

**Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt
für Land- und Forstwirtschaft
Berlin-Dahlem**

Heft 198

November 1980



**Pheromone der vorratsschädlichen Motten
(Phycitinae, speziell Mehlmotte
Ephestia kühniella Zeller)
in der biologischen Schädlingsbekämpfung**

Bibliographie und Versuche

von

Heidi Bommer und Dr. Christoph Reichmuth

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,
Institut für Vorratsschutz, Berlin-Dahlem

Berlin 1980

Herausgegeben

*von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft
Berlin-Dahlem*

Kommissionsverlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
Lindenstraße 44-47, D-1000 Berlin 61

ISSN 0067-5849

ISBN 3-489-19800-X

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Bommer, Heidi:

Pheromone der vorratsschädlichen Motten (Phycitinae, speziell Mehlmotte *Ephestia kuehniella* Zeller) in der biologischen Schädlingsbekämpfung: Bibliogr. u. Versuche / von Heidi Bommer u. Christoph Reichmuth. Hrsg. von d. Biolog. Bundesanst. für Land- u. Forstwirtschaft Berlin-Dahlem. - Berlin, Hamburg: Parey, 1980.

(Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, H. 198)

ISBN 3-489-19800-x

Ne: Reichmuth, Christoph.

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funk- sendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Werden einzelne Vervielfältigungsstücke in dem nach § 54 Abs. 1 UrhG zulässigen Umfang für gewerbliche Zwecke hergestellt, ist an den Verlag die nach § 54 Abs. 2 UrhG zu zahlende Vergütung zu entrichten, die für jedes vervielfältigte Blatt 0,40 DM beträgt.

1980 Kommissionsverlag Paul Parey, Berlin und Hamburg, Lindenstraße 44-47, D-1000 Berlin 61, Printed in Germany by Arno Brynda GmbH, 1000 Berlin 62. Buchbinder: C.F. Walter, 1000 Berlin 61.

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|---|-------|
| 0. <u>Einleitung</u> | 5 |
| 1. <u>Pheromone bei Insekten</u> | 7 |
| 2. <u>Modelle der Pheromonanwendung gegen Schadinsekten</u> | 10 |
| 2.1 Historischer Rückblick | 11 |
| 2.2 Pheromonanwendung zur Prognose von Befall | 12 |
| 2.3 Pheromonanwendung zur direkten Bekämpfung | 14 |
| 2.3.1 Massenfang | 14 |
| 2.3.2 Desorientierungstechnik | 16 |
| 3. <u>Biologische Aspekte von Sexualpheromonen der Phycitinae</u> .. | 19 |
| 3.1 Pheromonproduktion und -abgabe | 19 |
| 3.1.1 Drüsenstruktur | 20 |
| 3.1.2 Freisetzung des Pheromons | 22 |
| 3.2 Pheromonwahrnehmung | 23 |
| 3.2.1 Bau und Funktion der Sensillen | 23 |
| 3.2.2 Mechanismus der Pheromonwahrnehmung | 25 |
| 3.2.2.1 Wechselwirkung zwischen Duftmolekül und Akzeptor | 26 |
| 3.2.2.2 Inaktivierung der Pheromonmoleküle | 26 |
| 3.2.3 Spezifität der Pheromonwahrnehmung | 27 |
| 3.3 Verhaltensreaktionen männlicher Phycitinae auf eine Pheromonquelle | 28 |
| 3.3.1 Hierarchie der Verhaltenssequenz | 28 |
| 3.3.2 Fernorientierung | 30 |
| 3.3.2.1 Physikalische Struktur der Duftfahne | 30 |
| 3.3.2.2 Orientierungsmechanismen | 31 |
| 3.3.3 Nahbereichsverhalten | 34 |
| 3.4 Beeinflussung der Pheromonkommunikation von Ephestia kühniella durch endogene und exogene Faktoren ... | 38 |
| 4. <u>Chemische Aspekte von Sexualpheromonen der Phycitinae</u> .. | 48 |
| 4.1 Isolierung und Strukturaufklärung von Pheromonen | 49 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 4.2 | Struktur von weiblichen Sexualpheromonen | 51 |
| 4.2.1 | Das weibliche Sexualpheromon der Mehlmotte | 54 |
| 4.3 | Multipheromonkomplex | 54 |
| 4.3.1 | Struktur-Wirkungs-Beziehungen der Pheromonkomponenten ... | 55 |
| 5. | <u>Die Anwendung von Pheromonen bei der Phycitinae-</u> <u>Bekämpfung</u> | 60 |
| 5.1 | Früherkennung und Lokalisierung von Phycitinae-Befall | 61 |
| 5.2 | Pheromonanwendung zur direkten Bekämpfung von Phycitinae-Befall | 63 |
| 5.2.1 | Massenfang | 63 |
| 5.2.2 | Desorientierungstechnik | 64 |
| 5.3 | Pheromonanwendung bei der integrierten Bekämpfung | 67 |
| 6. | <u>Experimenteller Teil: Anlockversuche mit</u> <u>männlichen Mehlmotten (<i>Ephestia kühniella</i>)</u> | 70 |
| 6.1 | Problemstellung | 70 |
| 6.2 | Material und Methoden | 71 |
| 6.3 | Vorversuche | 73 |
| 6.4 | Großraumversuch zur Bestimmung der Wiederfangrate von männlichen Mehlmotten in Abhängigkeit von der ZETA-Konzentration | 75 |
| 6.4.1 | Versuchsaufbau | 75 |
| 6.4.2 | Ergebnisse | 77 |
| 6.4.3 | Diskussion | 86 |
| 6.5 | Tageszeitliche Flugzeitbestimmung von männlichen Mehlmoten | 89 |
| 6.5.1 | Versuchsaufbau | 89 |
| 6.5.2 | Ergebnisse | 91 |
| 6.5.3 | Diskussion | 97 |
| 7. | <u>Zusammenfassende Diskussion und Ausblick</u> | 100 |
| 8. | <u>Summary</u> | 102 |
| 9. | <u>Danksagung</u> | 103 |
| 10. | <u>Literaturverzeichnis</u> | 104 |

0. Einleitung

Die Entstehung von Resistenz bei Insekten gegen chemische Schädlingsbekämpfungsmittel und die Gefährdung der Ökologie, wachsende Rohstoffknappheit sowie das verstärkte Umweltbewußtsein der Öffentlichkeit lenkt das Interesse auf die Erforschung und Anwendungsmöglichkeiten biologischer und biotechnischer Verfahren zur Schädlingsbekämpfung.

Die biotechnischen Verfahren nutzen natürliche Reaktionen der Schädlinge auf bestimmte physikalische (z. B. akustische und optische) oder chemische Reize (z. B. Pheromone) zweckentfremdet von ihrer natürlichen Funktion (FRANZ und KRIEG 1976). Ziel eines solchen Verfahrens ist in erster Linie nicht die Ausrottung der Schädlingspopulation, sondern eine Herabsetzung der Populationsdichte unter die wirtschaftliche Schadensschwelle.

In der vorliegenden Arbeit wird über Einsatzmöglichkeiten von Sexualpheromonen bei der Bekämpfung von vorratsschädlichen Motten, speziell von *Ephestia Kühniella* Z. (Mehlmotte) berichtet, sowie über die dieser Methode zugrunde liegenden biologisch wichtigen Voraussetzungen.

Von den Motten gehört *Ephestia elutella* Hbn. (Speichermotte) zu den häufigsten und gefährlichsten Schadinsekten an Getreide (RICHARDS and WALOFF 1946) und *Plodia interpunctella* Hbn. (Dörrobstmotte) zu den häufigsten Schädlingen an nuß-, mandel- und kakaohaltigen Waren (HAMLIN et al. 1931; LEHMENSICK and LIEBERS 1938; ZACHER 1950). In ähnlicher Weise wie die Speichermotte tritt an Getreide und Süßwaren auch *Ephestia cautella* Wlk. (Dattelmotte) auf, die aber wegen ihrer höheren Ansprüche an Wärme in unseren Breiten selten vorkommt (KNOCHE 1962). Die Mehlmotte gehört zu den häufigsten Schädlingen der Mahlprodukte und verursacht in getreideverarbeitenden Industrien erheblichen Schaden (FRICKHINGER 1918; BURKHARDT 1920; KUNKE 1939; BOLLOW 1958; HASSANEIN and KAMEL 1965). Diese vier sehr anpassungsfähigen Vorratsschädlinge leben mehr oder weniger polyphag. Sie gehören der Familie der Pyralidae (Zünsler), bzw. der Unterfamilie der Phycitinae an (HEINRICH 1956).

Ein starker Befall mit Schädlingen führt zur Erhöhung der Temperatur und

Feuchtigkeit des gelagerten Gutes, beeinträchtigt z. B. Geschmack und Backfähigkeit des Mehles, begünstigt Schimmelbefall und Vermilbung und ist somit auch eine hygienische Bedrohung der Ware (TANNERT 1968). Die wirtschaftliche Bedeutung von Mottenbefall besteht in Deutschland nicht so sehr im Verlust, der unmittelbar durch den Fraß der Larven entsteht. Den Hauptschaden verursachen die vor ihrer Verpuppung umherwandernden Larven durch Verspinnen der Mahlgänge und einer damit verbundenen Verklumpung des Mehles. Hier sei auf die Arbeit von HASE (1925) über die Gespinste und die Spinnfähigkeit der Mehlmottenlarven verwiesen. Die Verstopfung von Rohren und Sieben durch die Gespinste führt zu kurzfristigen Ausfällen der Betriebe und schließlich zu einer Verteuerung der Ware (FREEMAN 1977). Auftreten von Motten in Süßwarenprodukten führt zu stark rufschädigenden Reklamationen für die Herstellerfirmen.

Obwohl die Speicher-, Dörrobst- und Mehlmotte mittlerweile durch den Welthandel zu Kosmopoliten geworden sind, besteht weiterhin die Gefahr der Neueinschleppung von resistenten Schädlingsstämmen durch Importe, besonders da diese Motten-Arten nicht unter Quarantäne stehen (WOHLGEMUTH und REICHMUTH 1977). Die wichtigste Verbreitungsart der Vorratsschädlinge, die sich unter unseren Klimabedingungen kaum aktiv ausbreiten, besteht in der Verschleppung von Lager zu Lager. Die Ware wird auf dem Transport zum Verarbeitungsbetrieb oder Lager mehrmals umgeschlagen, wobei Transportmittel, Verpackungsmaterial und Lager verseucht werden können.

Die Behandlung der Vorratsgüter mit Insektenbekämpfungsmitteln ist trotz einiger Nachteile, wie z. B. der Resistenzbildung (ZETTLER et al. 1973; DYTE 1974; ATTIA 1977), der für Mensch und Tier schädlichen Rückstandsbildung auf den behandelten Produkten, verhältnismäßig hohen Kosten etc. immer noch die wirtschaftlichste Schädlingsbekämpfungsmethode und wird auch vorbeugend in einigen Fällen angewandt, wo ein Schädlingsbefall noch nicht feststeht.

Da schon einige vielversprechende Ergebnisse bei der Bekämpfung von Obstbau- und Forstschädlingen mit Pheromonen vorliegen (BONESS 1973; TRAMMEL

et al. 1974), erhofft man sich auch im Vorratsschutz mit Hilfe eines biotechnischen Pheromon-Verfahrens eine Verringerung der oben skizzierten Nachteile chemischer Schädlingsbekämpfungsmittel. Die Anwendung dieses Verfahrens wird dann ein Teil einer Palette von integrierten Verfahren bei der Entdeckung, Früherkennung, Bekämpfung und Erfolgskontrolle sein. Die Entwicklung des Einsatzes von Sexuallockstoffen bei der Bekämpfung von Vorratsschädlingen befindet sich noch in den Anfängen, da u. a. einige solchen Methoden zugrunde liegende Kenntnisse fehlen.

Es bleibt zu überprüfen, wie die Modelle der Pheromonanwendung gegen vorratsschädliche Insekten optimiert werden können und welchen Stellenwert der Einsatz von Sexualpheromonen bei der Bekämpfung von Vorratsschädlingen erlangen kann. Um einige dieser Fragen zu klären, wurden Laborversuche mit männlichen Mehlmotten unternommen. Einerseits wurde die Abhängigkeit der Wiederfangrate männlicher Mehlmotten von der Konzentration des Sexuallockstoffes bestimmt, andererseits die tageszeitliche Aktivität dieser Männchen.

Einen weiteren Schwerpunkt der Arbeit bildet die umfangreiche Bibliographie die an den Anfang gestellt wurde.

1. Pheromone bei Insekten

Nach TEMBROCK (1971) ist die chemische Kommunikation die ursprüngliche Form der Zeichenübertragung bei Lebewesen, da sie sich der Konstituenten bedienen kann, aus denen die Funktionsgefüge der Sender und Empfänger selbst aufgebaut sind. Bei den Insekten ist die chemische Kommunikation, d. h. der Geruchssinn, eine wichtige Komponente für die Orientierung und damit verbundenen biologischen Funktionen, wie das Aufsuchen des anderen Geschlechts zur Reproduktion.

KARLSON and LÜSCHER (1959) prägten erstmals die Bezeichnung "Pheromon". Der Name ist vom Griechischen 'pherein' = übertragen und 'horman' = erregen, anregen abgeleitet. Pheromone sind Stoffe

"... die von einem Individuum nach außen sezerniert werden, von einem zweiten Individuum der gleichen Art aufgenommen werden und dort eine spezifische Reaktion, z. B. ein bestimmtes Verhalten oder eine entwicklungs-

physiologische Determination auslösen. Das Prinzip der Wirkung kleinster Mengen gilt auch hier. Die Pheromone, Botenstoffe zwischen den Individuen, treten damit als gleichberechtigte Gruppe neben die Hormone, die Gamone und Termone." (KARLSON and LÜSCHER 1959).

In dieser Definition wurde weitgehende Artspezifität der Pheromone angenommen. Inzwischen ist jedoch bekannt, daß die meisten Pheromone aus mehreren strukturell unterschiedlichen Pheromonkomponenten aufgebaut sind und daß bei nah verwandten Arten (wie z. B. bei den Saturniiden, Noctuiden, Tortriciden und Phycitinen) die gleiche Hauptkomponente des Pheromonkomplexes vorkommt (JACOBSON 1972). Eine artspezifische Differenzierung erfolgt dann durch zusätzliche Stoffe.

Insektenpheromone wurden in unterschiedlicher Art und Weise klassifiziert: Nach der Art der Wahrnehmung, die auf nichtzellulärer Ebene, d. h. über (Sinnes-)Organe wirken, teilt man die Pheromone in oral und olfaktorisch (über den Geruchssinn) wirksame ein (KARLSON 1960). Je nach den Wirkstoffen kann die Reaktion eines Tieres auf Pheromone unterschiedlicher Natur sein: Eine unmittelbare Verhaltensantwort (Auslöseeffekt, Releaser), die nach Verschwinden des Signalstoffes aufhört, oder eine langanhaltende physiologische Änderung (Beladungseffekt, Primer) (WILSON and BOSSERT 1963).

Einige Jahre später wurden diese relativ einfachen Klassifikationen modifiziert: BUTLER (1967, 1970) unterteilte die Pheromone auf der Basis ihrer biologischen Funktion in Aggregations-, Sexual-, Alarm- und Markierungspheromone. DETHIER et al. (1960) definierten die Pheromone nach der Art des Verhaltens, die sie auslösen. Sie stellten folgende 6 Kategorien auf:

1. Arrestants - meist nur auf kürzeste Entfernung hin wahrnehmbare Stoffe, die ein in Bewegung befindliches Tier zum Anhalten oder zur Richtungsänderung auf die Duftstoffquelle veranlassen;
2. Locomotor Stimulants - Stoffe, die die Bewegungsgeschwindigkeit der Insekten erhöhen oder die die Anzahl der Richtungsänderungen herabsetzt;
3. Attractants (Lockstoffe) - Stoffe, die eine gerichtete Ortsbewegung zur Duftstoffquelle hin auslösen;

4. Repellents - Stoffe, die eine Fluchtbewegung von der Duftquelle weg auslösen;
5. Feeding bzw. Oviposition Stimulants - Stoffe, die den Fraß oder die Eiablage auslösen;
6. Deterrents - Stoffe, die den Fraß oder die Eiablage hemmen.

Die strikte Anwendung dieser Klassifikation beinhaltet einige Probleme, da ein und dieselbe chemische Substanz mehr als nur eine Verhaltensreaktion auslösen kann. Z. B. bewirkt ein Sexuallockstoff mehrere spezifische Verhaltensmuster bei einem Insekt als nur die reine Orientierung zu der Duftstoffquelle (Kapitel 3. 3). Weiterhin muß in die Lockwirkung eines Insekts zu einer entfernt liegenden Duftstoffquelle die Wahrnehmung der Windrichtung, optischer Komponenten der Umgebung sowie des Duftstoffgradienten mit einbezogen werden. Trotz dieser Einschränkungen hat sich die letzt genannte Klassifikation durchgesetzt.

Sexualpheromone bewirken die Zusammenführung der Geschlechter einer Art zwecks Kopulation und Reproduktion (JACOBSON 1972). Charakteristisch für diese Substanzklasse ist ihre spezifische Wirkung in kleinsten Mengen auf den Zielorganismus. Für die Phycitinae z. B. wird eine wirksame Menge von 1 bis 5 ng pro Weibchen abgegeben (KUWAHARA and CASIDA 1973). Im allgemeinen wirkt die von den Weibchen in kleinen Hinterleibsdrüsen produzierte Substanz als Lockstoff, wohingegen die von den männlichen Motten produzierten Stoffe als Aphrodisiaka tätig sind, um die Weibchen paarungswillig zu stimmen (BIRCH 1974). Die weiblichen Sexualpheromone sind wegen ihrer Effektivität über eine größere Entfernung den männlichen Pheromonen für ihre Anwendung in der Schädlingsbekämpfung vorzuziehen.

Die Männchen nehmen das von den Weibchen abgegebene Pheromon mit Hilfe ihrer Antennen wahr, werden stimuliert und nähern sich in einem Flug gegen die Richtung der Luftströmung der Duftstoffquelle. Die hohe Duftstoffkonzentration in der Nähe der Weibchen zusammen mit einer Reihe anderer Nahbereichsstimuli regt dann das Paarungsverhalten an.

Die Artspezifität der Pheromonkommunikation als ein Isolationsmechanismus kann

- auf chemischer Basis (verschiedene Pheromonkomponenten, verschiedene Mischungsverhältnisse der gleichen Komponenten, unterschiedliches Isomer der gleichen Komponente)(Kapitel 4 . 3. 1) und/oder
- auf zeitlicher Basis (Pheromonabgabe oder Reaktion mit spezifischen Tages- und Jahreszeitrhythmen) (Kapitel 3. 4) sowie durch
- räumliche Trennung

erreicht werden.

Diese Spezifität ist für den Einsatz von Pheromonen in der biologischen Schädlingsbekämpfung von Vorteil. Im Gegensatz zu breitenwirksamen Insektiziden sind die Duftstoffe nur für die Zielspezies wirksam und nicht für andere, im gleichen Biotop lebende Nützlinge oder nicht schädigende Insekten. Sollten mehrere Arten eines Biotops zugleich schädlich sein, so wird gleichzeitige Anwendung mehrerer artspezifischer Pheromonsysteme notwendig oder - meist aus ökonomischen Erwägungen - der Einsatz eines breitenwirksamen Insektizids.

Ein weiteres wichtiges Charakteristikum von Sexualpheromonen ist, daß sie keine toxischen Rückstände in der Umgebung hinterlassen (BEROZA et al. 1975), obwohl bisher noch keine Untersuchungsergebnisse vorliegen, ob sie möglicherweise in hohen Konzentrationen krebserzeugend sind.

2. Modelle der Pheromonanwendung gegen Schadinsekten

Ob eine Insektenpopulation schädlich ist, wird vom wirtschaftlichen Interesse des Menschen bestimmt. Erreicht der durch eine Schädlingspopulation angerichtete Schaden einen Wert, der höher liegt als die Kosten für seine Bekämpfung, dann ist die wirtschaftliche Schadensschwelle, von der ab vom ökonomischen Gesichtspunkt aus Bekämpfungsmaßnahmen gerechtfertigt erscheinen, überschritten (STEINER 1968). Die wirtschaftliche Schadensschwelle liegt im allgemeinen oberhalb einer sichtbaren Schädigung. Jede Bekämpfungsmaßnahme versucht, die Populationsdichte unter diese kritische Grenze zu drücken bzw. sie dort zu halten.

Da es sich bei Vorräten oft um hochwertige, meist örtlich konzentrierte Güter handelt, kann die durch schädliche Insekten verursachte Wertminderung in kurzer Zeit beträchtlich sein. Derartige Insekten finden in Vorräten oft über relativ lange Zeiträume ein gleichmäßiges, dem Lebensoptimum nahekommendes Kleinklima und Nahrungsangebot vor (ZACHER und LANGE 1964).

2.1 Historischer Rückblick

Daß die Weibchen vieler Lepidopteren-Arten Duftstoffe zur Anlockung der Männchen aussenden, war aufgrund entsprechender Beobachtungen seit langem bekannt, und auch an Versuchen, diesen Effekt nutzbar zu machen, fehlte es nicht. Im 17. Jhd. schon benutzten europäische Schmetterlingsliebhaber gefangene Weibchen, um die entsprechenden Männchen für ihre Schmetterlingssammlung anzulocken (nach: PHILLIPS 1976). Mit den ersten, gegen *Lymantria dispar* (Schwammspinner) gerichteten Versuchen, den Sexuallockstoff zur Bekämpfung einzusetzen, wurde nach (SCHEDEL (1936) bereits 1893 in Neuengland begonnen. Trotz Verwendung zahlreicher Fallen, die im wesentlichen aus einem Behälter für Weibchen und einer mit zähem Leim bestrichenen Auffangfläche bestanden, waren die Versuchsergebnisse keineswegs zufriedenstellend.

Erst mit der Strukturaufklärung und Synthese des später 'Bombykol' benannten Sexuallockstoffes von *Bombyx mori* (Seidenspinner), begann die Ära der synthetischen Sexualpheromone (BUTENANDT et al. 1959). Erstmals stand ein Lockstoff rein zur Verfügung, und wenn auch der Seidenspinner kein Schädling ist, so erlaubte das 'Bombykol' erste quantitative Untersuchungen mit derartigen Wirkstoffen.

Wenig später erschienen Mitteilungen über das Sexualpheromon des wirtschaftlich bedeutenden Schädlings *Lymantria dispar* (Schwammspinner) (JACOBSON et al. 1960). Hiermit zeichneten sich erste Möglichkeiten ab, die Anwendung von synthetischen Pheromonen als Hilfsmittel in der Schädlingsbekämpfung zu erproben. Das synthetische Sexualpheromon des Schwammspinners 'Gyptol' und 'Gyplure' zeigte im Gegensatz zu unbegatteten Weibchen und Benzolextrakten aus deren Abdomenspitzen weder im Laborversuch noch im Freiland erregende oder anlockende Effekte. Erst nach der Neusynthese des Lockstoffes durch

BIERL et al. (1970) und BEROZA et al. (1971) waren weitere Fortschritte möglich. Das von ihnen beschriebene 'Disparlure' erwies sich in Labortests sowie in Anlockversuchen im Freiland als zufriedenstellend.

Während der letzten 10 Jahre ist die chemische Struktur von Sexualpheromonen von mehr als 50 Mottenarten (TAMAKI 1977) aufgeklärt worden. Die Mehrzahl dieser Arten sind von ökonomischer Wichtigkeit. Das Interesse an der Anwendung von pheromonbeköderten Fallen in der Schädlingsbekämpfung wuchs in den letzten Jahren schnell an. Ein wichtiger Grund neben den oben aufgeführten ist die einfache Konstruktion und Handhabung solcher Fallen.

Es gibt zwei grundlegende Strategien, Pheromone in der biologischen Schädlingsbekämpfung einzusetzen:

- zur Prognose von Befall vor, während und nach der Bekämpfung
- zur direkten Bekämpfung.

2.2 Pheromonanwendung zur Prognose von Befall

Die Strategie des Einsatzes von Pheromonen zur Prognose von Mottenbefall basiert auf der Stimulierung der Männchen und dem folgenden Fehlleiten ihres natürlichen Orientierungs- bzw. Paarungsverhaltens. Die Motten werden zu den künstlichen Duftstoffquellen (z. B. zu pheromonbeköderten Klebefallen) gelockt, die mit kleinsten Mengen der synthetisch zugänglichen Duftstoffe - ein tausendstel bis ein hundertmillionstel Gramm - beködert sind. Mit Hilfe dieser Lockfallen und deren Auswertung gewinnt man Anhaltspunkte über die relative Dichte und die Falterentwicklung der Schädlingspopulation. In der gleichen Weise läßt sich die Ausbreitung von schädlichen Motten, z. B. in Vorratslagern und Lebensmittelbetrieben überwachen.

Zur Früherkennung und Lokalisierung von Mottenbefall werden Fallen (z. B. handelsübliche Fliegenfänger oder Trapezfallen) (COPPEL and MERTINS 1977), die mit dem synthetischen Pheromon beködert sind, innerhalb des betreffenden Lagers oder Betriebes ausgebracht. Ist die Identifikation und Synthese des insektenspezifischen Pheromons noch nicht gelungen, können Weibchen in Käfigen als Köder an den Fallen angebracht werden, obwohl damit einige Nachteile verbunden sind. Die lebenden Weibchen geben ihr Pheromon meist nur während einer be-

stimmten Tageszeit ab (s. Kapitel 3.4), wohingegen die synthetischen Pheromone aus z. B. Polyäthylenkapseln kontinuierlich evaporieren. Es ist von Bedeutung, erste "Anzeiger" für einen Schädlingsbefall früh festzustellen; werden eingefangene Motten registriert, so kann an den entsprechenden Stellen (Herden) gegebenenfalls in Verbindung mit Insektiziden und/oder Pathogenen gezielt bekämpft werden. Auf diese Art und Weise kann der Einsatz von Insektiziden, mit denen sonst z. B. ein Lager behandelt wird, verringert werden (LEVINSON 1974, 1977).

Um Einblick in die Populationsdynamik von schädlichen Motten zu erhalten, werden Fallen mit den insektenspezifischen Lockstoffen beködert, im Lager ausgehängt und ihre Fangzahlen über einen längeren Zeitraum (2-3 Falterpopulationen umfassend) registriert. Ergebnisse dieser Art können den Zeitpunkt vorherzusagen, zu dem direkte Bekämpfungsmaßnahmen günstig sind, d. h. zum Beispiel wann gegen Insektizide nicht sehr widerstandsfähige Eier und Junglarven vorhanden sind (REICHMUTH et al. 1979).

Die Anwendung von pheromonbeköderten Fallen zur Einschätzung der Befallsgröße birgt immer noch eine Menge Probleme, da die Anzahl der gefangenen Motten mit der tatsächlich vorhandenen Populationsdichte der Adulten, mit der Anzahl der Larven der folgenden Generation, oder mit dem Ausmaß des Schadens nicht ohne weiteres in Beziehung zu setzen ist (MINKS 1975). Die Köderwirkung einer Falle wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst, z. B. von der Populationsdichte der Falter, der Pheromonkonzentration im Köder, der Art der Pheromonmischung, von ökologischen und physiologischen Gegebenheiten. Bei der Pheromonanwendung zur Prognose sowie zur Bekämpfung von Mottenbefall ist das Fehlen solcher Standardwerte für jeden Feldversuch noch ein essentielles Problem.

Zur Bestimmung der Schadensschwelle und damit zur Festlegung einer Bekämpfung gegen Obstschädlinge und Forstschädlinge wären Kenntnisse der oben genannten Beziehungen von Vorteil. Hier sei nur auf einige Arbeiten verwiesen, die dieses Problem mit unterschiedlichen Methoden zu lösen versuchen: RIEDL and CROFT 1974; MINKS and de JONG 1975; MINKS 1977. Da es sich bei den Phycitinae aber um Vorratsschädlinge handelt und bei Nahrungsmitteln, die für den menschlichen Konsum bestimmt sind, aus hygienischen Gründen kein Befall tole-

riert werden darf, macht eine gefangene Motte in Lebensmittelbetrieben bereits Bekämpfungsmaßnahmen notwendig (BURKHOLDER 1974). In solchen Fällen besteht deshalb nicht die Notwendigkeit, aus der Anzahl der mit pheromonbeköderten Fallen gefangenen Motten auf die Populationsdichte der Adulten, Larven oder auf den zu erwartenden Schaden schließen zu müssen, um pro oder kontra Bekämpfungsmaßnahmen entscheiden zu können.

Zudem ist diese Methode geeignet, während und nach Bekämpfungsmaßnahmen als Erfolgsmonitor zu dienen, z. B. bei der Anwendung von DDVP-abgebenden Strips zur Speichermottenbekämpfung im Getreidelager.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Der Einsatz von pheromonbeköderten Fallen im Vorratsschutz dient der frühzeitigen Erkennung von Schädlingsbefall und der Überwachung der Populationsdynamik der Schädlinge. Dadurch wird die Wahl des Zeitpunktes von Bekämpfungsmaßnahmen erleichtert und die Anzahl der einzelnen Bekämpfungsaktionen kann begrenzt werden. Unerwünschte Nebenwirkungen der Insektizidanwendung, wie die enorme Anpassungsfähigkeit und Resistenzbildung der Schadinsekten gegen Insektizide und Juvenoide, die für Mensch und Tier nachteiligen schädlichen Rückstandsbildungen auf den behandelten Produkten, die Belastung der Umwelt und die hohen Kosten können so in Grenzen gehalten werden. Der Bekämpfungserfolg kann kontrolliert werden.

2.3 Pheromonanwendung zur direkten Bekämpfung

Zwei Hauptstrategien haben sich für den Einsatz von Pheromonen in der Schädlingsbekämpfung herausgebildet (TETTE 1974; LEVINSON 1974; BURKHOLDER 1976):

- der Massenfang und
- die Desorientierungstechnik.

2.3.1 Massenfang

Ist die intraspezifische Insektenkommunikation chemisch aufgeklärt, so kann man die Männchen einer Falterpopulation, von künstlichen Pheromonquellen stimuliert, zu bestimmten Stellen (Fallen) locken, wo sie gefangen und getötet werden. Sehr hohe Fangzahlen (Massenfang) stellen die Voraussetzung für eine

weitgehende Verhinderung der Kopulation und damit Eindämmung der Vermehrung der Art dar: Das Ziel ist eine drastische Reduzierung der Populationsdichte.

Obwohl das Prinzip des Anlockverfahrens sehr einfach scheint, ist die Praxis recht schwierig. Das Pheromon kann nicht einfach nur in die Umgebung abgegeben werden, sondern es muß in der Art und Weise von einem Köder evaporieren können, daß es einerseits die weiblichen Motten in ihrer Anlockwirkung überbietet, aber andererseits nicht zur Desorientierung der Männchen führt.

Das Anlockverfahren steht und fällt mit der Grundforderung, einen sehr hohen Prozentsatz der Männchen frühzeitig, d. h. vor Kopulation und Reproduktion, auszuschalten. Diese Forderung ist auch deshalb schwer zu erfüllen, da die Männchen meist zur mehrfachen Begattung fähig sind und so ihre weggefangenen Art- und Geschlechtsgenossen ersetzen können. Dazu muß sich der zu schützende Raum während der Aktivitätsphase der weiblichen und männlichen Motten dauernd und annähernd vollständig im Einzugsbereich der Pheromone befinden und die Masse der anfliegenden Falter muß umgehend abgefangen werden. Hierfür ist die Aufklärung und Berücksichtigung des Anflugverhaltens unerlässlich.

Im Gegensatz zum Prinzip der Früherkennung und Lokalisierung von Mottenbefall müssen bei den Bemühungen um den Gebrauch von Pheromonen als Mittel zur Manipulation von Schädlingspopulationen die Fallenbedingungen optimiert werden, da ungefähr 95% der Männchen pro Generation ausgeschaltet werden müssen, um den Schaden in den folgenden Jahren vergleichbar niedrig zu halten (SHOREY 1970). Dies gelingt nach den meisten bisher vorliegenden Erfahrungen nur, wenn die Konkurrenz durch gleichzeitig aktive Weibchen gering ist, also nur bei schwachem bis mäßigem Befall (ROELOFS et al. 1970; BEROZA and KNIPLING 1972; SOWER and WHITMER 1977), und wenn andere Orientierungsmechanismen nicht an die Stelle der Partnerfindung auf chemischer Basis treten können.

Um theoretisch den Effekt hoher Fallenfänge von Schadinsekten auf das Reproduktionspotential einer Population abschätzen zu können, entwickelten KNIPLING and McGUIRE (1966) ein Populationsmodell, welches ROELOFS et al. (1970) für die Bekämpfung des Blattrollwicklers und BEROZA and KNIPLING (1972)

für die des Schwammspinners anwandten. Da für die Phycitinae entsprechende Modelle noch nicht entwickelt wurden, sei hier nur auf die oben angegebenen Arbeiten verwiesen.

Um zur Einschätzung der Attraktivität eines synthetischen Lockstoffes auf männliche Motten zu gelangen, vergleicht man die Fangzahlen der künstlichen Pheromonquellen mit denen, die ein unbefruchtetes Weibchen hervorruft. Eine andere Möglichkeit bietet der Vergleich der Fallenfänge von synthetisch-beköderten zu unbeköderten Fallen. Eine präzise Einschätzung der Attraktivität eines synthetischen Pheromons relativ zu dem des natürlichen Organismus verlangt eine detaillierte Kenntnis der natürlichen Periodizität der männlichen Anziehung und des weiblichen Reizes (ROELOFS and CARDE 1977). Die tageszeitliche Flugzeit von männlichen Mehlmotten soll daher experimentell bestimmt werden (Kapitel 6.5).

2.3.2 Desorientierungstechnik

Die zweite Strategie der Pheromonanwendung basiert auf der Unterbrechung der chemischen Kommunikation zwischen den beiden Geschlechtern (Desorientierung). Das Rezeptor-System der männlichen Motten muß dermaßen mit Pheromonen überladen werden, daß sie die natürlichen Signale der Weibchen nicht wahrnehmen können: Das Ziel ist die Hemmung des Populationsaufbaus. Dieser Unterbrechung der Paarungskommunikation liegen 3 Phänomene (Adaptation, Gewöhnung und Konfusion) zugrunde, deren relative Wichtigkeit noch nicht bekannt ist (CAMPION 1976). Andere Orientierungsmechanismen, wie z. B. die optische Orientierung, sollten ausgeschaltet werden.

