

**Zeitschrift:** Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft =  
Bulletin de la Société Entomologique Suisse = Journal of the Swiss  
Entomological Society

**Herausgeber:** Schweizerische Entomologische Gesellschaft

**Band:** 22 (1949)

**Heft:** 3

**Artikel:** Die Eintrittspforten des p,p'-Dichlordiphenyltrichloräthans am  
Insektenkörper

**Autor:** Wiesmann, R.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-401065>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 23.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Die Eintrittspforten des p,p'-Dichlordiphenyltrichloräthans am Insektenkörper

von

R. WIESMANN

(Arbeit aus der Abteilung Schädlingsbekämpfung-Biologie der  
J. R. Geigy A.-G. Basel)

## I. EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Das p,p'-Dichlor-diphenyl-trichloräthan, spielt seit der Auffindung seiner insektiziden Eigenschaften durch Dr PAUL MÜLLER, Chemiker der J. R. Geigy, Basel, in der Schädlingsbekämpfung eine grosse Rolle, indem es als Dauerkontaktinsektizid eine stattliche Zahl von Schadinsekten erfasst, die bis anhin mit den üblichen Mitteln nicht oder nur ungenügend bekämpfbar waren. Die Literatur über dieses interessante Insektizid in applikatorischer, toxikologischer und physiologisch-biologischer Richtung ist bereits mächtig angeschwollen (vergl. ROARK). Interessanterweise sind aber bis anhin noch keine systematischen, experimentellen Untersuchungen über die Eintrittspforten der DDT-Wirksubstanz in den Insektenkörper im morphologisch-physiologischen Sinne gemacht worden, abgesehen von einigen kurzen, mehr theoretischen Angaben (METCALF & KEARNS, HICKIN). Diese Lücke habe ich durch die folgenden experimentellen Untersuchungen zu schliessen versucht.

Aus zahlreichen durch die Literatur belegten (7, 5, 6, 3, 23) und eigenen Beobachtungen (29, 30) ziehen wir den Schluss, dass das Insektizid als Nervengift auf die Insekten einwirkt, indem ein Kontakt mit der DDT-Substanz zuerst zu Beinlähmungen, dann zu allgemeinem Tremor und schlussendlich zum Exitus führt. Nach JAEGER & MUNSON wirkt das Dichlordiphenyltrichloräthan auf die Nervenbahnen und es beeinflusst die motorischen Fasern stärker als die sensorischen,

in denen es wiederholte Entladungen der Nervenimpulse entlang den motorischen Fasern hervorbringt<sup>1</sup>.

Nun kennen wir am Insektenkörper keine frei nach aussen endigenden Nervenzellen, an denen das Dichlordiphenyltrichloräthan als Nervengift direkt angreifen könnte. Entweder sind sie, wie im Falle der Sinnesorgane zum mindesten von der Epicuticula überdeckt, oder im Falle des peripheren resp. Hautnervensystems im Sinne von ZAWARZIN durch die ganze Insektencuticula von der Aussenwelt getrennt. Der Wirkstoff muss also in allen Fällen entweder die Epicuticula oder die ganze Insektencuticula durchdringen, um zu den zu beeinflussenden Nerven zu gelangen. — Normalerweise besteht das Aussenskelet der Insekten aus 3 Schichten, der Epi-, der Exo- und der Endocuticula. Die sehr dünne Epicuticula, die als farbloses oder schwach gelbliches Häutchen, die Exocuticula mit all ihren Anhängen überzieht, besteht aus Fettsäuren bzw. deren Estern und cholesterinähnlichen Stoffen, ist also eine lipoidähnliche Substanz, die als Cutin oder Suberin bezeichnet wird (14, 32, 29, 21 und 4). Die Exocuticula oder Pigmentschicht ist die härteste Schicht der Cuticula. Sie stellt oft reines Chitin dar, an das grosse Mengen organischer Substanzen, polymere Kohlehydrate, locker gebunden sind (14). Sie ist meist der undurchlässigste Teil der Cuticula. Zudem bildet sie zur Hauptsache die Haare und übrigen Anhänge der Insektenhaut. Die Endocuticula oder Hauptlage endlich, ist aus Lamellen oder Balken zusammengesetzt. Sie ist von sog. Pseudoporen durchzogen, die vermutlich durch Umwandlung von Zellplasma entstanden sind, und die möglicherweise Lipoidbrücken darstellen (31). Die Endocuticula enthält wenig Inkrusten, dagegen Eiweiss. An der Cuticula unterscheidet man weiter feste Platten oder Sclerite, die den typischen Aufbau der Cuticula zeigen, sowie weiche Häute oder Membranen, die weniger spröde und hart sind, da die Exocuticula fehlt oder fast keine Inkrusten enthält.

Die neue Literatur über die Insektencuticula zeigt, dass sie eine asymmetrische, semipermeable Membran darstellt (11), und dass sie in ihrer chemischen Beschaffenheit von Art zu Art oft sehr grosse Unterschiede aufweisen kann (21, 31), also keine für die Insekten typische chemische Einheit darstellt. Wir werden am Schluss unserer Arbeit nochmals auf diese Tatsache zu sprechen kommen.

Es erhob sich nun die Frage, ob das Dichlordiphenyltrichloräthan wegen seiner lipophilen Eigenschaften, die es mit den andern Kontaktinsektiziden teilt (DOMMENJOZ 5, 6) an beliebigen Stellen in den Insektenkörper gelangen, resp. resorbiert werden kann, oder ob es dies nur an bestimmten Stellen, also typischen Eintrittspforten fähig ist. Die nachfolgenden Untersuchungen stellen einen Beitrag zur Lösung dieser Frage dar.

<sup>1</sup> Über den Wirkungsmechanismus der DDT-Wirksubstanz wird von mir im Band 26 der *Doerr'schen Ergebnisse der Hygiene, Experimentellen Therapie und Bacteriologie* 1949 demnächst eine ausführliche Publikation erscheinen, auf die hier verwiesen sei.

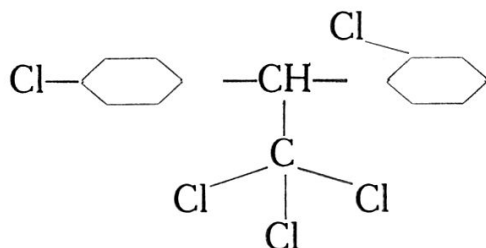
## II. MATERIAL UND TECHNIK

### 1. Verwendetes Insektenmaterial

Die Untersuchungen wurden in der Hauptsache mit männlichen und weiblichen  $\frac{1}{2}$ —1 Tage alten, mit Zuckerwasser gefütterten Imagines von *Calliphora vomitoria* ausgeführt, die sich wegen ihrer Empfindlichkeit für solche Versuche besonders eignen. Zur Bestätigung der hier gefundenen Erkenntnisse wurden dann weitere Versuche mit der deutschen Küchenschabe *Phyllodromia germanica* und Raupen von *Laspeyresia pomonella* und *Calliphora*-Larven gemacht. Alle Versuche wurden im Laboratorium bei einer Lufttemperatur von 20—22° C durchgeführt.

### 2. Verwendetes Dichlordiphenyltrichloräthan

Da darauf hingezielt wurde, die Eintrittspforten des Wirkstoffes am Insektenkörper festzustellen, konnte man nicht mit der kristallinen Reinsubstanz arbeiten, da diese nur schwer und unsicher an bestimmte Stellen gebracht werden kann, ohne abzufallen oder an ungewollte oder unkontrollierbare Orte hinzugelangen. Lösungen von Kristallen konnten ebenfalls nicht verwendet werden, weil unter Umständen das Lösungsmittel oder die Lösungen als solche Wirkungen erzeugen können, die dem reinen Wirkstoff nicht zukommen (vergl. HURST). Wir verwendeten daher zu den Versuchen sogenanntes aktives Öl, eine Mischung von reinem Dichlordiphenyltrichloräthan mit Isomeren der Substanz, in der Hauptsache aus



bestehend. Wie aus Vergleichsversuchen ersichtlich ist, verhält sich dieses aktive Öl in seiner physiologisch-toxikologischen Wirkung gleich wie die reine, kristalline Substanz. Man kann mit diesem aktiven Öl feinste Tröpfchen an bestimmte, gewollte Stellen auftragen, wo sie kleben bleiben, nicht abfallen und auch nicht zerfließen.

### 3. Versuchstechnik

Entsprechend der Fragestellung wurden an den Versuchstieren die verschiedensten Körperstellen mit ganz geringen Gaben aktiven Öls entweder mit einer feinen Nadel, an deren Spitze ein kleines Mitteltröpfchen hing, oder mit feinen Glaskapillaren betupft und die Reaktionen beobachtet. Die betreffenden Tupfstellen wurden zudem auf ihre anatomischen Strukturen untersucht. Da besonders die Fliegen die Gewohnheit haben, sich sehr oft und ausgiebig mit ihren Beinen den Körper zu reinigen, musste durch Festhalten der Tiere eine Berührung der betupften Stellen mit den Extremitäten verhindert werden, was durch die folgenden Methoden geschah:

#### Methode 1 (Abb. 1)

Die leicht mit Essigsäure-Äthylester narkotisierten Fliegen wurden vom Rücken her auf kleine, rechteckige Paraffinblöckchen aufgeklebt, bei denen mit einem heißen Skalpell das Paraffin an den Klebstellen flüssig gemacht worden war. Die jeweils





Abb. 1. — Methode 1: Fliege auf dem Rücken auf Paraffinklötzchen aufgeklebt.

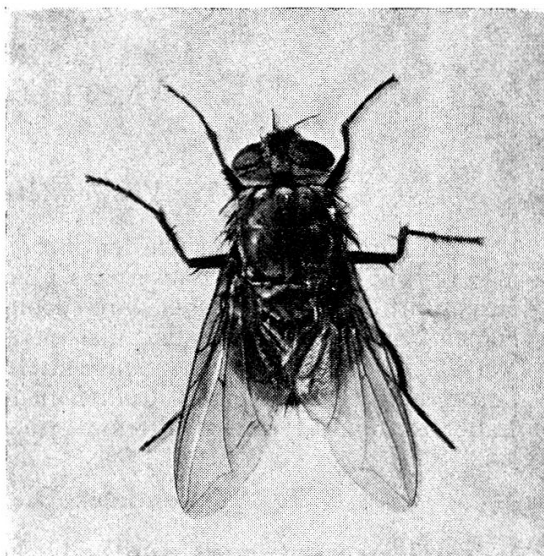


Abb. 2. — Methode 2: Fliege an den Tarsen auf Paraffinklötzchen aufgeklebt.

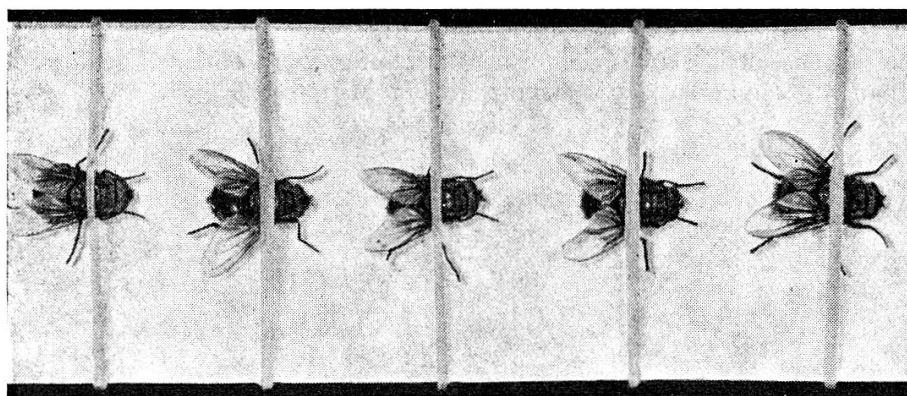


Abb. 3. — Methode 3: Fliegen mit Gummibändern auf Karton festgehalten.

betupften Stellen wurden vor der Berührung durch die Beine mit Hilfe besonderer Papiermanchetten abgeschirmt. Das Verhalten der Tiere wurde mit normalen Kontrolltieren verglichen, welche letztere sich ruhig verhielten und bis 48 Stunden lebten.

