L. (1995): Codling moth, *Cydia pomonella* (Lepidoptera: Tortricidae): is its sex pheromone multicomponent? *J. Chem. Ecol.* **21**: 1065-1071.
- MEIWALD, M. (1995): Beeinflussung der Partnersuche bei *Lobesia botrana*. Dissertation. Universität Kaiserslautern pp 98.
- MINKS, A.K., CARDÉ, R.T. (1988): Disruption of pheromone communication in moths: is the natural blend really most efficacious? *Entomol. Exp. Appl.* **49**: 25-36.
- MOFFITT, H.R., WESTIGARD, P.H. (1984): Suppression of the codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) population on pears in southern Oregon through mating disruption with sex pheromones. *J. Econ. Entomol.* **77**: 1513-1519.
- NETTER, H. (1993): Untersuchungen zur Biologie und zum Verhalten von *Lobesia botrana* zur Entwicklung einer Bekämpfung mittels Sexualpheromon. Dissertation. Universität Kaiserslautern pp 154.
- NEUMANN, U. (1997): Successful employment of pheromones in apple: exemplary results from Europe. In: Witzgall, P. and Arn, H. (eds): Technology Transfer in Mating Disruption. 9-10. September 1996, Montpellier (France). IOBC wprs Bulletin **20** (1): 73-78.
- NTIAMOAH, Y.A., BORDEN, J.H. (1996): Monoterpene oviposition deterrents for Cabbage maggots, *Delia radicum* (L.) (Diptera: Anthomyiidae). *Can. Entomol.* **128**: 351-352.

-
- OGAWA, K.(1997): The key for success in mating disruption. In: Witzgall, P. and Arn, H. (eds): Technology Transfer in Mating Disruption. 9-10. September 1996, Montpellier (France). IOBC wprs Bulletin **20** (1): 1-9.
- PEARSON, G.A. (1995): Sesiid pheromone increases squash vine borer (Lepidoptera: Sesiidae) infestation. Environ. Entomol. **24**: 1627-1632.
- PREISS, R., PRIESNER, E. (1978): Neue Laborverfahren zur Wirksamkeitsbestimmung von Lockstoffen und Lockstoff-Inhibitoren beim Apfelwickler *Laspeyresia pomonella* (L.). Mitt. dtsch. Ges. allg. angew. Entomol. **1**: 166-169.
- REGNAULT-ROGER, C., HAMRAOUI, A. (1995): Fumigant toxic activity and reproductive inhibition by monoterpenes on *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera), a bruchid of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Stored Prod. Res. **31**: 291-299.
- RICE, P.J., COATS, J.R. (1994): Insecticidal Properties of several monoterpenoids to the House fly (Diptera: Muscidae), Red Flour Beetle (Coleoptera: Tenebrionidae), and Southern corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). J. Econ. Entomol. **87**: 1172-1179.
- RIEDL, H., ZELGER, R. (1994): Erste Ergebnisse der Untersuchungen zur Resistenz des Apfelwicklers gegenüber Diflubenzuron. Obstbau, Weinbau **31**: 107-109.
- ROELOFS, W., COMEAU, A., HILL, A., MILICEVIC, G. (1971): Sex attractant of the codling moth: characterization with electroantennogram technique. Science **174**: 297-299.
- ROTHSCHILD, G.H.L. (1974): Problems defining synergists and inhibitors of the oriental fruit moth pheromone by field experimentation. Entomol. Exp. Appl. **17**: 294-302.
- ROYER, L., MCNEIL, J.N. (1993): Effect of relative humidity conditions on responsiveness of European corn borer (*Ostrinia nubilalis*) males to female sex pheromone in a wind tunnel. J. Chem. Ecol. **19**: 61-69.
- RYAN, M.F., BYRNE, O. (1988): Plant-insect coevolution and inhibition of acetylcholinesterase. J. Chem. Ecol. **14**: 1965-1975.
- SACHS, L. (1997): Angewandte Statistik: statistische Methoden und ihre Anwendungen. 8. Auflage, Springer-Verlag pp. 881.

