

# Wirkung von Ozon auf Pheromone von Insekten

U. Arndt, S. Lorenz, J. Schachner\*

## Synopsis

Many insects and other organisms communicate with each other through ectohormones or pheromones. The specific molecular structure of these chemicals helps individuals recognize members of their own species and has far-reaching effects on their ecology. The hypothesis has been proposed that air pollutants are able to destroy pheromones. This assertion was demonstrated as a first step in experiments which examined the effects of ozone on aggregation pheromones of *Drosophila melanogaster* and on sex pheromones of *Panolis flammea*. The results showed that both total pheromone containing extracts as well as commercially available pheromones lost their biological activity after short-term ozone fumigation at environmentally realistic concentrations. Gas chromatographic analysis revealed the degradation of the chemicals and the existence of break down products. Some consequences of the findings are discussed.

*Air pollution, ozone, pheromones, effects*

## 1 Einführung

Als Pheromone oder Ektohormone bezeichnet man chemische Botenstoffe, die Signalcharakter für eine Tierart besitzen. Dabei handelt es sich häufig um Stoffgemische, die für den Fortbestand der Art und damit für den Bestand von Ökosystemen große Bedeutung haben (HUFFAKER & RABB, 1984). Sie unterscheiden sich von den eigentlichen Hormonen dadurch, daß sie von exokrinen Drüsen an die Umgebung abgegeben werden. Seit der Isolierung und Reindarstellung des Sexuallockstoffs des Seidenspinners (*Bombyx mori*) durch BUTENANDT und seine Mitarbeiter im Jahre 1959 ist die Pheromonforschung intensiv und stetig vorangetrieben worden. Dementsprechend sind heute verschiedene umfassendere Veröffentlichungen zu diesem Thema vorhanden (JACOBSON, 1972; BIRCH, 1974; BIRCH & HAYNES, 1982; HUMMEL & MILLER, 1984; AGOSTA, 1992; SCHLEE, 1992). Auch zu den Methoden der Isolierung und Trennung liegen in ausreichendem Maße Publikationen vor, so daß für den Nichtspezialisten prinzipiell ein Einstieg in die Materie möglich ist (HUMMEL & MILLER, 1984; McCAFFERY & WILSON, 1990).

Da die Pheromone in erster Linie an die Luft abgegeben werden, könnte man sie als zeitweilig vorhandene, natürliche Bestandteile dieses Mediums bezeichnen, die sich mit den anthropogenen Immissionen vermischen. Hier stellt sich aus ökotoxikologischer Sicht die Frage, ob es zu Wechselwirkungen zwischen Luftverunreinigungen und Pheromonen und damit zu weitreichenden ökologischen und wirtschaftlichen Folgewirkungen kommen kann. Diese Problemstellung wird nach Begasungsversuchen von einem Pheromon der Fruchtfliege (*Drosophila melanogaster*) mit Ozon in realistischen Konzentrationen an einem einfachen Beispiel mittels biologischem Aktivitätstest geprüft und versucht, ökochemische Veränderungen der Pheromone gaschromatographisch nachzuweisen, wobei letzteres auch mit einem Pheromon der Forleule (*Panolis flammea* Den. et Schiff.) durchgeführt wurde.

## 2 Material und Methode

Bei den Arbeiten wurde von den in der Arbeitsgruppe BARTELT verwandten Methoden ausgegangen und entsprechende Modifikationen vorgenommen (BARTELT & JACKSON, 1984; BARTELT et al., 1985a und b; BARTELT et al., 1986).

### Fliegen, Extrakte und Pheromonkomponenten

Der Klon 'W-90-Berlin' von *Drosophila melanogaster*, der in den Experimenten verwendet wurde, stammte aus dem Umeå Drosophila Zentrum an der schwedischen Universität von Umeå. Die Fliegen wurden in 500 ml Erlenmeyerkolben auf einer Mischung von 83% Wasser, 8% Maismehl, 7% Zuckerrübensirup, 1% Hefe und 1% Agar-Agar angezogen und, soweit nötig, innerhalb eines Tages nach dem Ausschlüpfen nach Geschlechtern getrennt. Die Extraktion der Fliegen erfolgte durch 24-stündiges Ausschütteln mit dem doppelten Volumen der Tiere an Hexan bei 25 bis 30°C. Die so von 200 männlichen Tieren erhaltene Menge von 1 ml Rohextrakt wurde für die Präparation von Filterstreifen (S & S, Blauband) von 1 x 5 cm<sup>2</sup> oder Filterpapieren von 1 cm<sup>2</sup> Größe verwendet. Darüber hinaus konnte eines der von BARTELT et al. (1985b) aus *Drosophila melanogaster* isolierten aktiven Komponenten, das (Z)-11-Octadecenylacetat (cis-Vaccenyl-acetat), für die

\* Herrn Prof. Dr. Reinhard Bornkamm zum 65. Geburtstag gewidmet

biologischen und analytischen Versuche bei der SIG-MA Chemical Comp. gekauft werden. Es besitzt in 11er Stellung eine Doppelbindung (Alken) und weist eine endständige Acetatgruppe auf.