#### *Methode 2 (Abb. 2)*

Die in Narkose befindlichen Fliegen wurden mit den Tarsenspitzen auf rechteckige Paraffinblöckchen aufgeschmolzen, wodurch man die Berührung der betupften Stellen durch die Beine verhinderte. Normale unbehandelte Fliegen verhielten sich nach anfänglicher Unruhe und Flattern ruhig und lebten meist 48 Stunden oder länger.

#### *Methode 3 (Abb. 3)*

Die Fliegen wurden auf dem Bauche liegend mit einem Gummibändchen auf einem Kartonstreifen vom Rücken her über den Thorax festgehalten. Wohl konnten sie die Beine bewegen, diese aber nicht mit den mit dem Insektizid betupften Stellen in Berührung bringen. Diese Methode hat den beiden andern gegenüber den grossen Vorteil, dass die Fliegen, die diese Behandlung ohne weiteres 24 Stunden aushalten, nachher in Petrischalen weiter beobachtet werden können und man Lähmungen, Rückenlage und Beintremor sofort feststellen kann.

### III. ALLGEMEINES ÜBER DAS VERHALTEN DER CALLIPHORA UNTER DDT-EINWIRKUNG

In früheren Arbeiten (29, 30) wurde bereits das Verhalten von *Musca domestica* und *Stomoxys calcitrans* unter Dichlordiphenyltrichloräthan-Einwirkung in Petrischalen beschrieben. Diese Fliegen verhalten sich ganz ähnlich wie die in dieser Arbeit verwendete Art *Calliphora vomitoria*.

Kurze Zeit nach dem Einbringen in die Schalen mit Gift-Belag weisen die Fliegen ziemlich starke Erregungen, Fluglust und vermehrte Putztätigkeit auf, und nach 2—3 Minuten zeigen sich die ersten deutlichen Symptome der Vergiftung, Lähmungen und Nachschleppen der Hinterbeine. Hierauf kommt es zu unkoordiniertem Gehen, Herumtorkeln, Umfallen und Wiederaufrichten. Alle Bewegungen werden sehr hastig und aufgeregt ausgeführt. Nach einiger Zeit gelingt den Fliegen das Aufrichten aus der Rückenlage nicht mehr, es zeigt sich bereits anhaltender Beintremor, sowie hastiges Ausstossen und Einziehen des zitternden Rüssels. Diese Bewegungen halten an, wobei nach einiger Zeit dann noch ein starkes Flügelbewegen und zwirbelndes Fliegen auf dem Rücken kommt. Der ganze Körper zeigt starke Tremorererscheinungen, besonders deutlich an den Beinen, am Kopf, am stark ausgestossenen Rüssel und an den Fühlern. Dieser pausenlose Allgemeintremor dauert fast bis zum Exitus, vor dem die Bewegungen dann langsamer und die Beine verkrampft werden. Amputiert man den in Tremor befindlichen Fliegen die Extremitäten, dann zeigen dieselben einen oft anhaltenden starken Autotremor, auf den bereits früher hingewiesen wurde (5, 15, 30). Dieser Eigentremor der isolierten Beine ist ein sicheres Zeichen für die DDT Wirksubstanz-Vergiftungen.

Die hier beschriebenen Vergiftungserscheinungen treten immer in der gleichen Reihenfolge ein, ob die Tiere auf einer Wirkstoff-Unterlage laufen, oder ob sie an bestimmten Stellen mit dem Insektizid betupft werden.

### IV. DIE WIRKUNG DES DICHLOR- DIPHENYLTRICHLORÄTHAN AUF VERSCHIEDENE STELLEN DES FLIEGENKÖRPERS

#### A. DIE WIRKUNG AUF DIE FLÜGEL

Die Flügel von *Calliphora* (s. Abb. 4) eignen sich deshalb für Tupfversuche besonders gut, weil wir auf ihnen bestimmte Stellen scharf abgrenzen können, auf denen einzelne Sinnesorgane verschiedener

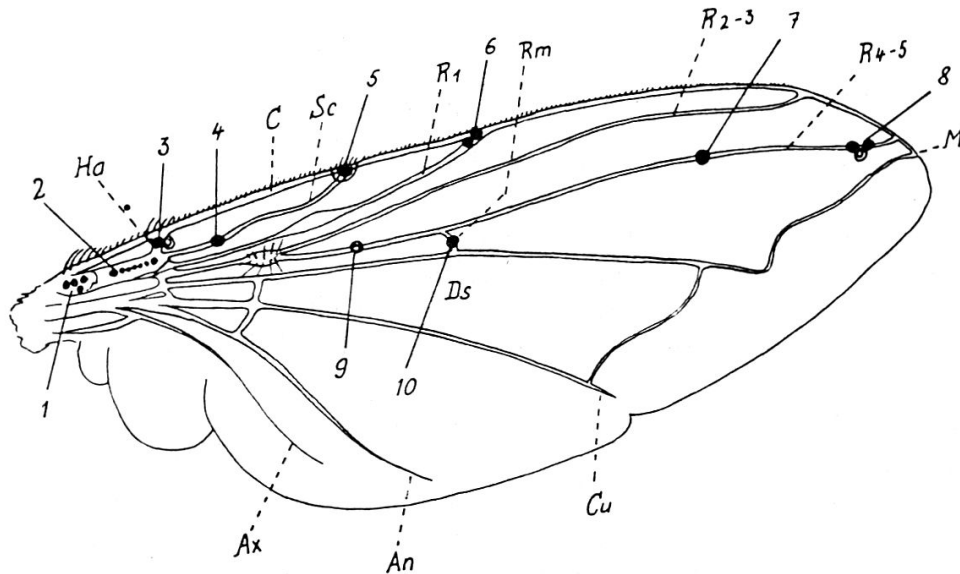


Abb. 4. — Übersichtsbild vom Flügel einer *Calliphora vomitoria*. — An, Analis. — Ax, Axilaris. — C, Costa. — Ha, Humeralader. — M, Media, — R 1–5, Radialadern — Rm, Radiomedialader. — Sc, Subcosta. — Cu, Cubitus. — 1–10, Sinnesorgane

Art und Form liegen oder nur Adern ohne Sinnesorgane vorkommen, in welchen die Nerven durch die Gesamtcuticula geschützt sind. Es wird dadurch möglich, durch Betupfen bestimmter Stellen genau festzustellen, wo das Gift angreifen, resp. resobiert werden kann.

### 1. Morphologie des Calliphoraflügels

Der Flügel von *Calliphora vomitoria* ist ein typischer Muscidenflügel mit der charakteristischen Aderung (s. Abb. 4). Nervenstränge in den Adern finden sich (s. Abb. 5) in der Costa, Subcosta, in allen

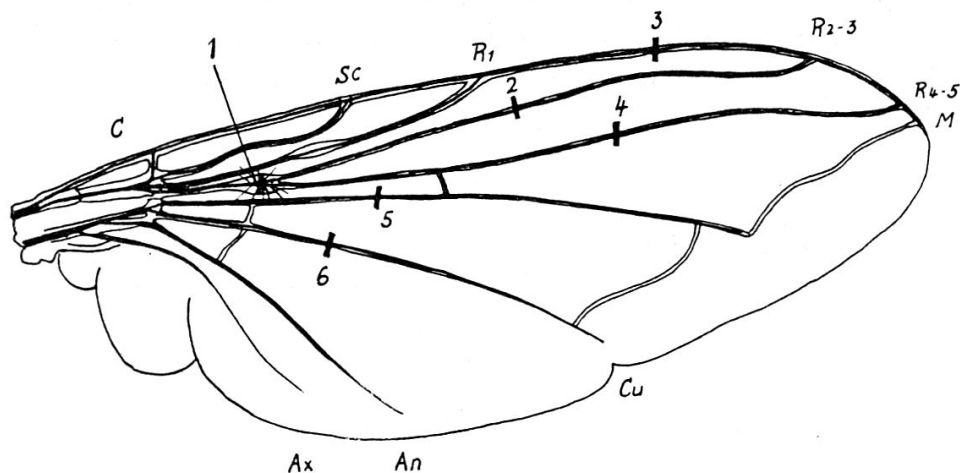


Abb. 5. — Übersichtsbild über den Verlauf der Nervenstränge in den Adern des *Calliphora*flügels. — 1–6, Stellen, an denen die Adern angestochen und mit DDT betupft wurden.

Radialadern, in der Media, im Cubitus und in der Analader, ebenso in der Humeralquerader und der Radiomedialader. Die Inervierung des Flügels geschieht vom Prothoracalteil des verschmolzenen Brustganglion aus, durch einen kräftigen Nerv, der sich vor dem Eintritt in den Flügel in zwei Äste teilt, von denen der eine den oberen Teil des Flügels bis zum Radius, der andere den unteren Teil innerviert. Die Hypodermiszellen sind in den Adern gut sichtbar, in den Interaderfeldern dagegen machen sie einen degenerierten Eindruck. In einem Teil der Adern findet man ausser den Nervensträngen z. T. funktionsfähige, z. T. kollabierte Tracheen. Haemolymph und Blutkörperchen fliessen in den Adern, sicherlich in den innern, körpernahen Teilen (vergl. THOMSEN).

Seit den Untersuchungen von NOÉ wissen wir, dass auch auf den Flügeln der Dipteren Sinnesorgane verschiedener Art vorkommen. MC. INDO nimmt an, dass es sich um Chemorezeptoren handelt, doch wird diese Annahme von den meisten Forschern abgelehnt. Man neigt neuerdings zur Annahme, dass die auf den meisten Insektenflügeln vorhandenen Sinnesorgane über die Durchbiegung der Chitinflächen des Flügels orientieren. Zudem findet man an der Flügelbasis scaphale Organe und oft Chordotonalorgane.

Die Untersuchung des Calliphoraflügels hat, wie aus Abb. 4 zu ersehen ist, eine ganze Anzahl einzelstehender Sinneskuppen finden lassen, die in der Hauptsache flügeloberseits auf den Adern liegen. Gehäuft, zu Sinnesplatten verwachsen, befinden sich solche Organe an der Flügelbasis. Diese Organe, die in den Versuchen eine grosse Rolle spielen, seien im folgenden kurz beschrieben.

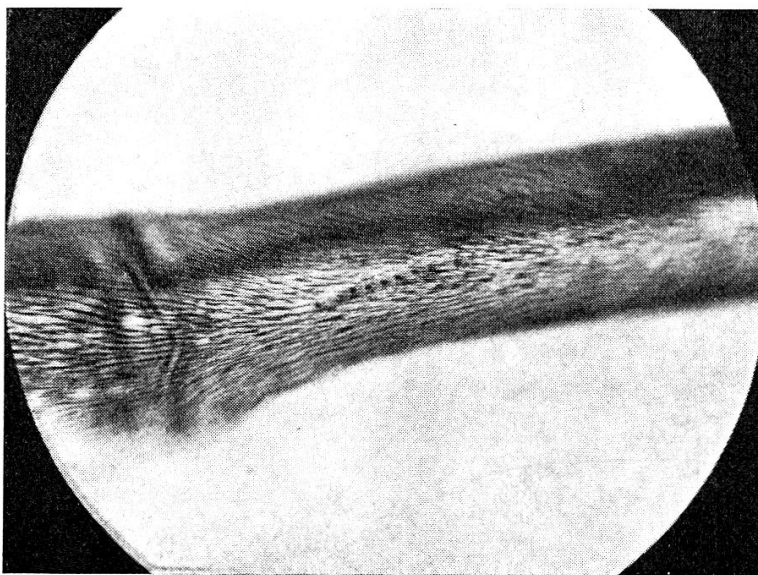


Abb. 6. — Sinnesorganplatte an der Basis der Subcosta.

*Sinnesplatten an der Basis der Subcosta* (Abb. 4 (1—2) und Abb. 6)

2 Sinnesfelder, ein mediales, aus 4—5 runden Sinnesporen und ein mehr laterales, aus 11—12 spaltenförmigen Sinnesporen bestehend, den scaphalen Organen der Halteren (20) entsprechend. Wie aus Schnitten zu ersehen ist, sind diese Sinnesorgane von zusammengesetzten klobigen Sinneszellen innerviert (s. Abb. 6).