-
- SANDERS, C.J. (1997): Mechanisms of mating disruption in moths. In: Cardé, R. T. Minks, A. K. (eds.): Insect Pheromone Research, New Directions. Chapman & Hall pp. 333-346.
- SANDERS, C.J., LUCIUK, G.S. (1996): Disruption of male oriental fruit moth to calling females in a wind tunnel by different concentrations of synthetic pheromone. *J. Chem. Ecol.* **22**: 1971-1986.
- SAXENA, K.N., BASIT, A. (1982): Inhibition of oviposition by volatiles of certain plants and chemicals in the leafhopper *Amrasca devastans* (Distant). *J. Chem. Ecol.* **8**: 329-338.
- SCHNEIDER, D., LACHER, V., KAISLING, K.E. (1964): Die Reaktionsweise und das Reaktionsspektrum von Riechzellen bei *Antheraea pernyi* (Lepidoptera, Saturniidae). *Z. Vergl. Physiol.* **48**: 632-662.
- SCHNEIDER, D. (1992): 100 years of pheromone research. *Naturwissenschaften* **79**: 241-250.
- SMITH, E.H. (1965): Laboratory rearing of the Peach tree borer and notes on its biology. *J. Econ. Entomol.* **58**: 228-236.
- SÖNTGEN, J.-M. (1989): Verbreitung, Befallslage und Möglichkeiten der Bekämpfung des Apfelbaumglasflüglers, *Synanthedon myopaeformis* (Borkhausen) (Lepidoptera; Sesiidae), in Nordrhein. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität, Bonn pp. 83.
- STATEN, R.T., EL-LISSY, O., ANTILLA, L. (1997): Successful area-wide program to control Pink bollworm by mating disruption. In: Cardé, R.T. Minks, A.K. (eds.): Insect pheromone research - new directions. New York: Chapman & Hall pp. 383-396.
- STÜBER, R. (1988): Untersuchungen zur Biologie und zum Verhalten des Apfelbaumglasflüglers *Synanthedon myopaeformis* (BORKH.) (Lepidoptera: Sesiidae) als Grundlage für seine Bekämpfung mit Hilfe der Verwirrungsmethode. Dissertation. Ruprecht-Karls Universität Heidelberg pp. 144.
- SUCKLING, D.M., KARG, G., GIBB, A.R., BRADLEY, S.J. (1996): Electroantennogram and oviposition responses of *Epiphyas postvittana* (Lepidoptera: Tortricidae) of plant volatiles. *New Zealand J. of Crop and Hort. Science* **24**: 323-333.

-
- TRAYNIER, R.M.M., WRIGHT, R.H. (1973): Modification of responses to sex pheromone in the male Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella*, by additional substances. Entomol. Exp. Appl. **16**: 1-8.
- TUMLINSON, J.H., YONCE, C.E., DOOLITTLE, R.E., HEATH, R.R., GENTRY, C.R., MITCHELL, E.R. (1974): Sex pheromones and reproductive isolation of the Lesser peachtree borer and the Peachtree borer. Science **185**: 614-616.
- VAN DER PERS, J.N.C. (1981): Comparison of electroantennogram response spectra to plant volatiles in seven species of *Yponomeuta* and in the tortricid *Adoxophyes orana*. Entomol. Exp. Appl. **30**: 181-192.
- VAN DEVENTER, P., MINKS, A.K., WOETS, J., JILDERDA, K. (1994): Further tests on mating disruption of codling moth and leafrollers in apple orchards in the Netherlands. Medelingen van de Fac. Landbouwwetenschappen Rijksuniv. Gent. **59**: 671-680.
- VAN FRANKENHUYZEN, A., JANSEN, D. (1978): Zur Bekämpfung des Apfelglasflüglers, *Aegeria myopaeformis* Borkhausen. Anz.Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz **51**: 151-154.
- VICKERS, R.A., ROTHSCHILD, G.H.L. (1991): Use of sex pheromones for control of Codling moth. In: Van der Geest, L.P.S. Evenhuis, H.H. (eds.): Tortricid pests, their biology, natural enemies and control. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. pp. 339-354.
- VIGL, J., DEMATTIO, S. (1981): Bekämpfung der Apfelglasflüglers, erste Versuchsergebnisse. Obstbau, Weinbau **18**: 267-269.
- VOERMANN, S., MINKS, A.K., VANWETSWINKEL, G. (1978): Short communication: attractivity of 3,13-octadecadien-1-01-acetates to the male clearwing moth *Synathedon myopaeformis* (Borkhausen) (Lepidoptera, Sesiidae). Entomol. Exp. Appl. **23**: 301-304.
- WALDNER, W. (1994): Die Verwirrungsmethode. Obstbau **4**: 202-203.
- WILLIAMSON, E.R., FOLWELL, R.J., KNIGHT, A., HOWELL, J.F. (1996): Economics of employing pheromones for mating disruption of the codling moth, *Carpocapsa pomonella*. Crop Prot. **15**: 473-477.