Die Hauptkomponente des Sexualpheromons von *Panolis flammea* (Z)-9-Tetradecenylacetat wurde von der Firma Trifolio M dankenswerterweise zur Verfügung gestellt.

### Begasungsexperimente

Die Begasung der Extrakte sowie des gekauften Pheromons von *Drosophila melanogaster* auf Filterpapieren wurde in zwei Exsiccatoren von 12 l Inhalt vorgenommen. Dabei erhielt der eine nur über Aktivkohle gefilterte Luft der andere dazu verschiedene Ozonkonzentrationen, die abhängig vom experimentellen Eingriff von 65 bis 130 ppb O<sub>3</sub> reichten. Die Strömungsgeschwindigkeit betrug zwischen 1 und 2 l pro Minute, die Begasungszeit lag zwischen 10 und 60 Minuten. Das Schadgas Ozon wurde mit einem Horiba Calibration System PGG-V8-902 erzeugt, und obschon die Konzentrationen im Exsiccator exakt der Einstellung am Dosiersystem entsprachen, war mit einem Horiba Ozon Monitor eine kontinuierliche Überwachung möglich.

### Biologische Versuche

Zwei verschiedene Versuchsanordnungen wurden für die Überprüfung der biologischen Aktivität von Extrakt und käuflichem Pheromon verwendet.

Die erste folgte geringfügig modifiziert der von BARTELT & JACKSON (1984) verwendeten Methode. In einen Glaskasten von 80 x 35 x 40 cm<sup>3</sup>, der mit einer Baumwollgaze abgedeckt war, wurden 300 weibliche Fliegen oder Tiere beiderlei Geschlechts eingegeben, die vorher 12 Stunden gehungert hatten. Der Boden des Gefäßes war mit feuchtem Filterpapier ausgelegt. Ein schwacher Luftstrom von der einen zur anderen Schmalseite wurde durch eine kleine Pumpe und mit einem durchlöchernten Anschlußschlauch erreicht. Nach der Applikation der Extrakte bzw. des käuflichen Pheromons auf die Filterstreifen und nach dreiminütigem Abdunsten des Hexans wurden diese Proben einzeln in je ein Becherglas von 100 ml gegeben. Danach wurde ein derartig vorbereitetes Becherglas mit einem zweiten, das als Kontrolle nur das abgedunstete Lösungsmittel enthielt, in das Versuchsgefäß gegeben und nach einer vorgegebenen Zeit, im allgemeinen alle 5 Minuten die sich in den Bechergläsern sammelnden Fliegen gezählt. Die Gesamtzeit des Experimentes betrug maximal 60 Minuten.

Die zweite Methode verwendete in Anlehnung an ASCOLI & ALBERT (1985) und CANNON (1990) ein Dreiwegeglasrohr mit einem Winkel von 120 Grad, wobei jeder der drei Rohrteile 10 cm Länge und 16 mm innere Weite hatte. Die drei Enden waren mit Gummistopfen verschlossen, durch die für

einen Luftaustausch jeweils eine kurze Kapillare von 1 mm innerer Weite gesteckt war. Die Präparation der Filter erfolgte wie bereits beschrieben, allerdings waren die Stücke nur 1 cm<sup>2</sup> groß. Je nach Fragestellung wurden dann pro Experiment ein präpariertes Filterpapier in den einen Schenkel und ein Filterpapier als Kontrolle, welches entweder mit Lösungsmittel oder mit Pheromon betropft wurde, in den zweiten Schenkel eingebracht. 30 weibliche Fliegen wurden nach der o.a. Hungerzeit in den dritten Arm des Dreiwegerohrs gegeben und minütlich die Tiere, die in einen der anderen Rohrarne mit Probe oder Kontrolle gelangt waren, ausgezählt. Die Gesamtzeit der Experimente betrug 6, in einigen Fällen auch bis zu 10 Minuten.

### Gaschromatographie

Um den Zerfall der Pheromone durch die Einwirkung der Luftverunreinigung nachzuweisen, wurde neben dem biologischen Versuch auch ein analytisches Verfahren herangezogen.

Bei dem Aggregationspheromon von *Drosophila melanogaster* wurden zehn Parallelproben von je 1,25 mg des käuflichen Pheromons auf Filterpapiere von 1 cm<sup>2</sup> Größe gegeben und wie beschrieben begast. Danach wurden die Papiere mit je 1 ml Hexan zweimal für drei Minuten durch Schütteln extrahiert. Die zusammengegebenen Extrakte konnten eine maximale Pheromonkonzentration von 0,625 µg pro µl haben und wurden direkt für die Gaschromatographie in einem HP 8590, Series II mit automatischer Injektion HP 7673 und einem automatischen Analysenprogramm HP 3365 verwendet. Als Säule diente eine SP-2330 von 15 m Länge. Der 30 minütige Trennungsprozess wurde bei einer Temperatur von 80 °C für 3 Minuten gestartet, gefolgt von 7 °C Schritten bis 160 °C, wonach weiter in 4 °C Schritten auf 220 °C aufgeheizt wurde.