Nachdem die Männchen über eine gewisse Zeitspanne einer hohen Pheromonkonzentration ausgesetzt waren, bewirkt die sensorische Adaptation der olfaktorischen Neuronen auf ihren Antennen eine reduzierte Bereitschaft, auf ein Weibchen oder eine synthetische Lockstoffquelle zu reagieren. Die Reizschwelle wird angehoben und die Neuronen beenden die Weiterleitung von Aktionspotentialen oder setzen sie herab. Der Verlust der Pheromonwahrnehmung durch sensorische Adaptation der Lockstoffrezeptoren der Männchen ist ein vergängliches Phänomen; die ursprüngliche olfaktorische Sensitivität wird nach Entfernung des Stimulus

innerhalb weniger Sekunden wieder hergestellt (SCHNEIDER 1969; PAYNE 1974).

Das zweite Phänomen, welches die Erwidlungsbereitschaft der Männchen durch Gewöhnung an die permanente Einwirkung des Duftreizes herabsetzt und in einer entsprechenden Anhebung der Reizschwelle resultiert, hat einen länger anhaltenden Effekt als die Adaptation. Quantitative Untersuchungen führen minuten- oder stundenlange Auswirkungen an (TRAYNIER 1970b; SOWER et al. 1973). Die olfaktorische Gewöhnung scheint eine Hemmung einer oder mehrerer Stellen im Nervensystem der Männchen hervorzurufen. Die Gewöhnungsgeschwindigkeit der Reaktion männlicher Motten auf das Pheromon kann von der Pheromonkonzentration und der Zeitspanne der Pheromonwahrnehmung vor der Reaktion abhängen (BARTELL 1977).

Sensorische Adaptation und Gewöhnung an eine hohe Pheromonkonzentration führen zur Konfusion der Männchen. Sie sind unfähig, die geringe Pheromonmenge, die von Weibchen abgegeben wird, zu lokalisieren, bzw. irgendeine Pheromonschwelle wahrzunehmen (CAMPION 1976).

Ebenso wie die relative Wirksamkeit des Anlockverfahrens mit der Zunahme des Befalls abnimmt, ist der Einfluß jeder der drei Phänomene der Desorientierungstechnik von der Populationsdichte der Falter abhängig (Kap. 5.2.2).

Um den Desorientierungseffekt auszunutzen werden entweder zahlreiche Duftstoffträger benötigt, die in dem befallenen Raum versprüht oder ausgestreut werden, oder starke Pheromonquellen in geringerer Zahl bei gleichmäßiger Verteilung. In beiden Fällen sind Formulierungen erforderlich, die eine möglichst gleichbleibende Abgabe des Duftstoffes über längere Zeit gewährleisten. Bei den Arbeiten zur Realisierung dieses Konzepts zeigten sich durch den möglichen Verzicht auf Fallen einige Vorteile gegenüber dem Massenfang.

Ebenso wie hohe Konzentrationen eines Sexuallockstoffes vermögen Pheromoninhibitoren die Paarungskommunikation der Insekten zu unterbrechen (ROELOFS and COMEAU 1971). Stoffe mit derartigen Eigenschaften sind für eine Anzahl von Arten bekannt, und bei Zugabe in Fallen unterbinden sie auch den Anflug auf die darin befindlichen Weibchen oder synthetischen Sexualpheromone. Über die Funktion von Pheromoninhibitoren, die z. T. als Komponenten des natürlichen Pheromonkomplexes vorkommen, bestehen erst einige Hypothesen.

Sie wirken:

- als Repellent nach der Paarung (CAMPION 1976),
- zur Artisolierung, da einige nahverwandte Arten auf die gleiche Hauptkomponente des Pheromonkomplexes reagieren (ROELOFS and COMEAU 1971; ROELOFS and CARDE 1974; TAMAKI and HOMA 1976),
- als chemische Vorstufe des Lockstoffes (KUWAHARA and CASIDA 1973).

Es ist nicht leicht, den Effekt, den die Desorientierungstechnik auf eine Mottenpopulation ausübt, abzuschätzen. In einer Studie wurde als einziges Kriterium für den Erfolg die reduzierte Anzahl der gefangenen Motten an den pheromonbeköderten Klebefallen genommen (BEROZA and KNIPLING 1972). Jedoch zeigt eine reduzierte Wiederfangrate nicht notwendigerweise eine reduzierte Kopulationshäufigkeit an. Eine exaktere Methode zur Bestimmung der Paarungshäufigkeit bzw. ihrer Reduzierung bietet die Untersuchung von Weibchen auf Spermatophoren, was aber im Freiland auf einige Schwierigkeiten stößt.

Die relativ hohe Lockstoffmenge, die für die Überschwemmung eines Lagers notwendig ist, kann einige Probleme mit sich bringen. Die Pheromonmoleküle können auf den gelagerten Produkten adsorbieren. Nachdem diese die Speicher verlassen und in die Verkaufskette gelangt sind, vermögen sie neue Motten anzulocken (LEVINSON 1974; BURKHOLDER 1974). Aus dem oben gesagten, sowie aus ökonomischen Gründen kann der Einsatz von Inhibitoren (man braucht nur kleine Mengen) zur Kommunikationsunterbrechung der hohen Konzentration des Sexuallockstoffes vorgezogen werden (TETTE 1974).

Ein allgemeines Problem bei der Anwendung von Pheromonen in der Schädlingsbekämpfung kann sein, daß die Insekten alternative Kommunikationsmechanismen annehmen. CARDE (1976) postuliert "Resistenzbildung" von Insekten gegenüber Pheromonen, wenn diese langfristig als Bekämpfungsmittel eingesetzt werden. Der Massenfang kann einen hohen Selektionsdruck auf eine Insektenpopulation ausüben. Bei Arten, die mehrere Pheromonkomponenten besitzen, kann die Verwendung des "natürlichen" Pheromongemisches in Fallen Weibchen herausselektionieren, die ein anderes Mischungsverhältnis der Pheromonkomponenten abgeben und Männchen, die bevorzugt auf dieses Mischungsverhältnis reagieren (CARDE 1976). Ob die Desorientierungstechnik einen Selektionsdruck ausübt,

ist zur Zeit noch schwierig zu klären. Ähnliche Mechanismen wie beim Massenfang werden vermutet (CARDE 1976). Obwohl die oben genannten Mechanismen möglich erscheinen, sind bisher noch keine Resistenzentwicklungen von Insekten gegenüber Pheromonen beobachtet worden.

Wie diese wenigen hier angeschnittenen Fragen deutlich zeigen, sind Aktionen, die sich auf das Verhalten der zu bekämpfenden Arten stützen, ihrer Natur nach komplexer als solche, die auf eine unmittelbare Abtötung (durch Insektizide) abzielen.

3. Biologische Aspekte von Sexualpheromonen der Phycitinae

Obwohl die Pheromonkommunikation auf den ersten Blick nur die einfache Abgabe eines chemischen Stimulus vom Weibchen und eine mehr oder weniger stereotype Erwiderng auf den Stimulus von dem wahrnehmenden Männchen beinhalten mag, erscheint sie nach detaillierten Studien viel komplexer. Die Art und Weise der Pheromonproduktion und die Abgabe dieses Signals und die Art der Erwiderng darauf haben sich dahingehend entwickelt, daß die Kommunikation zu der richtigen Zeit und unter den richtigen Umständen auftritt, um das Überleben und die größte Reproduktionsrate der kommunizierenden Individuen zu sichern.

Kenntnisse dieser komplexen Verhaltenssequenz sowie die Erforschung der physiologischen Mechanismen, die dem Verhalten zugrunde liegen, sind Voraussetzung, um Laborversuche unter annähernd "natürlichen" Bedingungen durchzuführen und um Bekämpfungsmaßnahmen mit Pheromonen optimieren zu können.

3.1 Pheromonproduktion und -abgabe

Geschlechtsreife Weibchen der Ephestia-Arten und von Plodia interpunctella beginnen mit der Anlockung ('calling'), indem sie mit zusammengelegten Flügeln dasitzen und die Spitze des Abdomens rückwärts über den Körper zwischen den Flügeln hindurchbiegen. Während dieser Typischen 'calling'-Position werden die apikalen Abdominalsegmente abwechselnd ausgestreckt und zurückgezogen, so daß die pheromonproduzierende Drüse (Kapitel 3.1.1) weit offengelegt ist und der Duftstoff abgegeben werden kann (Kapitel 3.1.2).

Obwohl in vielen Fällen die pheromonproduzierenden Drüsen in Einzelheiten

beschrieben wurden, ist immer noch der Ort und der Mechanismus der Biosynthese von Sexualpheromonen innerhalb dieser Drüsen unbekannt (WEATHERSTONE and PERCY 1977). Werden die unterschiedlichen Pheromonkomponenten an einem Ort der Drüse produziert oder gehen sie chemisch auseinander hervor? Wie wird die Pheromonabgabe gesteuert? Weitere Kenntnisse der Drüsenstruktur könnten Antworten auf jene immer noch unbeantworteten Fragen geben.

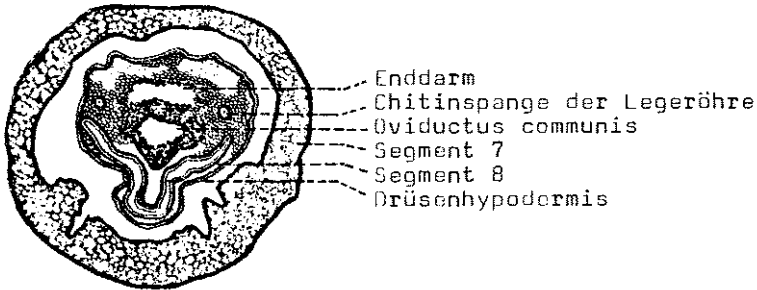
3.1.1 Drüsenstruktur

Um denjenigen Körperteil festzustellen, von dem der Duftstoff ausgeschieden wird, zerschnitt BARTH (1937) den Körper weiblicher *Plodia interpunctella*. Kopf, Thorax, Flügel und vordere Abdomenhälfte vermögen die Männchen nicht zu erregen. Nur die Abdomenspitze, d. h. das letzte beschuppte Segment (7. Segment) mit der Legeröhre, die aus den beiden letzten Abdominalsegmenten (8. und 9. Segment) besteht und fernrohrartig in das 7. Segment geschoben ist, vermochte die männlichen Motten in Erregung zu versetzen.

Mikroskopische Untersuchungen ergaben, daß sich bei Weibchen von *Ephestia kühniella* und *Plodia interpunctella* eine pheromonproduzierende Drüse befindet, die aus einem Teil der Hypodermis der Intersegmentalmembran zwischen dem 8. und 9. Segment hervorgegangen ist. Sie stellt lediglich eine Modifikation eines Teils der Intersegmentalmembran-Hypodermis dar, die Drüsenfunktion übernommen hat (Abb. 1, S.21 und Abb. 2, S.21). Das Vorhandensein solcher oben beschriebenen pheromonproduzierender Drüsen wurde bei vielen Lepidopteren-Familien, z. B. Noctuiden, Tortriciden und Phycitinen nachgewiesen (FATZINGER 1972).

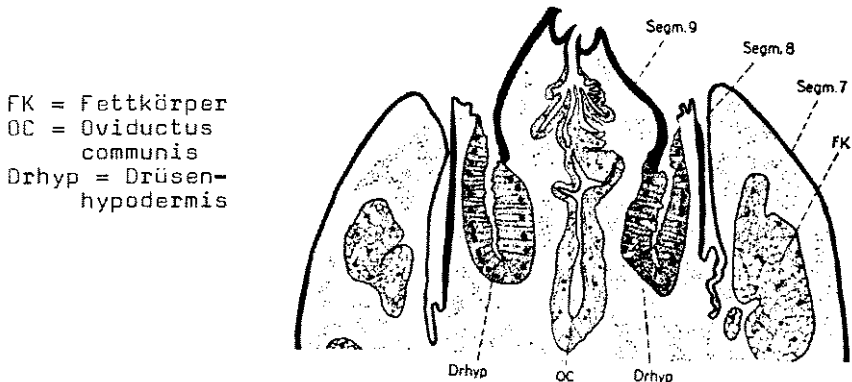
Die Intersegmentalmembran zwischen dem 8. und 9. Segment ist besonders ventral außerordentlich lang und erscheint wie ein geschlossener Sack (Abb. 2, S. 21), sodaß dieser eventuell als Vorläufer der 'glandular odoriferae', welcher bei *Ephestia cautella* ausgebildet ist, angesehen werden kann (DICKINS 1936). Ebenso ist die Intersegmentalmembran zwischen dem 7. und 8. Segment verlängert. Hierdurch wird es ermöglicht, daß die Legeröhre vollkommen in das 7. Segment eingezogen werden kann (Abb. 2, Segment 8 und 9).

Abb. 1: Querschnitt durch das Abdomen von *Ephestia künniella* Weibchen.



aus: DICKINS (1936)

Abb. 2: Frontalschnitt durch das Abdomen von *Plodia interpunctella* Weibchen



aus: BARTH (1937)

Für 2 Tage alte *Plodia interpunctella* wurde ein Anteil an Sexualpheromon von 94 % in den Intersegmentalmembranen zwischen den Abdomensegmenten 8 und 9 angegeben, wohingegen die Abdomensegmente selbst nur 4,4 % bzw. 1,6 % Sexualpheromon enthalten (SMITHWICK and BRADY 1977). Der geringe Sexualpheromongehalt der letzten beiden Abdomensegmente ist wahrscheinlich auf Kontamination der Kutikulaoberfläche während des rhythmischen Ausstülpens

und Zurückziehens der Legeröhre zurückzuführen.

Die Drüse ist beschränkt auf den ventralen Teil der Intersegmentalmembran und nur der Teil der Membranhypodermis ist drüsig, der dem 9. Segment genähert liegt. Die Membranhypodermis wird am Drüsenfeld um ein Vielfaches dicker.

Die säulenartigen Epithelzellen sind in die Kategorie der einfachen Drüsenfalten einzuordnen, welche bei allen Phycitinae in ringartigen Drüsen angeordnet sind (PERCY and WEATHERSTONE 1971). In den Drüsenzellen findet man große Mitochondrien, agranuläres endoplasmatisches Retikulum, welches Lipidsynthese andeutet. In den Zellen von *Trichoplusia ni* und *Bombyx mori* findet man eine große Zahl von Lipidvakuolen, während sie bei den Phycitinae nur bei *Ephestia cautella* in dezimierter Anzahl gefunden wurden (WEATHERSTONE and PERCY 1968).

Es gibt zwei Grundtypen von Drüsenzellen: Jene, die mit kutikulären Kanälen verbunden sind und die, die sekretorische Zellen mit der Außenwelt verbinden und jene, die mit ihren epikutikulären Filamenten die innere Kutikulaschicht durchdringen (PERCY and WEATHERSTONE 1974). Die Kutikula der Drüsenzellen ist sehr dünn (ungefähr 1 μ) im Gegensatz zu der sonst dicken Kutikula der Sternite und Membranen (BARTH 1937).

3.1.2 Freisetzung des Pheromons

Befinden sich die Weibchen der Phycitinae-Arten in 'calling'-Position, so wird die Legeröhre rhythmisch ausgestreckt und wieder eingezogen, wobei die Intersegmentalmembran der Legeröhre geglättet und wieder eingefaltet wird. Gleichzeitig kommt der Raum der eingeschlagenen, drüsigen Intersegmentalfalte, der in Ruhe fest verschlossen ist, mit der Außenwelt in Berührung. Bei der Ausscheidung des Sekrets muß die Flüssigkeit entweder durch die dünne Kutikula des Drüsenfeldes diffundieren oder sie tritt durch die feinen Poren in die Kutikula aus.

Beim Ausstrecken der Legeröhre, das nicht durch Muskelarbeit, sondern durch Druck der Leibeshöhlenflüssigkeit bewerkstelligt wird, tritt eine Dehnung der Drüsenkutikula und eine Erweiterung der Poren ein; außerdem wird auf die

Zellen der Drüsen ein Druck ausgeübt. Derselbe Druck wirkt auch beim aktiven Einziehen der Röhre auf die Zellen. Diese Faktoren unterstützen den Austritt des Sekrets. Das auf die Kutikula ausgetretene Sekret verdampft und wird durch Flügelschlagen der Weibchen verbreitet.

3.2 Pheromonwahrnehmung

Einen ersten Hinweis, daß die Antennen der männlichen Insekten die Orte der Duftstoffwahrnehmung sind, zeigte schon BARTH (1937) im Verhaltenstest mit männlichen *Plodia interpunctella*. Eine Antennenamputation hob die Reaktion der Männchen auf den Duftstoff auf.

Über den Mechanismus der Wechselwirkung eines Pheromonmoleküls mit einem Akzeptormolekül der erregbaren Rezeptormembran sowie über andere Prozesse, die dem Transport und der Inaktivierung der erregenden Pheromonmoleküle dienen, existieren bisher nur hypothetische Aussagen. Die meisten Untersuchungen unter diesen Fragestellungen wurden an *Bombyx mori* durchgeführt. Die Synthese des Sexuallockstoffes sowie neuere Methoden (EAG, Anwendung von hochradioaktiv markiertem Bombykol-³H-Bombykol-) brachten weitere Einsichten in den Transduktionsprozeß.

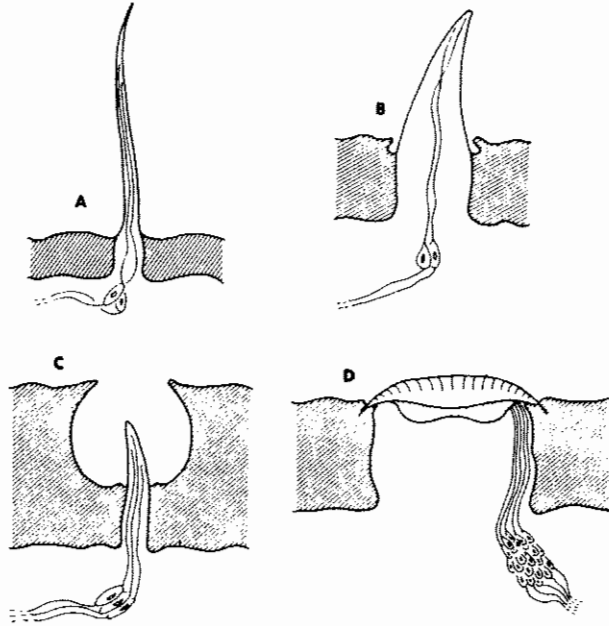
3.2.1 Bau und Funktion der Sensillen

Die Antennen der Insekten tragen die für die Geruchsrezeptoren verantwortlichen Sensillen. Diese chemorezeptorischen Sinnesorgane sind Differenzierungen der Epithelzellen (SCHNEIDER 1964). Bei den Lepidopteren werden 4 verschiedene Typen von Geruchssensillen (Abb. 3) unterschieden, wobei die auf ein Sexualhormon reagierenden Sensillen vorwiegend die *Sensilla trichodea* sind (SCHNEIDER and STEINBRECHT 1968).

Bei *Plodia interpunctella* liegen die Geruchssensillen nur auf der weniger beschuppten Außenseite der Antenne (BARTH 1937). In den männlichen Antennen von *Bombyx mori* befinden sich jeweils ca. 34.000 Geruchssensillen des Typs *trichodeum*, 40.000 Rezeptorzellen und ungefähr $9 \cdot 10^7$ Poren, die die Sensillenkutikula durchdringen (STEINBRECHT and MÜLLER 1971).

Abb. 3: Verschiedene Typen von Geruchssensillen.

A) Sensillum trichodeum; B) Sensillum basiconium; C) Sensillum coeloconicum; D) Sensillum placodeum.

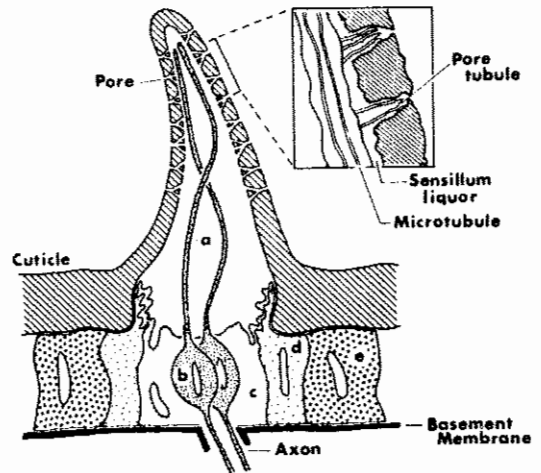


aus: SCHNEIDER and STEINBRECHT (1968)

Folgende Abbildung zeigt schematisch die Struktur eines Geruchssensillums.

Abb. 4: Schematisches Diagramm eines Geruchssensillums

- a) Dendrit
- b) Rezeptorzelle
- c) Trichogene Zelle
- d) Tormogene Zelle
- e) Epidermiszelle



aus: STEINBRECHT and
MÜLLER (1971)

Die Kutikula der Sinneshärchen ist von Poren durchbrochen, die sich innerhalb des Sensillenliquors in Form dünner Schläuche fortsetzen und unmittelbar an der dendritischen Rezeptormembran enden (Abb. 4). Gelangen die Pheromonmoleküle nach der Adsorption an der Sensillenoberfläche und anschließender Diffusion durch die Poren und ihre Tubuli bis zur Rezeptormembran der Dendriten, so ist vermutlich eine dort stattfindende spezifische Adsorption der erste Schritt der Wechselwirkung. Es werden Rezeptorpotentiale erzeugt. Die mit dem Elektroantennogramm (EAG) (Schneider 1957) faßbare Wirkung besteht in der Änderung des elektrischen Rezeptorpotentials im sensorischen Ausläufer (Dendriten) der Sinneszelle. Je größer der Reiz, desto größer ist die bioelektrische Reaktion. Diese breitet sich über den Zellkörper aus und bewirkt in der Nervenfasern rasche Potentialänderungen (Nervenimpulse), die zum Gehirn fortgeleitet werden und zu einer Verhaltensreaktion der Männchen führen.

Durch radioaktive Markierung des Lockstoffes fanden KAISLING and PRIESNER (1970), daß bereits einzelne Duftmoleküle einen Nervenimpuls in den Rezeptorzellen von *Bombyx mori* auslösen, daß aber ein paar hundert der über 40.000 Riechzellen in den Antennen gleichzeitig aktiviert werden müssen, ehe der Falter mit seiner Schwirreaktion die Wahrnehmung des weiblichen Lockstoffes anzeigt.

Bei den hochempfindlichen Riechorganen der Insekten dient die gesamte Antenne als Molekül-Fang-System (KAISLING and PRIESNER 1970). Experimente mit *Bombyx mori* zeigten, daß an den Sensillen quantitativ mehr Bombykol-Moleküle adsorbiert wurden als an den übrigen Teilen der Antenne. 80 - 100 % aller radioaktiv markierten Bombykol-Moleküle wurden an den Sensillen adsorbiert, obwohl die Sensillenoberfläche weniger als 13 % der Antennenoberfläche ausmacht (zitiert nach KASANG 1973).

3.2.2 Mechanismus der Pheromonwahrnehmung

Bei der Pheromonwahrnehmung werden die Pheromonmoleküle zunächst an der proteinhaltigen Sensillenoberfläche adsorbiert (SEABROOK 1977). Dies ist ein unspezifisches Phänomen (KAISLING 1975), das nicht zur Spezifität der olfaktorischen Erwiderung beiträgt. Diese Spezifität muß in dem weiteren Prozeß

der Pheromonwahrnehmung liegen.

Nicht die gesamte Dendritenoberfläche besteht aus einem einheitlich aktivierbaren Material, sondern nur gewisse Bereiche. Diese Akzeptoren sind molekulare Struktur- und Funktionselemente - wahrscheinlich Proteine (DAVIS 1971) -, die für die Aufnahme und Wandlung des Reizes verantwortlich sind. KASANG and KAISLING (1972) führen die spezifische Duftstoffwahrnehmung auf die Spezifität des Akzeptor-Komplexes zurück.

3.2.2.1 Wechselwirkung zwischen Duftmolekül und Akzeptor

Die Erregung der Riechzelle wird nicht durch eine konvalente Bindung zwischen Duftmolekül und Akzeptor ausgelöst. Sie muß nach SCHNEIDER (1974) auf die an der Wechselwirkung beteiligten zwischenmolekularen Kraftfelder zurückgeführt werden. Wahrscheinlich verbindet sich das Duftmolekül temporär mit dem Rezeptormolekül, entsprechend Regeln, die aus der Enzymchemie ('Schlüssel-Schloß-Prinzip') bekannt sind (DAVIS 1971). Der Struktur des Duftmoleküls kommt mehr eine Substratsspezifität zu (Erkennen des Moleküls aufgrund seiner Form) und den funktionellen Gruppen des Duftmoleküls mehr die Bedeutung einer Wirkungsspezifität (Erkennen und Auslösen der Erregung aufgrund der Elektronenverteilung und -beweglichkeit) (KAISLING 1971).

Über die Folgeprozesse, d. h. die Transduktion im engeren Sinne, existieren einige Spekulationen. Als Folge der Anlagerung des Duftmoleküls könnte das Akzeptormolekül oder ein Molekül seiner Nachbarschaft seine Raumform ändern und dadurch eine Membranpore vorübergehend öffnen (KAFKA 1970; KAISLING 1971). Das Ergebnis wäre ein Ionenaustausch zwischen dem Zellinneren und dem umgebenden Milieu. Solche Ionenströme und damit Potentialänderungen zwischen Innen und Außen der Sinneszelle führen zur Erregung.

3.2.2.2 Inaktivierung der Pheromonmoleküle

Es ist noch unbekannt, ob die Pheromonmoleküle nach der Anlagerung an die Akzeptoren wieder frei werden und abtransportiert werden oder einer Strukturänderung oder Metabolisierung unterliegen. Dem enzymatischen Abbau der Pheromonmoleküle nach der Transduktion könnte biologische Bedeutung zukommen. Die von den paarungsbereiten Weibchen ausgesendeten Pheromonmoleküle adsor-

bieren überall auf deren Körper und könnten bei der Desorption zur 'falschen' Zeit zu Fehlinformationen bei den Männchen führen. Dem könnte der Abbau entgegenwirken.

3.2.3 Spezifität der Pheromonwahrnehmung

Wechselseitige olfaktorische Anlockung ist schon seit langer Zeit auch bei verschiedenen vorratsschädlichen Zünslerarten der Unterfamilie Phycitinae bekannt (DICKINS 1936; BARTH 1937). Auf Weibchenpheromone ihrer eigenen Art reagieren die Männchen aber stets ausgeprägter. Da bei verschiedenen *Ephestia*- und *Plodia*-Arten die gleiche Pheromonhauptkomponente nachgewiesen wurde, spielen andere verhaltensmodifizierende Pheromonkomponenten als Isolationsmechanismen eine Rolle (Kap. 4.3.1).

Daß Insekten bestimmte 'Gerüche' unterscheiden können, impliziert das Vorhandensein von verschiedenen Typen von Rezeptorzellen, d. h. Zellen mit unterschiedlicher Erwidierungsspezifität auf ein Pheromonmolekül. In den meisten Fällen wurden auf den Antennen der Insekten für jede Molekülart des Pheromonkomplexes spezifische Rezeptoren gefunden (KAISSLING 1977). Von jedem dieser Rezeptortypen gehen bei der Erregung durch die verschiedenen Pheromonmoleküle spezifische Nervenimpulse an das zentrale Nervensystem. Das Signalmuster der Impulse jedes Rezeptortyps ist verschieden. Die weitere Transduktion wird durch die Konzentration der erregenden, für die jeweiligen Rezeptoren spezifische Molekülart bestimmt. Nur dann, wenn das Signalmuster und die weitere Transduktion, die von verschiedenen Rezeptoren ausgehen, in einem richtigen Verhältnis zu einander, gleichzeitig im zentralen Nervensystem registriert werden, kommt es zu einer typischen Verhaltensauslösung (KAISSLING 1977).

Geringe Änderungen der Struktur des Pheromonmoleküls können zu Verbindungen führen, die im EAG nur geringe Antwortänderungen ergeben, deren Verhaltensauslösung jedoch vollständig verschieden ist (BESTMANN 1976). Die chemisch induzierte Verhaltensreaktion kann durch ein Zufügen gewisser Substanzen zu dem Stimulus gehemmt oder verstärkt werden (ROELOFS and COMEAU 1971). Solche Inhibitoren oder Synergisten lösen allein keine Verhaltensreaktion aus, verändern aber das sensorische Erregungsmuster. Synergisten erhöhen die Impulsaktivität der Nerven durch ein erniedrigtes Membranpotential oder durch

eine Depolarisation der Rezeptorzelle, wohingegen Inhibitoren jene vermindern und eine Hyperpolarisation folgt (KAFKA 1970; KAJSSLING 1971). Es ist denkbar, daß diese beiden gegensätzlichen Reaktionstypen durch zwei Typen von Rezeptormolekülen auf der gleichen Zellmembran gesteuert werden, die das Leitungsvermögen von unterschiedlichen Molekülarten kontrollieren.

Über die spezifische Wirkungsweise dieser Inhibitoren ist sehr wenig bekannt. Drei Mechanismen werden zur Erklärung der Wahrnehmung von Sexualpheromon-Inhibitoren angeführt: Wahrnehmung durch unterschiedliche Neuronen (SOWER et al. 1974b); durch verschiedene Akzeptoren auf einem gemeinsamen Neuron; durch gemeinsame Akzeptoren (ROELOFS and COMEAU 1971). Eine gute Zusammenstellung und Diskussion dieser Hypothese gibt SEABROOK (1977).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß die Akzeptoren der Rezeptormembran die spezifischen Prozesse der Pheromonwahrnehmung steuern.

3.3 Verhaltensreaktion männlicher Phycitinae auf eine Pheromonquelle

Das weibliche Sexualpheromon regt über die Rezeptoren in den Individuen des anderen Geschlechts mehrere Verhaltensreaktionen an, die die Männchen befähigen, in die Nähe der Duftstoffquelle zu gelangen. Der Mechanismus, durch den ein Insekt eine einige Meter entfernte Duftquelle auffindet, scheint sehr verschieden zu sein von dem Mechanismus, der dicht bei der Quelle wirkt. Diese Unterscheidung zwischen Fern- und Nahorientierung ist sehr willkürlich. Unter Fernorientierung versteht man die Orientierung auf eine Duftquelle aus einigen Metern oder Dezimetern, unter Nahorientierung die aus einigen Zentimetern oder Millimetern Abstand.

3.3.1 Hierarchie der Verhaltenssequenz

SCHWINK stellte 1955 auf Grundlage von Versuchen mit *Bombyx mori* die These auf, daß der einleitende Schritt der Verhaltenssequenz mit der niedrigsten Pheromonkonzentration korreliert ist, und daß jeder folgende Schritt durch eine höhere Pheromonkonzentration stimuliert wird.

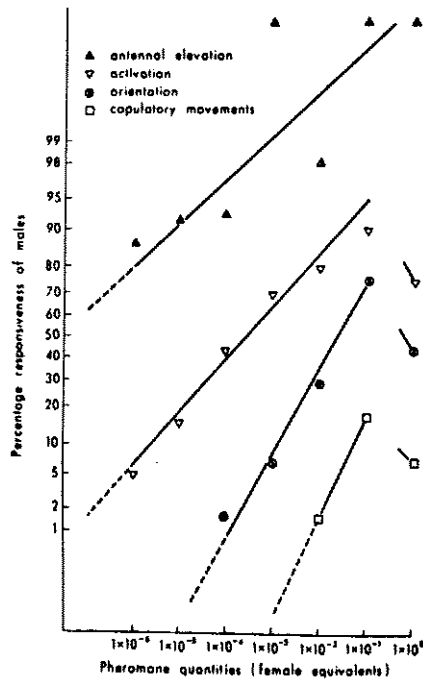
1968 demonstrierte TRAYNIER im Windtunnel, daß die aufeinanderfolgenden Schritte der Verhaltenssequenz der männlichen *Ephestia kühniella* mit dem

postulierten Schema von SCHWINK übereinstimmen. Die Stimulation dieser Männchen durchläuft mit zunehmender Pheromonkonzentration (Extrakte aus den Abdomenspitzen der Weibchen) folgende Schritte:

1. Abwechselndes Schwingen der einzelnen Antennen
2. Zielloses Umhergehen mit schwingenden Antennen
3. Flügelschlagen während des ziellosen Umhergehens
4. Flügelschlagen während des gegen den Wind Gehens (bei Windstille bewegen sie sich unter die Pheromonquelle)
5. Flug in Zick-Zack-Form gegen den Wind; Reduzierung der Fluggeschwindigkeit, vermutlich durch visuelle Rückkopplung
6. Nach dem Landen: Kopulation (nach TRAYNIER 1968).

Die Schritte 1 - 4 kann man zusammenfassend als Aktivierung eines ruhenden Männchens bezeichnen. Schritt 5 beinhaltet die Orientierung der Männchen zu der Pheromonquelle und endet mit der Lokalisierung des lockenden Weibchens. Schritt 6 umfaßt das Werbungsverhalten der Männchen und die Paarung. Die folgende Abbildung zeigt diese Korrelation zwischen den Verhaltenselementen und den verschiedenen Pheromonkonzentrationen für *Epiphyas postvittana*.

Abb. 5: Beziehung zwischen 4 ausgewählten Elementen der Verhaltenssequenz und der Pheromonkonzentration.



aus: BARTELL and SHOREY (1969)

Da aber die chemischen Stimuli nicht gerichtet sind, geben sie den männlichen Motten keine Information über die exakte Lokalisierung der Quelle. Folglich muß ein Insekten andere sensorische Stimuli besitzen, zusätzlich zu dem chemischen Stimulus, um die Richtung zu einer in einiger Entfernung (Meter) befindlichen Duftstoffquelle zu bestimmen.

3.3.2 Fernorientierung

Verwendet man Sexuallockstoffe bei der biologischen Schädlingsbekämpfung, so ist der Orientierungsmechanismus des erwidern Insekts zu der Duftstoffquelle von besonderem Interesse. Zur Analyse des Orientierungsmechanismus wird im folgenden das Verhalten von sich ausbreitenden gasförmigen Stoffen beschrieben.