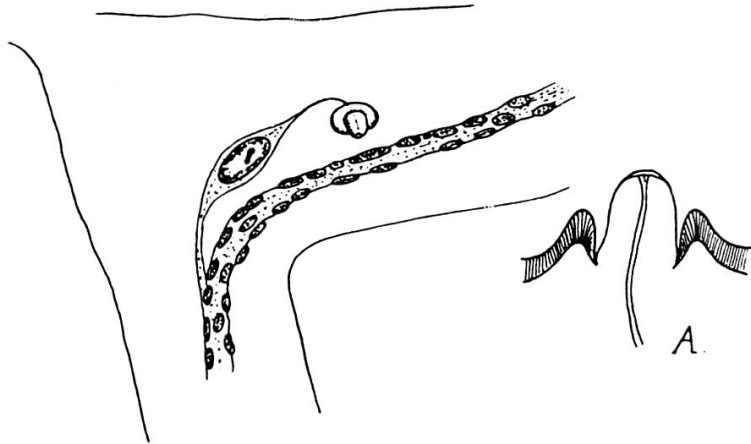


Abb. 7. — Sinnesorgan auf der Humeralader, A: Schnitt durch dasselbe.

*Sinnesorgane auf der Humeralquerader* (Abb. 4 (3) und Abb. 7)

Im Winkel, den die Humeralquerader und die Subcosta bilden, sitzt eine grosse Sinneskuppe (s. Abb. 7) von charakteristischem Aussehen. In einer ringförmigen Erhebung des Chitins ist eine nach Aussen gewölbte zapfenförmige Chitinkuppel eingespannt (s. Abb. 7 A). In der Mitte des Zapfens befindet sich die kreisförmige Insertionsstelle des Sinneszellenfortsatzes, der von aussen als feiner runder Punkt zu sehen ist. Die zapfenförmige Kuppel ist in der Mitte am dicksten und nach den Rändern hin dünn und hängt hier durch eine sehr feine Chitinmembran mit dem Rand des ringförmigen Chitinwalles zusammen. Die vom Sinnesorgan abgehende bipolare Sinneszelle ist auffallend gross, spindelförmig und chromatinreich, und sie mündet in den Nerv der die Humeralquerader durchzieht.

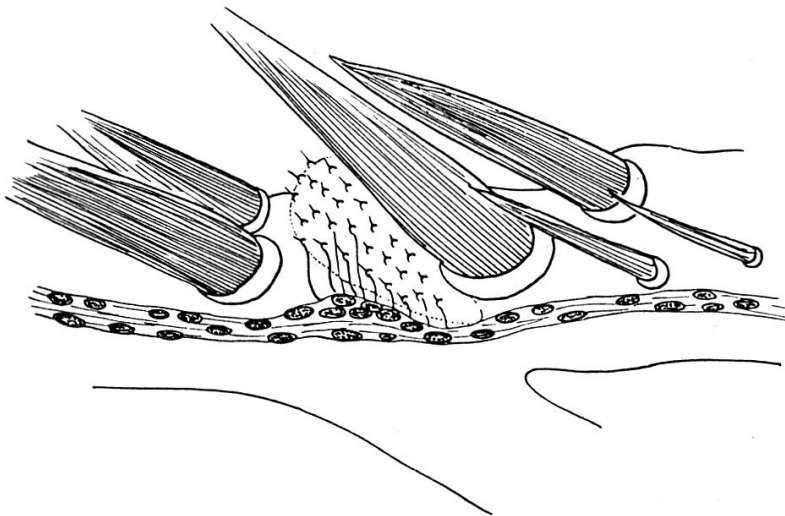


Abb. 8. — Sinnesplatte an der Vereinigung von Subcosta-Costa.



*Sinnesorgan auf dem basalen Teil der Subcosta (Abb. 4 (4))*

Im Prinzip gleich gestaltet wie die Sinneskuppel auf der Humeralquerader. Ihre relativ grosse bipolare Sinneszelle steht in Verbindung mit dem Nerv, der die Subcosta durchzieht.

*Sinnesorganplatte an der Berührungsstelle von Subcosta und Costa (Abb. 4, 5 und Abb. 8)*

Die Sinnesorganplatte stellt ein fast dreieckiges, auch auf die Flügelunterseite übertretendes Sinnesfeld dar mit sehr dünner farbloser Cuticula und kleinen feinen, auf runden Chitinsockeln stehenden Sinneshaaren, typische Sensilla trichodea. Inerviert werden sie von cuticularen Sinneszellen, die in den kräftigen Costalnerv münden. Dieser besitzt an dieser Stelle eine Anhäufung von Nervenzellen.

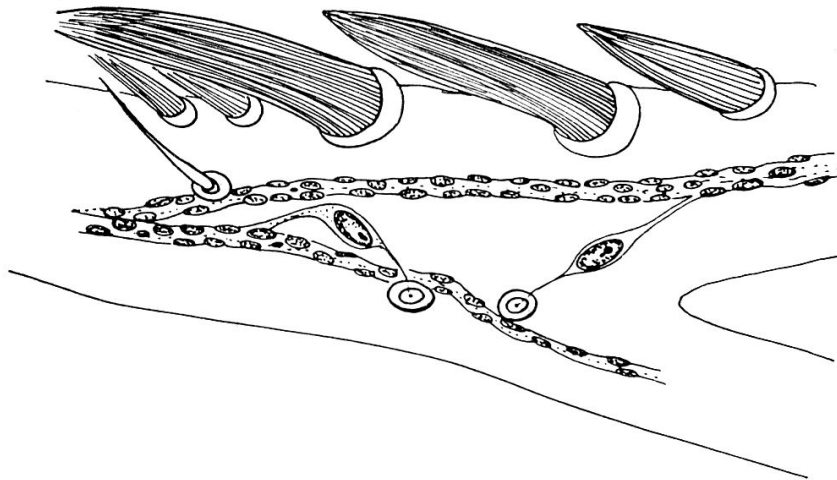


Abb. 9. — Sinnesorgane an der Vereinigung von Radius-Costa.

*Sinnesorgane auf dem lateralen Teile des Radius (Abb. 4 (6) und Abb. 9)*

Es handelt sich um zwei ovale Sinneskuppeln, bei denen die Kuppeln flacher als beim Sinnesorgan A sind, im übrigen aber im Bau mit demselben übereinstimmen. Die bipolaren Sinneszellen münden in den Costalnerv, resp. in den Nerv, der den Radius 1 durchzieht (Abb. 9).

*Sinnesorgane im mittleren Teil der Radialader 4—5 (Abb. 4 (7))*

Im Bau ähnlich wie die Sinneskuppel an der Berührungsstelle Subcosta-Costa. Die subepidermale Sinneszelle steht in Verbindung mit dem Nervenstrang in der Radialader 4—5.

*Sinnesorgane am Ende der Radialadern 4—5 (Abb. 4 (8))*

Es sind zwei an der Zahl, auf der Radialader liegend, von kreisrunder Form. Sie sind im Bau gleich wie die Sinneskuppel an der Berührungsstelle Subcosta-Costa, ihre bipolaren Sinneszellen stehen in Verbindung mit dem in dieser Gegend dünnen Nervenstrang in der Radialader.

*Sinnesorgan auf der Radiomedialader (Abb. 4 (10) und Abb. 10)*

Runde, ziemlich grosse Sinneskuppel von gleicher Struktur wie auf der Humeralquerader mit langer, grosser bipolarer Sinneszelle, die mit einem langen Neuron in den Nervenstrang des Radius 4—5 mündet. Das Schnittbild Abb. 10 b gibt Aufschluss über Insertion des Sinnesnerves und Struktur der Sinneskuppeln. Auch hier gilt das für die Sinneskuppel 2 gesagte.

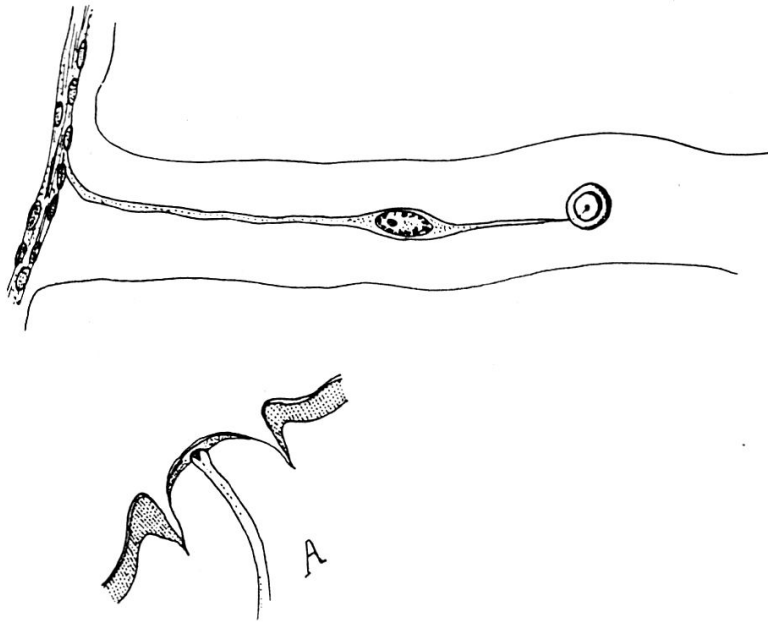


Abb. 10. — Sinnesorgan auf der Radiomedialader. — A : Schnitt durch dasselbe.

*Sinneshaare auf der Vereinigung der Radialadern 2—5 (Abb. 4 (12) und Abb. 11)*

An der Gabelung der Radialadern 2—3 und 4—5 findet sich eine Erweiterung der Radialadern, die sowohl ober- wie unterseits am Flügel kräftigere, längere und kürzere Sinneshaare oder Borsten trägt, die in ihrer Zahl etwas variieren können. Oberseits sind es 3—4 kürzere und 2—3 längere und unterseits 4—5 kürzere und 3 längere Sinnesborsten. Aus Totalpräparaten und Schnitten geht hervor, dass es sich bei diesen Borsten um typische Sinnesborsten (*Sensilla chaetica* nach der Einteilung von O. SCHENK) handelt (s. Abb. 11), die je von einer Sinneszelle innerviert sind und gelenkig in einem geschlossenen basalen Chitinring stehen. Die Gelenkmembran ist sehr dicht und auch das Haar selber ist dickwandig, nur mit einem kleinen Kanal ausgestattet.

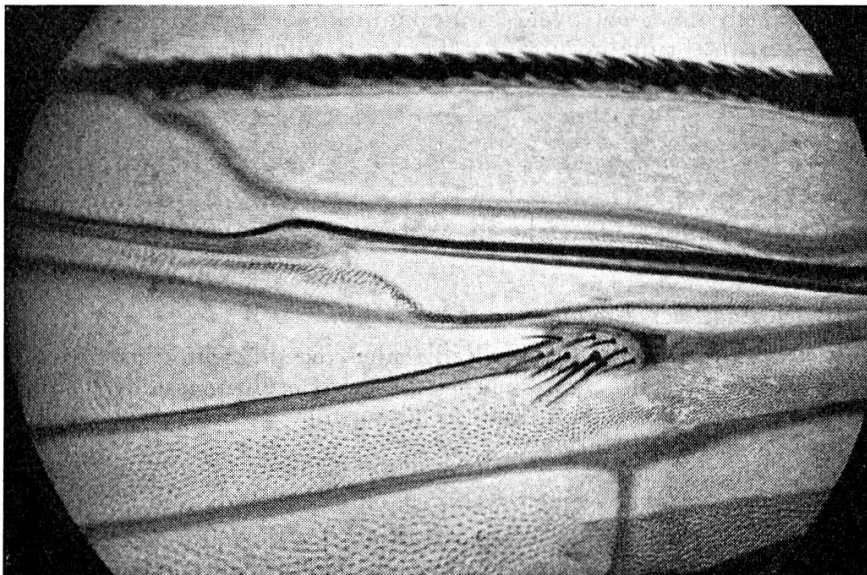
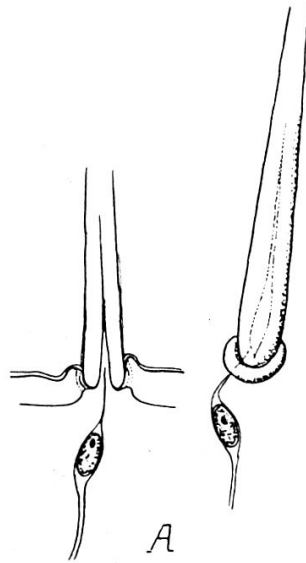


Abb. 11. — Sinneshaare an der Basis von Radius 2—5. — A : Schnitt und Aufsichtsbild durch ein Sinneshaar an dieser Stelle.