Bei der Sexuallockstoffkomponente von *Panolis flammea* wurden 10 µl bei einer Konzentration von 1 µg/µl auf ein Glasfaserfilterpapier definierter Größe aufgebracht und in einer Kleinbegasungskammer bei fünffachem Luftdurchsatz in der Stunde mit 130 ppb/m<sup>3</sup> Ozon begast. Mit Hexan wurde das Pheromon vollständig vom Glasfaserfilterpapier gelöst. Am Gaschromatographen (s.o.), Temperaturprogramm 50 °C 4 Min, 10 °C/Min bis 90 °C, 4 °C/Min bis 180 °C, 10 °C/Min bis 210 °C, wurden die Pheromonkonzentrationen mit einem externen Standard ermittelt.

### Statistische Auswertung

Die Ergebnisse der biologischen und der gaschromatographischen Versuche wurden beide über den t-Test (Two sample testing) verrechnet (SACHS, 1992), um die Sicherheit der Unterschiede zwischen Kontrolle und Begasung festzustellen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 *Drosophila melanogaster*

Der von BARTELT & JACKSON (1984) verwendete methodische Ansatz wurde nachgearbeitet und sollte für die hier geplanten Versuche als Grundlage verwendet werden. Dies gelang nicht vollständig, weil die methodischen Angaben dazu nicht ausreichend waren. So schreiben die Autoren zur Belüftung »One of these ends (of the used glass cage) was connected to the building's air circulation system, enabling a constant purge in the cage by fresh air ... no attempt was made to regulate humidity.« Bei Einbau einer in etwa entsprechenden Pumpe an die hier verwendete Anlage blieben die meisten Versuchstiere auf dem Boden oder an den Wänden und flogen kaum im Versuchsraum umher. Damit ergaben sich wesentlich längere Versuchszeiten von bis zu 60 Minuten als die von BARTELT & JACKSON angegebenen. Diese verringerten sich auch nicht wesentlich, wenn bei nahezu unbeweglicher Luft gearbeitet wurde, obzwar die Tiere dann wesentlich mehr flogen.

Tab. 1

**Nachweis der Attraktion käuflichen Pheromons nach der Methode von BARTELT & JACKSON (1984). Ähnliche Ergebnisse konnten in insgesamt 5 Versuchen erzielt werden. Bedingungen: 65–85% rel. Luftfeuchte, 20–22 °C, Halbdunkel, schwache Luftbewegung, alle Filterpapiere wasserfeucht, käufliches Pheromon, 300 jungfräuliche Weibchen.**

Tab. 1

**Comparison of attractiveness of commercial pheromone versus controls to *Drosophila melanogaster* using the chamber described by BARTELT & JACKSON (1984). The results represent mean values of five experiments. For each experiment 300 starved virgin females were used. Experimental conditions: 65–85% relative humidity, 20–22°C, semi-darkness, slight air flow, dampened filter papers used.**

Zeit in Minuten	Anzahl angelockter Weibchen an		
	Kontrolle abged. Hexan	Kontrolle ohne Lsm.	Pheromon abged. Hexan
10	0	2	5
20	1	0	12
45	0	0	17
60	1	1	16

Die nach den Angaben von BARTELT & JACKSON (1984) deutlich zu träge und bei der hohen Anzahl der Tiere auch zahlenmäßig zu geringe Reaktion mußte aufgrund des grundsätzlichen Vorversuchscharakters der eigenen Untersuchungen unaufgeklärt bleiben. Immerhin konnten die Ergebnisse der amerikanischen Autoren prinzipiell bestätigt werden (s. Tab. 1), auch wenn die Versuchsanordnung sich

für die eigenen Untersuchungen als weniger geeignet erwies und zugunsten einer Dreiwegeanordnung aufgegeben wurde.

Zum Nachweis der prinzipiellen Eignung dieser Methode wurde zunächst die Reaktion der Fruchtfliegen auf Futtergaben, käufliches Pheromon und Extrakte, also ohne eine Ozonbegasung, untersucht. Dabei zeigte es sich, daß die Dreiwegeanordnung auch in der hier verwendeten einfachen, unklimateierten und wenig standardisierten Form für die Fragestellung weit besser geeignet war als die mit dem großen Glasgefäß nach BARTELT & JACKSON (1984).