3.3.2.1 Physikalische Struktur der Duftfahne

Die Ausbreitung eines gasförmigen chemischen Stoffes (z. B. Pheromon) in bewegter Luft ist abhängig von der Abgaberate an der Quelle, von dem Diffusionskoeffizienten des Stoffes - der vom Druck und der Temperatur abhängig ist - und von der Geschwindigkeit der Luftströmung. In bewegter Luft werden die Moleküle in Windrichtung fortgetragen, wobei sich eine mit wachsender Entfernung von der Quelle immer ausgedehntere Luftfahne bildet. Die Entfernung, über die ein Signal übertragen werden kann, nimmt mit der Geschwindigkeit der Luftströmung zu. Als 'aktive Wirkungszone' (active space) wird diejenige Zone der Duftfahne bezeichnet, die eine Pheromonkonzentration an oder über der Wahrnehmungsschwelle der Männchen enthält (BOSSERT and WILSON 1963).

Das Verhalten von sich ausbreitenden gasförmigen chemischen Stoffen wurde mit Hilfe von Rauch sichtbar gemacht und führte zur Bildung mathematischer Modelle (WRIGHT 1958; BOSSERT and WILSON 1963; FARKAS and SHOREY 1972). Diese Studien zeigen, daß die Duftfahne keine uniforme Masse von Molekülen bildet, sondern eine Struktur mit Wirbelgebilden besitzt. Der Zerfall in einzelne Wirbel hängt von der Turbulenz der Strömung ab.

Die Duftfahnenbreite ist, außer in der nächsten Umgebung der Duftquelle, sehr genau proportional der Entfernung von der Quelle. Die Moleküldichte ist im

Durchschnitt entlang der longitudinalen Achse der Duftfahne am größten und nimmt zu den Rändern hin ab. Diese glockenförmige Verteilung der Moleküldichte ist in allen Querschnitten ähnlich, d. h. durch jeden Querschnitt der Duftfahne strömen in der Zeiteinheit gleich viele Moleküle (vergl. Z. B. FARKAS and SHOREY 1974).

3.3.2.2. Orientierungsmechanismen

Es werden verschiedene Mechanismen diskutiert, die dem gerichteten Anflug der männlichen Motten auf eine Duftquelle zugrunde liegen: Die Anemotaxis und die Chemotaxis.

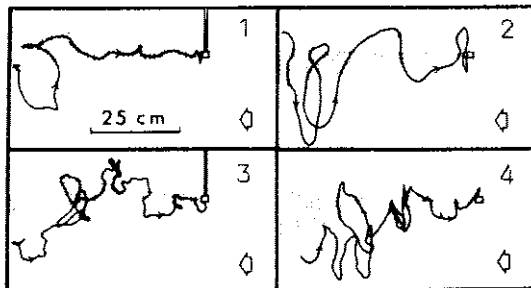
Die anemotaktische Orientierung fliegender Insekten, d. h. Orientierung in einer Luftströmung, verläuft wie folgt: Bemerkt ein Insekt eine über der Wahrnehmungsschwelle liegende Pheromonkonzentration, so wird die anemotaktische Erwidmung eingeleitet. Die männlichen Motten fliegen gegen den Wind (positive Anemotaxis), solange sie sich in der aktiven Wirkungszone der Duftfahne bewegen. Fliegen sie dort heraus, so stoppen sie ihren Flug gegen den Wind und es folgen Suchschwenkungen schräg gegen die oder in Windrichtung, bis sie die Duftfahne wieder erreicht haben. Diese Suchschwenkungen ergeben ein Zick-Zack-Flugmuster, welches für männliche *Ephestia künniella* nachgewiesen wurde (Abb. 6). Die Duftstoffkonzentration kann sowohl am Rand der Fahne als auch innerhalb der Fahne (Wirbelgebilde) unter dem Schwellenwert des Wahrnehmungsbereiches liegen. Dies ist eine mögliche Erklärung für den beobachteten unregelmäßigen Zick-Zack-Flug.

Abb. 6: Typische Flugbahn männlicher Mehlmotten auf eine Pheromonquelle zu (aufgezeichnet von Fotografien).

1 und 3: Seitensicht

2 und 4: entsprechende Draufsicht

Der Schatten zeigt das Ausmaß einer typischen Rauchfahne an. Die Pfeile geben die Windrichtung bei 25 cm/sek an.



aus: TRAYNIER (1968)

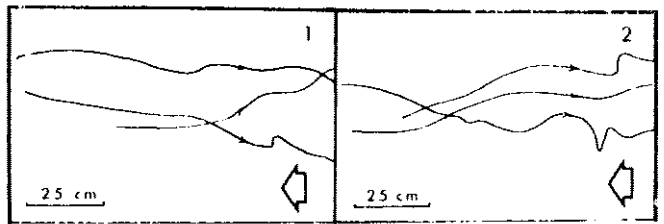
Daß der Duft nur als An- oder Ausschalter für ein anemotaktisches Verhalten wirkt, konnte durch folgenden Versuch belegt werden: Wurde ein Olfaktometer gleichmäßig mit Duftmolekülen gefüllt, so flog das pheromonstimulierte Insekt direkt gegen den Wind, obwohl keine Duftquelle existierte (Abb. 7). Der sonst typische Zick-Zack-Flug blieb aus, da für die Insekten wegen der gleichmäßigen Füllung des Olfaktometers mit Duftmolekülen keine Begrenzungen einer aktiven Wirkungszone, d. h. keine Bereiche unterhalb ihrer Wahrnehmungsschwelle existierten.

Abb. 7: Typische Flugbahnen von 3 männlichen Mehlmotten, die in einem mit Pheromonen gleichmäßig angefüllten Olfaktometer gegen den Wind fliegen (aufgezeichnet von Fotografien).

1: Seitensicht

2: entsprechende Draufsicht

Die Pfeile geben die Windrichtung bei 25 cm/sek an.



aus: TRAYNIER (1968)

Die Fluggeschwindigkeit beim Anflug sowie bei Suchschwenkungen hängt auch von der Windgeschwindigkeit ab, mit der die optischen Marken des Untergrundes am Auge der fliegenden Insekten vorüberziehen. KENNEDY and MARSH (1974) belegten dies in Versuchen mit verschiedenen Phycitinae (*Ephestia kühniella*, *Plodia interpunctella*, *Ephestia cautella*) im Windtunnel, dessen Boden mit abwechselnd weißen und schwarzen Streifen bemalt war. Die männlichen Motten erreichten ein lockendes Weibchen gegen den Wind, während die Streifen auf dem Boden stationär blieben. Wurden unter den gleichen Bedingungen die Bodenstreifen in Windrichtung bewegt und damit die Grundgeschwindigkeit des fliegenden Insekts erhöht, reduzierte das Tier entsprechend seine Fluggeschwindigkeit und wurde in Windrichtung getragen, obwohl es weiter Flugbewegungen auf die Duftquelle zu, d. h. gegen die Windrichtung ausübte. Auf diese Art und Weise könnten männliche Motten vollständig daran gehindert werden, die Duftquelle zu

erreichen. Um die optische Steuerung genau zu beschreiben, muß man die Fluggeschwindigkeit und -höhe des Insekts sowie die Windgeschwindigkeit in bestimmten Höhen kennen. Generell bewirkt jene Steuerung, daß ein Insekt, welches an den rechten bzw. linken Rand einer Duftfahne gelangt, nach links bzw. rechts in einem nachgewiesenen Winkel positiv anemotaktisch weiterfliegt (KENNEDY and MARSH 1974).

Allgemein scheint die optisch mitgesteuerte Duftorientierung typisch für solche Insekten zu sein, die auf weite Entfernung in windgerichteten Duftfahnen Duftquellen anfliegen. Der diesem Orientierungsmechanismus zugrunde liegende Mechanismus wird als 'duftbedingte optische Anemotaxis' (odor-regulated optomotor anemotaxis) beschrieben (KENNEDY and MARSH 1974).

Im Gegensatz zur duftbedingten optischen Anemotaxis, in der die Pheromonmoleküle als An- oder Ausschalter für die Orientierung gegen den Wind wirken, beschreibt die Chemotaxis - durch chemische Reize ausgelöste und gesteuerte Orientierungsbewegungen - eine Orientierung im Konzentrationsgefälle der Pheromonwolke, d. h. ein 'Richtungsriechen' (FARKAS and SHOREY 1972, 1973, 1974; SHOREY 1973). In dieser Theorie ist der Wind nur als Träger und damit Verbreiter der Duftmoleküle von Bedeutung und nicht als Stimulus für den Flug. Diese Theorie wurde bis jetzt erst in einem Windtunnelexperiment belegt (FARKAS and SHOREY 1972, 1973).

Nach der Theorie der Chemotaxis fliegt ein Insekt geradeaus, solange es eine ansteigende oder gleichmäßige Pheromonkonzentration (oder Frequenz von Duftimpulsen, wie WRIGHT 1958 postulierte) wahrnimmt. Nimmt die Konzentration ab, so folgt eine programmierte Serie von Flügen zwischen Rechts- und Linkswendungen, ein sogenannter Zick-Zack-Flug (FARKAS and SHOREY 1974). Ein Abnehmen der Pheromonkonzentration wird von dem fliegenden Insekt durch Herausbewegen aus der Duftstofffahne beantwortet. Die resultierenden Zick-Zack-Flüge könnten nach der Theorie der Chemotaxis in irgendeine Richtung relativ zu der Fahne und Pheromonquelle stattfinden. Übereinstimmend wurde aber beobachtet, daß die Zick-Zack-Flüge, obwohl unregelmäßig, quer zur Achse des Gradienten und entlang dieser auf die Quelle zu auftreten.

Wegen der wirbelartigen Struktur der Duftfahne kann man sich ein chemotakti-

sches Folgen im Duftgradienten schwierig vorstellen. Weiterhin bezieht sich die glockenartige Verteilung der Moleküldichte (Kapitel 3.3.2.1) sowie die Konzentrationszunahme zur Duftstoffquelle hin (SHOREY 1973) auf Durchschnittswerte. Da ein Insekt aber nicht länger als einen Bruchteil einer Sekunde an einem Punkt der Duftfahne verharret, ist es unvorstellbar, wie Durchschnittskonzentrationswerte registriert werden können und es sich auf höhere Durchschnittskonzentrationen zubewegen könnte.

Zusammenfassend kann man sagen, daß die Chemotaxis als Mechanismus zur Fernorientierung von fliegenden Insekten zu einer Pheromonquelle sehr zweifelhaft scheint; zur Zeit stößt die duftbedingte optische Anemotaxis auf breitere Zustimmung. Erst ganz in der Nähe des Weibchens tritt eine Führung durch Richtungsriechen (Chemotaxis) an die Stelle der duftbedingten optischen Anemotaxis. Die chemotaktische Orientierung im Nahbereich soll im folgenden beschrieben und diskutiert werden.

3.3.3 Nahbereichsverhalten

Das Nahbereichsverhalten, Werbung und Kopulation umfassend, wird neben der Pheromonkonzentration von unterschiedlichen oder auch kombinierten Stimuli bestimmt, z. B.:

- Durch zusätzliche Pheromonkomponenten (CARDE et al. 1975),
- durch männliche Pheromone (BIRCH 1974),
- durch taktile und/oder optische Stimuli (ONO 1977).

Die einzelnen Pheromonkomponenten des Multipheromonkomplexes können unterschiedliche Funktionen haben. Bei *Ephestia cautella* produzieren die Weibchen einen flüchtigen Stoff, welcher die Männchen anregt, jedoch nicht zur Orientierung veranlaßt. Dieselbe Komponente ist andererseits für die Erregung und Orientierung der männlichen *Plodia interpunctella* verantwortlich (BRADY et al. 1971b). Weitere Ausführungen zu den Struktur-Wirkungsbeziehungen der Pheromonkomponenten werden in Kapitel 4.3.1 gemacht.

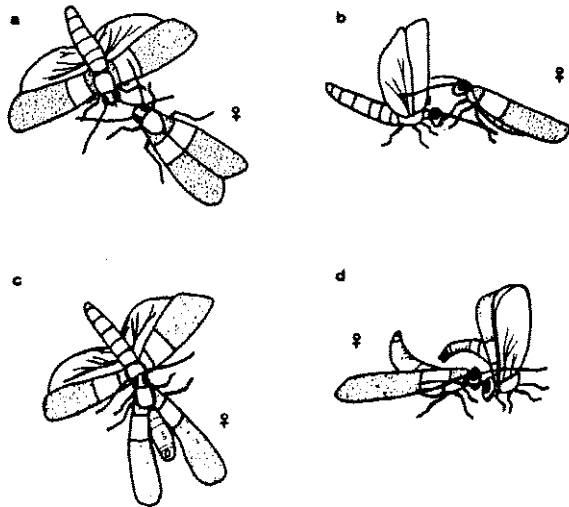
Sekrete, die von männlichen Motten produziert werden, nachdem sie ein Weibchen lokalisiert haben, führen zu einem aphrodisischen Effekt bei weiblichen Motten (BIRCH 1974). BUTLER führte 1967 den Begriff 'Aphrodisiaka' ein und definierte

sie als Substanzen, die gewöhnlich von Männchen abgegeben werden und meist nur ein Teil des komplexen Werbungsverhaltens sind. Sie haben die Funktion, auf Fortpflanzungspartner als Stimulus für die Kopulation einzuwirken, d. h. sie hemmen die Flugaktivität der Weibchen und/oder bewirken die zur Kopulation notwendige Bereitschaftsstellung (acceptance posture).

Einige männliche Motten der Unterfamilie Phycitinae besitzen eine charakteristische Drüse, die am Vorderrand der Vorderflügel an der Basis lokalisiert ist (BARTH 1938). Diese Drüsen sondern ein Pheromon ab, dessen Wirkung als Aphrodisiakum für *Plodia interpunctella* nachgewiesen ist (GRANT 1974). Die Bereitschaftsstellung der Weibchen scheint jedoch von zwei Stimuli abhängig zu sein, von dem Aphrodisiakum und von der Stimulation (wahrscheinlich taktil), die aus der 'Kopf-unter-Kopf'-Stellung resultiert (Abb. 8).

Abb. 8: Verschiedene Stellungen während der Werbungssequenz von *Plodia interpunctella*

- a) 'Kopf-an-Kopf'-Stellung (Weibchen noch nicht in Bereitschaftsstellung);
- b) Männchen bewegt sich zur 'Kopf-unter-Kopf'-Stellung;
- c) 'Kopf-unter-Kopf'-Stellung (Kopf des Männchens befindet sich direkt unter dem des Weibchens, Weibchen in Bereitschaftsstellung);
- d) Kopulationsversuch des Männchens.

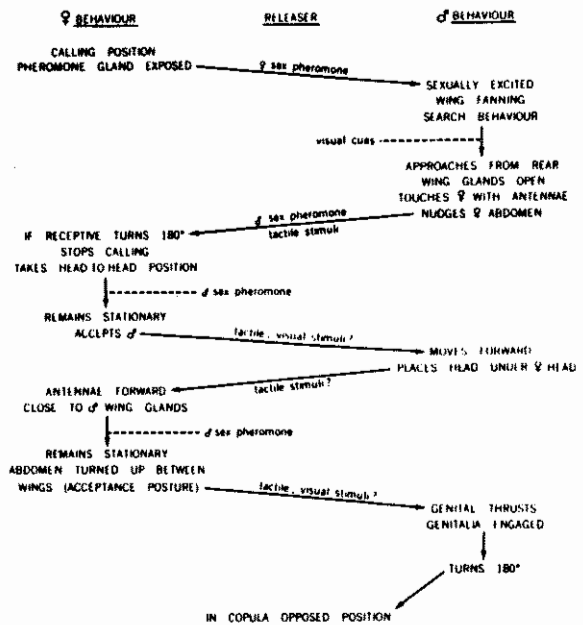


aus: GRANT and BRADY
(1975)

In der weiteren Werbungssequenz greift das Männchen mit seinen Haftlappen (Klammerorgan) über beide Körper hinweg das Abdomenende des Weibchens. Danach lassen sich die Tiere mit den Palpen los und das Männchen wird nach hinten geschwenkt, sodaß beide Tiere mit den Abdomen vereinigt in einer geraden Linie stehen, die Köpfe in entgegengesetzte Richtung gewendet. In dieser Phase geschieht die Einführung des männlichen Kopulationsorgans in die Bursa copulatrix und die Überführung der Spermatophore (LEHMENSICK and LIEBERS 1938). Für *Ephestia cautella* konnten GRANT and BRADY (1975) noch kein Aphrodisiakum nachweisen, vermuten jedoch, daß auch hier während des Werbungsverhaltens solch ein Pheromon beteiligt ist. Versuche in Petrischalen ergaben, daß die Verhaltenssequenz bei *Plodia interpunctella* und bei *Ephestia cautella* artspezifisch verschieden ist, wenn die Männchen von der Rückseite des Weibchens herankommen, jedoch sehr ähnlich sind, wenn sie sich von vorne nähern. Folgende Abbildung zeigt eine Zusammenstellung der einzelnen Schritte während des Werbungsverhaltens mit den Stimuli, die den jeweiligen Schritt auslösen.

Abb. 9: Zusammenstellung der Werbungssequenz von *Plodia interpunctella*.

Nähert sich das Männchen von vorne, so beginnt die Werbungssequenz bei 'Kopf-an-Kopf'-Stellung. Diese trifft auch für *Ephestia cautella* zu.



aus: GRANT and
BRADY (1975)

GRANT and BRADY (1975) vermuten, daß jeweils eins der aufgezeichneten Schemata der Werbungssequenzen von *Plodia interpunctella* und *Ephestia elutella* zutrifft.

ONO (1977) fand, daß die Schuppen der Flügel ein taktiler und/oder optischer Stimulus für die Kopulation sind. Er beobachtete im Labor für jede der in Tabelle 1 aufgeführten Arten unter Anwesenheit des spezifischen Sexualpheromons die Reaktion der männlichen Motten auf unterschiedliche Modelle.

Tab. 1: Kopulationsversuche einiger männlicher Lepidopteren-Arten auf unterschiedliche Attrappen.

| Models | <i>P. operculella</i> (Gelechiidae) | <i>B. mori</i> (Bombycidae) | <i>P. interpunctella</i> | <i>C. cautella</i> (Phycitidae) | <i>A. kuehniella</i> |
|--------------------------------------|--|--------------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------|
| A. Of the same species | | | | | |
| dried o | ++ ^a | ++ | ++ | ++ | ++ |
| o wing ^b | ++ | ++ | ++ | ++ | ++ |
| (o) scale | ++ | + | ++ ^c | ++ | ++ ^c |
| o scaleless wing ^b | + | - | + | + | + |
| B. Filter paper | - | - | - | - | - |
| C. Of the other species ^d | ++ Cc (scale) | ++ Ac (body) | ++ Po, Cc (wing) | ++ Po, Pi (wing) | ++ Po, Cc (wing) |
| D. Flat model of the same species | ++ (scale) | ++ (wing) | - (wing) | - (wing) | + (wing) |

a = ++: responded very actively; +: responded seldom; -: did not respond

b = Only fore wings were used as models except for *B. mori*

c = Scales of both female and male wings were used in the tests of *P. interpunctella* and *A. kuehniella*

d = Cc *Cadra cautella*; Ac: *Arcte coerulea*; Po: *Phthorimaca operculella*;
Pi: *Plodia interpunctella*

aus: ONO (1977).

ONO (1977) arbeitete mit männlichen Motten als Reaktionspartner, verwandte aber auch männliche Modelle. Durch diese Versuchsanordnung konnte eine mögliche Pheromonadsorption an den Schuppen ausgeschlossen werden (ONO 1974), und man müßte weiterhin schließen können, daß sich die männlichen und weiblichen Schuppen in ihrer Gestalt nicht unterscheiden.

3.4 Beeinflussung der Pheromonkommunikation von Ephestia kühniella durch endogene und exogene Faktoren

Zu den wichtigsten Komponenten der Pheromonkommunikation gehören die Pheromonproduktion und -abgabe der Weibchen sowie die Erwiderng der Männchen auf diesen Stimulus.

In den meisten Fällen geben die weiblichen Motten ihr Sexualpheromon nicht kontinuierlich ab, noch zeigen die männlichen Motten eine kontinuierliche Bereitschaft, darauf zu reagieren. Die Pheromonkommunikation wird von endogenen und exogenen Faktoren beeinflusst. Zu den endogenen Faktoren zählt man z. B. das Alter der Insekten, die circadiane Rhythmik (Tag- und Nachtwechsel), den Einfluß der Paarung; zu den exogenen Faktoren rechnet man die Lichtintensität, die Temperatur, die Feuchte und die Windgeschwindigkeit.

Als Indikator für die Pheromonproduktion wird meist der Pheromongehalt in den Drüsen weiblicher Motten gewählt. Dieser kann durch gaschromatographische Analysen oder durch die beim Männchen hervorgerufene Reaktion bestimmt werden. Die von weiblichen Motten abgegebene Pheromonmenge ist in den meisten Untersuchungen nicht bestimmt worden. Allgemein wird der prozentuale Anteil Weibchen die sich in der 'calling'-Position befinden, als 'Alles-oder-Nichts'-Indikator für das pheromonabgebende Verhalten gewählt. Die Erwiderng männlicher Motten auf ein Pheromon läßt sich über ihre Wiederfangrate bestimmen.

Durch die Reaktion der männlichen Mehlmotten im Verhaltensversuch fand TRAYNIER (1970a), daß das Sexualpheromon von 3 bis 5 Tage alten unbefruchteten Weibchen anlockender war als das von 1 oder 2 Tage alten⁺. 3 Tage alte weibliche

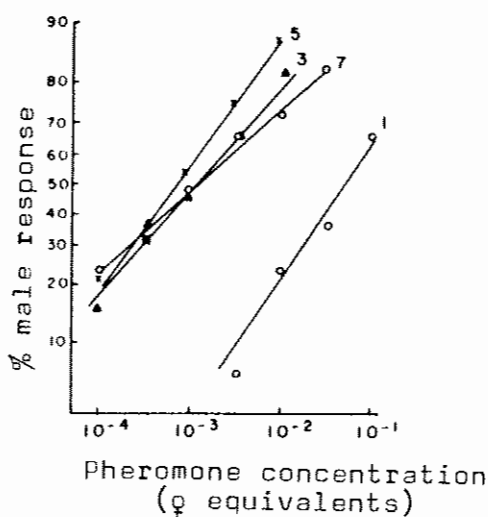
⁺ Das Flügelschlagen diente hier als Indikator für die Erregung der Männchen. Wie in Kap. 3.3 schon dargelegt, ist dieses Kriterium nicht aussagekräftig genug, um etwas über die vollkommene Verhaltenssequenz (Fern- und Nahorientierung) auszusagen (s. auch Kap. 4.1). Die Ergebnisse von TRAYNIER (1970a) müssen mit den o. a. Einschränkungen herangezogen werden, da keine weiteren Untersuchungen für *Ephestia kühniella* zu dieser Fragestellung vorliegen.

unbefruchtete Mehlmotten zeigen die höchste Anziehung für die Männchen.

Die Erwiderungsbereitschaft der Männchen von *Ephestia künniella* auf Pheromonextrakte von 3 Tage alten Weibchen steigt mit dem Alter der Männchen an, hat einen Höhepunkt bei 5 Tage alten Männchen, und nimmt dann mit zunehmendem Alter wieder ab (Abb. 10 und Fußnote S. 38).

Abb. 10: Verhaltensreaktion von männlichen *Ephestia künniella* unterschiedlichen Alters auf Pheromonextrakte.

Die Zahlen geben das Alter Männchen in Tagen an.



aus: TRAYNER (1970a)

Licht und Tagesperiodik

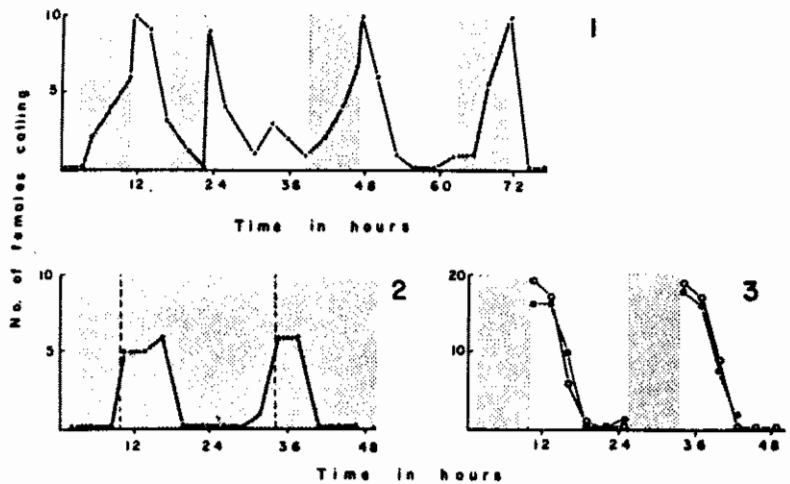
Für viele Arten gilt als gesichert, daß die Tiere innere Rhythmen haben, die der circadianen Rhythmik entsprechen. Diese inneren Rhythmen werden durch die äußeren Zyklen nur synchronisiert, nicht aber verursacht. Durch solche physiologische Uhren oder 'innere Uhren' sind die Organismen schon auf die zu erwartenden Umweltbedingungen vorprogrammiert. Dadurch können die jeweiligen Funktionen zeitlich in die optimale Phase der umweltbedingten Zyklen gelegt werden. Außenzyklen, die eine endogene Rhythmik synchronisieren, werden als 'Zeitgeber' bezeichnet. Zahlreiche biologische Funktionen werden durch die circadiane Rhythmik beeinflußt, wie z. B. der Zyklus der Reproduktion.

Unter einem 24-Stunden-Zyklus von Hell- und Dunkelperioden zeigen weibliche *Ephestia kühniella* eine besonders starke Pheromonabgabe zu Beginn der Lichtperiode. Diese tritt unter natürlichen Verhältnissen in der Morgendämmerung ein. Beim Fehlen von äußeren Signalen kommt die endogene Rhythmik zum Zuge, der exakte 24-Stunden-Rhythmus bleibt lediglich für kurze Zeit ungestört, und es entsteht schon nach einigen Tagen eine Phasenverschiebung gegenüber dem natürlichen Tag-Nacht-Wechsel (Abb. 11, Fig. 1).

Während einer Periode kontinuierlicher Dunkelheit geben die Weibchen zu dem Zeitpunkt ihr Pheromon ab, der mit der Dämmerung des vorher wahrgenommenen Hell-Dunkel-Wechsels korrespondiert. Allerdings ist die Anzahl von Motten, die ihr Pheromon abgeben, geringer als in einem 12 Stunden Hell-Dunkel-Rhythmus (Abb. 11, Fig.2).

Abb. 11: Beobachtungen der 'calling'-Position von unbefruchteten weiblichen *Ephestia kühniella*.

- 1) während einer 12 stündigen Verschiebung der Lichtperiode;
- 2) während einer kontinuierlichen Dunkelperiode; die gestrichelte Linie zeigt den Beginn der Lichtperiode in dem von den Motten vorher wahrgenommenen Hell-Dunkel-Wechsel an;
- 3) Einfluß der Lichtintensität auf das 'calling', dabei bedeutet (o) Kontrolle: An beiden Tagen eine Lichtperiode von 200 Lux, (•) am 1. Tag eine Lichtperiode von 40 Lux, am 2. Tag von 200 Lux.



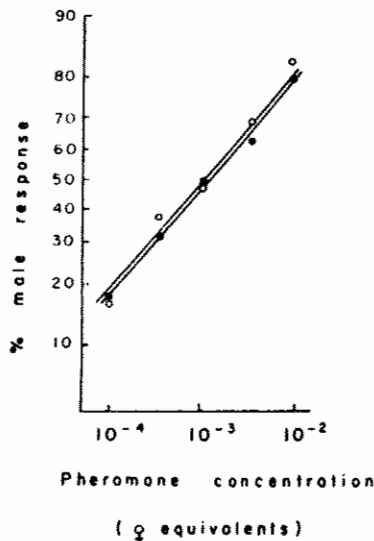
aus: TRAYNIER (1970a)

Weibliche *Ephestia kühniella*, die unter einer Lichtwirkung von 15 Stunden Licht (200 Lux) und 9 Stunden Dunkelheit gezüchtet und gehalten wurden, zeigten bezüglich der Pheromonabgabe keine Abhängigkeit von der Lichtintensität. TRAYNIER (1970a) zählte die Weibchen in 'calling'-Position während der Photophase von 40 Lux am 1. Tag und von 200 Lux am 2. Tag und fand, wie Abb. 11, Fig. 3 zeigt, keinen Unterschied zu der Anzahl der Weibchen in 'calling'-Position, deren Lichtphase an beiden Tagen 200 Lux betrug.

Wie bereits angeführt, erfolgt die Synchronisation mit dem 24-Stunden-Tag, also mit der Erdumdrehung durch sogenannte Zeitgeber, von denen der allerwichtigste das Licht, bzw. der Wechsel von Licht und Dunkel ist. Ein Temperaturwechsel spielt dagegen als Signal nur eine untergeordnete Rolle.

Pheromonextrakte, die von 3 Tage alten unbefruchteten Weibchen von *Ephestia kühniella* in der Morgendämmerung produziert wurden, waren im Verhaltens-test für Männchen nicht attraktiver als jene, die am Ende einer 15 stündigen Lichtperiode (200 Lux) gemacht wurden (Abb. 12 und Fußnote S.38).

Abb. 12: Verhaltensreaktion von männlichen *Ephestia kühniella* auf weibliche Pheromonextrakte, die zu Beginn (o) und am Ende (•) einer Lichtperiode gemacht wurden.



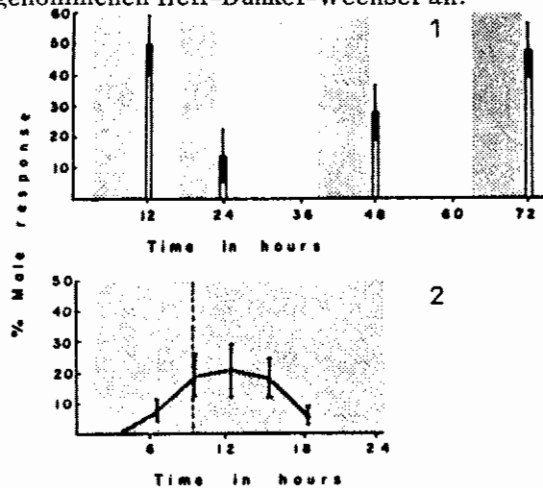
aus: TRAYNIER (1970a)

Der Pheromongehalt bleibt in noch unbefruchteten weiblichen Mehlmotten während des ganzen Tages gleich hoch, obwohl in der Morgendämmerung Pheromon abgegeben wird. Dies deutet darauf hin, daß die Weibchen, solange sie sich noch nicht gepaart haben, ständig Pheromon neu produzieren.

Wie zu erwarten ist, fällt in einem Hell-Dunkel-Zyklus die Reaktionsbereitschaft männlicher *Ephestia kühniella* auf das Sexualpheromon mit der Phase der stärksten Pheromonabgabe weiblicher Motten zusammen, d. h. mit dem Beginn der Lichtperiode (Abb. 13, Fig. 1), und wird in kontinuierlichem Dämmerlicht (24 Stunden) beibehalten (Abb. 13, Fig. 2 und Fußnote S.38). Wird der photoperiodische Zyklus um 12 Stunden verschoben, so synchronisieren die Männchen ihre Reaktionsbereitschaft entsprechend dem neuen Wechsel von Hell und Dunkel innerhalb von 48 Stunden (Abb. 13, Fig. 1). Diese Verhaltensantwort wird durch die endogene Rhythmik gesteuert, kann sich aber neuen exogenen Bedingungen anpassen.

Abb. 13: Reaktionsbereitschaft 5 Tage alter männlicher *Ephestia kühniella* auf das Sexualpheromon:

- 1) während einer 12 stündigen Verschiebung der Lichtperiode;
- 2) während einer 24 stündigen Dunkelheit. Die gestrichelte Linie zeigt den Beginn der Lichtperiode in dem von den Motten vorher wahrgenommenen Hell-Dunkel-Wechsel an.

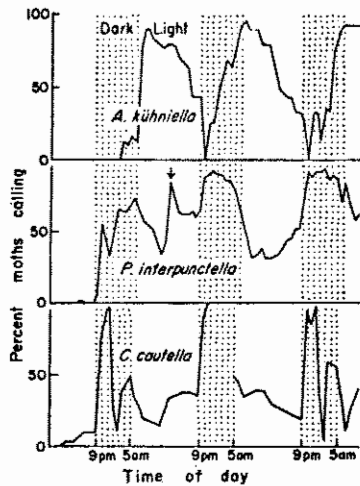


aus: TRAYNIER (1970a)

TAKAHASHI (1973) stellte die tageszeitlich unterschiedliche Pheromonabgabe von 3 Phycitinae-Arten zusammen (Abb. 14). Für unbefruchtete Weibchen von *Plodia interpunctella* und *Ephestia cautella* wurde eine verstärkte Pheromonabgabe, gemessen an der Anzahl 'calling'-Weibchen, während der Dunkelphase, für *Ephestia kühniella* während der Lichtphase, verstärkt zu Beginn der Lichtphase, gefunden.

Evolutiv hat sich die circadiane Rhythmik der Pheromonabgabe dieser 3 Arten unterschiedlich entwickelt und mag als ein Faktor zur Isolierung dieser teils sympatrisch lebenden Arten beigetragen haben. Gemessen an anderen Isolationsmechanismen, z. B. unterschiedliche Pheromonkomponenten, ist dieser Gesichtspunkt von geringerer Bedeutung.