Aus diesem Grunde kann es sich nicht um Chemorezeptoren handeln, sondern diese Sensilla chaetica müssen als Tangorezeptoren aufgefasst werden. Der Nervenstrang, der an dieser Stelle vorbeiführt, ist kräftig.

## 2. Ergebnisse der Tupfversuche flügeloberseits

Es wurden an den Flügeln mit DDT-Wirksubstanz-Öl betupft: die Sinnesorgane, die Adern ohne Sinnesorgane und die Zwischenaderfelder. Die Versuche wurden jeweils 2—3mal mit je 10 Fliegen durchgeführt.

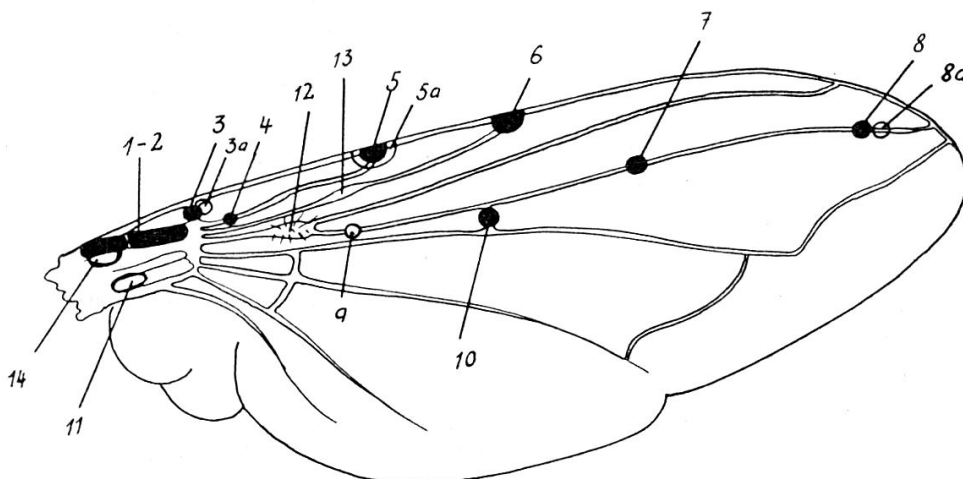


Abb. 12. — Stellen am Calliphoraflügel an denen bei Betupfen mit DDT eine Vergiftung gelang. — Schwarze Kreise: Flügeloberseite. — Weiße Kreise: Flügelunterseite. — Die Zahlen entsprechen den auf Abb. 4. aufgezeichneten Sinnesorganen.

a) *Betupfen der Sinnesorgane des Flügels*

Die in Frage kommenden Sinnesorgane wurden bereits im vorausgehenden Abschnitte beschrieben. Die Ergebnisse der Tupfversuche sind aus der Tabelle 1 zu ersehen.

Zusammenfassend können wir aus diesen Versuchsreihen feststellen, dass mit Ausnahme des Sinnesorgankomplexes auf der Verdickung des Radius 2—5 alle Sinnesorgane des *Calliphora*-Flügels als Eintrittspforten für das Insektizid in Frage kommen, indem ein Betupfen dieser Sinnesorgane nach mehr oder weniger langer Zeit an den so behandelten Fliegen typische DDT-Wirksubstanz-Vergiftungen hervorruft. Diese Versuche deuten darauf hin, dass ein direkter Transport des Giftes stattfinden muss, da, wie in einzelnen Versuchsreihen gezeigt werden konnte, eine Vergiftung bei zu frühem Abschneiden der Flügel nicht eintritt, oder unter Umständen reversibel ist, wenn subletale Mengen in den Körper gelangen.

Eine Zusammenstellung der Zeiten, die es braucht, bis die an den verschiedenen Stellen betupften Fliegen in den Petrischalen derart gelähmt sind, dass sie sich nicht mehr aufrichten können, d. h. in Rückenlage mit anhaltendem Beintremor kommen, ergibt folgendes Bild (s. Abb. 12).

TABELLE 1

Betupftes Sinnesorgan	Reaktion der Fliegen
Sinnesplatten an der Basis der Subcosta (Abb. 4 (1—2) und Abb. 6)	<p><i>Methode 2:</i> Sehr bald starke Erregungen, nach 7 Stunden 6 resp. 9 Fliegen tot, ausgerissene Beine der verendenden Fliegen mit starkem Tremor.</p> <p><i>Methode 3:</i> Nach verschiedenen Zeiten Flügel an der Basis abgeschnitten, Fliegen in Petrischalen verbracht und beobachtet.</p> <p>30 Minuten Einwirkung: starke Beinlähmungen, nach 40—45 Minuten Rückenlage, starker Beintremor.</p> <p>40 Minuten Einwirkung: sofort Rückenlage mit starkem Beintremor.</p> <p>50 Minuten bis 2 Stunden Einwirkung: wie bei 40 Minuten.</p>
Sinnesorgan auf der Humeralquerader (Abb. 4 (3) und Abb. 7)	<p><i>Methode 3:</i> Flügel nach 1 Stunde entfernt. Starke Hinter- und Vorderbeinlähmungen. <math>\frac{1}{4}</math> Stunde später alle in Rückenlage, mit starkem Beintremor. Zwischen 13 und 18 Stunden gingen die Fliegen ein.</p>
Sinnesorgan auf dem basalen Teil der Subcosta (Abb. 4 (4))	<p><i>Methode 3:</i> Einwirkung 1 Stunde: deutliche Hinterbeinlähmungen, nach 1—1 <math>\frac{1}{2}</math> Stunde Rückenlage, starker Beintremor, innert 20 Stunden tot.</p> <p>Einwirkung 2 Stunden: nach Ablösen sofort Rückenlage, starker Beintremor, innert 20 Stunden tot.</p>

Betupftes Sinnesorgan	Reaktion der Fliegen
Sinnesorganplatte an der Berührungsstelle von Subcosta und Costa (Abb. 4 (5) und Abb. 8)	<p><i>Methode 2:</i> Sehr bald Erregungszustände, nach 7 Stunden 4 resp. 2 Fliegen tot, übrige stark geschädigt. Ausgerissene Beine mit Eigentremor.</p> <p><i>Methode 3:</i> Nach verschiedenen Zeiten Flügel amputiert, Fliegen in Petrischalen gebracht.</p> <p>Einwirkung 20 Minuten: schwache Hinterbeinlähmungen, nach 1 Stunde 45 Minuten 6 Fliegen in Rückenlage mit starkem Beintremor, gehen innert 13 Stunden ein. 4 Fliegen erholten sich und lebten so lange wie die Kontrolltiere.</p> <p>Einwirkung 30 Minuten: deutliche Hinterbeinlähmungen, nach 1 Stunde 45 Minuten alle Rückenlage, starker Beintremor, gehen innert 10 Stunden ein.</p> <p>Einwirkung 60 Minuten: starke allgemeine Beinlähmungen, 45 Minuten später alle in Rückenlage, starker Beintremor, Eingehen innert 10 Stunden.</p> <p>Einwirkung 90 Minuten: 4 Fliegen sofort Rückenlage, 6 stark gelähmt, 15 Minuten später ebenfalls Rückenlage.</p>
Sinnesorgane auf dem lateralen Teile des Radius (Abb. 4 (6) und Abb. 9)	<p><i>Methode 2:</i> Zwischen 7 und 13 Stunden alle Fliegen tot. Zeigten vorher typische DDT-Vergiftung.</p> <p><i>Methode 3:</i> Einwirkung 1 Stunde: 3 von 10 Fliegen deutliche Hinterbeinlähmungen. Nach 2 Stunden 7 Fliegen in Rückenlage mit starkem Beintremor, gehen später ein. 3 Fliegen erholen sich wieder.</p> <p>Einwirkung 2 Stunden: alle Fliegen zeigen starke Hinterbeinlähmungen. Nach 1 Stunde Rückenlage mit Beintremor, tot innert 12 Stunden.</p>
Sinnesorgane im mittleren Teil der Radialader 4—5 (Abb. 4 (7))	<p><i>Methode 3:</i> Einwirkung 1 Stunde: keine Wirkung.</p> <p>Einwirkung 4 Stunden: sofort nachher Fliegen normal, 4 Stunden später 6 in Rückenlage mit starkem Beintremor, tot innert 15 Stunden. 4 Fliegen reagieren nicht.</p> <p>Einwirkung 8 Stunden: sofort deutliche Hinterbeinlähmungen, 3—4 Stunden später alle 10 Fliegen in Rückenlage, starker Beintremor, nach 8 weiteren Stunden tot.</p>
Sinnesorgane am Ende der Radialader 4—5 (Abb. 4 (8))	<p><i>Methode 3:</i> Einwirkung 1 und 4 Stunden: keine Wirkung.</p> <p>Einwirkung 6 Stunden: 8 von 10 Fliegen sofort mit schwachen Hinterbeinlähmungen, 2 davon nach 7 Stunden in Rückenlage, gingen ein, die übrigen erholten sich wieder völlig.</p> <p>Einwirkung 10 Stunden: sofort nachher 5 Fliegen mit starken, 2 mit schwachen Beinlähmungen, 3 reagierten nicht. Rückenlage der 7 DDT-vergifteten Tiere nach 5 Stunden, tot innert 24 Stunden.</p>
Sinnesorgane auf der Radiomedialader (Abb. 4 (10) und Abb. 10)	<p><i>Methode 2:</i> Nach 8 Stunden allgemeine Vergiftungserscheinungen, ausgerissene Beine mit Eigentremor.</p> <p><i>Methode 3:</i> Einwirkung 1 Stunde: Fliegen zuerst normal, nach 2 Stunden Rückenlage, nach 27 Stunden tot. 2 Fliegen reagierten nicht.</p> <p>Einwirkung 3 Stunden: sofort alle 10 Fliegen mit Hinterbeinlähmungen, nach 80 Minuten Rückenlage, starker Beintremor.</p> <p>Einwirkung 5 Stunden: sofort nachher alle 10 Fliegen starke Hinterbeinlähmungen, 10 Minuten später Rückenlage, nach 10 Stunden tot.</p>

Betupftes Sinnesorgan	Reaktion der Fliegen
Sinneshaare auf der Vereinigung der Radialadern 2—5 (Abb. 4 (12) und Abb. 11)	<p><i>Methode 2</i>: 3mal 10 Fliegen. Die Fliegen verhalten sich nach 8, 16 und 48 Stunden normal, ausgerissene Beine immer ohne Eigentremor.</p> <p><i>Methode 3</i>: Einwirkung 3, 10 und 24 Stunden. Nach Amputation der Flügel und Einbringen in Petrischale, verhielten sich die Fliegen ganz normal und lebten ebensolange wie die Kontrolltiere.</p>

Sinnesorgan am Ende der Radialader 4—5 (8)	14—15 Stdn.
Sinnesorgan im Mittelteil der Radialader 4—5 (7)	11—12 Stdn.
Sinnesorgan auf der Radiomedialader (10)	4—5 Stdn.
Sinnesorgan auf dem lateralen Teil des Radius (6)	3 Stdn.
Sinnesorgan auf dem basalen Teil der Subcosta (4)	2—2½ Stdn.
Sinnesorgan an der Berührungsstelle der Subcosta und Costa (5)	1 Std. 45 Min.
Sinnesorgan auf der Humeralquerader (3)	1 Std. 15 Min.
Sinnesorgan an der Basis der Costa (1—2)	40—45 Min.

Wenn wir diese Reaktionszeiten mit der Lage der Sinnesorgane auf den Flügeln vergleichen (s. Abb. 4 und 12), dann fällt uns auf, dass gewisse Beziehungen einerseits zwischen der Reaktionszeit und der Entfernung der Sinnesorgane von der Flügelbasis und andererseits zwischen der Reaktionszeit und der Grösse der betreffenden Sinnesorgane bestehen. Der Eintritt der Rückenlage der Fliegen bei den am weitesten von der Flügelbasis entfernten Sinnesorganen 8 und 7 ist am spätesten, bei den Sinnesorganen an der Flügelbasis am frühesten (1—2, 3, 5). Die in der Flügelmitte gelegenen Sinnesorgane nehmen eine Zwischenstellung ein (10, 6, 4). Die Sinnesorgane an der Berührungsstelle Subcosta-Costa ergeben eine raschere, anscheinend aus der Reihe fallende Reaktion. Es scheint, dass hier die grosse Sinnesplatte Schuld an dieser raschen Reaktion sein könnte, die mengenmässig mehr Substanz einlässt, als die nur vereinzelt stehenden Sinnesorgane des übrigen Flügels. Die ebenfalls sehr rasche Reaktion durch die Sinnesplatten an der Flügelbasis (1—2) könnte in gleicher Weise gedeutet werden.