Die Tabelle 2 zeigt, in welcher kurzen Zeit mit der Dreiwegeanordnung ein eindeutiges Verhalten der Fliegen zu beobachten ist. Die methodische Überprüfung erfolgte hier zunächst durch eine Futtergabe nach 12 stündiger Hungerzeit. Bereits bei dieser ersten Versuchsgruppe mit dieser Anordnung zeigte sich, daß die Tiere während der Versuchszeit im Rohrsystem bis zu einem gewissen Grad beweglich blieben, was zu wieder abnehmenden Zahlen in

Tab. 2

**Reaktionen von 30 jungfräulichen Fruchtfliegen nach 12stündiger Hungerzeit auf Futtergaben (0,5 ml) in einem der Rohrschenkel des Dreiwegesystems, drei voneinander unabhängige Versuche**

Tab. 2

**Response of 30 virgin female fruit flies to the provision of food after a 12 hour starvation period. Food (0.5 ml) was added to one arm of the three way system. Three independent experiments were conducted.**

Verhalten nach Minuten	Anzahl angelockter Weibchen an	
	Kontrolle ohne Futter	Futtergabe 0,5 ml
1	2	12
2	0	18
3	1	18
4	1	22
5	1	22
10	1	23
1	1	2
2	2	4
3	2	11
4	2	16
5	2	18
10	2	20
1	0	2
2	1	8
3	2	12
4	1	16
5	0	20
10	0	25

einem Rohrschenkel des Dreiwegesystems führen konnte. Darüber hinaus blieben immer einige der Tiere an der Einlaßstelle relativ unbeweglich sitzen, so daß auch bei Beobachtungszeiten über 10 Minuten hinaus keine weitere Attraktion durch die Probe erfolgte.

Zahlreiche Versuche wurden zur Attraktion des käuflichen Pheromons von *Drosophila melanogaster* durchgeführt. Dabei handelt es sich um ein Aggregationspheromon, das nur von den Männchen produziert wird und die Weibchen an den Futterplatz locken soll, wo sie begattet werden und in das Futter die befruchteten Eier legen. Die Tabelle 3 zeigt aus 14 voneinander unabhängigen Versuchen die Mittelwerte und die Sicherheitsniveaus nach dem t-Test, auf dem sich die Ergebnisse von Probe und Kontrolle unterscheiden.

Wie bei diesem Versuch konnte auch bei allen anderen Experimenten immer wieder beobachtet werden, daß die Unterschiede zwischen den beiden Varianten nach einer über 5 Minuten hinausgehenden Versuchszeit wieder undeutlicher wurden. Dies wird auf eine Äquilibration des Dreiwegesystems mit dem Pheromon zurückgeführt, so daß die eindeutige Orientierung der Fliegen erschwert wird. Die bei den Versuchen beobachteten Streuungen waren z.T. erheblich. Sie sind sowohl auf die unterschiedliche Aktivität der Fliegen an verschiedenen Tagen als auch auf etwas wechselnde klimatische Bedingungen im Labor zurückzuführen. Schließlich waren auch die Auftragsmengen des Ektohormons auf

Tab. 3

Attraktion von cis-Vaccenylacetat auf 30 jungfräuliche Fruchtfliegen nach 12stündiger Hungerzeit. Ergebnisse als Mittelwerte aus 14 voneinander unabhängigen Versuchen.

Tab. 3

Attraction of 30 virgin female fruit flies to Cis-Vaccenylacetate after 12 hour starvation period. Results are averages of 14 independent experiments.

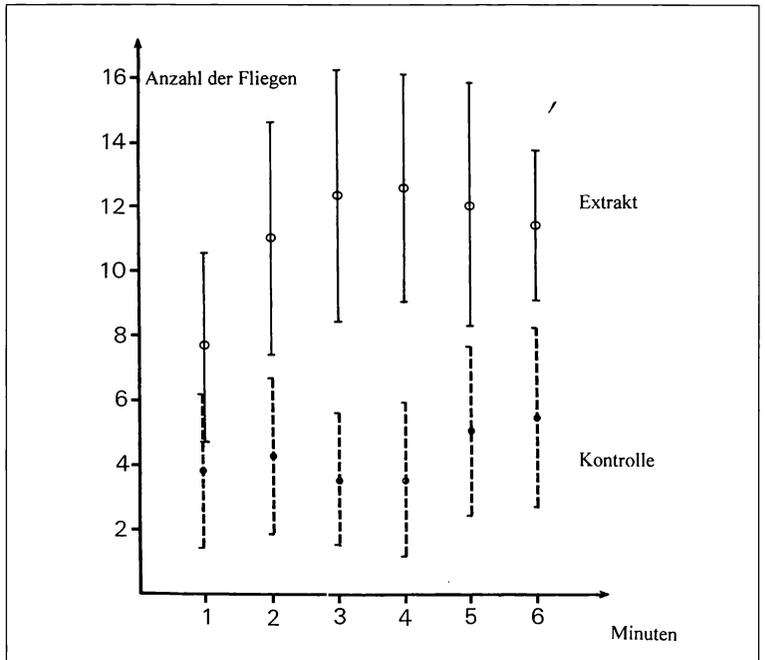
Verhalten nach Minuten	Mittelwert angelockter Weibchen	Mittelwert angelockter Weibchen	Unterschied gesichert auf
	ohne Pheromon	Pheromonprobe	
1	3,4	6,6	95,0% Niveau
2	3,6	10,4	95,0% „-“
3	3,6	12,5	99,9% „-“
4	4,7	12,3	99,9% „-“
5	6,4	11,8	99,9% „-“
6	7,8	9,9	95,0% „-“

die Filterpapiere nicht immer exakt gleich, da trotz aller Vorsichtsmaßnahmen ein Zerfall der Originalsubstanz nach Öffnen der gekauften Ampulle nicht auszuschließen war. Es wurde jedoch versucht, bei den Versuchen stets eine Konzentration von 3 mg pro Filterpapier einzuhalten.