Abb. 14: Tageszeitliche Schwankungen der Pheromonabgabe von 3 nahe verwandten Mottenarten. ↓ : Dunkelschock.



aus: TAKAHASHI (1973)

Eine neuere Arbeit von COFFELT et al. (1978) beschreibt, daß es artspezifisch ist, ob man die Anzahl 'calling'-Weibchen als Kriterium für die Pheromonabgabe wählen kann. COFFELT et al. (1978) beobachteten zu verschiedenen Tageszeiten die Anzahl lockender Weibchen und führten quantitative Analysen der

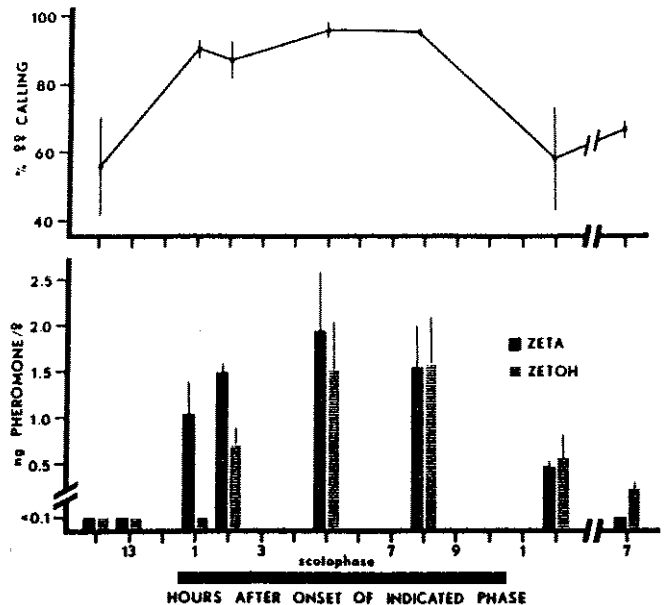
Pheromonkomponenten in den Drüsenextrakten von *Plodia interpunctella* und *Ephestia cautella* durch. Man weiß noch nicht, ob die Pheromonkomponenten in dem Verhältnis, wie sie aus den Drüsenextrakten bestimmt wurden, auch tatsächlich von den weiblichen Motten abgegeben werden. Abb. 15 zeigt die Untersuchungsergebnisse für *Plodia interpunctella*.

Allgemein konnten die Versuchsergebnisse von TAKAHASHI (1973) (Abb. 14) bestätigt werden, daß *Plodia interpunctella* und *Ephestia cautella* eine verstärkte Pheromonabgabe während der Dunkelphase haben.

Bei *Plodia interpunctella* bleibt das quantitative Verhältnis der beiden Pheromonkomponenten mit Ausnahme der beiden ersten Stunden der Dunkelphase über den

Abb. 15: Vergleich des 'calling'-Verhaltens mit dem quantitativen Anteil der beiden Pheromonkomponenten ZETA und ZETOH in den Drüsen weiblicher *Plodia interpunctella*.

(ZETA ist die Hauptkomponente und ZETOH eine Nebenkomponekte des Pheromonkomplexes, s. hierzu S.54 und 56, sowie Tab. 6., S. 59).



aus: COFFELT et al. (1978).

Tag erhalten. Die maximale Lockstoffmenge (1-2ng/Weibchen) während der Dunkelphase korrespondiert mit dem höchsten Anteil (ca. 90%) von 'calling' -

Weibchen. Während der 2. Hälfte der Photophase, wenn sich ca. 60 % der Weibchen in der 'calling'-Stellung befinden, ist der Lockstoffanteil jedoch nur 0,1 ng/Weibchen (Abb. 15). Dieses Ergebnis deutet darauf hin, daß die Pheromonabgabe von *Plodia interpunctella* nicht alleine an dem Anteil der Weibchen in 'calling'-Position gemessen werden kann. Es wird vermutet, daß *Plodia interpunctella* neben dem Ausstülpen der Drüse noch einen zusätzlichen Mechanismus zur Regulierung der Pheromonabgabe besitzt (NORDLUND and BRADY 1974; COFFELT et al. 1978).

Für *Ephestia cautella* wurde gefunden, daß über den ganzen Tag der Anteil Weibchen in 'calling'-Position proportional dem Pheromonanteil in den Drüsen ist. Die beiden Pheromonkomponenten ZETA und ZTA (Tab. 6, S. 59) sind in einem Verhältnis von 4 : 1 über den ganzen Tag konstant (COFFELT et al. 1978). Im Gegensatz zu *Plodia interpunctella* kann das 'calling'-Verhalten weiblicher *Ephestia cautella* als Maß der Pheromonabgabe gewählt werden. Ob dies auch für *Ephestia künniella* zutrifft, bleibt noch unbeantwortet.

Einfluß der Paarung

Die Männchen der meisten Mottenarten können sich während ihres Lebens als Adulte mit mehreren Weibchen paaren, d. h. aber auch, daß sie die Fähigkeit, auf einen Lockstoff zu reagieren, nach jeder Kopulation behalten oder wiedererlangen. Mehlmotten-Männchen sind mehrmals kopulationsfähig (KUNIKE 1939; GONEN 1975).

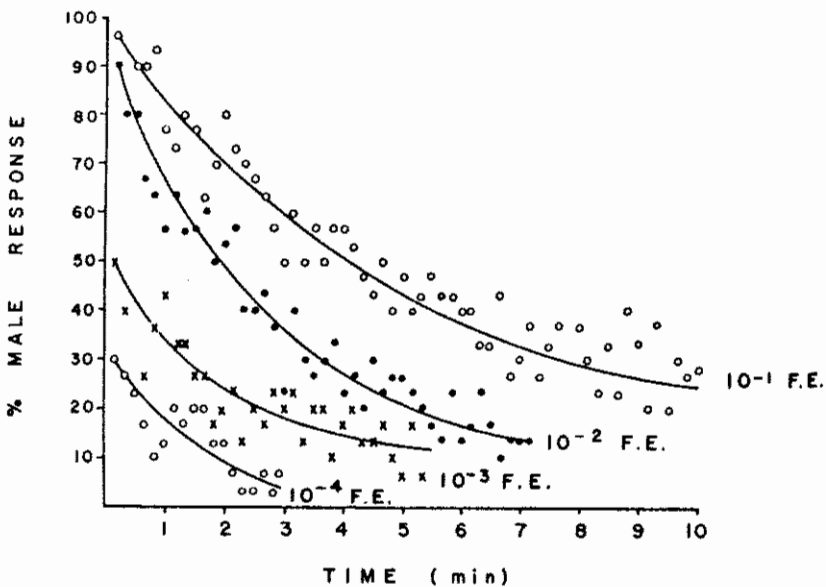
Der Einfluß der Kopulation auf die Pheromonproduktion und -abgabe variiert von Art zu Art. Weibliche Motten jener Arten, die sich während ihres Lebens nur einmal paaren, wie z. B. *Ephestia cautella*, geben nach der Paarung eine andere Pheromonmischung mit repellierender Wirkung für die Männchen oder kein Pheromon mehr ab (STEINBRECHT 1964; KUWAHARA and CASIDA 1973). Weibchen anderer Arten, wie z. B. *Plodia interpunctella*, die mehr als einmal in ihrem Leben kopulieren, geben nach einer Paarung wiederholt, nach einer kurzen unempfindlichen Phase, Pheromon ab, um erneut Männchen anzulocken. Bei diesen Arten bleibt der Pheromongehalt der Drüsen nach der Kopulation in etwa gleich hoch, ist aber im Vergleich zu dem unbefruchteten Weibchen ein wenig reduziert (BRADY and SMITHWICK 1968).

Gewöhnung und sensorische Adaptation der Männchen

Ein weiterer endogener Faktor, welcher die Pheromonkommunikation zwischen den beiden Geschlechtern beeinflussen kann und für die Desorientierungstechnik von Bedeutung ist, liegt in der sensorischen Adaptation und/oder der Gewöhnung bei Männchen an den Lockstoff. Männliche Motten zeigen eine reduzierte Reaktionsbereitschaft auf den Duftstoff, nachdem sie über einen bestimmten Zeitraum einem weiblichen Sexualhormon ausgesetzt worden sind (Kap. 2.3.2).

TRAYNIER (1970b) hat die Geschwindigkeit, mit der sich männliche Mehlmotten an vier verschiedene Konzentrationen des Sexualpheromons (10^{-4} bis 10^{-1} Extraktäquivalente weiblicher Tiere) gewöhnen, während ihres täglichen Empfindlichkeitshöhepunktes im Olfaktometerversuch gemessen (Abb. 16 und Fußnote S. 38).

Abb. 16: Verhaltensreaktion 5 Tage alter männlicher *Ephestia kühniella* auf das Sexualpheromon, gemessen in Intervallen von 10 Sekunden über einen Zeitraum von 3 bis 10 Minuten.



aus: TRAYNIER (1970b)

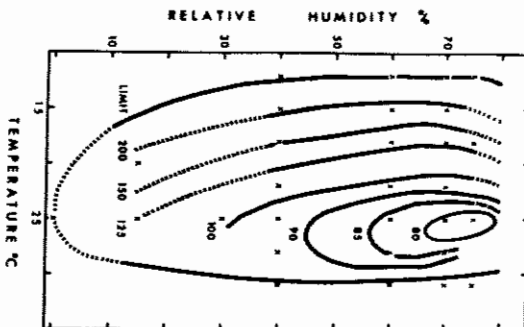
Die Geschwindigkeit, mit der sich Männchen an das Sexualpheromon gewöhnen, wird durch die jeweilige Konzentration nur wenig beeinflusst. Abb. 16 verdeutlicht dies in dem ähnlichen Kurvenverlauf der unterschiedlichen Konzentrationen; das unterschiedliche Ausgangs- und Endniveau ist hier nicht von Bedeutung. Demnach ist die Gewöhnung von männlichen Mehlmotten an ein Sexualpheromon ein 'Alles-oder-Nichts'-Phänomen.

Temperatur und Feuchte

Die meisten Insekten haben eine schmale Temperaturbandbreite für ihre optimale Entwicklung und Reproduktion. Es wird vermutet, daß der Temperaturbereich, der eine optimale Pheromonproduktion, -abgabe und -erwiderung erlaubt, demjenigen entspricht, den die jeweilige Art auch ansonsten bevorzugt (SHOREY 1974).

Ephestia kühniella und *Ephestia elutella* sind die Arten aus gemäßigten oder Mittelmeer-Klimaten; *Ephestia cautella* und *Plodia interpunctella* stammen aus subtropischen Klimaten (BELL 1975). Bei *Ephestia kühniella* liegt die optimale Temperatur für die Entwicklung vom Ei bis zum Adulten zwischen 25°C bis 28°C bei einer relativen Feuchte von ca. 70 % (Abb. 17).

Abb. 17: Die Entwicklungsperiode in Tagen vom Ei bis zum Adulten von *Ephestia kühniella* auf weißem Mehl bei kontrollierten Temperaturen und Feuchten. Der Verlauf der gestrichelten Linien ist weniger exakt bekannt als der der ausgezogenen Linien.



aus: JACOB and COX (1977)

Windgeschwindigkeit

Die Fernorientierung männlicher Motten ist vor allem von der Windströmung abhängig (Kap. 3.3.2.2). Weiterhin kommt der Windgeschwindigkeit eine bestimmte Bedeutung zu in Bezug auf die Ausbreitung der Duftfahne (Kap. 3.3.2.1) sowie auf den Zuflug zu Lägern, oder auf die Wanderung in Großlägern (mehrere Stockwerke mit Fahrstuhlschächten). Bisher liegen noch keine quantitativen Angaben über die Abhängigkeit der Pheromonkommunikation von der Windgeschwindigkeit für die Phycitinae-Arten vor.

Die Beeinflussung der Pheromonkommunikation von *Epeestia kühniella* durch endogene und exogene Faktoren ist in der folgenden Tabelle zusammengefaßt.

Tab. 2: Beeinflussung von endogenen und exogenen Faktoren auf die Pheromonabgabe und Reaktionsbereitschaft von *Epeestia kühniella*.

| Pheromonabgabe der ♀♀ ist besonders stark | ♂♂ reagieren optimal auf das weibliche Sexualpheromon |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - ca. 3 Tage nach dem Schlüpfen - in der Morgendämmerung (zu Beginn der Lichtperiode) - wenn sie sich noch nicht gepaart haben - bei Temperaturen zwischen 25^oC bis 28^oC und 70% r. F. | <ul style="list-style-type: none"> - ca. 5 Tage nach dem Schlüpfen - in der Morgendämmerung (zu Beginn der Lichtperiode) - wenn sie vorher noch keinem Sexualpheromon ausgesetzt waren - bei Temperaturen zwischen 25^oC bis 28^oC und 70% r. F. |

Diese Kenntnisse sind Voraussetzung für Laborversuche mit *Epeestia kühniella* um unter annähernd natürlichen Bedingungen zu arbeiten und um reproduzierbare Ergebnisse zu erlangen.

4. Chemische Aspekte von Sexualpheromonen der Phycitinae

Mit Hilfe moderner Methoden, die die Strukturaufklärung chemischer Moleküle im ng-Maßstab ermöglichen, konnte gezeigt werden, daß viele Lepidopteren-Arten

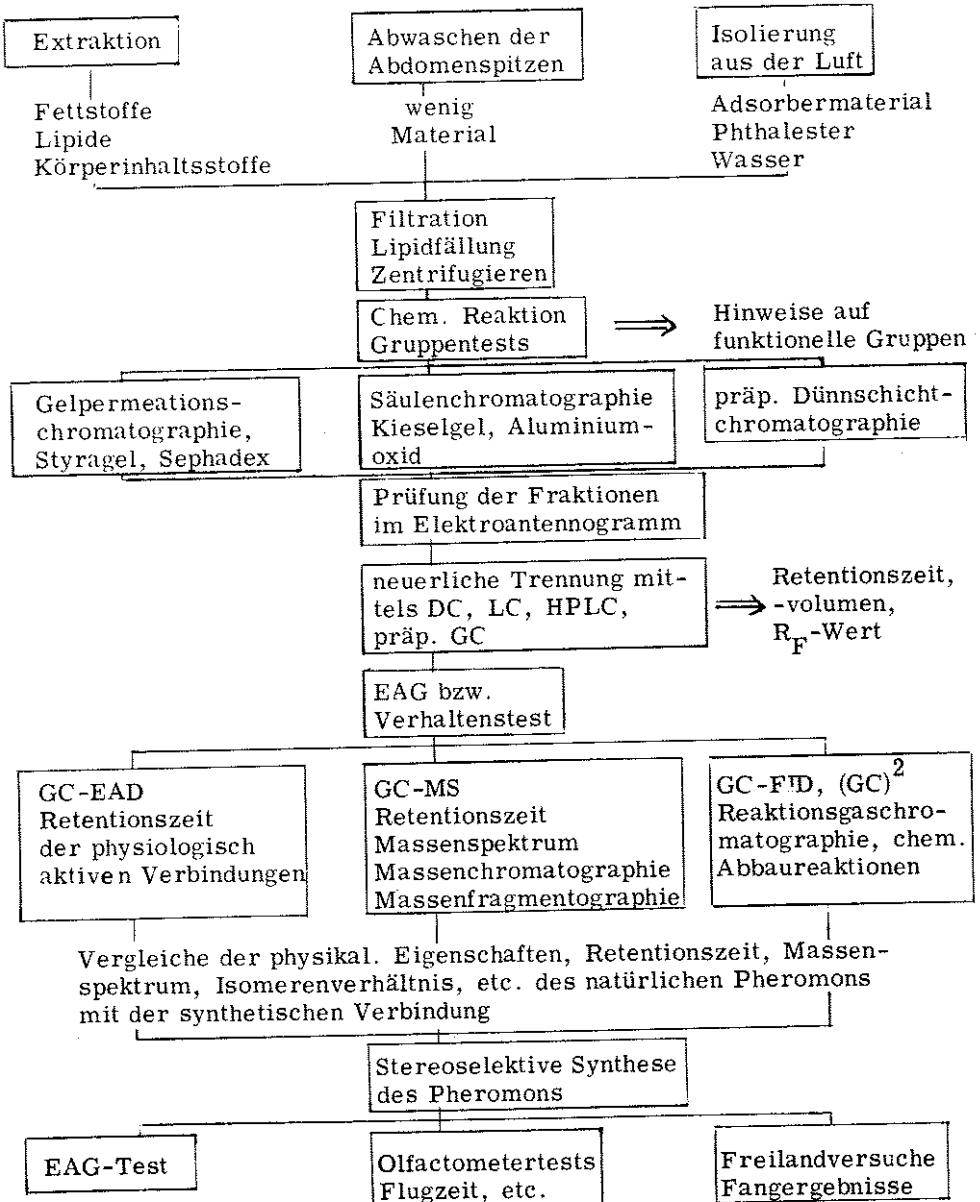
für die intrageschlechtliche Informationsübermittlung sogenannte Pheromkomplexe benutzen, die aus verschiedenen strukturell unterschiedlichen Molekülen bestehen.

4.1 Isolierung und Strukturaufklärung von Pheromonen

Abb. 18 zeigt in einem Fließschema die unterschiedlichen Methoden der Primär- gewinnung der Drüseninhaltsstoffe, die Vorreinigungsschritte wie Filtration, Lipidfällung, Gelpermeationschromatographie (GPC) und die eigentlichen Fraktionierungsoperationen wie Dünnschichtchromatographie (DC), Säulenchromatographie (LC), präparative Gaschromatographie (präp. GC) und Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC). Es folgen darauf die eigentlichen Identifizierungsschritte und Strukturbeweise, wie sie gaschromatographische Verfahren (GC-FID), hochauflösende Glaskappilargaschromatographie (GC)², Reaktionsgaschromatographie, GC-gekoppelte Massenspektroskopie (GC-MS), Massenchromatographie, Massenfragmentographie und GC-gekoppelte Elektroantennogramm (GC-EAD) darstellen. Die Endstufe der Pheromonanalyse ist jeweils die Strukturbestätigung durch die Synthese und die Testung des Syntheseproduktes im Elektroantennogramm (SCHNEIDER 1957), Olfaktometer und im Freiland.

Es hat sich als notwendig erwiesen, die Struktur eines Pheromons in allen 3 oben benannten Tests zu bestätigen. Z. B. unterscheiden sich die geometrischen Isomeren (cistrans Formen) verschiedener monounsättigter Pheromone in ihrer Wirkung im EAG oft nur um den Faktor 3, die Art ihrer Verhaltensauslösung differiert jedoch in vielen Fällen gravierend (BESTMANN 1976). Eine Begründung dafür wurde teils schon in Kapitel 3.2.3 gegeben: Das EAG ist ein Ausdruck von Rezeptorpotentialen von mehreren simultan stimulierten Rezeptorzellen mit möglicherweise unterschiedlicher Spezifität und keine Ableitung von einzelnen Zellen. Weiterhin sind in der Literatur Olfaktometerversuche beschrieben, die nur die Erregung der Männchen (z. B. Flügelschlagen) als Kriterium wählten (SHOREY 1970; TRAYNIER 1970 a, b) und nicht die Anziehung der Männchen (z. B. Anzahl der wiedergefangenen Männchen an einer pheromonbeköderten Falle) Dies kann ein Grund dafür sein, warum einige Komponenten, die unter Laborbedingungen ein vielversprechendes Resultat erzielten, im Freiland versagten.

Abb. 18: Allgemeines Schema zur Identifizierung von Pheromonen



aus: VOSTROWSKY and BESTMANN (1978)

4.2 Struktur von weiblichen Sexualpheromonen

30 verschiedene Sexualpheromone oder ihre Hauptkomponente wurden für 50 Lepidopteren-Arten charakterisiert (Tab. 3). Es sind nur jene Lepidopteren-Arten aufgeführt, deren Sexualpheromon oder eine Komponente isoliert und identifiziert wurden.

Tab. 3: Weibliche Sexualpheromone von Lepidopteren

| Compound ^a | Species | Family |
|--|--|------------------------|
| Hydrocarbon | | |
| 2-Methyl-heptadecane | <i>Homomelia nigricans</i> | Arctiidae |
| | <i>H. ferruginos</i> | Arctiidae |
| | <i>H. fragilis</i> | Arctiidae |
| | <i>H. imaculata</i> | Arctiidae |
| | <i>H. lamae</i> | Arctiidae |
| | <i>H. aurantica</i> | Arctiidae |
| <i>Pyrrharctia isabella</i> | Arctiidae | |
| Epoxy-hydrocarbon | | |
| c-7, 8-Epoxy-2-methyl-octadecane | <i>Porthetria dispar</i> | Lymantriidae |
| Alcohol | | |
| t8,t10-Dodecadienol c11-Tetradecenol (+ t11-14:OH, c11-14:Ac, t11-14:Ac) | <i>Laspeyresia pomonella</i> | Tortricidae |
| | <i>Platynota stultana</i> | Tortricidae |
| t11-Tetradecenol (+ c11-14:OH, c11-14:Ac,t11-14:Ac) (+ t11-14:Ac) | <i>P. stultana</i> | Tortricidae |
| | <i>P. idaeusalis</i> | Tortricidae |
| t10,c12-Hexa-decadienol | <i>Bombyx mori</i> | Bombycidae |
| Aldehyde | | |
| c9-Tetradecenal (+ c11-16:Ald) | <i>Heliothis virescens</i> | Noctuidae |
| | <i>Argyrotaenia citrana</i> | Tortricidae |
| c11-Tetradecenal (+ c11-14:Ac) | <i>Choristoneura fumiferana</i> | Tortricidae |
| t11-Tetradecenal | <i>Heliothis zea</i> | Noctuidae |
| c11-Hexadecenal (+ c9-14:Ald) | <i>H. virescens</i> | Noctuidae |
| Ketone | | |
| c6-Heneicosen-11-one | <i>Orgyia pseudotsugata</i> | Lymantriidae |
| Isovalerate | | |
| c5-Decenyl isovalerate | <i>Nudauletia cytherea</i> <i>cytherea</i> | Saturniidae |
| Acetate | | |
| Dodecyl acetate (+ c11-14:Ac, t11-14:Ac) (+ c11-14:Ac, t11-14:Ac) | <i>Archips argyrospilus</i> | Tortricidae |
| | <i>Argyrotaenia velutinana</i> | Tortricidae |
| c7-Dodecenyl acetate | <i>Autographa bioloba</i> | Noctuidae |
| | <i>A. californica</i> | Noctuidae |
| | <i>Pseudoplusia includens</i> <i>Rachiplusia ou</i> | Noctuidae Noctuidae |

| Compound | Species | Family |
|---|--------------------------------|-------------|
| | <i>Trichoplusia ni</i> | Noctuidae |
| <i>t</i> 7-Dodecenyl acetate | <i>Argyroploce leucotreta</i> | Tortricidae |
| <i>c</i> 8-Dodecenyl acetate | <i>Grapholitha molesta</i> | Tortricidae |
| <i>c</i> 9-Dodecenyl acetate | <i>Paralobesia biteana</i> | Tortricidae |
| <i>t</i> 9-Dodecenyl acetate | <i>Rhyacionia buoliana</i> | Tortricidae |
| (+ <i>t</i> 9, <i>t</i> 11-12:Ac, 11-12:Ac) | <i>Diparopsis castanea</i> | Noctuidae |
| <i>t</i> 11-Dodecenyl acetate | | |
| (+ <i>t</i> 9-12:Ac, <i>t</i> 9, <i>t</i> 11-12:Ac) | <i>D. castanea</i> | Noctuidae |
| <i>t</i> 9, 11-Dodecadienyl acetate | <i>D. castanea</i> | Noctuidae |
| (+ <i>t</i> 9-12:Ac, 11-12:Ac) | <i>D. castanea</i> | Noctuidae |
| <i>c</i> 9-Tetradecenyl acetate | | |
| (+ <i>c</i> 11-14:Ac) | <i>Adoxophyes fasciata</i> | Tortricidae |
| (+ <i>c</i> 11-14:Ac) | <i>A. orana</i> | Tortricidae |
| (+ <i>c</i> 9, <i>t</i> 12-14:Ac) | <i>Cadra cautella</i> | Pyralidae |
| (+ <i>c</i> 9, <i>t</i> 12-14:Ac) | <i>Spodoptera eridania</i> | Noctuidae |
| | <i>S. frugiperda</i> | Noctuidae |
| <i>c</i> 10-Tetradecenyl acetate | <i>Archips semiferanus</i> | Tortricidae |
| <i>c</i> 11-Tetradecenyl acetate | | |
| (+ <i>c</i> 9-14:Ac) | <i>Adoxophyes fasciata</i> | Tortricidae |
| (+ <i>c</i> 9-14:Ac) | <i>A. orana</i> | Tortricidae |
| (+ <i>t</i> 11-14:Ac, 12:Ac) | <i>Archips argyrospilus</i> | Tortricidae |
| (+ <i>t</i> 11-14:Ac) | <i>Archips podana</i> | Tortricidae |
| (+ <i>c</i> 11-14:Alid) | <i>Argyrotaenia citrana</i> | Tortricidae |
| (+ <i>t</i> 11-14:Ac, 12:Ac) | <i>A. velutinana</i> | Tortricidae |
| | <i>Choristoneura rosaceana</i> | Tortricidae |
| (+ <i>t</i> 11-14:Ac) | <i>Ostrinia nubilalis</i> | Pyralidae |
| (+ <i>t</i> 11-14:Ac, <i>c</i> 11-14; OH, <i>t</i> 11-14:OH) | <i>Platynota stultana</i> | Tortricidae |
| <i>t</i> 11-Tetradecenyl-acetate | | |
| (+ <i>c</i> 11-14:Ac, 12:Ac) | <i>Archips argyrospilus</i> | Tortricidae |
| (+ <i>c</i> 11-14:Ac) | <i>Archips podana</i> | Tortricidae |
| (+ <i>c</i> 11-14:Ac) | <i>Argyrotaenia velutinana</i> | Tortricidae |
| (+ <i>c</i> 11-14:Ac) | <i>Ostrinia nubilalis</i> | Pyralidae |
| (+ <i>c</i> 11-14:Ac, <i>t</i> 11-14; OH, <i>c</i> 11-14:OH) | <i>Platynota stultana</i> | Tortricidae |
| <i>c</i> 9, <i>t</i> 11-Tetradecadienyl acetate | | |
| (+ <i>c</i> 9, <i>t</i> 12-14:Ac) | <i>Spodoptera littoralis</i> | Noctuidae |
| (+ <i>c</i> 9, <i>t</i> 12-14:Ac) | <i>S. litura</i> | Noctuidae |

| | | |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------|
| c9,t12-Tetradecadienyl acetate | <i>Anagasta kuehniella</i> | Pyralidae |
| (+c9-14:Ac) | <i>Cadra cautella</i> | Pyralidae |
| | <i>C. figulicella</i> | Pyralidae |
| | <i>Ephesia clutella</i> | Pyralidae |
| (+ c9-14:Ac) | <i>Plodia interpunctella</i> | Pyralidae |
| | <i>Spodoptera eridania</i> | Noctuidae |
| (+ c9,t11-14:Ac) | <i>S. exigua</i> | Noctuidae |
| | <i>S. littoralis</i> | Noctuidae |
| (+ c9,t11-14:Ac) | <i>S. litura</i> | Noctuidae |
| c7,c11-Hexadecadienyl acetate | | |
| (+ c7,t11-16:Ac) | <i>Pectinophora gossypiella</i> | Gelechiidae |
| c7,t11-Hexadecadienyl acetate | | |
| (+ c7,c11-16:Ac) | <i>P. gossypiella</i> | Gelechiidae |
| | <i>Sitotroga cerealella</i> | Gelechiidae |
| c3,c13-Octadecadienyl acetate | <i>Sanninoidea exitiosa</i> | Sesiidae |
| t3,c13-Octadecadienyl acetate | <i>Synanthedon pictipes</i> | Sesidae |

³Key to abbreviated notation of chemical formulae: *c* or *t* = *cis* or *trans*; the number following *c* or *t* indicates the position of unsaturation; the number following the hyphen indicates the length of the carbon chain; Ac = acetate; Ald = aldehyde.

aus: TAMAKI (1977)

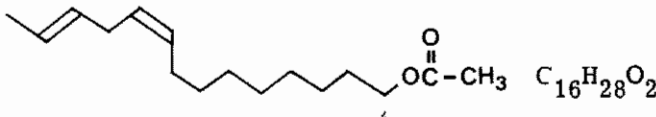
Alle gefundenen Verbindungen sind aliphatisch, und ihre strukturelle Verschiedenheit drückt sich in der unterschiedlichen Anzahl von C-Atomen (variiert von 12 bis 21), in einer Änderung der funktionellen Gruppe (Acetate, Alkohol oder Aldehyd), in einer Veränderung der Position der Doppelbindungen (7 bis 11) oder in der Konfiguration (*cis* oder *trans*) aus. Von den 30 Verbindungen (Tab. 3) sind 60 % Acetate mit ein oder zwei Doppelbindungen, die anderen Verbindungstypen sind u. a. Alkohole und Aldehyde. 60 % der Doppelbindungen, die in den natürlichen Sexuallockstoffen gefunden wurden, haben *cis*-Konfiguration (TAMAKI 1977).

Eine Beziehung zwischen Insektentaxonomie und der Struktur der Pheromonverbindungen ist bis jetzt noch nicht eindeutig, da erst eine kleine Anzahl von Arten untersucht wurde. Die 50 Arten, deren weibliches Sexualpheromon oder eine Komponente identifiziert wurde, gehören zu nur 9 Lepidopteren-Familien, verglichen mit der Gesamtzahl von mehr als 100 Familien dieser Ordnung.

Der Unterschied zwischen 30 (Anzahl der Verbindungen) und 50 (Anzahl der Insektenarten) kommt dadurch zustande, daß viele Verbindungen als gemeinsame Sexualpheromonkomponenten bei verschiedenen Insektenarten vorkommen.

4.2.1 Das weibliche Sexualpheromon von *Ephestia kühniella*

Das Sexualpheromon der weiblichen Mehlmotte, bzw. seine Hauptkomponente wurde von KUWAHARA et al. (1971a) als (Z,E)-9,12-Tetradecadienylacetat (ZETA oder TDA abgekürzt) identifiziert. BRADY et al. (1971a) und DAHM et al. (1971) kamen in unabhängigen Analysen zu demselben Ergebnis. ZETA hat folgende Struktur:



MG. 252.42

4.3. Multipheromonkomplex

Studien der letzten Jahre über Sexualpheromone von Lepidopteren zeigten, daß einzelne Pheromonkomponenten oft bei mehr als einer Art vorkommen. Z.B. ist (Z,E)-9,12-Tetradecadienylacetat das Sexualpheromon oder die Hauptkomponente von 9 verschiedenen Arten. Diese Pheromonkomponente wurde identifiziert für

5 Phycitinae-Arten:

- | | |
|--------------------------------|---|
| - <i>Plodia interpunctella</i> | (BRADY et al. 1971b; DAHM et al. 1971; KUWAHARA et al. 1971b) |
| - <i>Ephestia elutella</i> | (BRADY and NORDLUND 1971) |
| - <i>Ephestia kühniella</i> | (BRADY et al. 1971a; KUWAHARA et al. 1971a) |
| - <i>Ephestia cautella</i> | (BRADY et al. 1971b; KUWAHARA et al. 1971b) |
| - <i>Ephestia figulilella</i> | (BRADY and GANYARD 1972b) |

4 Noctuiden-Arten:

- *Spodoptera eridania* (JACOBSON et al. 1970)
- *Spodoptera exigua* (BRADY and GANYARD 1972a)
- *Spodoptera litura* (TAMAKI et al. 1973)
- *Spodoptera littoralis* (TAMAKI and YUSHI'MA 1974).

Diese Fakten deuten darauf hin, daß die Spezifität der Lepidopteren Sexualpheromone relativ gering ist, wenn ein Ein-Komponenten-Pheromonsystem angenommen wird.

DETHIER (1947) wies schon auf die Wichtigkeit eines Gemisches in der Duftqualität hin: bzgl. der Anlockung sind Gemische jeder einzelnen Komponente überlegen. WRIGHT (1964) vermutete ebenfalls, daß Pheromone aus mehreren Komponenten zusammengesetzt sind, jedoch waren die Forschungen der 60er Jahre von dem Ein-Komponenten-Pheromon-System pro Art belastet. Die Literatur jener Zeit vermittelt den Eindruck, daß dieses Konzept generell akzeptiert wurde, insbesondere weil die zwei ersten Pheromonidentifikationen von Motten, die von *Bombyx mori* im Jahre 1959 (BUTHENANDT et al. 1959) und von *Trichoplusia ni* im Jahre 1966 (BERGER 1966) Ein-Komponenten-Pheromon-Systeme sind, bzw. erst im Jahre 1978 eine zweite Pheromonkomponente des Seidenspinners *Bombyx mori* identifiziert werden konnte (KASANG et al. 1978). Auch die Pheromonidentifikation der beiden Hauptschädlinge, die des Schwammspinners im Jahre 1970 (BIERL et al. 1970) und die des Apfelwicklers im Jahre 1971 (ROELOFS et al. 1971) werden bis heute als Ein-Komponenten-Pheromonsysteme bestätigt. Einen Durchbruch erreichten JACOBSON et al. (1970) mit der Identifikation von zwei unterschiedlichen Pheromonkomponenten von *Spodoptera eridania*. Jede Verbindung einzeln erregte die männlichen Motten in Laborversuchen, aber beide Komponenten zusammen waren zur Anziehung der Männchen in Feldversuchen notwendig. Diese beiden Komponenten haben im Paarungsverhalten unterschiedliche Funktionen. Es wird vermutet, daß die eine Komponente die Fernorientierung, die andere die Erregung der Männchen im Nahbereich auslöst (ROELOFS and CARDE 1977).

4.3.1 Struktur-Wirkungs-Beziehungen der Pheromonkomponenten

Weibliche *Ephestia kühniella* locken außer den arteigenen Männchen auch Männchen

von *Ephestia elutella* und *Plodia interpunctella* an; weibliche *Ephestia elutella* locken wiederum die Männchen von *Ephestia kühniella*, *Plodia interpunctella* und der eigenen Art an. Andererseits vermögen weibliche *Plodia interpunctella* nur art eigene Männchen anzulocken. Als gemeinsame Pheromonbestandteile mehrerer *Ephestia*- und *Plodia*-Arten konnte (Z,E)-9,12-Tetradecadienylacetat (ZETA) sowie der entsprechende Alkohol (ZETOH) nachgewiesen werden (Tab. 6, S. 59). ZETA wurde als Hauptkomponente des Pheromonkomplexes erkannt, während ZETOH die Anlockung der Männchen einiger Arten, z. B. bei *Ephestia cautella*, zu hemmen scheint.