Aus diesen Zahlen drängt sich die Vermutung auf, dass die Reaktionszeit, die vom Betupfen bis zum Eintritt der Rückenlage verstreicht, direkt abhängig sei vom Weg, den die Substanz in den Flügeladern zurückzulegen hat. Je länger der Weg, desto später tritt die Reaktion ein. Unentschieden bleibt die Frage, wie der Transport der Wirksubstanz in den Flügeladern erfolgt, ob längs der in den Adern liegenden Nervenstränge oder vermittelt des in den Adern zirkulierenden Blutes. Diese Frage soll in einer spätern Arbeit zu beantworten versucht werden.

b. *Betupfen der Flügeladern an den sinnesorganfreien Stellen*  
(Abb. 13)

Die im folgenden beschriebenen Versuche wurden nach der Methode 3 durchgeführt, wobei die Flügeladern an den Stellen, die keine Sinnesorgane aufweisen, sehr sorgfältig mit Aktiv-Öl bestrichen wurden. Die Fliegen blieben je 8, 10 und 18 Stunden fixiert. Nachher wurden die Flügel amputiert und die Fliegen kamen zur weiteren Beobachtung in Petrischalen.

Die Aderstücke 1—10 und 13 enthalten sämtliche Nervenstränge, währenddem 11 und 12 z. T. nur mit Tracheen, nicht aber mit Nerven ausgestattet sind. In ihnen allen fließt aber nach THOMSEN Haemolymph.

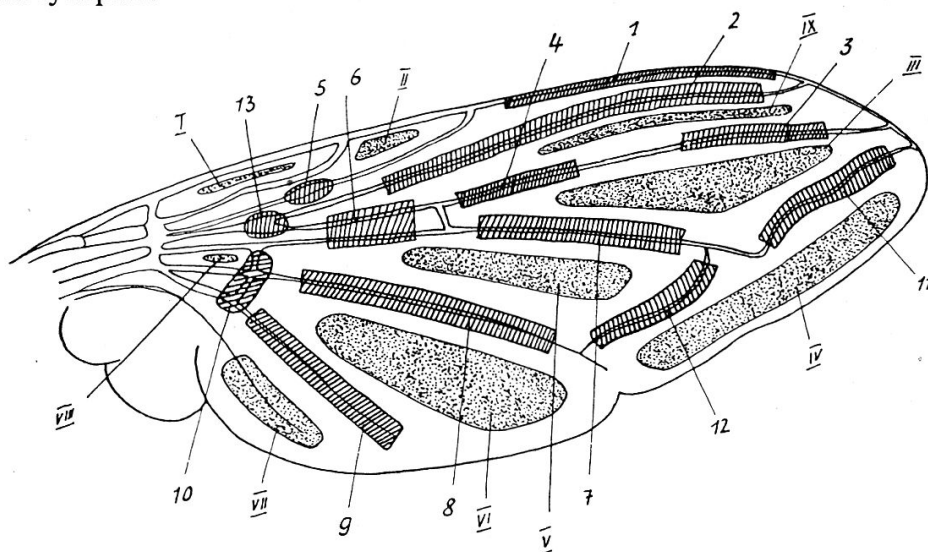


Abb. 13. — Stellen am Calliphoraflügel, bei denen durch Betupfen keine DDT-Reaktionen eintraten. — 1—13: Betupfte Aderstücke; I—IX: Betupfte Interaderfelder.

Da die Ergebnisse der mit grossen Serien durchgeführten Versuche einheitlich ausfielen, kann auf die detaillierte Wiedergabe der einzelnen Versuche verzichtet und es brauchen nur die Gesamtergebnisse derselben aufgeführt werden. Bestrichen wurden an je 10 Fliegen die in Abb. 13 mit schraffierten Flächen gekennzeichneten Aderpartien 1—13.

Die Fliegen zeigten während der ganzen 48 Stunden dauernden Versuchszeit keine Vergiftungserscheinungen und sie blieben ebensolange am Leben wie die unbehandelten Kontrolltiere.

Aus diesen Versuchen ziehen wir in erster Linie den Schluss, dass die Nervenstränge enthaltenden Adern des Calliphoraflügels nicht als Eintrittspforten für das Insektizid in Frage kommen. Das Dichlordiphenyltrichloräthan ist demnach nicht im Stande, durch die dünnwandigen Chitinlamellen der Flügeladern durchzudringen, um zu den

in denselben verlaufenden Nervensträngen zu gelangen. Die Flügelcuticula stellt für den Wirkstoff eine undurchdringliche Barrière dar. Weiter sind wir zur Annahme berechtigt, dass der DDT-Wirkstoff sich wohl sehr gut in der Epicuticula löst, sonst wäre das Eindringen in die Sinnesorgane gar nicht möglich. Die DDT-Wirksamkeit breitet sich aber in der Epicuticula nicht aus.

*c. Betupfen der Zwischenaderflächen*  
(Abb. 13, I—IX)

Die in Abb. 13 mit den römischen Zahlen I—IX bezeichneten Zwischenaderflächen des Calliphoraflügels wurden ebenfalls mit Aktiv-Öl bestrichen und die Fliegen nach Methode 3 während 8, 12 und 18 Stunden festgehalten. Nach dieser Zeit wurden die Flügel entfernt und die Fliegen in Petrischalen weiterbeobachtet. Diese Versuche wurden mit je 10 Tieren zweimal zu verschiedenen Zeiten ausgeführt.

Nach den Ergebnissen der vorausgehenden Versuche war auch hier keine Reaktion zu erwarten, was denn auch durchgehends der Fall war. Die Fliegen verhielten sich nach Ablösen und Amputieren der Flügel vollkommen normal, zeigten keine irgendwie sichtbaren Spuren von Vergiftungen und lebten ebensolange wie die Kontrolltiere.

Damit ist wiederum bewiesen, dass die Wirksubstanz nicht durch die Flügelmembran hindurchdringt, trotzdem die Cuticula sehr dünn ist.

### **3. Ergebnisse der Tupfversuche flügelunterseits**

Die Flügelunterseiten wurden in gleicher Weise wie deren Oberseiten systematisch mit Aktiv-Öl betupft und zwar an den Orten, an denen sich Sinnesorgane befinden, an den sinnesorganfreien Stellen der Flügeladern, sowie an den Zwischenaderflächen.

Da die gleichen Ergebnisse wie beim Betupfen der Flügeloberseite erhalten wurden, können wir uns kurz fassen. Auch hier kommen nur die Sinnesorgane als Eintrittspforten für das Insektizid in Frage, während beim Betupfen der übrigen Stellen der Flügel Reaktionen an den Fliegen ausblieben.

### **4. Versuche über die Wirkung von Dichlordiphenyltrichloräthan das in die Nervenstränge-führenden Adern eingestochen wurde**

Es erhob sich die Frage, ob durch Einstechen der Wirksubstanz in die nervenführenden Adern Reaktionen erzeugt werden könnten, die bei Anstrich unterblieben. Zu diesem Zwecke stachen wir die



Adern mit besonders spitz geschliffenen Minutiennadeln an und brachten in die Stichstellen ein kleines Quantum aktives Öl. Die Stichstellen sind aus Abb. 5 ersichtlich. Die Tiere wurden nach Methode 3 fixiert. Nach 2 Stunden wurden die behandelten Flügel amputiert und die Fliegen hierauf in Petrischalen verbracht, wo man ihr Verhalten weiterbeobachtete.

Es zeigte sich bei den 3 Versuchsreihen mit je 5 Fliegen tabellarisch zusammengestellt folgendes (Tab. 2):

TABELLE 2

Eingestochen an Stelle	Reaktionen
1	Nach 2—3 Stunden alle Fliegen in Rückenlage mit starkem Tremor.
2	Nach 4—5 Stunden von 15 Fliegen 9 in Rückenlage mit Tremor, 6 erholten sich wieder.
3	Nach $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ Stunden alle Fliegen in Rückenlage mit starkem Tremor.
4	Nach 1—1 $\frac{1}{2}$ Stunden alle Fliegen in Rückenlage mit starkem Tremor.
5	Nach 20—30 Minuten alle Fliegen in Rückenlage mit starkem Tremor.
6	Nach 30—50 Minuten alle Fliegen in Rückenlage mit starkem Tremor.

Bei diesen Versuchen war nebenbei durchwegs aufgefallen, dass sich die Fliegen nach Einbringen in die Petrischale, trotz den bereits auftretenden Lähmungen, sofort ausgiebig und auffallend lange und oft mit den Beinen den Körper, besonders den verbliebenen Flügel putzten, während die Kontrolltiere in dieser Beziehung nichts Auffälliges zeigten.

Das Insektizid löst demzufolge eine Reizwirkung bei den Fliegen aus, die sich in häufigen Putzbewegungen äussert. Die gleichen Erscheinungen erhalten wir auch, wenn die Fliegen über einen DDT-Wirksubstanz-Belag, z. B. über einen Gesarol-Spritzbelag, laufen. Während hier der Reiz durch die Tarsen übermittelt wird, wird er bei den Flügeln durch den Anstich ausgelöst. Der Putzreflex gehört also allgemein zu den ersten Symptomen der Vergiftung. Auch bei andern Insekten ist er vorhanden und typisch. Das Zentrum des Putzreflexes liegt, wie entsprechende Versuche es nahelegen, im Gehirn, so dass wir zur Annahme berechtigt sind, dass die ersten Vergiftungserscheinungen eventuell im Gehirn ausgelöst werden könnten.

Überblicken wir die Ergebnisse der 6 Versuchsreihen, dann stellen wir fest, dass dieselben Stellen, die äusserlich mit Aktiv-Öl angestrichen, keine Vergiftungen der Fliegen ergeben, angestochen und die Wirksubstanz zu den Nervensträngen gebracht, typische Vergiftungen



entstehen lassen. Dies ist ein weiterer Beweis dafür, dass die Wirksubstanz nicht durch die Cuticula der Adern hindurchzudringen vermag, dagegen in Öffnungen direkt zu den Nerven gebracht, ihre toxische Wirkung ausüben kann.

#### B. WIRKUNG DES DICHLORDIPHENYTRICHLORATHAN AUF ANDEREN STELLEN DES FLIEGENKÖRPERS

Nachdem durch die vorausgehenden Versuche festgestellt wurde, dass die Wirksubstanz auf dem Flügel von *Calliphora* einzig und allein durch Sinnesorgane als Eintrittspforten zur Weiterleitung gelangen kann, lag es nahe, am übrigen Calliphorakörper die gewonnenen Erkenntnisse zu bestätigen. Zu diesem Zwecke wurden jeweils in größeren Versuchsreihen die verschiedensten, genau bestimmten Stellen des Fliegerkörpers mit aktivem Öl betupft und die Reaktion am Tiere beobachtet. Dabei wurden einerseits die als Träger von Sinnesorganen bekannten Stellen gewählt (Rüssel, Wange, Fühler, Schwingkölbchen, Genitalöffnung und das Auge) und anderseits solche, die sinnesorganfrei, resp. -arm sind (Oberseite des Thorax, Tergite und Sternite des Abdomens).