Auch bei den Versuchen mit einem Extrakt aus angezogenen männlichen Fliegen wurden ähnliche Ergebnisse erzielt wie mit dem käuflichen Pheromon, auch

Abb. 1  
Attraktion eines Extraktes unbekannter Zusammensetzung aus männlichen Fruchtfliegen auf Weibchen, die 12 Stunden gehungert haben. Mittelwerte und Standardabweichungen aus 8 voneinander unabhängigen Versuchen.

Fig. 1  
Attraction of 30 virgin female fruit flies after 12 hour starvation period to an extract of unknown composition from male fruit flies. Means ( $\pm$  SD) are based on 8 independent experiments.



wenn hier in der Gesamtheit aller durchgeführten Versuche mehr Fehlergebnisse zu beobachten waren. Für die Darstellung in Abbildung 1 sind 8 voneinander unabhängige Versuche ausgewertet worden. Hier werden sowohl die recht großen Streuungen als auch die Tendenz der zunehmenden Unschärfe mit fortschreitender Zeit deutlich. Bereits nach mehr als einer Minute sind die beiden Varianten eindeutig unterschiedlich, nach 8–10 Minuten ist dies jedoch aus den oben angesprochenen Gründen nicht mehr der Fall.

Ein methodischer Vergleichsversuch mit Proben von abgedunstetem Lösungsmittel (Hexan) ergab in 6 Parallelen mit nur geringer Streuung eine gleichmäßige Verteilung der Fliegen. Nach 6-minütiger Versuchszeit waren von den 30 eingesetzten Versuchstieren etwa je 1/3 in jedem Rohrschenkel.

Nachdem die experimentelle Anordnung sich als brauchbar erwiesen hatte, wurden die Extrakte sowie das käufliche Pheromon mit niedrigen bis mittleren Ozonkonzentrationen für kurze Zeit begast. In den insgesamt über 50 voneinander unabhängigen Versuchen mit unterschiedlichen methodischen Bedingungen zeigte es sich, daß die heute in Mitteleuropa allsommerlich großflächig auftretende Luftverunreinigung eine starke Wirkung auf das Ektohormon hatte und seine biologische Aktivität meist vollständig zerstörte. Von den Ergebnissen aus den biologischen und analytischen Versuchen sollen nachfolgend zunächst nur die mit käuflichem Pheromon erzielten mitgeteilt werden.

In den hierzu durchgeführten biologischen Versuchen wurde ein Vergleich von begasten und belüfte-

ten Pheromonproben auf Filterpapieren vorgenommen. Auf eine Kontrolle mit abgedunstetem Lösungsmittel konnte verzichtet werden, da das Verhalten der Tiere gegenüber dieser Variante aus den vorherigen Versuchen hinlänglich bekannt war.

Die Abbildung 2 zeigt bei einer Versuchszeit von insgesamt 7 Minuten nach 2, 3 und 4 Minuten eindeutig die Zerstörung des mit Ozon begasten Pheromons. Nach längerer Laufzeit wird das Ergebnis aufgrund der Äquilibration im Rohrsystem wieder unklarer. Allerdings ist ohne die Hexankontrolle eine Restaktivität der begasten Variante nicht eindeutig feststellbar. Immerhin sind die Zahlen, der sich in dem entsprechenden Rohrschenkel sammelnden Tiere mit den Kontrollproben in den Tabellen 2 und 3 sowie in der Abbildung 1 vergleichbar.

Nach den Ergebnissen des ökotoxikologischen Versuchs stellte sich die Frage, ob die aufgestellte Hypothese auch ökochemisch zu verifizieren war. Die dazu notwendige Prüfung sollte dem grundsätzlichen Vorversuchscharakter der Untersuchung entsprechend mit einfachen gaschromatographischen Methoden durchgeführt werden. Hierzu wurden parallel zu den Begasungen für den Versuch zur Prüfung der biologischen Aktivität auch je 5 parallele Proben begast bzw. belüftet. Dabei war vorher jeweils 1,25 mg Pheromon auf je ein 1 cm<sup>2</sup> großes Filterpapier aufgebracht. Der Begasungsversuch wurde mit gleicher Dosis aber einem anderen Verhältnis von  $c \times t$  dreimal durchgeführt. Die Extrakte der Proben wurden wie beschrieben chromatographiert.