Die chemische Kommunikation erfolgt bei den Lepidopteren bzw. bei den Insekten allgemein in den meisten Fällen durch Mehrkomponentensysteme. Für die Wirkungsweise und die Artspezifität eines Pheromonkomplexes ist seine Zusammensetzung sowie das Mengenverhältnis der Pheromonkomponenten zueinander ausschlaggebend.

Die Phycitinae-Arten benutzen für ihre intraspezifische Informationsübermittlung Pheromonkomplexe, die aus verschiedenen, jedoch in ihrer Struktur sehr ähnlichen Molekülen bestehen. Das 'Tropical Institute' testete die Leistungsfähigkeit der 3 Pheromonkomponenten ZETA, ZTA und ZETOH von *Ephestia cautella* (Tab. 6, S. 59) (im natürlichen Verhältnis von 10 : 5 : 1 - READ and BEEVOR, 1976 -) auf anziehende, synergistische und inhibierende Wirkung, indem die synthetischen Komponenten als Köder in Mais- und Weizenlagern in Kenia verwandt wurden.

In einem kleinen Maislager wurden 4 Tage lang Fallen mit den 3 synthetischen Komponenten (einzeln und in Kombination) sowie mit dem natürlichen Extrakt aus weiblichen Abdomenspitzen beködert. Die Anzahl der gefangenen Motten pro Falle für die unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten zeigt Tabelle 4.

Die Fänge der Fallen, die mit ZETA oder mit Kombination ZETA und ZTA beködert waren, waren signifikant höher als die Kontrollfänge. Die Komponenten ZTA und ZETOH, einzeln oder in Kombination, veränderten die Fänge bezogen auf die Kontrolle nicht signifikant. Die Kombination der Komponenten ZETA und ZTA wies signifikant höhere Fänge auf als die Komponenten ZTA und ZETOH, einzeln oder in Kombination (Tab. 4).

Tab. 4: Durchschnittliche Anzahl von *Ephestia cautella* pro Falle in 4 Tagen in einem Maislager.

| Treatment | Mean nos. of moths per trap in 4 days | Means of transformed counts of moths ⁺ | |
|---|--|---|-------|
| Compounds <u>1</u> + <u>2</u> | 14.7 | 5.137 | |
| Compound <u>2</u> | 12.7 | 4.732 | |
| Comp. 1 = ZTA | Compounds <u>1</u> + <u>2</u> + <u>3</u> | 9.7 | 3.988 |
| Comp. 2 = ZETA | Compounds <u>2</u> + <u>3</u> | 7.3 | 3.291 |
| Comp. 3 = ZETOH | Natural extract | 6.7 | 3.202 |
| | Compound <u>1</u> | 6.3 | 2.994 |
| | Compound <u>3</u> | 6.0 | 2.986 |
| | Compounds <u>1</u> + <u>3</u> | 5.3 | 2.375 |
| | Control | 5.0 | 2.487 |
| ⁺ Counts were transformed by raising to the power of 0.615 after a Taylor's Power Law analysis. Least significant differences between means of transformed counts are: 1.873 at 5 % level, 2.580 at 1 % level. | | | |

aus: READ and HAINES (1976)

In einem großen Weizenlager wurde nun die Lockwirkung von ZETA, der Kombination von ZETA und ZTA sowie der Kombination von ZETA, ZTA und ZETOH getestet. Tabelle 5 zeigt die Anzahl der gefangenen männlichen *Ephestia cautella* pro Falle mit den oben beschriebenen Kombinationen.

Wiederum zeigten ZETA und die Kombination von ZETA und ZTA signifikant höhere Fallenfänge als die Kontrollfänge. Die Fängigkeit der Kombination von ZETA, ZTA und ZETOH war signifikant verschieden von den Kontrollfängen, aber wesentlich weniger signifikant unterschiedlich zu ZETA einzeln oder zu der Kombination von ZETA und ZTA, wie folgende Tabelle 5 zeigt.

Tab. 5: Durchschnittliche Anzahl von *Ephestia cautella* pro Falle in 3 Tagen in einem Weizenlager.

| | Treatment | Mean nos. of moths per trap in 3 days | Means of transformed counts of moths ⁺ |
|--------------------|---|---------------------------------------|---|
| Comp. 1 = ZTA | Compounds <u>1</u> + <u>2</u> | 104.25 | 1.838 |
| | Compound <u>2</u> | 34.00 | 1.648 |
| Comp. 2 = ZETA | Compounds <u>1</u> + <u>2</u> + <u>3</u> | 6.75 | 1.174 |
| | Control | 0.25 | 0.250 |
| Comp. 3 = ZETOH | ⁺ Counts were transformed by raising to the power of 0.147 after a Taylor's Power Law analysis. Least significant differences between means of transformed counts are: 0.408 at 5% level, 0.563 at 1% level, 0.773 at 0.1% level | | |

aus: READ and HAINES (1976)

Zusammenfassend kann man die Wirkung der Pheromonkomponenten von *Ephestia cautella* wie folgt beschreiben:

- ZETA ist die Hauptkomponente des Pheromonkomplexes mit anlockender Wirkung für männliche *Ephestia cautella*;
- ZTA, obwohl einzeln nicht attraktiv für Männchen, ist ein Synergist, der die Lockwirkung von ZETA verstärkt;
- ZETOH ist nicht attraktiv für Männchen, unterdrückt vielmehr die Lockwirkung von ZETA und von der Kombination ZETA und ZTA.

(HAINES 1976; READ and HAINES 1976)

In Tab. 6 sind für die 4 Phycitinae-Arten die jeweiligen Pheromonkomponenten und ihre Wirkungsweise bei Zugabe zu der Hauptkomponente (ZETA) zusammengestellt. Die Angaben zu der methodischen Vorgehensweise ihrer Strukturbestätigung sind entsprechend den in Kapitel 4.1 gemachten Ausführungen zu werten.

Weiterhin ist für die Wirkungsweise und Artspezifität eines Pheromonkomplexes oft das Verhältnis der Zusammensetzung seiner Komponenten ausschlaggebend. Selbst wenn die Pheromonkomponenten zweier Arten gleich sind, kann die

Tab. 6: Pheromonkomponenten und ihre Wirkungsweise der 4 Phycitinae-Arten.

| Pheromonkomponente | Art | Wirkungsweise | Methode | Bemerkung | Zitat |
|--|--|---|---|------------------|---|
| (7,E)-9,12-Tetradecadienol ZITOH | <i>Ephesia cautella</i> <i>Ephesia kühniella</i> <i>Ephesia elutella</i> <i>Plodia interpunctella</i> | ? inhib. ? ? ? | A A B C A A A A B | h h h h | KUWAHARA and CASIDA (1973) SOWER et al. (1974a); READ and HAINES (1976) KUWAHARA and CASIDA (1973) KUWAHARA and CASIDA (1973) KUWAHARA and CASIDA (1973) SOWER et al. (1974a) |
| (Z)-9-Tetradecenylacetat ZTA | <i>Ephesia cautella</i> <i>Ephesia kühniella</i> <i>Plodia interpunctella</i> | inhib. syn. inhib. inhib. | A B C B B | h d d | BRADY (1969, 1973); Kap. 5.2.2. READ and HAINES (1976) BRADY (1969) BRADY (1969) |
| (Z,Z)-9,12-Tetradecadienylacetat ZZTA | <i>Plodia interpunctella</i> | inhib. | A B | d | VICK and SOWER (1973) |
| (Z,E)-9,12-Tetradecadienylacetat ZETA | <i>Ephesia cautella</i> <i>Ephesia kühniella</i> <i>Ephesia elutella</i> <i>Plodia interpunctella</i> | sex at. inhib. sex at. sex at. sex at. disrup. | A B C B A B A B A B C | h h h h | BRADY et al. (1971b); KUWAHARA et al. (1971b) READ and HAINES (1976) BRADY et al. (1971b); TAKAHASHI et al. (1972) KUWAHARA et al. (1971a) BRADY and NORDLUND (1971) KUWAHARA et al. (1971b); BRADY et al. (1971b) SOWER et al. (1975) |

Erklärungen: A = Chemisch-analytische Methoden (vgl. Abb. 20, S. 53); B = Difaktometer-/Grob-raumversuche; C = Freilandversuche (Versuche in Vorratslagern gehören hierzu).
h = von weiblichen Motten produziert; d = noch nicht bewiesen, daß diese Komponente von weiblichen Motten produziert wird.

quantitative Zusammensetzung dieser Komponenten eine artspezifische Kommunikation bewirken. Die Änderung des für die Art zur Auslösung eines bestimmten Verhaltens notwendigen Verhältnisses zweier Komponenten zueinander kann zu einer Störung der Pheromonkommunikation führen (TAMAKI 1977).

Gerade bei den in Tab. 6 beschriebenen, teils sympatrisch lebenden Arten, welche die gleiche Hauptkomponente (ZETA) und den entsprechenden Alkohol (ZETAH) besitzen, trägt das Vorhandensein von Inhibitoren und Synergisten zur Spezifität der Pheromonkommunikation und zur Artisolierung bei. Über die Mengenverhältnisse der Pheromonkomponenten bei der Pheromonabgabe der 4 Phycitinae-Arten liegen noch keine quantitativen Untersuchungen vor.

5. Die Anwendung von Pheromonen bei der Phycitinae-Bekämpfung

Die Anwendungsmöglichkeiten von Pheromonen bei der Bekämpfung vorrats-schädlicher Phycitinae-Arten wurden in den letzten Jahren verschiedentlich vorgeschlagen und teilweise auch untersucht (LEVINSON 1974, 1977; BURKHOLDER 1974, 1976; REJCHMUTH et al. 1976, 1978, 1979; HAINES 1976). Dabei ist von Vorteil, daß die Lockwirkung von Pheromonködern in Vorratsspeichern über viele Wochen erhalten bleibt. Da Vorratslager räumlich begrenzte sowie in unseren Breiten klimatisch gemäßigte und annähernd gleichbleibende Lebensbereiche für die sich dort entwickelnden Insektenpopulationen sind, eignen sich diese Räume besonders für biotechnische Bekämpfungsverfahren, einschließlich der mit Lockstoffen. Wichtige Grundlage zur Anwendung von Sexuallockstoffen als Insektostatika (Mittel zur Herabsetzung der Befallsdichte unter die Schadensschwelle - LEVINSON 1974 -) ist die Kenntnis der Antennenmorphologie und -physiologie, der Orientierungsmechanismen der Schadinsekten, des Einflusses von endogenen und exogenen Faktoren auf die Pheromonkommunikation sowie die Kenntnisse über die chemische Struktur des Lockstoffes.

Nachstehend sind 6 teilweise erprobte Verwendungsmöglichkeiten von Lockstoffen zur biotechnischen Bekämpfung schädlicher Insektenarten noch einmal zusammengefaßt (vergl. Kap. 2):

- a) Früherkennung und Lokalisierung von Insektenbefall auch als Erfolgsmonitor nach Bekämpfungsmaßnahmen

- b) Untersuchung der Populationsdynamik
- c) Massenweises Abfangen der Schadinsekten zur drastischen Populationsverdünnung
- d) Hemmung des Populationsaufbaus durch hohe Lockstoffkonzentrationen oder Inhibitoren (Desorientierung)
- e) Populationsabbau mit Pathogenen oder Insektistatika auf Lockstofffallen
- f) Insektistasis durch dauerndes Vorhandensein von zahlreichen Lockstofffallen (LEVINSON 1977).

Die folgenden Beispiele zeigen die Einsatzmöglichkeiten von Pheromonen a) bis d) gegen Vorratsschädlinge.

5.1 Früherkennung und Lokalisierung von Phycitinae-Befall

Die Möglichkeit, pheromonbeköderte Fallen für die Früherkennung von Befall mit *Plodia interpunctella* zu gebrauchen, zeigten REICHMUTH et al. (1976) bei einem Großversuch in einer Berliner Süßwarenfabrik. In verschiedenen Produktions- und Lagerräumen wurden weiße Trapezfallen beladen mit 10 µg, 100 µg bzw. 500 µg (Z,E)-9,12-Tetradecadienylacetat (ZETA) pro Falle aufgehängt. 2 bzw. 4 Monate nach Ausbringen der Fallen wurden 2 bzw. 6 *Plodia*-Männchen pro Falle gefangen. Obgleich nur sehr wenige Motten-Männchen gefangen wurden, ist mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen, daß ein zusätzlicher Mottenflug in den betroffenen Räumen stattgefunden hat. Ähnliche Versuche wurden von HOPPE und LEVINSON (1979) durchgeführt.

Einen Großversuch zur gezielten Früherkennung von *Ephestia elutella* machten REICHMUTH et al. (1976) in 4 Berliner Getreideschüttbodenlagern. Die angewandten Fallen bestanden aus senkrecht aufgehängten, leimbezogenen Papierstreifen, an denen in der Mitte je eine Polyäthylen-Kapsel mit 1,8 µg ZETA angebracht war. In diesen Versuchen wurden alternierend unbeködete (Kontrollfallen) und ZETA-beködete Fallen in Abständen von 3 m um den Weizen in Wandnähe aufgehängt. Interessanterweise zeigten die beködeten Fallen schon 5 Wochen vor den Kontrollfallen einen Befall mit Speichermotten an. Der Kurvenverlauf für die an den mit ZETA-beködeten Fallen gefangenen Motten spiegelt die Populationsdynamik bedeutend besser wieder als die Kurven für die mit lebenden Weibchen bzw. nur mit Leim (Kontrolle) gefangenen Speichermotten (Abb.

Motten an als die Hauptkomponente alleine (Tab. 5, S. 58).

Eine weitere Köder-Optimierungsstrategie kann mit einer Veränderung der Pheromondosierung erzielt werden. Die optimale Abgaberate oder Kapseldosierung für Fallenfänge variiert stark mit der Art. Bei einigen Arten nimmt die Zahl gefangener Männchen mit steigender Konzentration des Pheromons zu, wobei diese Anlockung stärker sein kann als die von Weibchen. TAKAHASHI et al. (1972) fand bei Anlockversuchen mit männlichen *Ephestia cautella* in einem 2.4 m^3 großen Raum, daß eine Kapseldosierung von 10^{-6} mg ZETA ca. 50 % der ausgesetzten männlichen Motten wiederfang. Niedrigere oder höhere Konzentrationen reduzierten das Fangergebnis (TAKAHASHI et al. 1972).

Außer bei *Ephestia cautella* sind für die anderen Phycitinae-Arten entsprechende Versuche noch nicht durchgeführt worden. Deshalb sollte in dieser Arbeit die Wiederfangrate männlicher *Ephestia küniella* in Abhängigkeit von der ZETA-Konzentration bestimmt werden (Kap. 6.4).

Allgemein scheint die Effektivität des Massenfangs von der Befallsstärke beeinflusst zu werden (Kap. 2.3.1). In von *Ephestia elutella* befallenen Getreideschüttbodenlagern konnte dies gezeigt werden: Der Männchenfang an ZETA-Fallen war rund 13 mal größer als an Kontrollfallen bei schwachem Befall und nur nahezu 2 mal größer als an den Kontrollfallen bei dichtem Befall (REICHMUTH et al. 1978). Die Anwendung von Pheromonen beim Massenfang scheint nur bei niedriger Befallsdichte Aussicht auf Erfolg zu haben.

5.2.2 Desorientierungstechnik

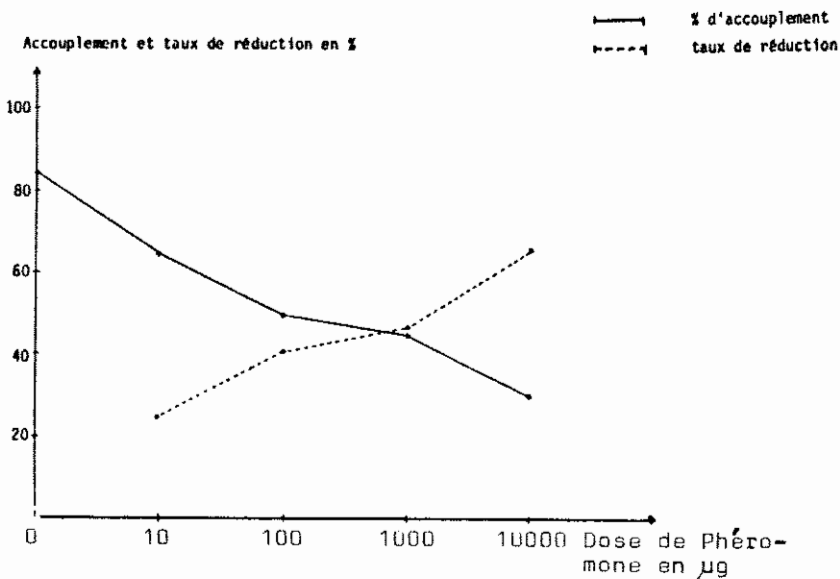
Bei der Desorientierungstechnik sollen die Männchen durch Dauereinwirkung einer hohen Pheromonkonzentration oder von Inhibitoren daran gehindert werden, die Weibchen aufzusuchen, was zu einer Verhinderung des Populationsaufbaues führt (Kap. 2.3.2).

Laborversuche mit einer überhöhten Dosis von ZETA zur Paarungsunterbrechung von *Plodia interpunctella* führten PIMAUD et al. (1976) durch. Eine ZETA-Konzentration von 10^3 bzw. $10^4 \mu\text{g}$ reduzierte innerhalb von 24 Stunden die Paarungshäufigkeit um 47 % bzw. 65 % gegenüber den Kontrollen (Abb. 20). Diese vielversprechenden Ergebnisse aus Laborversuchen überprüfte FLEURAT LESSARD (1976) in Vorratslagern in Frankreich, in denen Pflaumen gelagert

waren. Die Anwendung von hohen Dosen von ZETA ($2 \times 10^4 \mu\text{g}/\text{Kapsel}$) reduzierte die Paarungshäufigkeit von *Plodia interpunctella* hier jedoch nur um 26 % gegenüber der Kontrolle. Die Diskrepanz dieser beiden Versuchsergebnisse ist auf die anziehende Wirkung des Pflaumengeruches zurückzuführen.

Die Desorientierungstechnik wurde ebenfalls in einem von *Ephestia cautella* befallenen Erdnußlager getestet. Dazu wurde eine hohe Menge synthetischen Pheromongemisches ZETA und ZTA ($7 \text{ mg pro Stunde pro } 1000 \text{ m}^3$) angewandt, nachdem aus Laborstudien bekannt war, daß hohe Konzentrationen jenes Pheromongemisches die Zahl der Kopulationen von weiblichen mit männlichen *Ephestia cautella* drastisch hemmen (BRADY and DALEY 1975; BRADY et al. 1975). Dieser Bekämpfungsversuch erzielte nicht den erwarteten Erfolg. Der Fehlschlag wurde u. a. damit begründet, daß die Populationsdichte der Falter im Erdnußlager um ein Vielfaches höher lag als bei den Laborversuchen. Schätzungen ergaben, daß bei der vorhandenen Populationsdichte der Falter im Erdnußlager eine Pheromon-

Abb. 20: Prozentuale Paarungsreduktion von *Plodia interpunctella* in Anhängigkeit von der ZETA-Konzentration.

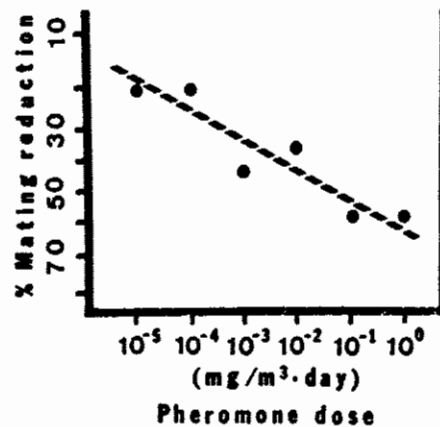


aus: PIMAUD et al. (1976)

abgaberrate von einer Größenordnung ca. 0,6 kg/Stunde pro 1000 m³ zur Paarungsreduktion von *Ephestia cautella* notwendig gewesen wäre (BRADY et al. 1975). Ein weiterer Versuch zeigte, daß Männchen, die sich an die Anwesenheit des synthetischen ZETAs gewöhnt hatten (ein Phänomen der Desorientierung, s. Kap. 2.3.2), von lockenden Weibchen nicht zu dem anemotaktischen Flug stimuliert wurden. Die Gewöhnung der Männchen an ZETA beeinträchtigt aber nicht das Nahbereichsverhalten. Von daher ist bei hoher Populationsdichte die Wahrscheinlichkeit groß, daß Männchen in spontanen Bewegungen auf in der Nähe (1-2 cm) sitzende Weibchen treffen und kopulieren (SOWER et al. 1975), es sei denn, man nähme den Motten die optische Orientierung durch Verdunklung (REICHMUTH et al. unveröffentlicht).

Weiterhin konnte für *Plodia interpunctella* in einem 90 m³ großen Versuchsraum gezeigt werden, daß bei einer Populationsdichte von 2 Motten/m² Wandfläche die Paarungshäufigkeit mit zunehmender ZETA-Konzentration zurückgeht (Abb. 21). Bei einer Populationsdichte von 0.2 Motten/m² Wandfläche bewirken die gleichen ZETA-Konzentrationen wie in Abb. 21 eine höhere Paarungsreduktion (SOWER et al. 1975).

Abb. 21: Paarungsreduktion von *Plodia interpunctella* in Abhängigkeit von unterschiedlichen ZETA-Konzentrationen bei einer Populationsdichte von 2 Motten/m² Wandfläche



aus: SOWER et al. (1975)

Die oben dargestellten Versuchsergebnisse belegen, daß der Desorientierungstechnik, ebenso wie dem Massenfang, nur bei schwacher Befallsdichte Aussicht

auf Erfolg zugesprochen wird. Hält man jedoch *Ephestia cautella* in totaler Dunkelheit, so kann der obere Grenzwert der Populationsdichte, bei dem die Paarungsunterbrechung durch hohe Pheromonmengen noch erfolgreich ist, um das 2 bis 3fache erhöht werden (McLAUGHLIN and HAGSTRUM 1976).

Neben der Anwendung hoher Pheromon-Konzentrationen zur Desorientierung männlicher Motten wird der Einsatz von Inhibitoren erprobt. In einem Lager in Kenia, in dem 3000 Tonnen Weizen eingelagert waren, wurde der Einfluß des synthetischen Inhibitors ZETOH (Tab. 5, S.58) auf die Paarungsunterdrückung von *Ephestia cautella* getestet. Die langsame Abgabe von ZETOH aus 120 Polyäthylenkapseln, jeweils 1,8 mg enthaltend, führte zu einem Rückgang von begatteten Weibchen von 65 % auf unter 30 % (HAINES 1976).

Obwohl bei der Desorientierungstechnik der Einsatz von vergleichsweise niedrigen Konzentrationen eines Inhibitors wegen seiner Effektivität und aus Kostengründen der Anwendung von hohen Konzentrationen des Pheromons zu bevorzugen ist, liegen erst wenige Großraumversuche mit Inhibitoren gegen Phycitinae-Arten vor. Weiterhin besteht beim Einsatz von Inhibitoren nicht die Gefahr, daß sie nach der Adsorption auf den Produkten männliche Motten aus der Umgebung anziehen.

5.3 Pheromonanwendung bei der integrierten Bekämpfung

Sexualpheromone können eine wichtige Komponente bei der integrierten Bekämpfung der Phycitinae sein. Bei der integrierten Bekämpfung werden biologische, biotechnische oder chemische Verfahren in der Art und Weise koordiniert, daß sie sich ohne gegenseitige Störung ineinander fügen und die Umweltqualität möglichst wenig beeinträchtigt wird (FRANZ und KRIEG 1976). Im folgenden sollen einige Beispiele von integrierten Bekämpfungsprogrammen mit Sexualpheromonen gegen vorratsschädliche Motten dargestellt werden.

LEVINSON and LEVINSON (1977) entwickelten ein Konzept der integrierten Bekämpfungstechnik gegen vorratsschädliche Insekten mit Sexuallockstoffen und gasförmigen Insektiziden. Dieses Bekämpfungsprogramm ist aus 3 Stufen aufgebaut:

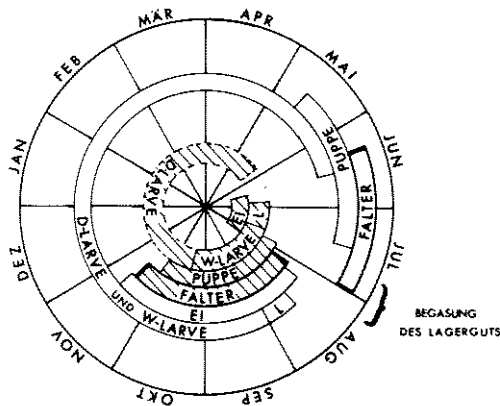
1. ständiges Vorhandensein einer kleinen Anzahl von beköderten Fallen zur Früherkennung von Mottenbefall in Vorratslagern;

2. Einsatz einer größeren Anzahl von beköderten Fallen und gegebenenfalls lokal begrenzte Begasungen zur Herabsetzung der Insektenpopulation unter die Schadensschwelle;
3. falls sehr schnelle Insektenbekämpfung in den Lägern erforderlich ist, vollständige Begasung.

Die Überwachung der Flugzeiten von Motten mittels pheromonbeköderten Klebefallen ist ein nützlicher Zeitgeber zur Einleitung von Bekämpfungsmaßnahmen und macht eingeschränkte Insektizidanwendung und damit eine Verringerung der Vorratsschutzkosten und der Nebenwirkungen möglich.

Aufgrund der sich periodisch wiederholenden Flugmaxima der Sommer- und Herbstgenerationen von Speichermotten in Berliner Getreideschüttbodenlägern (Abb. 19) ist es empfehlenswert, den Zeitpunkt von Begasungsmaßnahmen frühestens 8 Wochen nach dem ersten Auftreten von Faltern bzw. spätestens 4 Wochen nach dem Flugmaximum der Sommergeneration anzusetzen (REICHMUTH et al. 1979). Zu dieser Zeit besteht die Schädlingspopulation vorwiegend aus jungen Larven sowie wenigen Eiern, Wanderlarven und Imagines. Die gegen Phosphorwasserstoff besonders widerstandsfähigen Diapauselarven (BELL and GLANVILLE 1973) sind zu diesem Zeitpunkt nicht vorhanden. Der Erfolg einer solchen integrierten Schädlingsbekämpfung kann aufgrund der Anzahl der im Herbst geköderten Speichermotten ermittelt werden.

Abb. 22: Wahrscheinliche Generationsfolge von *Ephestia elutella* (Hbn.) in Berliner Getreideschüttbodenlägern.



aus: REICHMUTH et al. (1979)

Ein weiteres Konzept der integrierten Bekämpfung gegen vorratsschädliche Motten besteht in der Kombination zweier biotechnischer Verfahren unter Verwendung physikalischer und chemischer Hilfsmittel (Licht und Pheromone). Lichtfallen als solche, ähnlich wie Pheromonfallen (Kap. 2.2 und 5.1), werden zur Prognose des Schädlingsbefalls eingesetzt und sind somit eine wichtige Entscheidungshilfe dafür, ob Bekämpfungsmaßnahmen notwendig sind. Aber nicht nur zur Prognose, sondern auch zur Bekämpfung selbst können beide kombiniert Anwendung finden.

Beim Lichtfang muß die spektrale Empfindlichkeit der anzulockenden Art berücksichtigt werden. Diese biotechnische Methode ist relativ unspezifisch, da verschiedene Arten auf die gleiche Wellenlänge reagieren. Unter den Vorratsschädlingen reagieren bestimmte Kleinschmetterlinge wie *Epeestia kühniella* und *Plochia interpunctella* vorwiegend auf grün (STERMER 1959; SODERSTROM 1970), andere, wie *Epeestia cautella*, auf ultraviolett und auf grün (KIRKPATRICK et al. 1970). Inwieweit die Bevorzugung einer Wellenlänge auch von der entsprechenden Lichtintensität abhängt, wurde in den oben beschriebenen Arbeiten nicht ermittelt.

Der Vorteil der Kombination dieser beiden biotechnischen Methoden für den Massenfang besteht in der Erhöhung der Flugaktivität der Motten durch die entsprechende Wellenlänge des Lichtes (HAGSTRUM et al. 1977) und führt damit zu einer Erhöhung der Fangzahlen an beköderten Fallen. Zusätzlich werden von Lichtfallen auch weibliche Motten angelockt. In drei mit vorratsschädlichen Motten befallenen Lagern fand GRANT (zitiert nach BURKHOLDER 1974), daß das Geschlechtsverhältnis von *Epeestia cautella* in Lichtfallenfängen sich wie 1,5 : 1 (Männchen zu Weibchen) verhielt. Die Lichtfallen fingen in jedem Versuch mehr Motten als die Pheromonfallen (1,3 : 1), aber sie sind in der Praxis teurer und schwieriger zu handhaben als Pheromonfallen.

Ein weiteres integriertes Schädlingsbekämpfungsprogramm besteht in der kombinierten Anwendung von Sexualpheromonen und Juvenilhormonen (JH) oder Juvenilhormonanaloga (JHA). Detaillierte Versuchsbeschreibungen sind folgenden Arbeiten zu entnehmen: LEVINSON (1974); FRANZ und KRIEG (1976); HOPPE (1976).

JH kontrollieren zusammen mit dem Häutungshormon (Ecdyson) die Metamorphose der Insekten. Ist der JH-Spiegel im Vergleich zum Ecdysonspiegel hoch, so entsteht bei einer Häutung kein neues Entwicklungsstadium. Es ist wichtig, die Anwendung von JH oder JHA, die nicht bei allen Entwicklungsstadien wirken, präzise mit den empfindlichen Phasen des Lebenszyklus der zu bekämpfenden Art zu synchronisieren.

TAN (1975) fand für *Ephestia kühniella*, daß die JHA Ethyl-3, 7, 11-trimethyldeca-2, 4-dienoate (ZR₅₁₂) oder Isopropyl-11-methoxy-3, 7, 11-trimethyldeca-2, 4-dienoate (ZR₅₁₅) auf das Wanderlarvenstadium appliziert, zur Entwicklung von Riesenlarven führen. Beide Analoga verhinderten das Schlüpfen der Adulten, wenn sie oberflächlich auf die Wanderlarven in einer Dosis zwischen 28 bis 52 ng/Larve versprüht wurden. 1 Tag alte Puppen sind am empfindlichsten, während die Empfindlichkeit gegenüber JHA mit dem Alter der Puppen abnimmt. Bei der geschätzten Dosis von 179 ng/cm² ZR₅₁₅ werden 100 % der Larven von *Ephestia kühniella* am Schlüpfen als Adulte gehindert. Da sich die Puppen an der Oberfläche des Nahrungsmediums befinden, ist dieses Stadium einer Bekämpfung durch JH oder JHA gut zugänglich. Weiterhin wird vermutet, daß hohe Dosen von JH die Pheromonabgabe der Weibchen von *Ephestia kühniella* verhindern (TAN and MORDUE 1977). Untersuchungen über den Effekt der JH auf das neuroendocrine System müssen dies erst bestätigen. Daten über die Populationsdynamik der vorratsschädlichen Motten und damit den Zeitpunkt für die Applikation von JH oder JHA können mit Hilfe pheromonbeköderter Fallen gewonnen werden.

Integrierte Bekämpfungsprogramme dieser Art sind wohl gegen *Ephestia kühniella* noch nicht durchgeführt worden. Die Verwendung von JH scheint vielversprechend zu sein. Die verhältnismäßig hohen Kosten dieses Präparates stellen auf der anderen Seite einen Nachteil dar.

6. Experimenteller Teil: Anlockversuche mit männlichen *Ephestia kühniella* Z.

6.1 Problemstellung

Die in Kapitel 2 vorgestellten Modelle der Pheromonanwendung gegen Schad-

insekten sowie die in Kapitel 5 beschriebenen Beispiele der Pheromonanwendung gegen Phycitinae-Befall zeigen, daß bisher noch keine Großraum- und Feldversuche in Mühlen gegen Mottenbefall durchgeführt wurden.

Ziel der Versuche war es, die für den Massenfang optimale Pheromonkonzentration zu ermitteln. Die bestmöglich anlockende Pheromonkonzentration ist für *Ephestia kühniella* bislang noch nicht bekannt. Da bei einer zu niedrigen Pheromonkonzentration die Fängigkeit zu gering ist, um die Populationsdichte drastisch zu reduzieren, andererseits eine zu hohe Konzentration zur Desorientierung führt, ist die Ermittlung der optimalen Pheromonkonzentration bzw. Dosierung für den Massenfang von großer Bedeutung.

In einem Großraumversuch sollte die Konzentration der Hauptkomponente des Pheromonkomplexes (ZETA - s. Tab. 6) ermittelt werden, bei der die Wiederfangrate männlicher *Ephestia kühniella* am höchsten ist. Parallel zu diesem Großraumversuch wurden Kurzzeitversuche in einem Glaskasten durchgeführt, um Anhaltspunkte für folgende drei ZETA-Konzentrationsbereiche zu erhalten:

1. die an der untersten Wahrnehmungsschwelle der Männchen liegen;
2. die die höchste Anzahl Männchen wiederfangen;
3. die an der Schwelle der Desorientierung liegen.

Die aus diesen Versuchen für eine größtmögliche Anlockung ermittelten ZETA-Konzentrationen sollten anschließend im Großraumversuch überprüft werden.

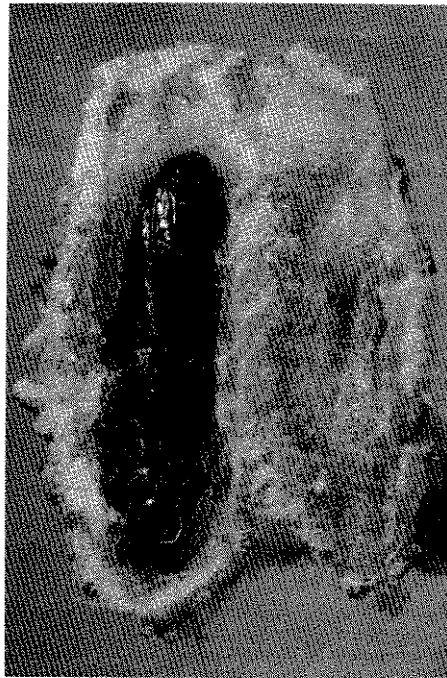
6.2 Material und Methoden

Die Versuchstiere von *Ephestia kühniella* (aus jahrelang bei 25°C und 70 % r. F. gehaltenen Zuchten der BBA Berlin) wurden in einem dunklen, thermostatisierten Raum bei 24°C und 70 % rel. Feuchte in Zwei-Liter-Gläsern gezüchtet, deren Öffnung luftdurchlässig verschlossen war. Die Gläser waren bis zu einem Drittel mit einem Gemisch von Weizenkörnern und grobem Weizenschrot im Verhältnis 1 : 1 gefüllt, das einen Wassergehalt von etwa 14 % besaß. Die Anzahl der für die Zucht verwendeten Eier von *Ephestia kühniella* betrug ca. 500 je Glas. 65 - 106 Tage (bei 25°C und 70 % r. F.) dauert die Entwicklung vom abgelegten Ei bis zur adulten Mehlmotte (JACOB and COX 1977). Unter den öko-

logischen Bedingungen in Mühlen und Lägern hat *Ephestia kühniella* in unseren Breiten 3 Generationen pro Jahr (RICHARDS and THOMPSON 1932; KUNIKE 1939).