#### 1. Betupfen des Rüssels

Bei den vorliegenden Versuchen wurden die Labellen des Rüssels betupft. Schon 1883 hat KRAEPELIN die Anatomie des Rüssels von *Musca* beschrieben und die auf den Labellen vorhandenen Sinnesorgane namhaft gemacht. Wie unsere Untersuchungen an Total- und Schnittpräparaten durch den Rüssel von *Calliphora* ergeben haben, ist ihre Form gleich wie bei *Musca* (s. Abb. 14). Zwischen den Pseudotracheen

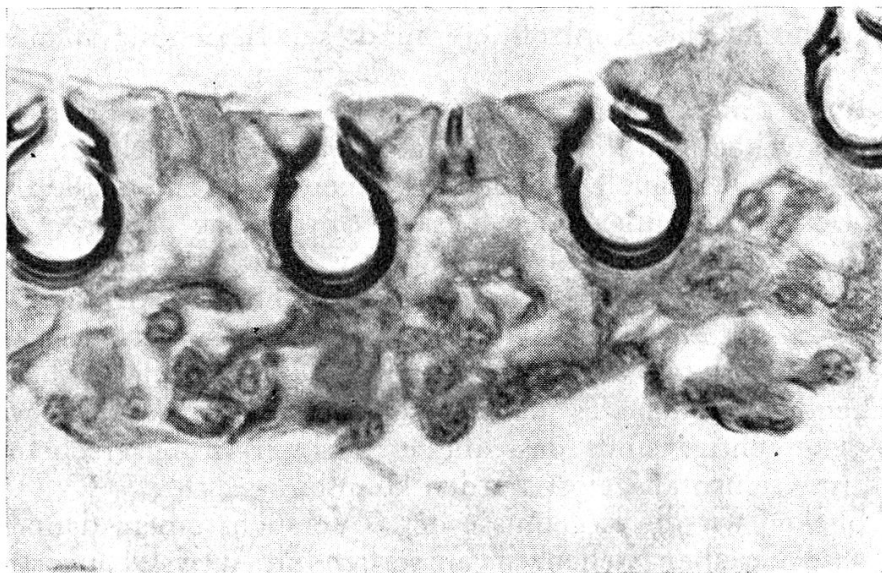


Abb. 14. — Schnitt durch eine Labelle des *Calliphora*-Rüssels. Zwischen zwei querschnittenen Pseudotracheen gewahrt man einen Sinneskegel.

eingestreut findet man eine grosse Zahl von als *Sensillae basiconicae* zu deutende Sinnespapillen, die von zusammengesetzten Sinneszellen innerviert wurden. Es handelt sich um Doppelkegel: typische Geschmacksorgane. Daneben gewahrt man eine grosse Zahl von Drüsen, die eine feine Öffnung nach aussen besitzen und die ebenfalls kräftig innerviert sind. Der starke Rüsselnerv steht mit dem *Tritocerebrum* in Verbindung.

Bei den auf Paraffinblöcken mit der Rückseite des Thorax befestigten Fliegen, wurde nach kurzer Zeit der betupfte Rüssel krampfhaft und maximal ausgestülpt und es wurden mit ihm kreisende Suchbewegungen ausgeführt. Nach 10—15 Minuten begann zuerst an den Vorderextremitäten, dann bald auch an den andern Beinen typischer Tremor einzutreten, der 3—4 Stunden andauernd stark war, dann langsam abflaute, bis die Tiere nach 10—13 Stunden eingingen. Gleichzeitig mit dem Beintremor trat auch ein starkes, konstantes Zittern des maximal ausgestossenen Rüssels, des ganzen Kopfes und der Fühler auf.

Bei einer Serie von 30 Fliegen wurden bei je 5 Fliegen in fortlaufenden Intervallen von 5 Minuten nach dem Betupfen des Rüssels, die Beine ausgerissen und auf Eigentremor hin untersucht.

5 Minuten nach dem Betupfen des Rüssels zeigte von den 5 Versuchsfiegen bereits eine an den beiden Vorderbeinen Eigentremor, der 20 Minuten nach dem Ausreissen eintrat, während die Beine der anderen Fliegen keinen Eigentremor aufwiesen. 10 und mehr Minuten nach dem Betupfen zeigten die ausgerissenen Beine durchwegs Eigentremor, meist zuerst an den Vorderbeinen auftretend, der z. T. über 3 Stunden andauerte.

Zusammenfassend können wir feststellen, dass man durch Betupfen der Labellen des Rüssels sehr rasch typische Vergiftungen erzielt, dass also der Fliegenrüssel eine wichtige und sehr empfindliche Eintrittspforte für das Insektizid darstellt. Es ist bekannt — und meine eigenen Untersuchungen haben es bestätigt — dass die Labellen sehr reich an Sinnesorganen sind, die als Geschmacksorgane angesprochen werden müssen. Wir haben demnach, wie beim Flügel, als Eintrittspforte für die Vergiftung diese Sinnesorgane verantwortlich zu machen. Eine weitere Eintrittspforte könnte an den Labellen noch dazu kommen, nämlich die zahlreichen Drüsen an der Rüsselscheibe. Dass die Hautdrüsen ebenfalls zur Resorption der DDT-Wirksamkeit beitragen können, glaube ich aus dem Verhalten der Prozessionsspinnerraupe schliessen zu dürfen, die möglicherweise deshalb so ausserordentlich empfindlich für die Wirksubstanz sind, weil sie sehr viele Hautdrüsen aufweisen. Die Drüsensekrete der Insekten enthalten in der Regel Lipide, wodurch die Aufnahme der DDT-Wirksamkeit durch die Drüsen stark gefördert würde.

## 2. Betupfen der Wange des Fliegenkopfes

Die Wangen des Kopfes von *Calliphora*, unterhalb der Augen, ventral, vom Mundrande begrenzt, weisen eine grössere Zahl von Sinneshaaren auf, die ihrer Form und Lage entsprechend als Geschmacksorgane aufzufassen sind. Es sind dünnwandige Sensilla trichodea, mit einem deutlichen Basalring, der eine sehr feine Basal- oder Grundmembran aufweist. Sinneszellen innervieren die Basalmembran, wie in entsprechenden Schnitten deutlich festgestellt werden konnte (Abb. 15). Die Sinneszellen vereinigen sich zu Sinneszellengeflechten, zu einer Art Hautnervensystem im Sinne von ZAWARZIN. Namentlich stark entwickelt sind diese Organe in der Gegend der Mundrüsselfalte. Diese Stellen wurden in verschiedenen Versuchsreihen mit kleinen Mengen aktivem DDT-Öl betupft.

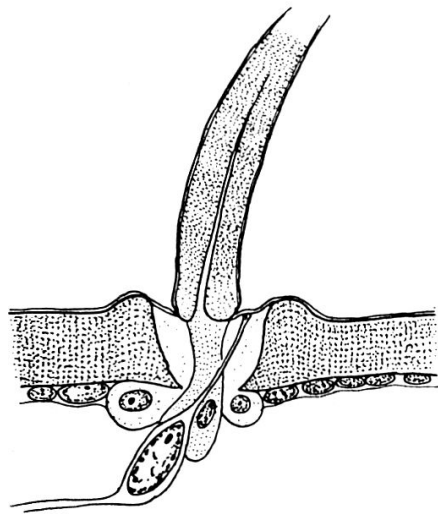


Abb. 15. — Schnitt durch ein Sinneshaar an der Wange von *Calliphora*.

Bei den auf dem Rücken aufgeklebten Fliegen zeigten sich schon kurze Zeit nach dem Betupfen der Wangen erste Symptome der Wirksubstanz-Vergiftung, in erster Linie starkes Ausstossen und wieder Einziehen des Rüssels, sehr bald auch Rüsseltremor und nach 30—35 Minuten trat ein immer stärker werdender Beintremor, Zittern des Kopfes und der Fühler ein. Ausgerissene Beine zeigten schon nach 10 Minuten Insektizid-Einwirkung auf die Tiere, kurze Zeit später Eigentremor, besonders stark an den Vorderbeinen. Die gefesselten Tiere gingen innert 14 Stunden ein. Fliegen, die mit Gummibändern auf der Unterlage festgehalten wurden, zeigten nach dem Ablösen und Einbringen in Petrischalen, 15—20 Minuten nach dem Antupfen der Wange, sofort Gehunfähigkeit, Rückenlage und beginnenden Beintremor.

Wie beim Rüssel traten auch beim Betupfen der Wangen ziemlich rasch typische Vergiftungen ein. Als Eintrittspforten für die DDT-Wirksubstanz kommen die in dieser Gegend gelegenen Sinnesorgane in Frage.

### 3. Betupfen der Fühler

Die Fühlerkeule von *Calliphora* besitzt, wie wir aus den Untersuchungen von RÖHLER u. a. wissen, eine grosse Zahl von Sinnesorganen, meist vom Typ der Sensilla trichodea und Sensilla coeloconica sowie zahlreiche Riechgruben (Abb. 16), die mit dem sehr starken Fühlernerv in Verbindung stehen, der wiederum in dem Lobus olfactorius des Oberschlundganglions mündet. Die gefiederte Geissel dagegen trägt Haarborsten, die nicht gelenkig mit dem Schaft verbunden, auch nicht hohl und nicht innerviert sind und deshalb nicht als Sinneshaare gewertet werden können. Der eigentliche Geisselteil ist nur im basalen Drittel hohl und mit Epithelzellen ausgekleidet. In dessen Lumen befindet sich ein ganz dünner Nervenstrang. Nach diesen Verhältnissen zu schliessen, müssen wir die ganze Geissel als Tastorgan auffassen, die Berührungsreize übermittelt.

#### a. Betupfen der Fühlerkeule (Abb. 16)

Es wurden jeweils beide Fühlerkeulen auf den Aussenseiten mit aktivem Öl betupft.

Bei den ersten Versuchsreihen waren die Fliegen mit dem Rücken des Thorax auf Paraffinblöcken befestigt. Nach einer Stunde zeigten die Beine weder am gefesselten Tiere, noch ausgerissen, Tremorerscheinungen, dagegen wiesen der Rüssel, der Kopf und die Fühler starkes Zittern auf. Nach 2 Stunden gewahrte man bei den ausgerissenen Beinen, schwachen und nach 3 Stunden anhaltend starken Beintremor. Nach 5—6 Stunden waren die Fliegen tot, ohne dass sie den sonst auffälligen starken und krampfartigen Beintremor besonders auffallend zeigten. In der zweiten Versuchsreihe, bei der die Fliegen mit den Tarsen auf Paraffinblöcken befestigt wurden, trat schon nach



Abb. 16. — Längsschnitt durch die Fühlerkeule von *Calliphora*, mit Riechgrube.

15—20 Minuten starkes, auffallendes Schwirren mit den Flügeln auf, nach 40—50 Minuten begannen die Tiere in den Beinen einzuknicken, führten nur wenig Bewegungen aus und waren nach 3 Stunden fast leblos. Auf Anblasen reagierten sie praktisch nicht mehr. Ausgerissene Beine zeigten nach dieser Zeit keinen oder nur schwachen Eigentremor. Wie in der ersten Versuchsreihe gingen auch hier die Tiere ebenfalls nach 5—6 Stunden ein. Die dritte Versuchsreihe, nach Methode 3 durchgeführt, ergab gleiche Resultate. Die besprochenen Versuche zeigen alle mit grosser Deutlichkeit, dass die Wirksubstanz durch die Fühlerkeule wirken kann, wobei die Sinnesorgane als Eintrittspforten beteiligt sind, und dass der Vergiftungstod relativ rasch eintritt, ohne den sonst auffälligen Beintremor besonders stark in Erscheinung treten zu lassen.

#### b. Betupfen der beiden Fühlergeisseln

Diese Versuche wurden hauptsächlich nach der Methode 3 ausgeführt. Die an der Arista mit Aktiv-Öl betupften Fliegen wurden in 6 Gruppen à je 10 Fliegen aufgeteilt. Bei der 1. Serie wurden die Fühler nach 2 Stunden, der 2. nach 4 Stunden, der 3. nach 5, der 4. nach 6, der 5. nach 7 und der 6. nach 8 Stunden amputiert und die Fliegen dann in Petrischalen weiter beobachtet. In allen Serien verhielten sich die Fliegen in den Petrischalen normal, wie die jeweiligen Kontrollfliegen. Lähmungen, die auf Wirksubstanz-Vergiftungen schliessen liessen, waren nicht vorhanden. Ausgerissene Beine wiesen in keinem Fall Eigentremor auf. Wir konstatieren, dass ein Betupfen der Arista bei *Calliphora* keine Wirkung auf die Fliegen ausübt, d. h. dieser Teil des Fühlers als Eintrittspforte für das Insektizid ohne Bedeutung ist, trotzdem es sich bei der Arista um ein typisches Sinnesorgan handelt. Die Erklärung für dieses Phänomen werden wir später zu geben versuchen.