-
- WINKELMANN-VOGT, H. (1986): Untersuchungen zum Pheromoneinsatz bei der Bekämpfung des Einbindigen Traubenwicklers (*Eupoecilia ambiguella* Hbn.) im Weinbau. Universität Kaiserslautern pp. 148.
- WIRSCHING, S. (1993): Untersuchungen zur Bekämpfung des Apfelbaumglasflüglers *Synanthedon myopaeformis* (Borkh.) (Lepidoptera, Sesiidae) mit Hilfe der Verwirrungsmethode. Diplomarbeit pp. 100.
- WITZGALL, P., BÄCKMANN, A.-C., SVENSSON, M., BENGTSSON, M., UNELIUS, C.R., VRKOC, J., KIRSCH, P.A., IORIATTI, C., LÖFQVIST, J. (1996): Potential of a blend of E8,E10-12OH and E8,E10-12Ac for mating disruption of Codling moth, *Cydia pomonella* L. (Lep., Tortricidae). J. Appl. Entomol. **120**: 611-614.
- WITZGALL, P., UNELIUS, C.R., RAMA, F., CHAMBON, J.-P., BENGTSSON, M. (1997): Mating disruption of Pea moth, *Cydia nigricana*, and Codling moth, *C. pomonella*, using blends of sex pheromone and attraction antagonists. In: Witzgall, P. and Arn, H. (eds): Technology transfer in mating disruption. 9. - 10. September 1996, Montpellier (France). IOBC wprs Bulletin **20** (1): 207-215.

Danksagung

Ich danke Herrn Prof. C. P. W. Zebitz für die Überlassung des Themas, seine Unterstützung und seine mir gewährte Freiheit bei der Bearbeitung.

Desweiteren bedanke ich mich bei Herrn Dr. Dickler für die Bereitstellung des Arbeitsplatzes an der Biologischen Bundesanstalt Dossenheim sowie verschiedener Geräte und der Unterstützung durch finanziellen Hilfen.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Bettina Jordan, die mir in den Anfängen meiner Arbeit eine große Hilfe war.

Weiterhin gilt mein Dank den Hilfskräften Elke Dünnhoff und Nicole Merkl, die mich tatkräftig unter anderem bei der Betreuung der Zuchten unterstützten.

Insbesondere danke ich Julia Kirchert, die mir bei der Durchführung zahlreicher Versuche geholfen hat.

Ferner möchte ich mich auch bei Claudia Theinert für ihre Hilfe bedanken.

Vielen herzlichen Dank an Pr. Dr. Koch und seine Arbeitsgruppe Pheromone an der Universität Kaiserslautern, die mir bei der Durchführung von Versuchen behilflich waren und mir einige ihrer Geräte zur Verfügung stellten. Die Arbeit und die Diskussionen haben mir viel Spaß gemacht.

Für die Bereitstellung von Material bin ich der BASF AG dankbar.

Mein Dank gilt auch den Gärtnern der Biologischen Bundesanstalt in Dossenheim, die mir bei vielen Arbeiten eine große Hilfe waren. In diesem Zusammenhang möchte ich mich bei allen Mitarbeitern an diesem Institut bedanken, es hat mir Spaß gemacht, dort zu arbeiten.

Schließlich danke ich allen, die diese Arbeit kritisch durchgesehen haben.

Weiterhin möchte ich mich bei der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung für die finanzielle Unterstützung in der ersten Zeit des Projektes bedanken.

Ferner bin ich der Universität Hohenheim dankbar, die mir nachfolgend durch ein Stipendium finanziell unter die Arme griff.

Lebenslauf

Name Christine Hapke

Geburtsdatum 09.06.1970

Geburtsort Singen

Schulausbildung

1976 -1980 Grundschule, Conradin-Kreutzer, Meßkirch

1980 - 1989 Gymnasium, Martin-Heidegger, Meßkirch

Abschluß: Allgemeine Hochschulreife

Studium

10/1990 - 04/1997 Agrarbiologie an der Universität Hohenheim

Abschluß als Diplom Agrar-Biologin

Seit 05/1997 Promotion an der Universität Hohenheim, Fachgebiet Angewandte Entomologie (extern an der Biologischen Bundesanstalt Dossenheim)

Berufstätigkeit

05/2000 - 07/2000 Kontrollen im Ökologischen Streuobstanbau (EWG-VO 2092/91) als freie Mitarbeiterin bei BCS Öko-Garantie GmbH, Nürnberg

Seit 01/2001 Kundenberaterin bei Dow AgroSciences

Praktika

03/1990 - 09/1990 Praktikum auf einem staatlich anerkannten landwirtschaftlichen Ausbildungsbetrieb

09/1994 - 02/1995 Praktikum beim Beratungsdienst Ökologischer Obstbau in Weinsberg

Christine Hapke

Erklärung:

Hiermit erkläre ich, daß ich die vorliegende Dissertation selbstständig angefertigt, nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und wörtlich oder inhaltlich übernommene Stellen als solche gekennzeichnet habe.

Christine Hapke