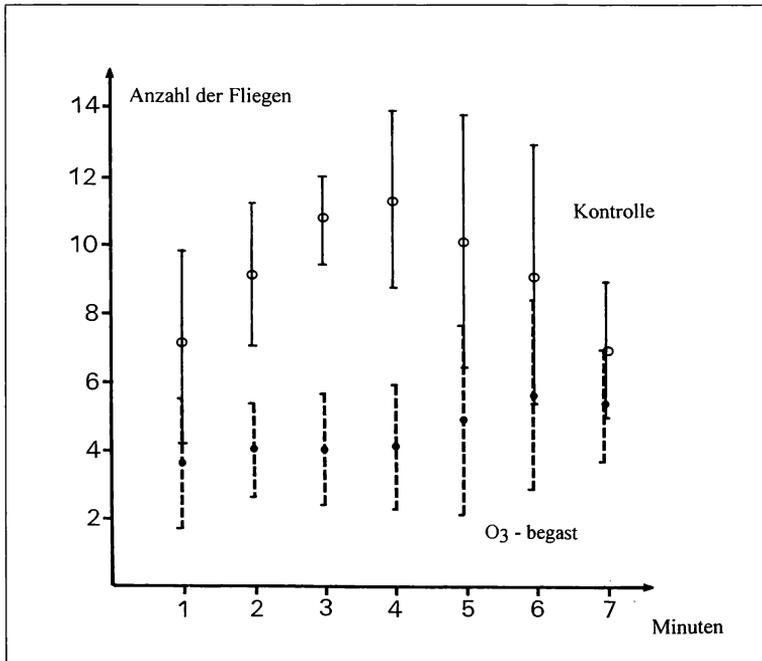


Abb. 2  
Attraktion mit Ozon begaster Pheromonproben im Vergleich zu nur belüfteten Proben auf 30 jungfräuliche Fruchtfliegenweibchen, die 12 Stunden gehungert haben. Mittelwerte und Standardabweichungen aus 8 voneinander unabhängigen Versuchen.

Fig. 2  
Attraction of 30 virgin female fruit flies after 12 hour starvation period to ozone fumigated pheromone samples in comparison to air ventilated pheromone samples. Means ( $\pm$  SD) are based on 8 independent experiments.

Tab. 4  
Vergleich der ursprünglich gleich konzentrierten Mengen von begastem und unbegastem Pheromon anhand der chromatographisch erhaltenen Peakflächen sowie die dazu errechneten statistischen Daten, die Ergebnisse zweier weiterer Versuche gleicher Art sind nur verkürzt angegeben.

Peakflächen der belüfteten Probe (x)	Peakflächen der begasten Probe (y)
1976	1614
1887	1434
1813	1554
1880	1268
1860	1741
Average <sub>x1</sub> = 1883,2	Average <sub>y1</sub> = 1522,2
Variance = 3525,7	Variance = 32427,2
Std. Deviation = 59,4	Std. Deviation = 180,1;
Die begasten und unbegasten Proben unterscheiden sich mit 99%iger Sicherheit.	
<b>Versuch 2:</b>	
Average <sub>x2</sub> = 1590	Average <sub>y2</sub> = 1528
Variance = 1038,5	Variance = 2684
Std. Deviation = 32,2	Std. Deviation = 51,8
Die begasten und unbegasten Proben unterschieden sich mit 93 %iger Sicherheit.	
<b>Versuch 3:</b>	
Average <sub>x3</sub> = 1995,6	Average <sub>y3</sub> = 1820,6
Variance = 32721,3	Variance = 717,8
Std. Deviation = 180,9	Std. Deviation = 26,8
Die begasten und unbegasten Proben unterscheiden sich mit 94 %iger Sicherheit	

Tab. 4  
Comparison of GC peaks derived from fumigated and non-fumigated pheromone samples. Results of experiments 2 and 3 are only summarized.

Mit der verwendeten Säule konnte ebenso eindeutig wie bei dem ökotoxikologischen Versuch ein Abbau des Pheromons durch die Konzentrationsabnahme nachgewiesen werden. Mit der gewählten Versuchsanordnung ließ sich der Pheromonpeak klar isolieren, und seine Fläche über das automatische Auswertprogramm bestimmen. Bei einer Verlängerung der Begasungsdauer konnten sogar zwei Abbauprodukte nachgewiesen werden, die bisher aber noch nicht identifiziert wurden.

Die Tabelle 4 zeigt die erzielten Ergebnisse und die errechneten Sicherheitsniveaus. Es ist zu erkennen, daß bei der hohen Pheromonkonzentration, der gewählten Schadstoffkonzentration und der Begasungszeit nur ein geringer Teil des Pheromons zerstört wurde, zugleich aber die biologische Aktivität des begastem Pheromons sehr stark zurückging bzw. vollständig verschwand. Hierfür konnte bisher keine zwingende Erklärung gefunden werden.

### 3.2 *Panolis flammea*

Schon nach 90 Minuten ist eine signifikante Abnahme der Konzentration des mit 130 ppb Ozon begastem Pheromones zu beobachten. Nach 5 Stunden sind 50 % des (Z)-9-Tetradecenylacetates abgebaut. Diese Umsetzung ist nach 18 Stunden endgültig ab-

geschlossen. Es bildeten sich drei neue Stoffe, wobei der eine erst nach 6,5 Stunden Ozonbegasung auftrat und stets eine geringe Konzentration aufwies, zwei andere waren schon nach 1,5 Stunden Belastung nachweisbar, wobei einer ebenfalls nur geringe Konzentrationen zeigte, der andere aber genau in dem Maße zunahm, in dem die Pheromonkonzentration abnahm, so daß der Prozentsatz/des Pheromons, der durch das Ozon zu diesem Stoff umgesetzt wurde, immer gleich war, wobei die Peakfläche des neuen Stoffes aber deutlich geringer war.