### 4. Betupfen der Halteren

Die am Metathorax befindlichen, 1,13—1,17 mm langen Halteren sind nach BUDDENBROCK Stimulationsorgane, die proprioceptive Reize aufnehmen. Es sind langgestreckte Hohlgebilde, an denen eine basale Anschwellung, ein dünner Stiel und ein umfangreicher Endkolben zu unterscheiden sind. Die Sinnesorgane der Halteren von *Calliphora erythrocephala* wurden von PFLUGSTEADT untersucht und beschrieben. Sie stimmen mit denjenigen von *Calliphora vomitoria*, die ich selber studierte, überein. Die basale Anschwellung enthält eine grössere Anzahl typischer Sensilla campaniformia und Scolopiden, die zu 2 dorsalen und 3 ventralen Sensillenfeldern vereinigt sind. Der Endkolben trägt Tastaare (Sensilla trichodea) mit je



einer Sinneszelle. Diese Tasthaare sind in eine Gelenkgrube eingefügt (s. Abb. 17). Weiter befindet sich hier ein chordotonaies Organ. Ein Nerv, der mit dem Brustganglion durch einen gebogenen, kräftigen Nerv in Verbindung steht, durchzieht bis zum Endkolben die ganze Haltere. PFLUGSTAEDT konnte nachweisen, dass ein grosser Teil der Fasern der Halterenerven mit dem Suboesophagialganglion in Verbindung steht, dass also die Schwinger zum Teil vom Gehirn innerviert werden. Ein anderer Teil der Nervenfasern ist in Verbindung mit dem 3. Thoracalganglion.

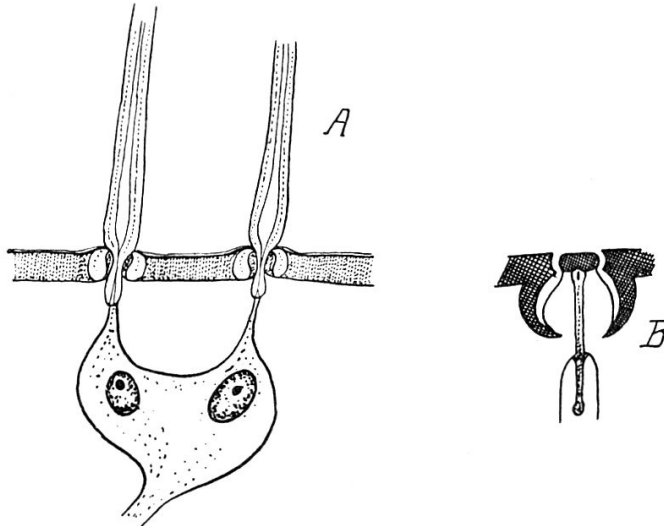


Abb. 17. — Sinnesorgane der Halteren von *Calliphora*. — A: Sensillae trichodea des Köpfchens. — B: Scaphale Papille von der basalen Anschwellung der Haltere, Schnitt (nach PFLUGSTAEDT).

Die Schwingkölbchen wurden durch Haarschlingen bei den auf dem Rücken angeschmolzenen Fliegen festgehalten und dadurch eine Berührung der Tupfstellen auf den Halteren mit den am Körper liegenden Sinnesfeldern verhindert.

#### a. Betupfen der Endkolben und des Stieles

In allen Versuchsreihen lebten die Fliegen, deren Halteren man an der Kuppel des Endkolbens oder dem Stiel mit aktivem Öl betupfte, wie die normalen Kontrolltiere 24—28 Stunden, verhielten sich ruhig und zeigten keine der bekannten Vergiftungserscheinungen.

#### b. Betupfen der basalen Anschwellung

Hier zeigten die Fliegen bereits nach  $\frac{1}{2}$  Stunde zuerst schwachen, dann bald stärker werdenden Beintremor, Zittern des Kopfes, Ausstossen und Tremor des Rüssels, Flügelzittern und Verkrampfen des Abdomens: alles Symptome einer gelungenen Vergiftung. Ausgerissene Beine wiesen schon nach  $\frac{3}{4}$  bis 1 Stunde mehr oder weniger starken Eigentremor auf. Die Fliegen gingen jeweils innert 10—13 Stunden ein. Das Betupfen der basalen Anschwellung der

Halteren ergab demnach im Gegensatz zum Endkolben und des Stiels ziemlich rasch typische Vergiftung. An Hand der Tupfversuche auf dem Fliegenflügel ist es ohne weiteres verständlich, dass ein Betupfen des Stieles der Halteren keine Reaktion erzeugte, da dieser Teil der Halteren keine Sinnesorgane aufweist. Die rasche Wirkung des Insektizids beim Betupfen der basalen Anschwellung der Schwingkölbchen ist auf das Vorhandensein zahlreicher Sinnesorgane zurückzuführen, die wie bei den Flügeln als Eintrittspforten für das Dichlordiphenyltrichloräthan wirkten. Unverständlich vorerst erscheint das Ausfallen der Vergiftung bei Aufbringung von Wirksubstanz auf den Endkolben, da derselbe doch Sinnesorgane in Form von Sensilla trichodea aufweist.

### 5. Betupfen der äusseren Genitalorgane

Die männlichen Genitalorgane von *Calliphora vomitoria* sind sehr reich an Sinnesorganen. Es handelt sich in der Hauptsache um Sinneskuppeln. Die Sinnesorganplatten der äusseren Genitalien von männlichen Fliegen, die mit dem Abdomenrücken auf Paraffinblöcken aufgeklebt waren, wurden nach Abschirmen der Beine mit Aktiv-Öl betupft und die Reaktion festgestellt. Nach  $\frac{3}{4}$  Stunden zeigten sich bei allen Fliegen typische Wirksubstanz-Vergiftungen, starker Beintremor, Zittern des Kopfes und des ausgestossenen Rüssels, Schwirren mit den Flügeln. Ausgerissene Beine wiesen nach 2—3 Stunden starken Eigentremor auf und die Tiere gingen nach 14—15 Stunden ein. Die Sinnesorgane der äusseren Genitalien der Fliegenmännchen stellen demnach ebenfalls Eintrittspforten für das Dichlordiphenyltrichloräthan dar.

### 6. Betupfen der Cornea des Facettenauges

Die Cornea des Facettenauges von *Calliphora* besitzt die typische Streifenstruktur (Dennell 4) (4), wie sie allgemein bei den Facettenaugen auftritt. Die Dicke der Cornea beträgt durchschnittlich 21,0—22,5  $\mu$ . Eine Epicuticula ist vorhanden.

Die auf dem Rücken aufgeklebten Tiere blieben wie die Kontrolltiere während 24—28 Stunden am Leben, verhielten sich meist ruhig. Am Ende der Versuche ausgerissene Beine wiesen in allen Fällen keine Spur von Eigentremor auf. Die mit den Tarsen angeklebten Fliegen waren während der ganzen Versuchsdauer sehr ruhig und nach 24—36 Stunden ausgerissene Extremitäten blieben ohne Eigentremor. Bei den mit einem Gummiband festgehaltenen Fliegen zeigten



sich in allen Versuchen nach dem Ablösen der Tiere und Einbringen derselben in Petrischalen, selbst nach 24stündiger Einwirkung, keine Spuren von Vergiftungen. Diese Versuche zeigen mit aller Deutlichkeit, dass ein Eindringen der Wirksubstanz durch die Cornea, die bekanntlich ausser der Pigmentlosigkeit eine normale chitinöse Cuticula darstellt, nicht möglich ist. Die Nervelemente des Facettenauges können demnach durch die Wirksubstanz sowenig wie beim Flügel erreicht werden. Die Oberfläche des Facettenauges, die auch eine Lipoidschicht aufweist, verlangt selbstverständlich optische Homogenität, dadurch wahrscheinlich auch höheren Polymerisationsgrad der Lipoide, neben der nötigen mechanischen Widerstandsfähigkeit. In hochpolymerisierten Lipoiden werden lipophile Substanzen nicht mehr löslich sein.

## 7. Betupfen der Oberseite des Thorax

Die Thoraxoberseite von *Calliphora* trägt eine grössere Zahl langer, nach hinten gerichteter, gelenkig eingefügter Borsten, sowie einen Pelz kurzer, dicht beieinander stehender Haare. Die Borsten sind dickwandig, sitzen in einem satten Gelenk, umgeben von einer ziemlich dicken Gelenkmembran und sie sind z. T. von im Epithel eingebetteten einfachen Nervenzellen innerviert. Es handelt sich also um Tangorezeptoren, Haarsensillen, die wegen ihrer Dickwandigkeit nicht als Chemorezeptoren in Betracht kommen. Beim Betupfen wurde darauf gesehen, dass möglichst viele Borstenwurzeln vom Aktiv-Öl erfasst wurden.

In allen mit je 10 Fliegen durchgeführten Versuchen verhielten sich die Fliegen wie die unbehandelten Kontrolltiere. Sie lebten bis 48 Stunden. Wir konnten eindeutig feststellen, dass die Wirksubstanz nicht durch die Cuticula der Thoraxoberseite einzudringen vermag. Auch die Gelenkmembrane der langen Thoraxborsten stellen keine Eintrittspforten des Aktivsubstanz-Öl dar.

## 8. Betupfen der Tergite und Sternite des Abdomens

Die Tergite und Sternite des Abdomens besitzen ähnliche Strukturverhältnisse wie die Thoraxoberseite, ziemlich grosse, gelenkig eingesetzte Borsten und etwas weniger dicht stehende feine Haare. Da diese Körperstellen keine Sinnesorgane besitzen, ausser einzelnen, ähnlich wie auf dem Thorax innervierten Tasthaaren, war zu erwarten, dass durch ein Betupfen der betr. Stellen keine Reaktion eintrat. Dies war auch der Fall, indem die Fliegen sich genau wie die unbehandelten Kontrolltiere verhielten und ebenso lange lebten wie diese. Ausgerissene

Beine zeigten keine Spur von Eigentremor. Aus den mehrmals mit gleichen Ergebnissen durchgeführten Versuchen geht hervor, dass auch die Cuticula der sinnesorganarmen Tergite und Sternite des Abdomens von *Calliphora* für die Wirksubstanz unpassierbar ist.

## 9. Betupfen der Intersegmentalhäute des Abdomens

Betupft man die Intersegmentalhäute des Abdomens mit Aktivsubstanz, indem man mit einer feinen Nadel die Substanz in diese Falten einführt, dann erhält man bei den gefesselten Fliegen nach 40—50 Minuten starken Beintremor, der auch an den ausgerissenen Beinen festgestellt werden kann. Wie man an Mikrotomschnitten sehen kann, stellen die Intersegmentalhäute ziemlich dünne, von einer Epicuticula überzogene Cuticulalamellen dar, bei denen die pigmentierte Exocuticula fehlt. Färberisch verhalten sich diese Intersegmentalhäute ganz anders als die Cuticula der Abdominaltergite und -Sternite, sowie des Thorax, indem sie sich mit Hämalaun und anderen basischen Kernfarben stark anfärben. Diese Stellen der Cuticula sind demzufolge nicht sklerotiert, enthalten nach PRYOR wahrscheinlich auch Lipotide, in denen sich die DDT-Wirksubstanz lösen kann und dadurch für diesen Stoff permeabel werden. Auf entsprechend gefärbten Totalpräparaten kann man feststellen, dass unter den Intersegmentalhäuten ein ziemlich dichtes, peripheres Nervenengeflecht vorhanden ist, durchzogen von den Nervenzellsträngen, die von den Sinneshaaren der Tergite und Sternite ausgehen. Infolge der Permeabilität der Intersegmentalhäute kann das Insektizid zu diesen Nervelementen gelangen und dadurch Vergiftungserscheinungen auslösen.

Die Intersegmentalhäute sind, nach den vorliegenden Versuchen zu schliessen, die einzigen Stellen am Fliegenkörper, an denen die Wirksubstanz ohne Hilfe von Sinnesorganen als Eintrittspforten wirken kann, weil eine Permeabilität für diesen Stoff vorliegt. Wenn auch hier keine nach aussen mündenden Sinnesorgane zu finden sind, so sind doch direkt unter der durchlässigen Chitinmembran Nervelemente vorhanden, die auf die eindringende Substanz in gleicher Weise reagieren, wie die Nervelemente der Sinnesorgane.