Die Puppen, die in seidenartigen Kokons eingesponnen vorliegen (Foto 1), wurden nach Geschlechtern getrennt.

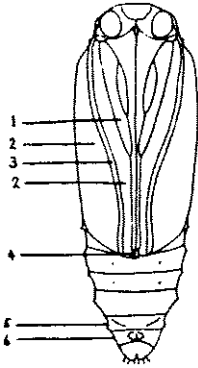
Foto 1: Mehlmottenpuppen in seidenartigen Kokons.
(Vergr.: 8-fach)



Bei den Puppen der *Ephestia*-Arten und bei *Plodia interpunctella* erkennt man die äußere Öffnung des männlichen Geschlechtsapparates auf der 9. Sternite, die des weiblichen Geschlechtsapparates auf der 8. Sternite (RICHARDS and THOMPSON 1932). Dies sei in den folgenden Abbildungen schematisch für *Ephestia elutella* gezeigt:

23a: Ventrale Seite der Puppe
von *E. elutella*, Männchen.

- 1) vorderes Beinpaar; 2)
Flügel; 3) Antenne, 4) 3.
Beinpaar; 5) 8. Sternite;
6) 9. Sternite



23b: Vetrale Seite der Puppe
von *E. elutella*, Weibchen

- 1) 8. Sternite;
2) 9. Sternite



aus: RICHARDS an THOMPSON
(1932)

Ca. 200 männliche Puppen von *Ephestia kühniella* wurden pro Versuch in einem gesonderten Wärmeschrank (zur Verhinderung der Lockstoffwahrnehmung vor Versuchsbeginn - vgl. Kap. 2.3.2 und 3.4 -) bei 26°C und 75% rel. Feuchte (Exsikkator mit gesättigter NaCl-Lösung) weitergezüchtet. Es wurden nur ältere Puppen, die kurz vor dem Ausschlüpfen der Falter standen, genommen, d. h. tiefbraun bis schwarz gefärbte (BURKHARDT 1920). Nach drei Tagen waren genügend Motten geschlüpft und konnten im Großraum oder im Glaskasten freigelassen werden. Da kein Männchen älter als 3 Tage war, fiel die optimale Reaktionsbereitschaft (3 bis 5 Tage nach dem Schlüpfen) in den Versuchszeitraum (Abb. 10). Die tatsächlich freigelassene Anzahl männlicher Mehlmotten wurde durch Zählung der leeren Puppenhüllen bestimmt.

Als Maß für die Lockwirkung der verschiedenen ZETA-Konzentrationen wurde die prozentuale Wiederfangrate der ausgesetzten Motten gewählt. Es standen folgende ZETA-Kapsel-Dosierungen zur Verfügung: $10^{-3} \mu\text{g}$, $10^{-2} \mu\text{g}$, $10^{-1} \mu\text{g}$, $1 \mu\text{g}$, $10 \mu\text{g}$. Nach anderen Untersuchungsergebnissen war es wahrscheinlich, daß die biologisch wirksamste Konzentration in dem gewählten Bereich lag.

6.3 Vorversuche

Es war Ziel der Vorversuche, innerhalb kurzer Zeit die zur Verfügung stehenden

ZETA-Konzentrationen auf ihre Attraktivität für männliche *Epehestia kühniella* zu überprüfen. Da die männlichen Mehlmotten tagsüber in Ruhestellung an den Wänden sitzen und nur während der Dämmerung, d. h. 1 Stunde nach Sonnenuntergang und bis zu 2 Stunden vor Sonnenaufgang aktiv werden (EDWARDS 1962), wurde für die Durchführung der Kurzzeitversuche aus praktischen Erwägungen die Zeitspanne nach Sonnenuntergang gewählt.

3 Tage hintereinander wurde während der aktiven Phase der männlichen Mehlmotten (1 Stunde nach Sonnenuntergang) folgende Versuchsanordnung angewendet: Eine ZETA-Kapsel (10^{-3} μg) wurde für 15 Minuten in einen 1 m^3 großen Glaskasten, in dem sich ca. 50 Männchen befanden, aufgehängt. Es sollte die Anzahl der die Kapsel anfliegenden Männchen (ein bestimmter Radius war um die Kapsel durch ein Drahtgestell festgelegt) beobachtet werden. Nach 15 minütiger Pause - zur Vermeidung von Adaptation und Gewöhnung der Männchen an ZETA (vergl. 2. 3. 2) - wurde eine Kapsel mit der nächst höheren ZETA-Konzentration (10^{-2} μg) wiederum für 15 Minuten in den Glaskasten gehängt usw. Ein Vergleich der Anflughäufigkeiten der Männchen auf die unterschiedlichen ZETA-Konzentrationen sollte erste Anhaltspunkte über die attraktivste Konzentration geben.

Entgegen den Feststellungen von EDWARDS (1962) flog unter der skizzierten Versuchsanordnung in dem Zeitraum 1 Stunde nach Sonnenuntergang keine männliche Mehlmotte. Klebestreifen, die nach jedem der 3 Beobachtungsabende in den Glaskasten gehängt wurden, zeigten am folgenden Morgen gefangene Motten an.

Um derartige Kurzzeitversuche als Vorversuche für Großraum- und Feldversuche durchführen zu können, ist die Kenntnis der aktiven Phase von männlichen Mehlmotten von Bedeutung. Von daher sollte die tageszeitliche Flugzeit männlicher Mehlmotten durch halbstündiges Fotografieren ermittelt werden (Kap. 6. 5).

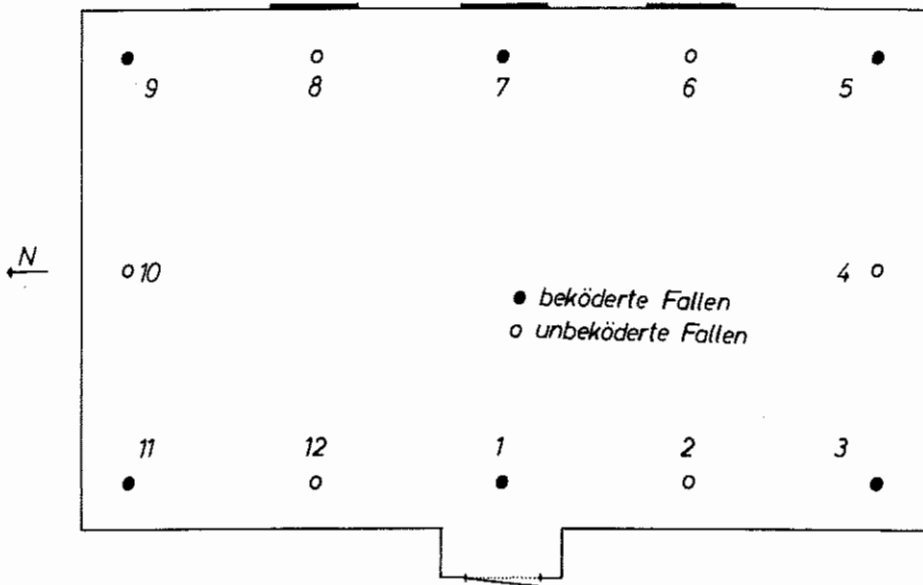
Durch Fehlschlagen dieser Kurzzeitversuche konnte die Abhängigkeit der Wiederfangrate männlicher Mehlmotten von der ZETA-Konzentration nur direkt im Großraum ermittelt werden.

6.4. Großraumversuch zur Bestimmung der Wiederfangrate von männlichen Mehlmotten in Abhängigkeit von der ZETA-Konzentration

6.4.1 Versuchsaufbau

In dem Versuchsraum 17,5 m x 11,0 m x 5,5 m) wurden 12 Klebefallen (Aeraxon GmbH) 1,5 m über dem Boden an Holzstäben in 1 m Abstand von der Wand aufgehängt. Sie waren als Pheromonfallen mit (Z, E)-9, 12-Tetradecadienylacetat (ZETA) beködert und als Kontrollfallen unbeködert. Der Fallenabstand betrug 4 m an der Längsseite und 4.5 m an der Breitseite. Auf der Ost- und Südseite ist der Versuchsraum mit je 3 Fenstern umgeben. An allen Fenstern waren die Jalousien bis auf 60 cm heruntergelassen. Abb. 24 stellt den Grundriß und die Fallenverteilung in dem Versuchsraum dar.

Abb. 24: Grundriß und Fallenverteilung des Versuchsraumes.



Jede zweite Klebefalle war in der Mitte mit einer Klemmöse versehen, in der eine Polyäthylenkapsel (Zoecon Corp.) befestigt war (s. Foto 2). Diese Kapseln waren pro Versuch mit einer der folgenden ZETA-Konzentrationen beladen: $10^{-3} \mu\text{g}$, $10^{-2} \mu\text{g}$, $10^{-1} \mu\text{g}$, $1 \mu\text{g}$, $10 \mu\text{g}$.

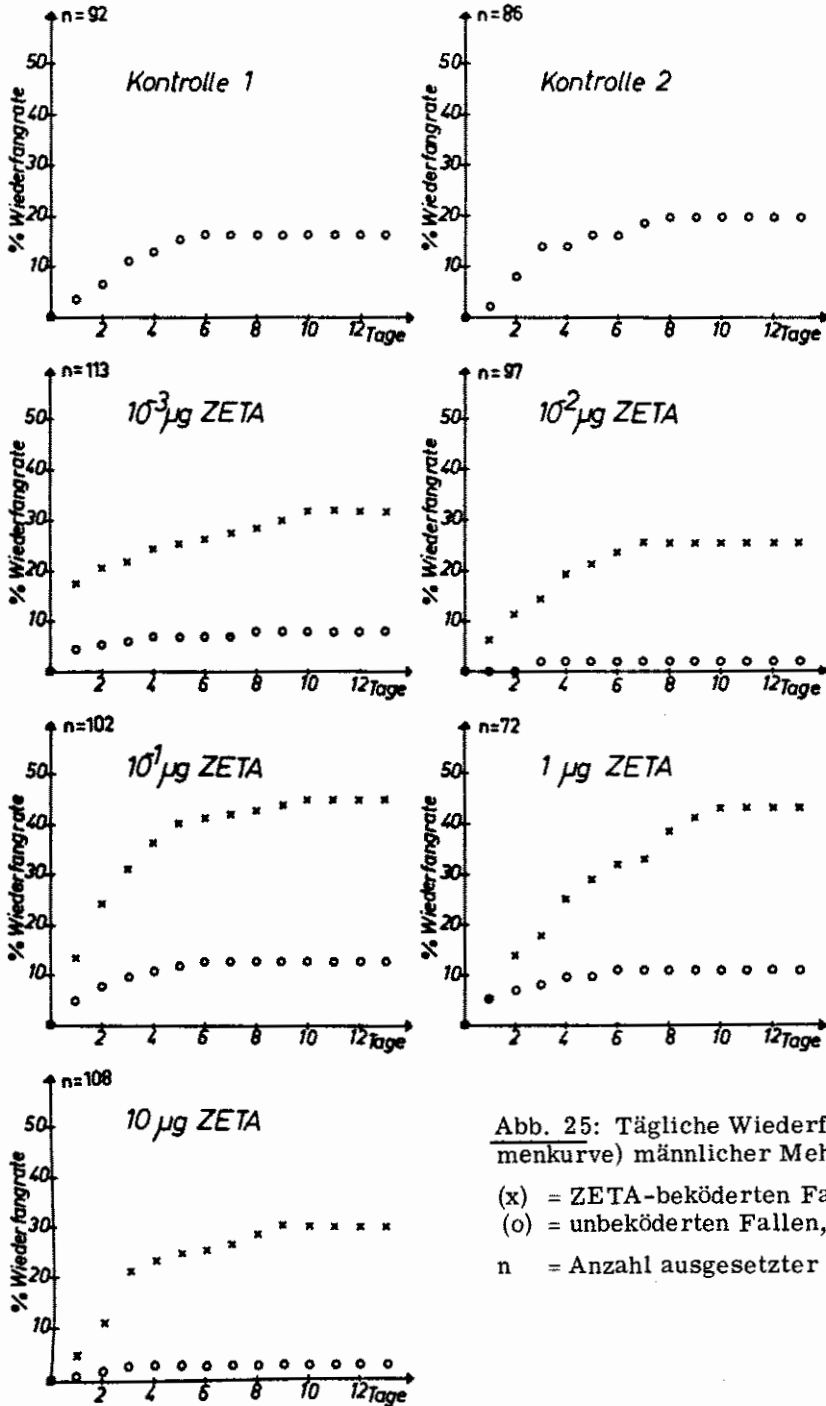


Abb. 25: Tägliche Wiederfangrate (Summenkurve) männlicher Mehlmotten an:

(x) = ZETA-beködeten Fallen und
(o) = unbeködeten Fallen,

n = Anzahl ausgesetzter Motten $\hat{=} 100\%$

In der folgenden Tabelle sind die Resultate der an ZETA-beköderten bzw. an unbeköderten Fallen gefangenen Motten pro Versuch nach jeweils 13 Tagen zusammengefaßt.

Tab. 7: Köderwirkung von unterschiedlichen ZETA-Konzentrationen auf männliche *Epehestia kühniella*.

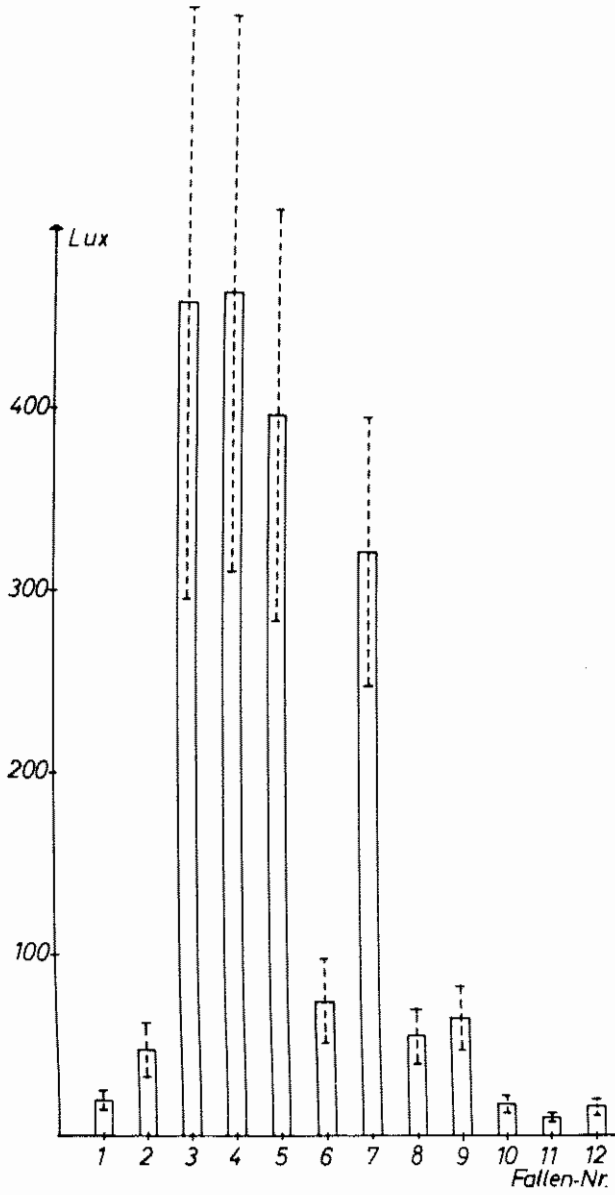
| Kapseldosierung (μg ZETA) | Wiederfangrate ♂♂ Motten | |
|--|----------------------------|------------------------------|
| | an beköd. Fallen (in %) | an unbeköd. Fallen (in %) |
| Kontrolle 1 | | 16,3 |
| Kontrolle 2 | | 19,8 |
| 10^{-3} | 31,9 | 8,0 |
| 10^{-2} | 25,8 | 2,1 |
| 10^{-1} | 45,1 | 12,7 |
| 1 | 43,1 | 11,1 |
| 10 | 30,6 | 2,8 |

Bei jeder der 5 getesteten ZETA-Konzentrationen wurden an den beköderten Fallen wesentlich mehr Männchen gefangen als an den jeweiligen unbeköderten Fallen. Nach dem Chi-Quadrat-Test ist dieser Unterschied jeweils auf dem 0,1 % Niveau signifikant⁺). Die Differenzen der prozentualen Wiederfangraten an den beköderten Fallen der einzelnen Versuche lassen sich nicht auf dem gleichen Niveau statistisch absichern, auch nicht die der Versuche mit 10^{-2} μg und 10^{-1} μg ZETA.

Es besteht eine positive Korrelation zwischen der Wiederfangrate der beköderten Fallen und der an unbeköderten Fallen; d. h. der höchsten Wiederfangrate an beköderten Fallen (45,1 %) entspricht die höchste Wiederfangrate an unbeköderten Fallen (12,7 %); der niedrigsten Wiederfangrate an beköderten Fallen (25,8 %) entspricht die niedrigste Wiederfangrate an unbeköderten Fallen (2,1 %) usw. (vergl. Tab. 7 und Abb. 26). Diese positive Korrelation ist nach der Spermann-

⁺) Der Chi-Quadrat-Test wurde nach HASELOFF-HOFFMANN (1970) gerechnet.

Abb. 28: Lichtverhältnisse im Versuchsraum.
(--- = Standardabweichung)



Für *Ephestia kühniella* sind die Fangergebnisse pro Falle in Abhängigkeit von den verschiedenen ZETA-Konzentrationen nach jeweils 13 Tagen in Tab. 8 zusammengestellt und in Abb. 29 vergleichbar dargestellt. Abb. 29 veranschaulicht nochmals die gezielte Anlockung von männlichen *Ephestia kühniella* an ZETA-beköderte Fallen. Alle 6 ZETA-beköderten Fallen wurden in jedem Konzentrationsversuch angefliegen (bis auf zwei Ausnahmen). Dagegen wurden pro Versuch nur an ca. der Hälfte der unbeköderten Fallen Motten registriert.

Auffallend ist, daß während der 7 Versuche (s. Tab. 8) an der unbeköderten Falle 4 keine Motte gefangen wurde und an der unbeköderten Falle 6 während der 5 Konzentrationsversuche nur eine einzige Motte. Die ZETA-beköderte Falle 1 weist im Schnitt während der Konzentrationsversuche die höchste Wiederfangrate von männlichen Mehlmotten auf, gefolgt von Falle 11 und 9 (beide beködert) (s. Tab. 8). Die Fängigkeit der beköderten Fallen 1, 9 und 11 ist im Mittel 3,7 mal größer als die der beköderten Fallen 3, 5 und 7. Diese Differenz ist nach dem t-Test signifikant ($p < 1\%$)⁺⁾ . Die Fallen 3 und 5, die in beiden Kontrollversuchen nicht angefliegen wurden, waren in den Pheromonversuchen (nun beide mit ZETA beködert) fängig. Zum Teil sind die Fänge an unbeköderten Fallen höher als an beköderten Fallen (vgl. Tab. 8 und Abb. 29).

⁺⁾ Der t-Test wurde nach CAVALLI-SFORZA (1974) gerechnet.

Tab. 8: Prozentuale Wiederfangrate von männlichen *Ephestia kühniella* nach 13 Tagen pro Falle und pro Versuch.

| Versuchs-Nr. | % Anteil wiedergefangener männlicher <i>Ephestia kühniella</i> | | | | | | | \bar{X} (3-7) | s |
|------------------------------------|--|------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----|
| | 1 Kontr. 1 | 2 Kontr. 2 | 3 10 ⁻³ ug ZETA | 4 10 ⁻² ug ZETA | 5 10 ⁻¹ ug ZETA | 6 1 ug ZETA | 7 10ug ZETA | | |
| Anzahl aus- gesetzter Motten | 92 | 86 | 113 | 97 | 102 | 72 | 108 | | |
| Fallen-Nr. | | | | | | | | | |
| 1 | 4.4 | 3.5 | 7.1 | 6.2 | 22.6 | 18.1 | 5.6 | 11.9 | 7.9 |
| 2 | 0 | 1.2 | 0 | 0 | 5.9 | 4.2 | 0.9 | 2.2 | 2.7 |
| 3 | 0 | 0 | 2.7 | 2.1 | 0 | 1.4 | 3.7 | 2.0 | 1.4 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 0 | 2.7 | 2.1 | 2.0 | 1.4 | 2.9 | 2.2 | 0.6 |
| 6 | 0 | 2.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9 | 0.2 | 0.4 |
| 7 | 0 | 1.2 | 0 | 4.1 | 4.9 | 2.8 | 4.6 | 3.3 | 2.0 |
| 8 | 1.1 | 0 | 1.8 | 0 | 2.9 | 5.6 | 0 | 2.1 | 2.3 |
| 9 | 0 | 0 | 12.4 | 1.0 | 4.9 | 6.9 | 8.3 | 6.7 | 4.2 |
| 10 | 4.4 | 1.2 | 5.3 | 1.0 | 1.0 | 0 | 0 | 1.5 | 2.2 |
| 11 | 3.3 | 5.8 | 7.1 | 10.3 | 10.8 | 12.5 | 5.6 | 9.3 | 2.8 |
| 12 | 3.3 | 4.7 | 0.9 | 1.0 | 2.9 | 1.4 | 0.9 | 1.4 | 0.9 |

Anmerkung: beköderte Fallen - Fallen-Nr.: 1, 3, 5, 7, 9, 11 (während der Versuche 3 bis 7)
 unbeköderte Fallen - Fallen-Nr.: 2, 4, 6, 8, 10, 12

Abb. 29: Fangergebnisse für *Ephestia kühniella* in Abhängigkeit von der ZETA-Konzentration.

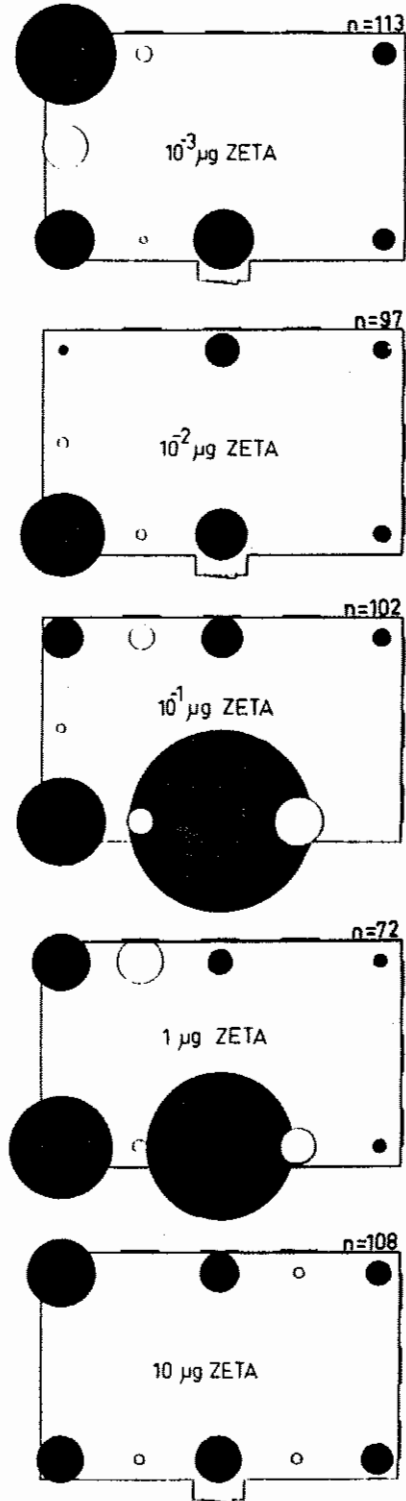
Die Größe der Kreisflächen entspricht proportionsmäßig dem prozentualen Anteil der gefangenen Motten. Nicht angeflogene Standorte wurden weggelassen.

(●) ZETA-beködete Fallen

(○) unbeködete Fallen

(n) Anzahl freigelassener Motten

● = 5 % Motten



6.4.3 Diskussion

Die im Rahmen dieser Untersuchung erzielten Ergebnisse verdeutlichen, daß jede der getesteten ZETA-Konzentrationen eine gezielte Anlockung auf männliche *Epehestia kühniella* bewirkt. Die Lockwirkung ging bis in den Bereich von 10^{-3} μg ZETA/Köder (vgl. Abb. 25 und Abb. 29). Mit den ZETA-beköderten Fallen in den Pheromonversuchen (jeweils 6 Fallen) wurden im Durchschnitt 2-mal so viele Männchen wie in den Kontrollversuchen (jeweils 12 Fallen) (Tab. 7) gefangen. Setzt man die in den 5 Pheromonversuchen insgesamt gefangenen Männchen als 100 %, so wurden an den ZETA-beköderten Fallen ungefähr 5-mal so viele männliche Mehlmotten gefangen wie an den unbeköderten Fallen (83 % im Vergleich zu 17 %).

Die geringere Wiederfangrate an den unbeköderten Fallen der Konzentrationsversuche im Vergleich zur Wiederfangrate in den Kontrollversuchen (Tab. 7) kann damit erklärt werden, daß einerseits nur die Hälfte an unbeköderten Fallen vorhanden war. Andererseits werden die Männchen, wenn man attraktive Pheromonkomponenten mit in den Raum setzt, von diesen Stimuli und der Windströmung zu einem gerichteten Anflug angeregt. Ein Teil der während ihrer Aktivitätsphase herumfliegenden Männchen wird von den ZETA-beköderten Fallen gezielt angelockt und abgefangen und von daher bleiben weniger zufällig herumfliegende Männchen an den unbeköderten Fallen kleben. Über den gerichteten Anflug männlicher Motten auf eine Duftquelle wurde in Kapitel 3.3.2 berichtet.

Vergleicht man die Wiederfangraten männlicher *Epehestia kühniella* in Abhängigkeit von den ZETA-Konzentrationen (Tab. 7 und Abb. 26), so bewirken unter den beschriebenen Bedingungen die ZETA-Konzentrationen 10^{-1} μg und 1 μg die höchste Anlockung. Obwohl sich die Differenz der Wiederfangraten der einzelnen ZETA-Konzentrationen statistisch nicht absichern läßt, erkennt man tendenziell das oben beschriebene Maximum mit einer anschließend abfallenden Wirkung bei der höheren ZETA-Konzentration von 10 μg /Kapsel. Daß unter den beschriebenen Bedingungen die beiden ZETA-Konzentrationen von 10^{-1} μg und 1 μg die stärkste Anlockung für männliche Mehlmotten erzielten, wird durch die positive Korrelation, die zwischen der Wiederfangrate an den beköder-

ten Fallen besteht, bestärkt (Tab. 7). Die hohen Wiederfangraten an den unbeköderten Fallen in den beiden Versuchen mit den ZETA-Konzentrationen 10^{-1} μg und $1 \mu\text{g}$ ist auf eine Stimulierung der Männchen durch die im Raum befindlichen ZETA-Dosierungen zurückzuführen. Mehr Männchen wurden stimuliert, d. h. mehr Männchen flogen anemotaktisch in typischen Suchschwenkungen auf die Duftquellen zu und einige blieben auf dem Suchflug an unbeköderten Fallen kleben. Diese These wird weiterhin verstärkt, wenn man die Wiederfangraten pro Falle betrachtet (Abb. 29). Jene unbeköderten Fallen fingen in den beiden Versuchen bevorzugt Motten, die in der Nähe von häufig angeflogenen ZETA-beköderten Fallen standen: z. B. die unbeködete Falle 2 bei $10^{-1} \mu\text{g}$ ZETA oder bei $1 \mu\text{g}$ ZETA, die sich neben der am häufigsten angeflogenen Falle 1 befand.

Unter den beschriebenen Bedingungen erreichte die ZETA-Kapseldosierung von $10^{-1} \mu\text{g}$ die höchste Wiederfangrate an den beköderten Fallen (45,1 %) und an den unbeköderten Fallen (12,7 %)(Tab. 7). Wie aber schon in Kapitel 2.3.1 aufgezeigt wurde, steht und fällt der Erfolg des Massenfangs von männlichen Motten mit der Grundforderung, einen sehr hohen Prozentsatz (95 %) frühzeitig, d. h. vor Kopulation und Reproduktion abzufangen. Um aber eine größtmögliche Attraktivität zu erhalten, muß die Pheromonkonzentration im optimalen Bereich liegen und möglicherweise von weiteren Stimuli positiv modifiziert werden.

Durch die Korrelation, die zwischen der Fängigkeit pro Falle und den Lichtverhältnissen des Versuchsraumes in den beiden Kontrollversuchen besteht, könnte man zunächst die These aufstellen, daß die Fängigkeit der Fallen durch die Vorliebe der Motten für dunklere Regionen des Raumes beeinflusst wird. Das zeigen einerseits die Kontrollversuche (Abb. 27 und Abb. 28). Andererseits kann die höhere Fängigkeit der ZETA-beköderten Fallen 1, 9 und 11 gegenüber den Fallen 3, 5 und 7 in den fünf Pheromonversuchen (Abb. 29) auf den gleichen Effekt zurückgeführt werden. Obwohl sich die oben gemachten Aussagen statistisch absichern lassen, ist unbekannt, ob das Licht ein biologisch wirksamer Reiz für die Anlockung männlicher Mehlmotten ist. Genauso können andere, nicht gemessene oder getestete Faktoren stimulierend auf die Männchen gewirkt haben, z. B. unterschiedliche Temperaturen oder relative Feuchten an den jeweiligen Fallen oder optische Auslöser der Umgebung.

Die männlichen Mehlmotten zeigen eine Vorliebe für bestimmte Regionen des Raumes, die in dieser Untersuchung mit der Dunkelheit korreliert. Die Dunkelheit muß aber nicht die alleinige Ursache sein. Aus mehreren Gründen ist es interessant, dieser Fragestellung nachzugehen. Nach Untersuchungen von BRANDT (1934) sind die Wanderlarven der Mehlmotte stark negativ phototaktisch. Zusätzlich geben die Wanderlarven ein Eiablage-Pheromon ab, sodaß die Weibchen dort, d. h. in den dunkleren Regionen, ihre Eier ablegen (CORBET 1973; MUDD and CORBET 1973). Sollte es weiterhin zutreffen, daß adulte männliche Mehlmotten negativ phototaktisch reagieren, worauf die Versuchsergebnisse hindeuten, so ist unter natürlichen Verhältnissen in den dunkleren Regionen der Räume eine hohe Populationsdichte zu erwarten. Solche Informationen können für Bekämpfungsmaßnahmen von Bedeutung sein, z. B. für die Fallenverteilung.

An den Fallen 3, 4, 5 und 9 wurde während der beiden Kontrollversuche keine Motte registriert (Abb. 27). Für diese Teile des Raumes zeigten die Motten keine Vorliebe. Wurden aber die Fallen 3, 5 und 9 mit ZETA beködert, so zeigten sie Befall (Abb. 29). Die Wiederfangrate an den Fallen 3 und 5, die sich in der hellsten Region des Raumes befanden, war aber im Vergleich zu der der anderen ZETA-beköderten Fallen sehr gering (1 bis höchstens 4 Motten). Nur Männchen, die sich zufällig, d. h. entgegen ihrer Vorliebe für die Nord-West-Region des Raumes, im gegenüberliegenden Teil des Raumes befanden, konnten von den ZETA-Molekülen der oben benannten beköderten Fallen stimuliert werden. Falle 4 dagegen, die auch während der fünf Konzentrationsversuche unbeködert war, fing keine Motte.

Die im Rahmen dieser Untersuchung erzielten Ergebnisse können nur erste Anhaltspunkte geben und müssen in Mühlen überprüft werden. Da die ZETA-Dosierung von 10^{-3} µg ZETA signifikant mehr Motten fing als die unbeköderten Fallen, und da die Fängigkeit an mit 10^{-3} µg ZETA beköderten Fallen über einen längeren Zeitraum zunahm im Vergleich zu den unbeköderten Fallen (Abb. 25), können erste Empfehlungen für die Früherkennung von Mottenbefall gegeben werden. Schon die geringe Dosierung von 10^{-3} µg ZETA reicht für die Früherkennung und Lokalisierung von Mehlmottenbefall aus und ist ökonomisch günstiger als der Einsatz größerer ZETA-Dosierungen. In der Literatur

wird eine 100 bis 1000fach höhere Konzentration empfohlen (vgl. S. 63). Für den Massenfang reicht keine der hier getesteten ZETA-Konzentrationen aus.

6.5 Tageszeitliche Flugzeitbestimmung von männlichen *Ephestia kühniella*

6.5.1 Versuchsaufbau

Von kurz vor Sonnenuntergang bis kurz nach Sonnenaufgang wurde halbstündig der in der Mitte eines 1 m^3 großen Glaskastens aufgehängte Klebefallen (Aeroxon GmbH) mit einer danebenstehenden Uhr zur Zeitkontrolle fotografiert. Der Glaskasten war ringsum mit schwarzer Plastikfolie abgedeckt, um einfallendes Licht von Straßenlampen oder vorbeifahrenden Autos während der Dämmerung und der Nacht abzuschirmen. Das Tageslicht konnte nur reflektiert durch die Decke durch die den Fenstern abgewandte Seite des Glaskastens eindringen.

Jeden 2. Tag um die Mittagszeit wurden ca. 50 bis 60 männliche Mehlmotten (1 bis höchstens 3 Tage alt) in den Glaskasten gesetzt. Als Pheromonquelle diente eine weibliche Mehlmotte, die in einem Drahtkäfig saß, der in der Mitte der Klebefalle befestigt war. Sie wurde jeden zweiten Tag durch eine neue ersetzt, die stets 3 bis höchstens 5 Tage alt war.