## 4 Diskussion und Ausblick

Es ist erstaunlich, daß sich bei der Durchsicht der Literatur bisher nur ein einziger Hinweis zu diesem Thema gefunden hat (OKAMOTO, 1981). Die Arbeit ist in japanischer Sprache geschrieben und befaßt sich in erster Linie mit der Wirkung von künstlich erzeugten UV-Strahlen auf die Pheromone von Schaben (*Periplaneta*). Dazu wird auch eine Angabe über die zerstörende Wirkung von Ozon in höherer Konzentration gemacht. Ozon wird ja bekanntlich (DOOLITTLE et al. 1991) in der Chemie als Hilfsmittel zur Spaltung von bestimmten Verbindungen verwendet, wird dabei aber in einer vielfach höheren Konzentration eingesetzt als es als Luftverunreinigung vorliegt.

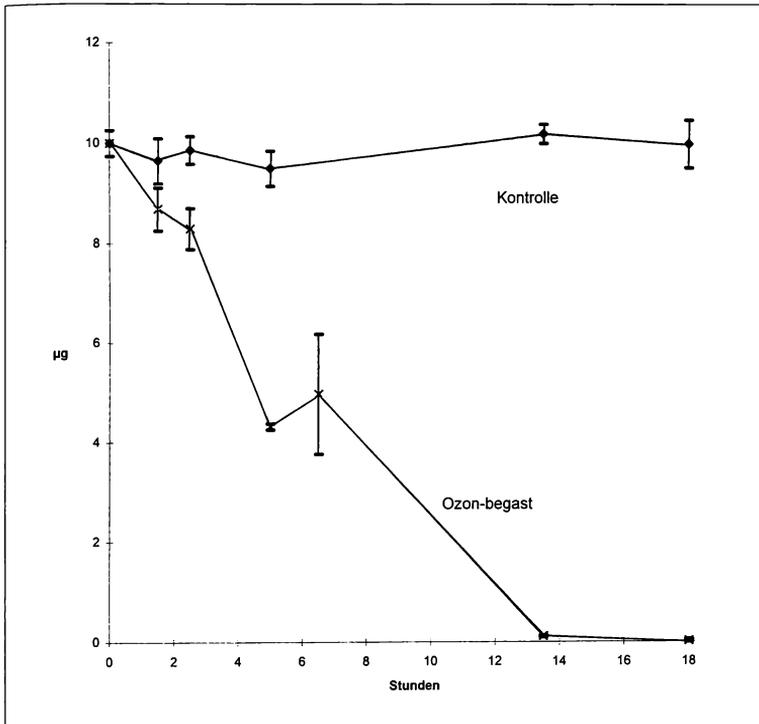


Abb. 3  
Abnahme der Pheromonkonzentration von *Panolis flammea* während einer Begasung mit 130 ppb Ozon im Vergleich zur Reinkultkontrolle.

Abb. 3  
Reduction in the concentration of pheromone from *Panolis flammea* during fumigation with 130 ppb of ozone in comparison to controls using filtered air.

Obwohl die Versuchsbedingungen und die Analytik noch nicht optimal ausgearbeitet waren, konnte in allen Versuchen die Hypothese, daß Ozon in realistischen Konzentrationen Pheromone abbaut bzw. ihre biologische Wirksamkeit beeinträchtigt, bestätigt werden. Es ist bemerkenswert, daß schon bei einer einstündigen Einwirkungszeit von Ozon so deutliche Attraktionsunterschiede auf die *Drosophila*-Weibchen zu beobachten sind (Abbildung 2). Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Sexuallockstoffkonzentrationen um ein Vielfaches zu hoch waren (BARTELT et al. 1985b). Auch die schnelle und konstante Abnahme der Pheromonkonzentration der Forleule im chemischen Versuch ist auffallend. Bei diesem Versuchsansatz liegen die Ausgangsmengen von 10 µg durchaus in für Windkanalversuche bei Lepidopteren (RAUSCHER et al. 1984) realistischen Bereichen.

Diese Eindeutigkeit der Ergebnisse verdeutlicht die Notwendigkeit, auf diesem Gebiet systematische und umfangreiche Forschungen zu betreiben, zumal die Ozonproblematik in den letzten Jahren an Aktualität immer mehr zugenommen hat.