Zur Feststellung der Hauptflugzeiten wurde der Sonnenaufgang bzw. Sonnenuntergang als Bezugsgröße gewählt. Die genauen Zeiten von Sonnenauf- bzw. Sonnenuntergang sowie von Mondauf- bzw. Monduntergang während der Versuchsreihe wurden aus der BERLINER WETTERKARTE -Amtsblatt des Instituts für Meteorologie- übernommen. Da sich während der Versuchszeitspanne die Zeiten von Sonnenauf- bzw. Sonnenuntergang in Relation zu den halbstündigen Aufnahmen nur geringfügig verschoben, wurden für alle 9 Wiederholungen folgende Werte genommen:

Sonnenaufgang : 7.51 h (Standardabweichung: 0,7 ‰)

Sonnenuntergang : 16.01 h (Standardabweichung: 0,3 ‰).

Als Maß für die Flugaktivität wurde die Anzahl der gefangenen Motten am Klebestreifen gewählt.

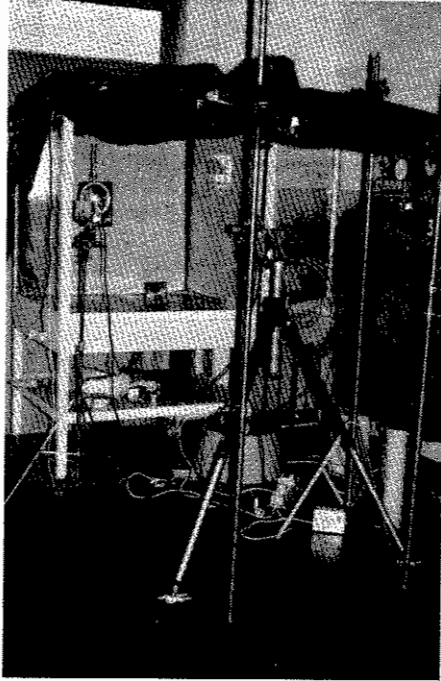
Von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang wurde täglich ein neuer Klebestreifen in den Glaskasten gehängt, um auch tagaktive Motten zu registrieren. Beim Einsetzen neuer Motten aufgescheucht herumfliegende und deshalb eingefangene

Männchen wurden nicht in die Auswertung genommen. Die 9 Wiederholungen wurden in 4 aufeinander folgenden Nächten und nach 3tägiger Pause in den folgenden 5 Nächten durchgeführt.

Für die halbstündigen Fotografien wurde eine Robot (Receiver 368) Kamera mit Magnetauslöser und Steuergerät BII verwendet. Der Starter am Steuergerät wurde überbrückt, so daß mit Einschalten der Stromversorgung auch die Aufnahme folge ausgelöst wurde. Die Kamera war in 1,8 m Entfernung von der Mitte des Glaskastens aufgebaut. Zwei Multiblitz-Studiogeräte von MANNESMANN (Vollast) -rechts, links 45⁰ - machten Aufnahmen während der Dämmerung und Nacht möglich. Da männliche Mehlmotten von grünem Licht besonders angezogen werden (SODERSTROM 1970), weißes Licht sie in ihrem Verhalten beeinträchtigen könnte, rotem Licht gegenüber aber intensiv sind (BURKHARDT 1964), wurde vor den beiden Blitzleuchten jeweils ein roter AGFA-Dunkelkammer-Filter 107 (R 3) mit folgenden Daten angebracht: Transparenz: ~1 %, Dichte: ~ 2 bis 2,5, Absorption ab 690 nm. Die Blitzentfernung bis zur Mitte des Glaskastens betrug jeweils 0,7 m. Das automatische Einschalten der Kamera kurz vor Sonnenuntergang (15.45 h) sowie das Ausschalten nach Sonnenaufgang (9.15 h) und das synchron mit der Kamera halbstündige Blitzen der Multiblitzgeräte wurde über elektrische Schaltuhren gesteuert. Foto 3 zeigt den Versuchsaufbau.

Als Filmmaterial eigneten sich am besten KODAK-plus x-pan Filme (22 Din) mit folgender Kameraeinstellung: Blende 5,6, Belichtungsdauer 1/30 Sekunde. Die Filme wurden in ATOMAL FF-Feinstkornentwickler AGFA bei 20⁰C zehn Minuten lang entwickelt. Die Messung der Temperatur und relative Feuchte erfolgte mit Hilfe eines Thermohygrographen direkt unterhalb des Glaskastens. Während der 9 Wiederholungen betrug die Temperatur $17.5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ bei einer r. F. von 35 - 45 %. Angabe von Helligkeitswerten erfolgte nicht, denn Luxänderungen in der 2. oder 3. Kommastelle sagen bei dämmerungsaktiven Tieren wenig aus.

Foto 3: Versuchsaufbau
zu Versuch 6.5



6.5.2 Ergebnisse

In der Zeit nach Sonnenaufgang bis zum Sonnenuntergang wurde keine männliche Mehlmotte an dem Klebestreifen gefangen. Die während der Zeitspanne von 15.45 Uhr bis 9.15 Uhr pro Versuch gefangenen Motten wurden als 100 % gesetzt. Durch die Auswertung der halbstündigen Aufnahmen kann die prozentuale Zunahme von Mehlmotten am Klebestreifen pro Zeiteinheit berechnet werden. Tab. 9 stellt die zusammengefaßten Resultate dar. Den prozentualen Fanganteil männlicher Mehlmotten pro Zeiteinheit mit den Bezugsgrößen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang stellt Abb. 30 dar.

In der Dämmerungszeit nach Sonnenuntergang (bis zu 4 Stunden nach Sonnenuntergang) wurde keine männliche Mehlmotte gefangen (Abb. 30). Diese Abbildung zeigt ferner, daß die Flugaktivität der Mehlmotten in den 9 Parallelen auf den Zeitraum 8 Stunden vor Sonnenaufgang bis zum Sonnenaufgang fällt.

Der Mittelwert der %-Zunahme männlicher *Ephestia kühniella* in der Zeit von 6 bis 8 Stunden nach Sonnenuntergang (0,4 %) unterscheidet sich von dem in der Zeitspanne 8 bis 6 Stunden vor Sonnenaufgang (3,5 %) mit $p < 1\%$ signifikant (Tab. 9) - auch für die folgenden Zahlenangaben -. Mit der gleichen Irrtumswahrscheinlichkeit ($p < 1\%$) unterscheiden sich die Mittelwerte der Flugaktivität der Phase 6 (8,8 %) von der Phase 7 (0,1 %).

Die Flugaktivität von 2 Stunden vor bis zum Sonnenaufgang (8,8 %) ist im Mittel signifikant höher ($p < 1\%$) als die in der Zeitspanne 8 bis 6 Stunden vor Sonnenaufgang (3,5 %). Die Differenz der Mittelwerte der Phasen 3 und 4, 3 und 5, 4 und 5, 4 und 6, 5 und 6 lassen sich statistisch nicht gegeneinander absichern. Daraus kann zusammenfassend geschlossen werden, daß sich die Flugaktivitätsphase männlicher *Ephestia kühniella* auf den Zeitraum 8 Stunden vor Sonnenaufgang bis Sonnenaufgang beschränkt, bzw. bis auf eine halbe Stunde vor Sonnenaufgang, da sie in diesem Zeitraum von 12,3 % auf 3,4 % ($p < 5\%$) abnimmt. Von Sonnenaufgang bis 1/2 Stunde danach nimmt die Flugaktivität wiederum ab und zwar im Mittel von 3,4 % auf 0,3 % ($p < 5\%$).

Es ist ein Ansteigen der Flugaktivität von Phase 1 bis Phase 6 zu verzeichnen, mit einem drastischen Abfall in der Phase 7 (Abb. 31).

Tab. 9: Prozentuale Zunahme gefangener männlicher *Ephestia kühniella* pro Zeiteinheit.

| Zeiteinheit | % Zunahme von männlichen <i>Ephestia kühniella</i> | | | | | | | | | | \bar{X} / Zeiteinheit | \bar{X} Phase |
|------------------|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------|-------------------------|--------------------|
| | 1 100% = 12 Mott. | 2 100% = 25 Mott. | 3 100% = 40 Mott. | 4 100% = 13 Mott. | 5 100% = 36 Mott. | 6 100% = 7 Mott. | 7 100% = 21 Mott. | 8 100% = 19 Mott. | 9 100% = 13 Mott. | | | |
| 15 ⁴⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 16 ¹⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 16 ⁴⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 17 ¹⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 17 ⁴⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 18 ¹⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 18 ⁴⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 19 ¹⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 ^f | |
| 19 ⁴⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Phase 1 | 20 ¹⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 |
| | 20 ⁴⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 21 ¹⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.3 | |
| | 21 ⁴⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Phase 2 | 22 ¹⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.4 ^a |
| | 22 ⁴⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 23 ¹⁵ | 8.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.9 | |
| | 23 ⁴⁵ | 0 | 4.0 | 0 | 0 | 2.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.8 | |
| Phase 3 | 0 ¹⁵ | 0 | 12.0 | 5.0 | 0 | 0 | 0 | 6.3 | 0 | 0 | 2.6 | 3.5 ^{a,c} |
| | 0 ⁴⁵ | 8.3 | 12.0 | 5.0 | 0 | 11.1 | 0 | 6.3 | 6.7 | 0 | 5.5 | |
| | 1 ¹⁵ | 0 | 4.0 | 5.0 | 0 | 2.8 | 0 | 0 | 0 | 15.4 | 3.0 | |
| | 1 ⁴⁵ | 0 | 8.0 | 5.0 | 7.7 | 5.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.9 | |
| Phase 4 | 2 ¹⁵ | 0 | 4.0 | 10.0 | 7.7 | 16.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.3 | 5.3 |
| | 2 ⁴⁵ | 0 | 0 | 2.5 | 0 | 0 | 0 | 12.5 | 13.3 | 0 | 3.1 | |
| | 3 ¹⁵ | 0 | 4.0 | 20.0 | 7.7 | 5.6 | 0 | 12.5 | 0 | 0 | 5.5 | |
| | 3 ⁴⁵ | 8.3 | 4.0 | 10.0 | 23.1 | 2.8 | 0 | 12.5 | 6.7 | 7.7 | 8.3 | |
| Phase 5 | 4 ¹⁵ | 8.3 | 4.0 | 17.5 | 0 | 5.6 | 14.3 | 0 | 13.3 | 0 | 7.0 | 6.7 |
| | 4 ⁴⁵ | 0 | 12.0 | 2.5 | 15.4 | 5.6 | 0 | 0 | 6.7 | 15.4 | 6.4 | |
| | 5 ¹⁵ | 0 | 4.0 | 0 | 7.7 | 2.8 | 0 | 6.3 | 20.0 | 7.7 | 5.4 | |
| | 5 ⁴⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 16.7 | 28.6 | 12.5 | 0 | 15.4 | 8.1 | |
| Phase 6 | 6 ¹⁵ | 8.3 | 8.0 | 0 | 7.7 | 0 | 14.3 | 6.3 | 20.0 | 7.7 | 8.0 | 8.8 ^{b,c} |
| | 6 ⁴⁵ | 25.0 | 0 | 15.0 | 0 | 2.8 | 28.6 | 18.8 | 6.7 | 7.7 | 11.6 | |
| | 7 ¹⁵ | 33.3 | 12.0 | 0 | 15.4 | 5.6 | 14.3 | 0 | 6.7 | 23.1 | 12.3 ^d | |
| | 7 ⁴⁵ | 0 | 8.0 | 0 | 7.7 | 8.3 | 0 | 6.3 | 0 | 0 | 3.4 ^{d,e} | |
| Phase 7 | 8 ¹⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.3 ^e | 0.1 ^b |
| | 8 ⁴⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | 9 ¹⁵ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

aa } nach dem t-Test ist die Differenz mit einer Sicherung von $p < 1\%$ signifikant

bb }

cc }

dd } nach dem t-Test ist die Differenz mit einer Sicherung von $p < 5\%$ signifikant

ee }

Phase 1 $\hat{=}$ +4 bis +6 Stunden nach Sonnenuntergang

Phase 2 $\hat{=}$ +6 bis +8 Stunden nach Sonnenuntergang

Phase 3 $\hat{=}$ -8 bis -6 Stunden vor Sonnenaufgang

Phase 4 $\hat{=}$ -6 bis -4 Stunden vor Sonnenaufgang

Phase 5 $\hat{=}$ -4 bis -2 Stunden vor Sonnenaufgang

Phase 6 $\hat{=}$ -2 Stunden vor bis zum Sonnenaufgang

Phase 7 $\hat{=}$ Sonnenaufgang bis 1 1/2 Stunden nach Sonnenaufgang

Abb. 30a: Flugaktivität männlicher *Ephestia künniella*, mit Zeiten in Relation zu Sonnenuntergang und Sonnenaufgang.

Phase 1 bis 3.

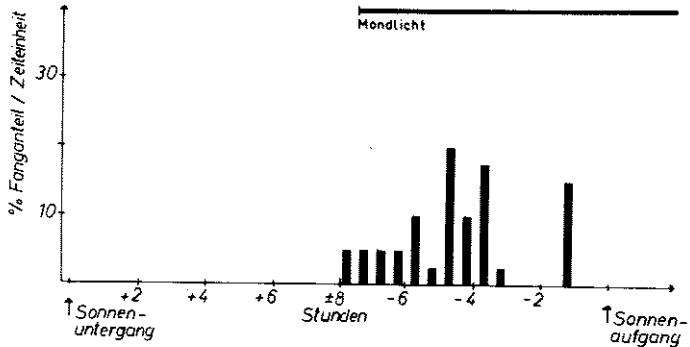
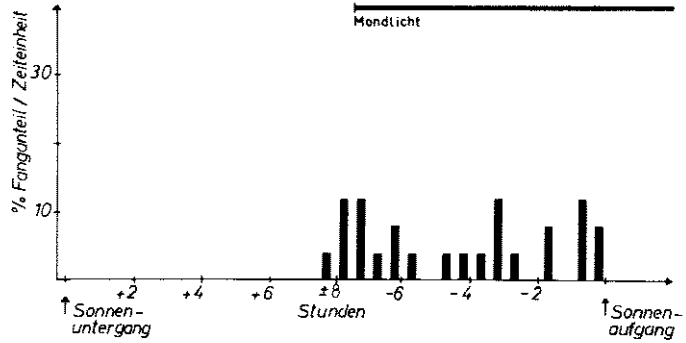
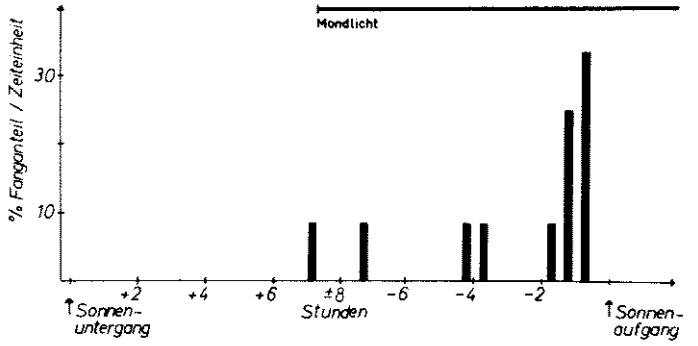


Abb. 30b: Flugaktivität männlicher *Ephestia kühniella*, mit Zeiten in Relation zu Sonnenuntergang und Sonnenaufgang.

Phase 4 bis 6.

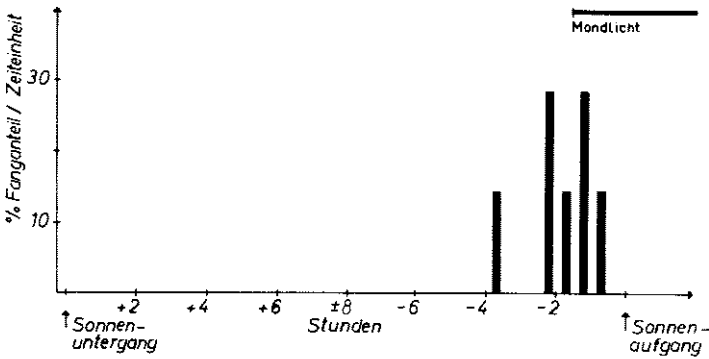
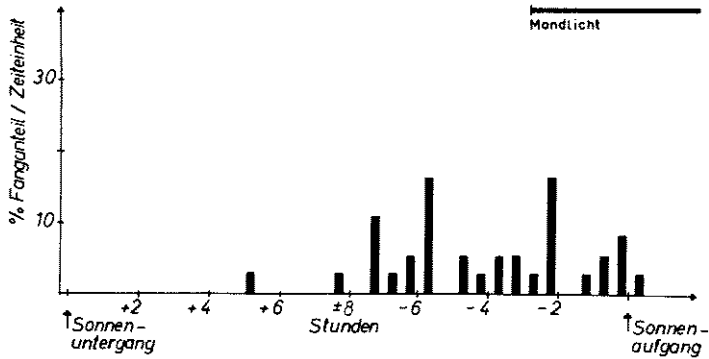
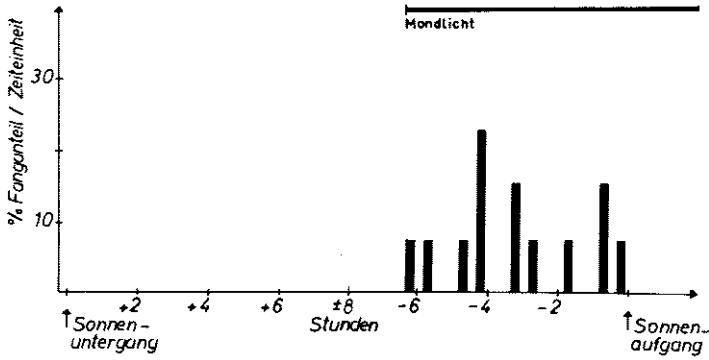


Abb. 30c: Flugaktivität männlicher *Ephestia künniella*, mit Zeiten in Relation zu Sonnenuntergang und Sonnenaufgang.

Phase 7 bis 9.

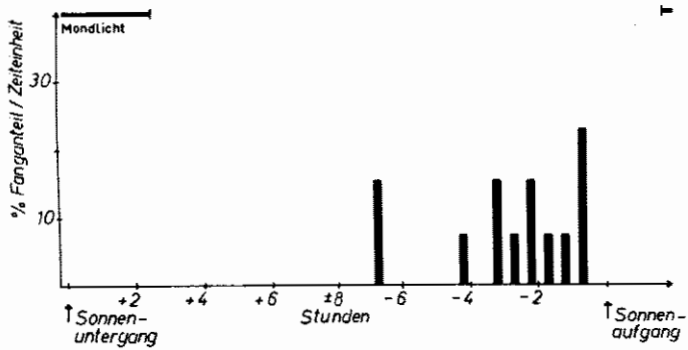
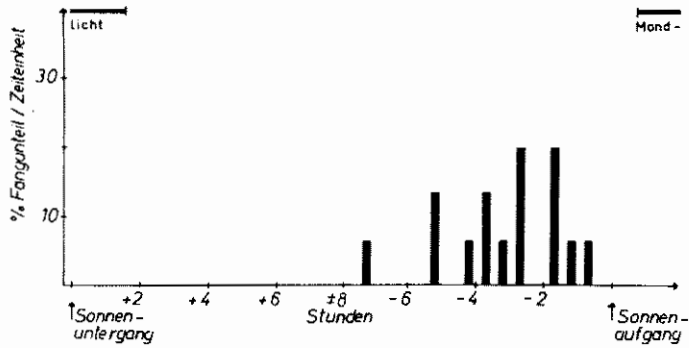
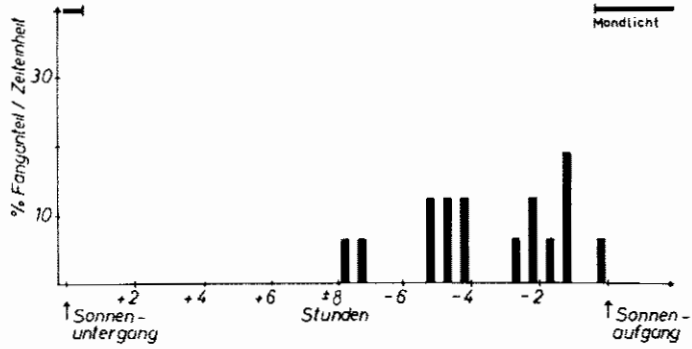
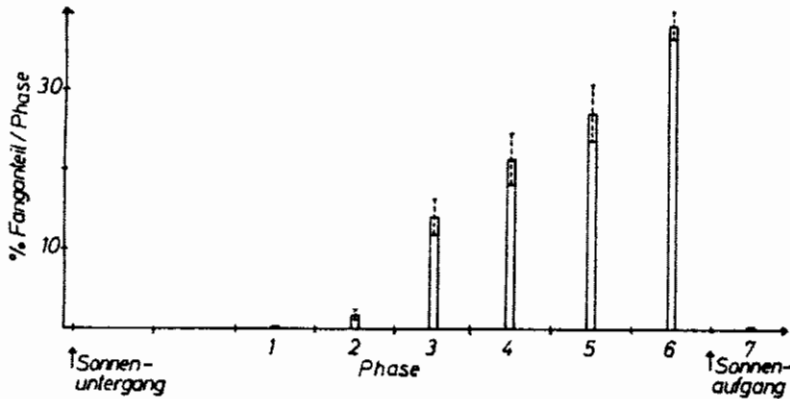


Abb. 31: Prozentuale Zunahme von männlichen *Ephestia kühniella* pro Phase.

Die Mittelwerte sind aus Tab. 9 entnommen:

$\bar{X}/\text{Phase} \times 4$; --- Standardabweichung.



6.5.3 Diskussion

Es soll betont werden, daß sich die Aktivität der männlichen *Ephestia kühniella*, die in diesem Versuch untersucht wurde, nur auf die Flugaktivität bezieht und nicht auf die Wanderaktivität dieser Tiere. Zweimal konnte das Umherwandern der Motten an den Wänden des Glaskastens beobachtet werden, als die Flugaktivität auf einem niedrigen Niveau angelangt war (1/2 Stunde vor Sonnenaufgang). Wandern mag nur eine niedrigere Stufe der Bewegungsaktivität sein (TRAYNIER 1968) - Wander- und Flugaktivität unterscheiden sich in dem Grad des Energieverbrauches - und von daher werden die Wanderperioden mit den Flugphasen zeitlich gekoppelt sein. Die hier angewandte Methode registrierte nur den gerichteten Anflug männlicher Mehlmotten auf das Pheromon. Die Zeiten oder der Umfang der geringen Aktivitätsgrade sind nicht bekannt.

Die Flugaktivitätsphasen männlicher *Ephestia kühniella* sind in Tab. 10 zusammengestellt.

Tab. 10: Flugaktivität von männlichen *Epehestia kühniella*.
(X = kleiner, XX = breiter, XXX = breitester Peak)

| Sonnenuntergang | Mitternacht | Sonnenaufgang | Zitat |
|-----------------|-------------|---------------|--|
| X | | XX XXX | EDWARDS (1962) Abb. 30; S. Abb. 31; S. Tab. 9; S. |

Beiden Untersuchungsmethoden gemeinsam ist die Registrierung der Flugaktivität und die Vernachlässigung der Wanderaktivität der Motten. Die von EDWARDS (1962) angewandte Methode beruht auf den von fliegenden Motten hervorgerufenen elektrischen Strömungen, die über empfindliche Sensoren eines Elektrometers gemessen werden (EDWARDS 1960), d. h. jegliche Flugaktivität der Motten kann registriert werden im Gegensatz zu dem Registrieren des gerichteten Fluges (auf eine pheromonbeköderte Falle) in der hier vorliegenden Untersuchung.

Die Flugaktivität männlicher Mehlmotten wird von EDWARDS (1962) auf ca. 2 Stunden vor Sonnenaufgang, in dem vorliegenden Versuch auf ca. 8 Stunden vor Sonnenaufgang bezogen. Auffallend ist, daß in der vorliegenden Untersuchung entgegen den Ergebnissen von EDWARDS (1962) keine Flugaktivität nach Sonnenuntergang registriert wurde (Tab. 10).

Wie in Kap. 3.3.2.2 ausgeführt wurde, liegt die duftbedingte optische Anemotaxis der Orientierung der Männchen zu einer Duftquelle zugrunde. Da weibliche Mehlmotten zu Beginn der Lichtperiode ihre 'calling'-Position einnehmen und Pheromone abgeben, bzw. in der Morgendämmerung die intensivste Pheromonabgabe erreicht haben (vgl. Abb. 11 und Abb. 14) korrespondieren diese Ergebnisse gut mit den in der vorliegenden Untersuchung gewonnenen, daß männliche Mehlmotten 8 Stunden vor Sonnenaufgang zu fliegen beginnen und 1/2 Stunde vor Sonnenaufgang ebenfalls ihre stärkste Flugaktivität haben (Abb. 31). Die durch das Pheromon hervorgerufene Flugstimulierung männlicher Mehlmotten auf der aktiven Suche nach Weibchen, läßt den Aktivitätspeak vor Sonnenaufgang

breiter erscheinen als in der Untersuchung von EDWARDS (1962), der ohne Pheromonköder arbeitete.

Die Diskrepanz der Flugaktivitätspeaks nach Sonnenuntergang (Tab. 10) läßt sich nicht mit methodischen Unterschieden bzgl. gerichteten oder nicht-gerichteten Flugs erklären, da während dieser Zeitspanne unter gleichen Bedingungen ohne Stimulus gearbeitet wurde (Abb. 11 und Abb. 14).

Die Methode von EDWARDS (1960) ist auf jeden Fall empfindlicher als die unter 6.5.1 beschriebene, obwohl auf der anderen Seite mit einem zufälligen Klebenbleiben fliegender Motten in wenigstens einer der 9 Parallelen bei einem eventuell stattgefundenen nicht-gerichteten Flug nach Sonnenuntergang hätte gerechnet werden können. Zusätzlich haben Beobachtungen während 3 aufeinanderfolgender Dämmerungsphasen am Abend einen Flug nicht bestätigen können. Die biologische Bedeutung des Fluges der Männchen nach Sonnenuntergang ist, bezogen auf das biologische Grundprinzip der Erhaltung der Art, nicht eindeutig, da zu dieser Zeit normalerweise die Weibchen sich nicht paarungsbereit zeigen.

Unterschiedliche Wetterverhältnisse, z. B. Bewölkung, die bei einigen Arten die Verschiebung der Aktivitätsperioden zu bewirken vermögen, kann für die in Tab. 10 dargestellten unterschiedlichen Resultate bzgl. der Flugaktivität nach Sonnenuntergang nicht herangezogen werden. Der Hell-Dunkel-Wechsel sowie die Lichtintensität wirkt bei *Ephestia kühniella* nur regulierend auf die endogene Rhythmik der Flugaktivität ein (TRAYNIER 1970a). Aufgrund der Orientierung an der zyklisch arbeitenden inneren Uhr können die Motten ohne Schwierigkeiten auch über Schlechtwetterperioden eine Zeitorientierung behalten (Kap. 3.4). Auf dieselbe Art und Weise wirkt der Wechsel von hoher und niedriger Temperatur regulierend auf die Aktivitätsphasen ein.

Der These von KURTZE (1974) folgend, daß typische dämmerungsaktive Tiere wie die Pyraliden eine Zunahme der Flugdauer bei Mondlicht zeigen, könnte eine weitere Begründung für die in Tab. 10 dargestellten unterschiedlichen Versuchsergebnisse sein. Da aber EDWARDS (1962) für seine Versuchsreihe keine Daten über Mondlicht angibt, kann nur ein interner Vergleich für den unter 6.5 beschriebenen Versuch bzgl. KURTZEs These unternommen werden.

Die Mondphase fiel während der ersten 4 Parallelen zusammen mit der Aktivitätsphase (ca. 8 Stunden vor Sonnenaufgang) der männlichen Mehlmotten, während der letzten 3 Wiederholungen lag sie außerhalb der Flugaktivitätsperiode (Abb. 30a-c). Das nach KURTZE (1974) zu erwartende Ergebnis, daß sich die Flugdauer bei Mondlicht, d. h. während der ersten 4 Parallelen im Gegensatz zu den letzten 3 Parallelen verlängert, kann durch die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse nicht bestätigt werden und von daher nicht zur Begründung der differierenden Resultate (Tab. 10) herangezogen werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß Kurz-Zeit-Versuche zur Bestimmung der tageszeitlichen Flugaktivität, wie unter 6.3 beschrieben, in dem Zeitraum von 8 Stunden bis 1/2 Stunde vor Sonnenaufgang mit den unter 6.5.1 beschriebenen Versuchsbedingungen durchgeführt werden können.

Diese Information über die Flugaktivität kann helfen, einen Aktivitätswechsel bei unterschiedlichen ökologischen und physiologischen Bedingungen zu verstehen, da man nun weiß, zu welcher Tages- bzw. Nachtzeit Aktivitätsperioden zu erwarten sind.

7. Zusammenfassende Diskussion und Ausblick

Biologische Bekämpfungsmaßnahmen, einschließlich der biotechnischen, haben im Vorratsschutz bisher wenig praktische Bedeutung erlangt. Das Schwergewicht liegt bei der chemischen Bekämpfung. Gegen Mehlmottenbefall werden gegenwärtig verschiedene chemische Vernebelungs-, Räucher- und Durchgasungsmittel eingesetzt. Durch die Resistenzbildung der Motten gegenüber einigen Insektiziden, durch die Rückstandsbildungen jener Stoffe auf den Nahrungsmitteln sowie durch die hohen Vorratsschutzkosten bedingt, wurden in den letzten Jahren einige biotechnische Verfahren im Vorratsschutz angewandt.

Lockstoffe, die als chemische Signale für die Paarung dienen, können auf zweierlei Art und Weise in der biotechnischen Schädlingsbekämpfung genutzt werden: Zur Überwachung und Befallsprognose oder als direkte Bekämpfungsstrategie zur Massenanziehung oder Desorientierung der Schadinsekten. Zur Früherkennung und Lokalisierung von *Ephestia elutella*- und *Plodia interpunctella*-Befall ist der Einsatz von pheromonbeköderten Klebefallen sehr gut geeignet. Auf diese

Weise kann ein Befall vor einer sichtbaren Schädigung erkannt werden und gezielt, d. h. nicht kalendermäßig, mit physikalischen oder chemischen Mitteln bekämpft werden. Bei der Massenanklockung kommt es darauf an, einen so hohen Prozentsatz der Männchen frühzeitig anzulocken und auszuschalten, daß die Mehrzahl der Weibchen unbegattet bleibt. Dagegen sollen die Männchen bei der Desorientierungstechnik durch Dauereinwirkung des Pheromons eventuell verbunden mit Dunkelheit daran gehindert werden, die Weibchen aufzufinden.

Im Rahmen dieser Arbeit zeigte der Großraumversuch zur Bestimmung der Wiederfangraten männlicher *Ephestia kühniella* in Abhängigkeit von der ZETA-Konzentration, daß ZETA, die Hauptkomponente des Pheromonkomplexes, als Lockstoff auf männliche Mehlmotten wirkt. In anderen Versuchen wurde gezeigt, daß diese Pheromonkomponente ebenfalls als Lockstoff auf die teils sympatrisch lebenden Arten *Ephestia elutella*, *Ephestia cautella* und *Plodia interpunctella* wirkt. ZETA-beköderte Fallen können demnach generell zur Früherkennung und Lokalisierung von Phycitinae-Befall eingesetzt werden. Schon die geringe ZETA-Dosierung von 10^{-3} $\mu\text{g}/\text{Kapsel}$ übte eine gezielte Anlockung auf männliche Mehlmotten aus, ein aus ökonomischer Sicht wichtiger Punkt.

Bei der Anwendung von Pheromonen oder Pheromonkomponenten zur Mehlmottenbekämpfung (Massenfang) geht es um die Erreichung der optimalen Attraktivität. In der hier vorliegenden Untersuchung erzielte keine der getesteten ZETA-Dosierungen (10^{-3} μg , 10^{-2} μg , 10^{-1} μg , 1 μg , 10 μg) eine so hohe Lockwirkung für männliche *Ephestia kühniella*, die für den Massenfang und eine drastische Populationsverdünnung (95 %) erforderlich ist. Unter den beschriebenen Bedingungen bewirkte die ZETA-Konzentration von 10^{-1} μg die höchste Wiederfangrate. Weiterhin zeigte die nicht-zufällige Verteilung der Motten im Versuchsraum, daß noch andere, pheromonunabhängige Stimuli die Fängigkeit beeinflussen. Vermutlich sind es die Lichtverhältnisse im Raum; die männlichen Mehlmotten halten sich mit Vorliebe in den dunkleren Regionen eines Raumes auf. Weitere Optimierungsstrategien für den Massenfang wurden diskutiert.

Der Gebrauch von synthetischen Pheromonkomponenten zur direkten Bekämpfung von Phycitinae-Befall erzielte bisher noch keine befriedigenden Ergebnisse. Von den gegenwärtigen Kenntnissen her scheint es unwahrscheinlich, daß die

Reduzierung der Populationsdichte groß genug sein wird, um eine Alternative zu konventionellen Bekämpfungsmaßnahmen zu bieten. Bei vorratsschädlichen Motten ist z. Zt. der Einsatz der Massenfangtechnik nur dann empfehlenswert, wenn bei geringer Populationsdichte der Populationsaufbau gebremst werden soll. Der Einsatz des Desorientierungsverfahrens ist aufgrund der Akkumulation der Lockstoffmoleküle an den Lagergütern bedenklich.

Die biologische Schädlingsbekämpfung ist in der Vergangenheit mehrfach erfolgreich angewendet worden und zwar dort, wo ein gewisser Anfangsschaden toleriert werden kann. Dies ist in der Land- und Forstwirtschaft möglich, wo die Schadensschwelle nach einer Kosten-Nutzen-Analyse bestimmt wird. Bei Vorrats- und Hygieneschädlingen kann man in Deutschland kaum von einer Schadensschwelle reden, da nach der Lebensmittel- und Hygienegesetzgebung praktisch kein Befall toleriert werden kann. Hier werden meist Schädlingsbekämpfungsmittel mit sofortigem Wirkungseintritt gefordert. Die sofortige und totale Wirkung auf eine Schädlingspopulation ist beim Einsatz biotechnischer Verfahren, wie z. B. Pheromontechnik, nicht gegeben. Trotzdem sind Pheromon-Verfahren eine wichtige Komponente bei der integrierten Bekämpfung. Der Einsatz pheromonbeköderter Klebefallen zur Früherkennung, Lokalisierung und Überwachung einer Schädlingspopulation in einem integrierten Bekämpfungsprogramm hat den Vorteil, daß die Insektizidanwendungen eingeschränkt werden können, wodurch sowohl die Vorratsschutzkosten als auch die Entwicklungsmöglichkeiten insektizidresistenter Stämme verringert werden.

8. Summary

Pheromones of stored product moth pests (Phycitinae, especially *Ephestia kuehniella* Zeller) in biological control - Bibliography and Experiments

In the first part a survey is given over physiological and behaviouristic aspects of pheromones in the subfamily Phycitinae (*Ephestia spec.* and *Plodia interpunctella*). Different ways of pheromone application in stored products pest control are discussed (early detection and monitoring, mass trapping and confusion). The experiments in the second part show that pheromone capsule dosages from 10^{-3} μg (Z, E)-9, 12- tetradecadienyl acetate (TDA) to 10 μg TDA are very

attractive to female *Ephestia kuehniella*. A dosage of 10^{-1} μg TDA is most effective.

Another Experiment determines the diurnal activity of the mediterranean flour moth. The adults fly only from 8 hours before dawn to dawn.

9. Danksagung

Für die Überlassung des synthetischen (Z,E)-9,12-Tetradecadienylacetat danken wir den Herren Prof. Dr. H.Z. Levinson, Max-Planck-Institut für Verhaltensphysiologie, Seewiesen, und Dr. D. Hall sowie Frau Dr. B. Nesbitt, Tropical Products Institute, London.

Die Klebefallen wurden freundlicherweise von der Firma Aeroxon Schädlingsbekämpfung GmbH, 7050 Waiblingen, zur Verfügung gestellt.

Herrn Dinkloh, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), Berlin-Dahlem, sind wir für seine Hilfe bei photographischen Arbeiten zu Dank verbunden.

Bei den Herren Prof. Dr. Weigmann, Freie Universität Berlin, sowie Dr. R. Wohlgemuth, BBA Berlin-Dahlem, bedanken wir uns für wertvolle Diskussion und Manuskriptdurchsicht.

Frau E. Wallacher, BBA Berlin-Dahlem, gebührt unser Dank für die Erstellung der Reinschrift dieser Arbeit.

10. Literaturverzeichnis

- ATTIA, F.J. (1977): Insecticide resistance in *Plodia interpunctella* in New South Wales, Australia. - *J. of the Australian Ent. Soc.* 16, 149-152.
- BARTELL, R.J. (1977): Behavioral responses of lepidoptera to pheromons.-In: Chemical control of insect behaviour; H.H. SHOREY and J.J. McKELVEY (eds.), New York, 201-213.
- BARTELL, R.J.; SHOREY, H.H. (1969): Pheromone concentration required to elicit successive steps in the mating sequence of males of the light-brown apple moth *Epiphyas postvittana*. - *Ann. Ent. Soc. Am.* 62, 1206-1207.
- BARTH, R. (1937): Herkunft, Wirkung und Eigenschaften des weiblichen Sexualduftstoffes einiger Pyraliden. - *Zool. Jb., Abt. allg. Zool. Physiol.* 58, 297-329.
- BARTH, R. (1938): Bau und Funktion der Flügeldrüsen einiger Mikrolepidopteren. *Z. Wiss. Zool.* 150, 1-37.
- BELL, C.H. (1975): Effects of temperature and humidity on development of four pyralid moth pests of stored products. - *J. stored Prod. Res.* 11, 167-176.
- BELL, C.H.; GLANVILLE, V. (1973): The effect of concentration and exposure in tests with methylbromide and with phosphine on diapausing larvae of *Ephestia elutella* Hb. - *J. stored Prod. Res.* 9, 165-170.
- BERGER, R.S. (1966): Isolation, identification, and synthesis of the sex attractant of the cabbage looper, *Trichoplusia ni*. - *Ann. Ent. Soc. Am.* 59, 767-771.
- BEROZA, M.; KNIPLING, E.F. (1972): Gypsy moth control by the sexattractant pheromone. - *Science* 177, 19-27.
- BEROZA, M. et al. (1971): Activity and persistence of synthetic and natural sex attractants of the Gypsy moth in laboratory and field trials. - *J. Econ. Ent.* 64, 1499-1508.
- BEROZA, M. et al. (1975): Acute toxicity studies with insect attractants. - *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 31, 421-429.
- BESTMANN, H.J. (1976): Zusammenhänge zwischen Molekülstruktur und Wirkung von Pheromonen. - *Z. ang. Ent.* 82, 110-111.
- BIERL, B.A. et al. (1970): Potent sex attractant of the Gypsy Moth: Its isolation, identification, and synthesis. - *Science* 170, 87-89.
- BIRCH, M. (1974): Aphrodisiac pheromones in insects. - In: Pheromones, M. BIRCH (ed.), North Holland, Amsterdam, 115-134.
- BOLLOW, H. (1958): Vorrats- und Gesundheitsschädlinge. Stuttgart.
- BONESS, M. (1973): Versuche zur Wirkung und praktischen Verwendung des Schwammspinner Sexualpheromons. - *Mitt. Biol. Bundesanstalt, Land- und Forstwirtschaft*, 151, 309 ff.

- BOSSERT, W.H.; WILSON, E.O. (1963): The analysis of olfactory communication among animals. - *J. Theoret. Biol.* 5, 443-469.
- BRADY, U.E. (1969): Inhibition of the behavioral response of males of Indian-meal Moths, *Plodia interpunctella*, and related species to females sex pheromones: exposure to sex pheromones of unrelated species. - *J. Ga. Ent. Soc.* 4, 41-45.
- BRADY, U.E. (1973): Isolation, identification and stimulatory activity of the second component of the sex pheromone system (complex) of the female almond moth, *Cadra cautella*. - *Life Sci.* 13, 227-235.
- BRADY, U.E.; SMITHWICK, E.B. (1968): Production and release of sex attractant by the female Indian-meal Moth, *Plodia interpunctella*. - *Ann. Ent. Soc. Am.* 61, 1260-1265.
- BRADY, U.E.; NORDLUND, D.A. (1971): Cis-9, trans-12-tetradecadienyl-acetate in the female Tobacco moth *Ephestia elutella* and evidence for an additional component of the sex pheromone. - *Life Sci.* 10, 797-801.
- BRADY, U.E.; GANYARD, M.C. (1972a): Identification of the sex pheromone of the female Beet Armyworm, *Spodoptera exigua*. - *Ann. Ent. Soc. Am.* 65, 898-899.
- BRADY, U.E.; GANYARD, M.C. (1972b): Identification of the sex pheromone of the female raisin moth, *Cadra figulilella*. - *Ann. Ent. Soc. Am.* 65, 1356-1358.
- BRADY, U.E.; DALEY, R. (1975): Mating activity of *Cadra cautella* during exposure to synthetic sex pheromone and related compounds in the laboratory. - *Environ. Ent.* 4, 445-447.
- BRADY, U.E. et al. (1971a): The sex stimulant of the Mediterranean flour moth *Anagasta kühniella*. - *J. Ga. Ent. Soc.* 6, 215-217.
- BRADY, U.E. et al. (1971b): Sex stimulant and attractant in the Indian-meal moth and in the almond moth. - *Science* 171, 802-804.
- BRADY, U.E. et al. (1975): Mating activity of *Plodia interpunctella* and *Cadra cautella* during exposure to synthetic sex pheromone in the field. - *Environ. Ent.* 4, 441-444.
- BRANDT, H. (1934): Die Lichtorientierung der Mehlmotte, *Ephestia kühniella* Z. - *Z. vergl. Physiol.* 20, 646-673.
- BURKHARDT, F. (1920): Zur Biologie der Mehlmotte (*Ephestia kühniella* Z.). - *Z. ang. Ent.* 6, 25-60.
- BURKHARDT, D. (1964): Colour discrimination in insects. - In: *Advances in insect physiology*, J.W.L. BEAMENT; J.E. TREHERNE; V.B. WIGGLESWORTH (eds.), Vol. 2, London and New York, 113-173.
- BURKHOLDER, W.E. (1974): Stored product pests. - In: *Pheromones*, M. BIRCH (ed.), North-Holland, Amsterdam, 449-452.
- BURKHOLDER, W.E. (1976): Application of pheromones for manipulating insect pests of stored products. - *Proc. Symp. Insect Pheromones and their Applications*, Nagaoka and Tokyo, Dec. 8.-11. 1976, 111-122.

- BUTENANDT, A. et al. (1959): Über den Sexuallockstoff des Seidenspinners *Bombyx mori*. Reindarstellung und Konstitution. - Z. Naturforsch. B 14, 283-284.
- BUTLER, C.G. (1967): Insect pheromones. - Biol. Rev. Cambridge Phil. Soc. 42, 42-87.
- BUTLER, C.G. (1970): Chemical communication in insects: behavioral and ecologic aspects. - In: Advances in Chemoreception I; J.W. JOHNSTON; D.G. MOULTON; A. TURK (eds.), New York, 35-78.
- Campion, D.G. (1976): Sex pheromones for the control of lepidopterous pests using microencapsulation and dispenser techniques. - Pestic. Sci. 7, 636-641.
- CARDE, R.T. (1976): Utilization of pheromones in the population management of moth pests. - Environ. Health Persp. 14, 133-144.
- CARDE, R.T. (1975): Behavioural role of individual components of a multichemical attractant system in the oriental fruit moth. - Nature 253, 348-349.
- CAVALLI-SFORZA, L. (1974): Biometrie-Grundzüge biologisch-medizinischer Statistik. - 4. Aufl., Stuttgart.
- COFFELT, J.A. et al. (1978): Quantitative analysis of identified compounds in pheromone gland rinses of *Plodia interpunctella* and *Ephestia cautella* at different times of day. - Environ. Ent. 7, 502-505.
- COPPEL, H.C.; MERTINS, J.W. (1977): Biological insect pest suppression. - Berlin, Heidelberg, New York.
- CORBET, S.A. (1973): Oviposition pheromone in larval mandibular glands of *Ephestia kühniella*. - Nature 243, 537-538.
- DAHM, K.H. et al. (1971): The sex attractants of the Indian-meal moth *Plodia interpunctella*. - Life Sci. Part II, 10, 531-539.
- DAVIS, J.T. (1971): Olfactory theories. - In: Handbook of sensory physiology; L. BEIDLER (ed.), Vol. IV, New York, 332-350.
- DETHIER, V.G. (1974): Chemical insect attractants and repellents. - Blakiston, Philadelphia.
- DETHIER, V.G. et al. (1960): The designation of chemicals in terms of the responses they elicit from insects. - J. Econ. Ent. 53, 134-136.
- DICKINS, G.R. (1936): The scent glands of certain Phycitidae (Lepidoptera). - Trans. R. Ent. Soc. London, 85, 331 ff.
- DYTE, C.E. (1974): Problems arising from insecticide resistance in storage pests. - EPPO Bull. 4, 275-289.
- EDWARDS, D.K. (1960): A method for continuous determination of displacement activity in a group of flying insects. - Can. J. Zool. 38, 1021-1025.
- EDWARDS, D.K. (1962): Laboratory determinations of the daily flight times of separate sexes of some moths in naturally changing light. - Can. J. Zool. 40, 511-530.

- FARKAS, S.R.; SHOREY, H.H. (1972): Chemical trail-following by flying insects: a mechanism for orientation to a distant odor source. - *Science* 178, 67-68.
- FARKAS, S.R.; SHOREY, H.H. (1973): Odor-following and anemotaxis. - *Science* 180, 1302.
- FARKAS, S.R.; SHOREY, H.H. (1974): Mechanisms of orientation to a distant pheromone source. - In: *Pheromones*; M. BIRCH (ed.), North-Holland Amsterdam, 81-95.
- FATZINGER, C.W. (1972): Bioassay, morphology, and histology of the female sex pheromone gland of *Dioryctria abietella* (Lepidoptera, Pyralidae-Phycitinae). - *Ann. Ent. Soc. Am.* 65, 1208-1214.
- FLEURAT LESSARD, F. et al. (1976): Effects de doses de ZETA sur *Plodia interpunctella* dans les stocks de Pruneaux d'Agen. - In: *Les Phéromones Sexuelles des Lépidoptères*. Centre de Recherches INRA de Bordeaux, 163-169.
- FRANZ, J.M.; KRIEG, A. (1976): *Biologische Schädlingsbekämpfung*. - 2. Aufl., Berlin und Hamburg.
- FREEMAN, J.A. (1977): Prediction of new storage pest problems. - In: *Origins of pest, parasite, disease, and weed problems*; J.M. CHERRETT; G.R. SAGAR (eds.); 18th Symposium of the British Ecological Society.
- FRICKHINGER, H.W. (1918): *Die Mehlmotte - Schilderungen ihrer Lebensweise und ihrer Bekämpfung mit besonderer Berücksichtigung der Cyanwasserstoffdurchgasung*; München.
- GONEN, M. (1975): Effects of Gamma Radiation on *Epehestia cautella* (Wlk.) (Lepidoptera, Phycitidae) - IV. Sensitivity of Maturing Sperm in the Adult to a Sterilizing Dose. - *J. stored Prod. Res.* 11, 97-101.
- GRANT, G.G. (1974): Male sex pheromone from wing gland of the Indian-meal moth, *Plodia interpunctella*. - *Experimenta* 30, 917-918.
- GRANT, G.G.; BRADY, U. (1975): Courtship behavior of phycitid moths. - *Can. J. Zool.* 53, 813-826.
- HAGSTRUM, D.W. et al. (1977): Flight activity of *Epehestia cautella* as influenced by the intensity of ultra violet or green radiation. - *J. Ga. Ent. Soc.* 12, 231 ff.
- HAINES, Ch. (1976): The use of synthetic sex pheromones for pest management in stored-product situations. - *Pestic. Sci.* 7, 647-649.
- HAMLIN, J.C. et al. (1931): Biology of the Indian-meal moth on dried fruits in California. - *USDA Techn. Bull.* 242, 26 ff.
- HASE, A. (1925): *Untersuchungen und Beobachtungen über die Gespinste und über die Spinnfähigkeit der Mehlmottenraupen, Epehestia kühniella*. - *Arb. Biol. Reichsanstalt, Landforstwirtschaft* 13, 79-128.
- HASELOFF-HOFFMANN, R. (1970): *Kleines Lehrbuch der Statistik*. - 4. Aufl., Berlin.

- HASSANEIN, M.A.; KAMEL, A.H. (1965): Biological studies on the Mediterranean flour moth, *Anagasta kühniella* Z. - Bull. Soc. ent. Egypte 49, 327-358.
- HEINRICH, C. (1956): American moths of the subfamily Phycitinae. - U.S. Nat. Mus., Bull. 207, 298 ff.
- HOPPE, T. (1976): Microplot trial with an epoxyphenylether (insect growth regulator) against several pests of stored wheat grain. - J. stored Prod. Res. 12, 205 ff.
- HOPPE, T.; LEVINSON, H.Z. (1979): Befallserkennung und Populationsüberwachung vorratsschädlicher Motten (Phycitinae) in einer Schokoladenfabrik mit Hilfe pheromonbeködeter Klebefallen. - Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 52, 177-183.
- JACOB, T.A.; COX, P.D. (1977): The influence of temperature and humidity on the life-cycle of *Ephestia kühniella*. - J. stored Prod. Res. 13, 107-118.
- JACOBSON, M. (1972): Insect pheromones. - New York, London.
- JACOBSON, M. et al. (1960): Isolation, identification and synthesis of the sex attractant of the gypsy moth. - Science 132, 1011.
- JACOBSON, M. et al. (1970): Sex pheromones of the southern armyworm moth: Isolation, identification, and synthesis. - Science 170, 542-544.
- KAFKA, W.A. (1970): Molekulare Wechselwirkungen bei der Erregung einzelner Riechzellen. - Z. vergl. Physiol. 70, 105-143.
- KAISSLING, K.E. (1971): Insect olfaction. - In: Handbook of sensory physiology; L. BEIDLER (ed.), Vol. IV, New York, 351-431.
- KAISSLING, K.E. (1975): Sensorische Transduktion bei Riechzellen von Insekten. - Verh. Dtsch. Zool. Ges. 67, 1-11.
- KAISSLING, K.E. (1977): Control of insect behavior via chemorezeptor organs. - In: Chemical control of insect behavior; H.H. SHOREY; J.J. McKELVEY (eds.), New York, 45-65.
- KAISSLING, K.E.; PRIESNER, E. (1970): Die Riechschwelle des Seidenspinners. Naturwiss. 57, 23-28.
- KARLSON, P. (1960): Pheromone. - Erg. Biologie 22, 212-225.
- KARLSON, P.; LÜSCHER, M. (1959): Pheromone, ein Nomenklaturvorschlag für eine Wirkstoffklasse. - Naturwiss. 46, 63-64.
- KASANG, G. (1973): Physikochemische Vorgänge beim Riechen des Seidenspinners. - Naturwiss. 60, 95-101.
- KASANG, G.; KAISSLING, K.E. (1972): Specificity of primary and secondary olfactory processes in *Bombyx antennae*. - In: Int. Symp. Olfaction Taste IV, D. SCHNEIDER (ed.), Stuttgart, 200-206.
- KASANG, G. et al. (1978): Bombykol, eine zweite Pheromonkomponente des Seidenspinners *Bombyx mori*. - Ang. Chem. 90, 74-75.

- KENNEDY, J.S.; MARSH, D. (1974): Pheromone - regulated anemotaxis in flying moths. - *Science* 184, 999-1001.
- KIRKPATRICK, R.L. et al. (1970): Effectiveness of green and ultraviolet light in attracting stored-product insects in traps. - *J. Econ. Ent.* 63, 1853-1855.
- KNIPLING, E.F.; McGUIRE, J.U. (1966): Population models to test the theoretical effects of sex attractant used in insect control. - U.S. Dep. Agr., Agr. Inform. Bull. 308, 2-4.
- KNOCHE, C. (1962): Einschleppung und Flugzeiten von Kakaomotten. - *Gordian* 1472, 11-15.
- KUNIKE, G. (1939): Beiträge zur Lebensweise und Bekämpfung der Mehlmotte, *Ephestia kühniella* Z. - *Z. ang. Ent.* 25, 588-608.
- KURTZE, W. (1974): Synökologische und experimentelle Untersuchungen zur Nachtaktivität von Insekten. - *Zool. Jb. Syst.* 101, 297-344.
- KUWAHARA, Y.; CASIDA, J.E. (1973): Quantitative analysis of the sex pheromones of several phycitid moths by electron capture gas chromatography. - *Arg. Biol. Chem.* 37, 681-684.
- KUWAHARA, Y. et al. (1971a): The sex pheromone of the Mediterranean flour moth. - *Arg. Biol. Chem.* 35, 447-448.
- KUWAHARA, Y. et al. (1971b): Sex pheromone of the almond moth and the Indian-meal moth: cis-9, trans-12-tetradecadienylacetat. - *Science* 171, 801-802.
- LEHMENSICK, R.; LIEBERS, R. (1938): Beiträge zur Biologie der Mikrolepidoptera. - *Z. ang. Ent.* 24, 582-643.
- LEVINSON, H.Z. (1974): Possibilities of using insectistatics and pheromones in the control of stored product pests. - *EPPO Bull.* 4, 391-416.
- LEVINSON, H.Z. (1977): Lockstoffe als Insektistatika. - *Z. ang. Ent.* 84, 1-19.
- LEVINSON, H.Z.; LEVINSON, A.R. (1977): Integrated manipulation of storage insects by pheromones and food attractants - a proposal. - *Z. ang. Ent.* 84, 337-343.
- LEVINSON, H.Z. et al. (1976): Verfahren zur Früherkennung-Lokalisierung und Bekämpfung von Lagerraum-Schadinsekten und Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens. - Patentschrift P 2641729.8 und G 7628991.3, Max-Planck-Gesellschaft, Göttingen.
- McLAUGHLIN, J.R.; HAGSTRUM, D.W. (1976): Effects of a dark permeation with synthetic sex pheromone on mating in the almond moth. - *Environ. Ent.* 5, 1057-1058.
- MINKS, A.K. (1975): Die mögliche Anwendung von Sexualpheromonen für die Bekämpfung des Apfelwicklers, *Adoxophyes orana*, im holländischen Obstbau. - *Z. ang. Ent.* 77, 330-336.

- MINKS, A.K. (1977): Trapping with behavior-modifying chemicals: feasibility and limitations. - In: Chemical control of insect behavior; H.H. SHOREY; J.J. McKELVEY (eds.), New York.
- MINKS, A.K.; de JONG, D.J. (1975): Determination of spraying dates for *Adoxophyes orana* by sex pheromone traps and temperature recordings. - J. Econ. Ent. 68, 729 ff.
- MUDD, A.; CORBET, S.A. (1973): Mandibular gland secretion of larvae of the stored products pests *Anagasta kühniella*, *Ephestia cautella*, *Plodia interpunctella*, *Ephestia elutella*. - Ent. exp. & appl. 16, 291-293.
- NORDLUND, D.A.; BRADY, U. (1974): The Calling behavior of female *Plodia interpunctella* under two light regimes. - Environ. Ent. 3, 793-796.
- ONO, T. (1974): The scale as a factor inducing male's copulation attempt in the potato tuber moth, *Phthorimaea operculella*. - Botyu-Kagaku 39, 93-95.
- ONO, T. (1977): The scales as a releaser of the copulation attempt in Lepidoptera. - Naturwiss. 64, 386-387.
- PAYNE, T.L. (1974): Pheromone perception. - In: Pheromones; M. BIRCH (ed.), North-Holland, Amsterdam, 35-61.
- PERCY, J.; WEATHERSTONE, J. (1971): Studies of physiologically active arthropod secretions IX. - Can. Ent. 103, 1733-1739.
- PERCY, J.E.; WEATHERSTONE, J. (1974): Gland structure and pheromone production in insects. - In: Pheromones; M. BIRCH (ed.), North-Holland, Amsterdam, 11-34.
- PHILLIPS, W.G. (1976): EPA's registration requirements for insect behavior controlling chemicals-philosophy and mandates. - In: Pest management with insect sex attractants; M. BEROZA (ed.), ACS Symposium Series 23.
- PIMAUD, M.F. et al. (1976): Effects de fortes doses de ZETA en milieu confine sur la reproduction de *Plodia interpunctella* en laboratoire. - In: Les phéromones sexuelles des lépidoptères. Centre de Recherches INRA de Bordeaux, 129-135.
- PRIESNER, E. (1973): Artspezifität und Funktion einiger Insektenpheromone. - Fortschr. Zool. 22, 49-135.
- READ, J.S.; BEROZA, P.S. (1976): Analytical studies on the sex pheromone complex of *Ephestia cautella*. - J. stored Prod. Res. 12, 55-57.
- READ, J.S.; HAINES, C.P. (1976): The functions of the female sex pheromones of *Ephestia cautella*. - J. stored Prod. Res. 12, 49-53.
- REICHMUTH, Ch. et al. (1976): Untersuchungen über den Einsatz von pheromon-bekönderten Klebefallen zur Bekämpfung von Motte n im Vorratsschutz. - Z. ang. Ent. 82, 95-102.

- REICHMUTH, Ch. et al. (1978): Die Fängigkeit pheromonbeköderter Klebefallen für Speichermotten (*Ephestia elutella* Hbn.) in unterschiedlich dicht befallenen Getreidelägern. - Z. ang. Ent. 86, 205-212.
- REICHMUTH, Ch. et al. (1980): Das jahreszeitliche Auftreten von Speichermotten (*Ephestia elutella* Hbn.) in Berliner Getreideschüttbodenlägern sowie der zeitentsprechende Einsatz von Bekämpfungsmaßnahmen. - Z. ang. Ent. 89, 104-111.
- RICHARDS, O.W.; THOMSON, W.S. (1932): A contribution to the study of the genera *Ephestia* Gn. and *Plodia* Gn., with notes on the parasites of the larvae. - Trans. R. ent. Soc. London 80, 169-250.
- RICHARDS, O.W.; WALOFF, N. (1946): The study of a population of *Ephestia elutella* living on bulk grain. - Trans. R. ent. Soc. London 97, 253-298
- RIEDL, H.; CEOFT, B.A. (1974): A study of pheromone catches in relation to codling moth damage. - Can. Ent. 106, 525-537.
- ROELOFS, W.L.; COMEAU, A. (1971): Sex attractants in Lepidoptera. - In: Pesticide Chemistry III; A.S. TAHORI (ed.), 91-114.
- ROELOFS, W.L.; CARDE, R.T. (1974): Sex pheromones in the reproductive isolation of lepidopterous species. - In: Pheromones; M. BIRCH (ed.), North-Holland, Amsterdam, 96-114.
- ROELOFS, W.L.; CARDE, R.T. (1977): Responses of lepidoptera to synthetic sex pheromone chemicals and their analogues. - Ann. Rev. Ent. 22, 377-405.
- ROELOFS, W.L. et al. (1970): Sex pheromone trapping for redbanded leaf roller control: theoretical and actual. - J. Econ. Ent. 63, 1162-1167.
- ROELOFS, W.L. et al. (1971): Sex attractant of the codling moth: Characterization with electroantennogram technique. - Science 174, 297-299.
- SACHS, L. (1974): Angewandte Statistik.- 4. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York.
- SCHEDL, K.E. (1936): Der Schwammspinner (*Porthetria dispar*) in Eurasien, Afrika und Neuengland. - Monogr. ang. Ent. 12, 1-242.
- SCHNEIDER, D. (1957): Elektrophysiologische Untersuchungen von Chemo- und Mechanorezeptoren der Antennen des Seidenspinners *Bombyx mori* L. - Z. Vergl. Physiol. 40, 8-41.
- SCHNEIDER, D. (1964): Insect antennae. - Ann. Rev. Ent. 9, 103-122.
- SCHNEIDER, D. (1969): Insect olfaction: Deciphering system for chemical messages. - Science 163, 1031-1037.
- SCHNEIDER, D. (1974): The sex attractant receptor of moths. - Sci. Am. 231, 28-35.
- SCHNEIDER, D.; STEINBRECHT, R.A. (1968): Checklist of insect olfactory sensilla. - Symp. Zool. Soc. Lond. 23, 279 ff.

- SCHWINCK, J. (1955): Weitere Untersuchungen zur Frage der Geruchsorientierung der Nachtschmetterlinge. - Z. vergl. Physiol. 37, 439-458.
- SEABROOK, W.D. (1977): Insect chemosensory responses to other insects. - In: Chemical control of insect behavior; H.H. SHOREY; J.J. McKELEY (eds.), New York, 15-43.
- SHOREY, H.H. (1970): Sex pheromones of lepidoptera. - In: Control of insect behavior by natural products; D. WOOD et al. (eds.), New York, 249-284.
- SHOREY, H.H. (1973): Behavioral responses to insect pheromones. - Ann. Rev. Ent. 18, 349-380.
- SHOREY, H.H. (1974): Environmental and physiological control of insect sex pheromone behavior. - In: Pheromones; M. BIRCH (ed.), North-Holland, Amsterdam, 62-80.
- SMITHWICK, E.B.; BRADY, U. (1977): Site and production of sex pheromone in developing female Indian-meal moths, *Plodia interpunctella*. - J. Ga. Ent. Soc. 12, 1-13.
- SODERSTROM, E.L. (1970): Effectiveness of green electroluminescent lamps for attracting stored-product insects. - J. Econ. Ent. 63, 726-731.
- SOWER, L.L.; WHITMER, G.P. (1977): Population growth and mating success of Indian-meal moths and almond moths in the presence of synthetic sex pheromone. - Environ. Ent. 6, 17-20.
- SOWER, L.L. et al. (1973): Sex pheromone of the angoumois grain moths: Effects of habituation on the pheromone response of the male. - Ann. ent. Soc. Am. 66, 991 ff.
- SOWER, L.L. et al. (1974a): (Z,E)-9,12-Tetradecadien-1-ol: A chemical released by female *Plodia interpunctella* that inhibits the sex pheromone response of male *Cadra cautella*. - Environ. Ent. 3, 120-122.
- SOWER, L.L. et al. (1974b): Perception of olfactory stimuli that inhibit the responses of male phycitid moths to sex pheromones. - Environ. Ent. 3, 277-279.
- SOWER, L.L. et al. (1975): Population-density dependent mating frequency among *Plodia interpunctella* in the presence of synthetic sex pheromone with behavioral observations. - J. chem. Ecol. 1, 335-342.
- STEINBRECHT, R.A. (1964): Die Abhängigkeit der Lockwirkung des Sexualduftorgans weiblicher Seidenspinner (*Bombyx mori*) von Alter und Population. - Z. vergl. Physiol. 48, 341-356.
- STEINBRECHT, R.A.; MÜLLER, B. (1971): On the stimulus conducting structures in insect olfactory receptors. - Z. Zellforsch. 117, 570-575.
- STEINER, H. (1968): Das Prinzip des integrierten Pflanzenschutzes. - Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz 41, 129-131.
- STERMER, R.A. (1959): Spectral response of certain stored-product insects to electromagnetic radiation. - J. Econ. Ent. 52, 888-892.

- TAKAHASHI, F. (1973): Sex pheromones: are they really species specific? - Mem. Coll. Agric., Kyoto, 104, 13-21.
- TAKAHASHI, F. et al. (1972): Studies on sex pheromone of Pyralidae IV. The male response to the female sex pheromone of the almond moth, *Cadra cautella*. - Botyu-Kagaku 37, 56-60.
- TAMAKI, Y. (1977): Complexity, diversity, and specificity of behavior-modifying chemicals in lepidoptera and diptera. - In: Chemical control of insect behavior; H.H. SHOREY; J.J. McKELVEY (eds.), New York.
- TAMAKI, Y.; YUSHIMA, T. (1974): Sex pheromone of the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis*. - J. Insect Physiol. 20, 1005-1014.
- TAMAKI, Y.; HONMA, K. (1976): Sex pheromone and reproductive isolation in lepidoptera with special reference to *Adoxophyes* spp. in Japan. - Proc. Symp. Insect Pheromones and their Application, Nagaoka and Tokyo, Dec. 8.-11. 1976, 13-22.
- TAMAKI, Y. et al. (1973): Sex pheromone of *Spodoptera litura* F.: Isolation, identification, and synthesis. - Appl. Ent. Zool. 8, 200-203.
- TAN, K.H. (1975): Effects of a synthetic juvenile hormone and some analogues on *Ephestia* spp. - Ann. appl. Biol. 80, 137-145.
- TAN, K.H.; MORDUE, W. (1977): Effects of certain chemosterilants and biologically active substances on the adult Mediterranean flour moth, *Ephestia kühniella* Z. - Bull. Ent. Res. 67, 483-489.
- TANNERT, W. (1968): Vorrats- und Materialschädlinge.-In: Angewandte Entomologie; R. FRITSCHÉ et al. (eds.), Stuttgart, 563-593.
- TEMBROCK, G. (1971): Biokommunikation (Informationstransfer im biologischen Bereich), Teil I, Berlin.
- TETTE, J.P. (1974): Pheromones in insect population management.-In: Pheromones; M. BIRCH (ed.), North-Holland, Amsterdam, 399-410.
- TRAMMEL, J.H. et al. (1974): Sex pheromone trapping of males for control of redbanded leafroller in apple orchards. - J. Econ. Ent. 67, 159-164.
- TRAYNIER, R.M.M. (1968): Sex attraction in the Mediterranean flour moth, *Anagasta kühniella*: Location of the female by the male. - Can. Ent. 100, 5-10.
- TRAYNIER, R.M.M. (1970a): Sexual behavior of the Mediterranean flour moth, *Anagasta kühniella*: some influences of age, photoperiod, and light intensity. - Can. Ent. 102, 534-540.
- TRAYNIER, R.M.M. (1970b): Habituation of the response to the sex pheromone in two species of lepidoptera, with reference to a method of control. - Ent. Exp. Appl. 13, 179-168.
- VICK, K.W.; SOWER, L.L. (1973): Z-9,Z-12-Tetradecadien-1-ol-acetate: An inhibitor of the response to the sex pheromone of *Plodia interpunctella*. - J. Econ. Ent. 66, 1258-1260.

- VOSTROWSKY, O.; BESTMANN, H.J. (1978): Isolierung und Strukturaufklärung von Pheromonen. - In: Moderne Methoden in der Bekämpfung von Schadinsekten. Tagung der Deutschen Gesellschaft für allgemeine und angewandte Entomologie vom 7.-10.3.1978, Karlsruhe.
- WEATHERSTONE, I.; PERCY, J.E. (1968): Studies of physiological active arthropod secretions I. - Can. Ent. 100, 1065-1070.
- WEATHERSTONE, I.; PERCY, J.E. (1977): Sex pheromones of moths. - Endeavour 1, 83-87.
- WILSON, E.O.; BOSSERT, W.H. (1963): Chemical communication among animals. - Rec. Progr. Hormone Res. 19, 673-716.
- WOHLGEMUTH, R.; REICHMUTH, Ch. (1977): Erhebungen über den Befall von Importgütern durch Vorratsschädlinge bei der Einfuhr in die Bundesrepublik Deutschland (Jahre 1975 und 1976). - Mitt. Biol. Bundesanst. Land- u. Forstwirtsch., Berlin, 179, 52 ff.
- WRIGHT, R.H. (1958): The olfactory guidance of flying insects. - Can. Ent. 90, 81-89.
- WRIGHT, R.H. (1964): After pesticides - what? - Nature 204, 121-125.
- ZACHER, F. (1950): Die Dörrobstmotte *Plodia interpunctella* - ein gefährlicher Schädling der Lebensmittelindustrie, des Handels und des Haushaltes. - Natur und Nahrung 23/24, 1-10.
- ZACHER, F.; LANGE, B. (1964): Vorratsschutz gegen Schädlinge.-2.Aufl., Berlin und Hamburg.
- ZETTLER, J.L. et al. (1973): *Plodia interpunctella* and *Cadra cautella* resistance in strains to Malathion and synergized Pyrethrins. - J. Econ. Ent. 66, 1049-1050.