Nach einem Screening mit verschiedenen Pheromonen u.a. von dem Apfelwickler (*Cydia pomonella* L.), dem Schwammspinner (*Lymantria dispar* L.), den Traubenwicklern (*Eupoecilia ambiguella* Hb.; *Lobesia botrana* Den. et Schiff.) und der Forleule (*Panolis flammea* Den. et Schiff.) wird entschieden, welche

Pheromone verstärkt untersucht werden sollen. Über die weitere Bestätigung der aufgestellten Hypothese hinaus richtet sich das Ziel der vorgesehenen Untersuchungen

- auf exakte Dosis-Wirkungsuntersuchungen, da diese für die Grenzwertfindung von Bedeutung sind,
- auf die Wirksamkeit verschiedener Luftverunreinigungen einzeln und in Kombination
- und auf den Einfluß von Immissionen bei der praktischen Anwendung von Pheromonen zur Schädlingsbekämpfung.

Schließlich ist, nachdem umfangreichere und sicherere Ergebnisse vorliegen, auch der ökologische Aspekt, nämlich die bisher wenig oder gar nicht begründete Gefährdung bestimmter Tiere und ihr Auftreten in der »Roten Liste« in diesem Zusammenhang zu diskutieren.

## 5 Literatur

- AGOSTA, W.C., 1992: Chemical communication. New York.
- ASCOLI, A. & ALBERT, P.J., 1985: Orientation behavior of second-instar larvae of eastern spruce budworm *Choristoneura fumiferana* (Clem.) (Lipidoptera: Tortricidae) in a Y-type olfactometer. *J. Chem. Ecol.* 11: 837–845.
- BARTELT, R.J. & JACKSON, L.L., 1984: Hydrocarbon component of the *Drosophila virilis* (Diptera: Drosophilidae) aggregation pheromone: (Z)-10-Heptacosene. *Ann. Entom. Soc. Am.* 77: 364–371.
- BARTELT, R.J.; JACKSON, L.L. & SCHANER, A.M., 1985a: Ester components of aggregation pheromone of *Drosophila virilis* (Diptera: Drosophilidae). *J. Chem. Ecol.* 11: 1197–1208.
- BARTELT, R.J.; SCHANER, A.M. & JACKSON, L.L., 1985b: Cis-vaccenyl acetate as an aggregation pheromone in *Drosophila melanogaster*. *J. Chem. Ecol.* 11: 1747–1756.
- BARTELT, R.J.; SCHANER, A.M. & JACKSON, L.L., 1986: Aggregation pheromones in five taxa of the *Drosophila virilis* species group. *Physiol. Entomol.* 11: 367–376.
- BIRCH, M.C. (Ed.), 1974: Pheromones. North Holland Publ. Comp. Amsterdam.
- BIRCH, M.C. & HAYNES, K.F., 1982: Insect Pheromones. *Studies in Biology No. 147.*
- BUTENANDT, A., BECKMANN, R., STAMM, D. & HECKER, E., 1959: Über den Sexuallockstoff des Seidenspinners *Bombyx mori*. Reindarstellung und Konstitutionsermittlung. *Z. Naturforsch.* 14b: 283–884.
- CANNON, W.N., 1990: Olfactory response of eastern spruce budworm larvae to Red Spruce needles exposed to acid rain and elevated level of ozone. *J. Chem. Ecol.* 16: 3255–3261.
- DOOLITTLE, R.E.; TURLINSON, J.H.; BRABHAM, A.; BRENNAN, M.M.; MITCHELL, E.R., 1991: Sex pheromone blend of the tobacco hornworm-identification and stereoselective synthesis. A-S-C-Symp-Ser-Am-Chem-Soc. Washington. D.C.: 491–503.
- HUFFAKER, C.B. & RABB, R.L. (Eds.), 1984: Ecological Entomology. John Wiley & Sons New York.
- HUMMEL, H.E. & MILLER, T.A. (Eds.), 1984: Techniques in pheromone research. Springer Verlag, Heidelberg.
- JACOBSON, M., 1972: Insect sex pheromones. Academic Press New York.
- McCAFFERY, A.R. & WILSON, I.D. (Eds.), 1990: Chromatography and isolation of insect hormones and pheromones. *Chromatographic Soc. Symp. Ser.*, Plenum Press, New York.
- OKAMOTO, K., 1981: Inactivating effects of UV rays and ozone on cockroach aggregation pheromones of 4 species. *Jap. J. Sanit. Zool.* 32: 29–36.
- RAUSCHER, S.; ARN, H.; GUERIN, P., 1984: Effects of dodecyl acetate and Z-10-tridecenyl acetate on attraction of *Eupoecilia ambiguella* males to the main sex pheromone component, Z-9-dodecenyl acetate. *J. Chem. Ecol.* 10, 2: 253–264.
- SACHS, L., 1992: *Angewandte Statistik.* Springer Verlag, Berlin.
- SCHLEE, D., 1992: *Ökologische Biochemie.* 2. Auflage. Gustav Fischer Verl. Stuttgart.

## Adresse

U. Arndt, S. Lorenz, J. Schachner  
 Institut für Landschafts- und Pflanzenökologie (320)  
 der Universität Hohenheim,  
 70593 Stuttgart, Germany

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [25\\_1996](#)

Autor(en)/Author(s): Arndt Uwe, Lorenz S., Schachner J.

Artikel/Article: [Wirkung von Ozon auf Pheromone von Insekten 187-194](#)