## 10. Diskussion der Resultate

Wenn wir die Resultate dieser 9 Versuchsreihen überblicken, dann stellen wir, wie beim Fliegenflügel fest, dass auch am übrigen Fliegenkörper die Eintrittspforten der Wirksubstanz hauptsächlich die Sinnesorgane darstellen. Sinnesorganfreie, sklerotierte Chitinpartien ergeben beim Betupfen keine Reaktionen, wie dies beim Facettenauge, beim Kolben und Hals des Schwingers, der Sklerite der Thoraxoberseite, sowie der Sternite und Tergite des Abdomens der Fall ist. Dies stellt einen Beweis dafür dar, dass das Insektizid nicht direkt durch die sklerotierte Cuticula eindringen kann, sondern dazu der Hilfe von Sinnesorganen bedarf. Die Intersegmentalhäute mit ihren besonderen Strukturen sind die einzigen Stellen am Fliegenkörper, wo die Wirksubstanz ohne Hilfe von Sinnesorganen wirken kann. In einem krassen Widerspruch zum Gesagten scheinen ein paar Versuchsergebnisse zu stehen, indem es am Flügel an der mit typischen Sinnesborsten ausgerüsteten Verdickung des Radius vor seiner Verzweigung, bei der Arista des Fühlers, am Endkolben des Schwingers, auf der Thoraxoberseite, sowie auf den Sterniten und Tergiten des Abdomens nicht gelang, eine Vergiftung der Fliegen zu erzielen, also ein Eindringen des Insektizids an diesen Stellen trotz Sinnesorganen nicht möglich zu sein scheint. Zur Erklärung dieser Versuchsergebnisse müssen wir die Morphologie dieser Sinnesorgane näher studieren. Es handelt sich bei diesen Sinnesorganen um Sinneshaare (Sensilla trichodea) und zwar zum Teil um solche des einfachsten Typs, die zur Perzeption mechanischer Reize dienen (Tasthaare). Die Sinneshaare an den Verdickungen des Radius 2—5 am Flügel, auf der Thoraxoberseite und den Sterniten resp. Tergiten des Abdomens unterscheiden sich von denjenigen an der Wange durch ihre Dicke, durch die Struktur der Basalmembran und durch die Weite des Basalrings (Abb. 11 a). Das Haarlumen ist in allen Fällen sehr gering und gleicht eher einer Spalte. Die Haare sind also dickwandig. Die Basalmembranen verhalten sich färberisch gleich, wie das übrige Chitin, d. h. Kernfarben zeigen keine Affinität. Sie ist relativ dick und von aussen nicht sichtbar, da sie vom Haar im Ring festgehalten wird. Sie überspannt also nicht die Basalringöffnung, wie dies bei den Sinneshaaren an der Wange der Fall ist, sondern sie hilft mit, das Haar in Ringe festzuhalten. Zudem mündet der distale Fortsatz der bipolaren Sinneszelle des Haares nicht am Basalring, sondern in Lumen des Haares. Ähnliche Verhältnisse haben wir bei den Sinneshaaren am Endkolben des Schwingers, von denen wir durch die Arbeit von PLUGSTAEDT sehr klare Abbildungen besitzen. Auch hier sind die Haare straff in den Basalring eingengt, ohne dass die Basalmembran nach aussen tritt.

Aus den angeführten Strukturverhältnissen ist es ohne weiteres erklärlich, dass diese Sinneshaare als Eintrittspforten für das Insektizid nicht in Frage kommen, weil sie einerseits fest im sklerotierten, undurchlässigen Chitin sitzen, und anderseits auch die Grundmembran dick und anscheinend sklerotiert ist. Sie reicht zudem gar nicht an die Oberfläche der Cuticula. Die Cuticulabarrière ist also an diesen Stellen völlig geschlossen. Bei der Arista des Fühlers ist es ebenfalls klar, dass sie als Eintrittspforten des Insektizids nicht wirkt, da einerseits sklerotiertes Chitin vorhanden ist und anderseits die Haare nicht innerviert sind. Die Verhältnisse sind hier gleich wie an den von Nerven durchgezogenen Adern des Flügels an den sinnesorganfreien Stellen. Ein weiterer Beweis für diese Annahme erblicken wir in den Ergebnissen der folgenden Versuche: Reisst man mit einer feinen Uhrmacherpinzette die Sinneshaare auf der Oberseite des Thorax aus und betupft diese Stellen mit Aktiv-Öl, dann erhält man innert 60—70 Minuten typische Vergiftungen, die später zum Tode der Fliegen führen. Wir haben durch diese Manipulation den Weg für die Aktivsubstanz zu den Sinneszellen der Sinneshaare geöffnet und dadurch innert ziemlich kurzer Zeit Vergiftungen erzeugen können. Sticht man mit einer feinen Nadel die Cornea des Calliphora-Auges durch und gibt auf die Stichstelle Aktivsubstanz-Öl, dann erzeugt man ebenfalls innert 20 bis 25 Minuten an den Fliegen starke, zu Tode führende Vergiftungen, während Tiere, bei denen die Stichstellen nicht betupft wurden, normal weiter leben. Auch hier haben wir den Beweis dafür, dass auch das Auge, sobald die Cuticula durchbrochen ist, Eintrittspforte der Wirksubstanz werden kann.

#### V. DIE WIRKUNG DES DICHLÖRDIPHENYLTRICHLORÄTHANS AM KÖRPER DER DEUTSCHEN KÜCHENSCHABE (*Phyllodromia germanica*).

Da die bei *Calliphora* gefundenen Resultate eventuell einen Spezialfall darstellen könnten, haben wir einen Teil der Versuche an Larven und Imagines von *Phyllodromia germanica* wiederholt. Die Vergiftungserscheinungen, die bei *Phyllodromia* bedeutend langsamer auftreten als bei *Calliphora*, sind typisch. Es entsteht nach mehr oder weniger langer Zeit allgemeiner Tremor der Beine, der Fühler, Mundwerkzeuge und des ganzen Kopfes, der bei der auffallenden Zähigkeit der Tiere bis zu 2 Tagen dauern kann. Bei den meisten Versuchen wurden die Tiere mit dem Rücken auf Paraffinklötzchen aufmontiert. Die unbehandelten Kontrolltiere lebten in dieser Lage bis zu 11 Tagen. Die Ergebnisse der Tupfversuche sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

TABELLE 3

Betupfte Stelle	Reaktion der Tiere
Cerci	Nach 1—1 ½ Tagen allgemeiner Tremor, tot nach 4 bis 5 Tagen.
Palpen der Unterkiefer	Reagieren nach 3 Tagen mit allgemeinem Tremor, tot innert 4—5 Tagen.
Rückenschild des Thorax	Tiere frei laufen gelassen. Lebten während 18 Tagen wie die Kontrolltiere völlig normal.
Sternite des Abdomens	Innert 10 Tagen keine Reaktion. Lebten so lange wie die Kontrolltiere.
Facettenaugen	Ohne Anzeichen von Vergiftung lebten die Tiere 10 bis 12 Tage, ebenso lange wie die Kontrolltiere.
Intersegmentalhäute der Abdomenunterseite	Imagines nach 3 Tagen, Larven erst nach 4—5 Tagen allgemeiner Tremor. Von 5 Larven reagierten je 2 resp. 3 gar nicht.
Fühler	Nach 1—2 Tagen typische Vergiftungen, die innert 3 bis 5 Tagen zum Tode führten.
Tarsen	Rasche Reaktion, innert 16 Stunden Rückenlage. Tot innert 1—2 Tagen.

Fassen wir die Resultate dieser Versuche zusammen, dann halten wir fest, dass hier, wie bei *Calliphora*, die hauptsächlichsten Eintrittspforten für das Dichlordiphenyltrichloräthan die Sinnesorgane darstellen (Cerci, Palpen, Fühler und Tarsen), während sklerotierte Cuticulapartien, wie die Cornea des Auges, die Oberseite des Thorax, die Tergite und Sternite des Abdomens für die Aktivsubstanz nicht permeabel sind. Als weitere Eintrittspforten kommen die nicht sklerotierten Intersegmentalhäute am Abdomen in Frage, wobei sich aber Unterschiede zwischen imaginalen und larvalen Stadien ergaben. Woher diese Unterschiede kommen, wissen wir noch nicht, doch ist es sehr wahrscheinlich, dass sie mit den Häutungen der Larven in Zusammenhang stehen. Wir werden diesem Problem noch nachgehen.



## VI. DIE WIRKUNG DES DICHLORDIPHENYLTRICHLORÄTHANS AM KÖRPER AUSGEWACHSENER KLEINSCHMETTERLINGS-RAUPEN UND CALLIPHORALARVEN

In Ergänzung zu den vorausgehenden Versuchen wurden mit ausgewachsenen, verpuppungsreifen Apfelwicklerraupe (*Laspeyresia pomonella*), sowie mit Calliphoralarven Tupfversuche mit Aktivsubstanz gemacht. Betupft wurden die Sternite und Tergite des Abdomens, sowie die entsprechenden Intersegmentalhäute. Pomonella-raupen liess man gleichzeitig in mit Aktiv-Öl bestrichenen Petrischalen laufen und beobachtete ihr Verhalten. Die mit Aktiv-Öl betupften Raupe, resp. Larven reagierten nicht. Es traten gar keine Anzeichen von Vergiftungen ein. Die Raupe und Larven verpuppten sich und gaben normale, lebensfähige Falter, resp. Fliegen. Eine Erklärung der DDT-Wirksamkeit-Resistenz dieser Raupe und Larven werden wir am Schluss dieser Arbeit zu geben versuchen.

## VII. DISKUSSION DER GESAMTERGEBNISSE UND SCHLÜSSE AUS DEN VERSUCHEN

Die vorliegenden Versuche haben gezeigt, dass bei *Calliphora* Imagines und *Phyllodromia*, wir dürfen wohl sagen bei den empfindlichen Insekten, die Eintritts-, resp. Resorptionspforten des Dichlordiphenyltrichloräthans und wie KLINGER nachwies und eigene Vergleichsversuche ergaben, auch diejenigen des Pyrethrums, die Sinnesorgane und die Intersegmentalhäute darstellen, und dass die sklerotierten Stellen am Insektenkörper den beiden Kontaktinsektiziden keinen Eintritt gewähren. Der Durchgang der Aktivsubstanz durch die Cuticula ist demnach abhängig von der Struktur, der chemischen Zusammensetzung der ganzen Cuticula und sicherlich auch den lipophilen Eigenschaften des Insektizids.

Nehmen wir die lipophilen Eigenschaften des Dichlordiphenyltrichloräthans in Bezug auf die Cuticula der Insekten, wie sie sich aus den Versuchen präsentieren, voraus.

Die Flügeltupfversuche bei *Calliphora* zeigen deutlich, dass die unstreitig vorhandenen lipoidaffinen Eigenschaften des Dichlordiphenyltrichloräthans nicht allzu hoch veranschlagt werden dürfen, lange nicht an diejenigen der fettlöslichen Narkotika heranreichen. Dies geht namentlich daraus hervor, dass durch Tupfstellen in der Nähe von Sinnesorganen nach längerer Zeit sich keine Reaktionen einstellen.

Ein starker Fettlöser hätte diese kleine Distanz bis zur Sinnesorganpore innert kurzer Zeit durch Lösen in der lipoidhaltigen Epicuticula zurückgelegt, was bei der DDT-Wirksamkeit nicht der Fall war. Es scheint, dass das Insektizid an Ort und Stelle wohl von der Epicuticula resorbiert und nachher weitergeleitet wird, eine Distanzwanderung in der Epicuticula in horizontaler Richtung aber nicht geschieht.

Betrachten wir nun die Stellen, an denen für die Wirksubstanz keine Permeabilität vorliegt, wie bei der Thoraxoberseite, der Sternite und Tergite der Versuchstiere.

Bei *Calliphora* ist eine Epicuticula vorhanden, die sich mit Sudan III stark anfärbt, also in der Hauptsache aus Lipoiden zu bestehen scheint. In ihr kann die DDT-Wirksamkeit als lipophile Substanz lokal, d. h. an der Tupfstelle, resorbiert werden. Unter der Epicuticula liegt nun aber an den nicht permeablen Stellen die schwarz gefärbte Exocuticula, deren Farbe durch die im Tierreich weit verbreiteten Melanine gebildet wird. Die Melanine entstehen nach HENKE (1924) aus aromatischen Verbindungen unter Mitwirkung gewisser Enzyme (Oxydasen) durch einen Oxydationsprozess. Es scheint nun, dass diese mit Melaninen durchsetzte Exocuticula, die zudem Sklerotin enthält (PRYOR, DENNELL), die Barriere darstellt, durch die die DDT-Wirksamkeit und auch das Pyrethrin nach der Resorption in der Epicuticula nicht durchzudringen vermögen, es sei denn, dass Sinnesorgane, resp. ihre Poren als Eintrittspforten vorhanden sind. Es ist aber sehr wohl möglich, dass in den Porenkanälen der Cuticula trotzdem geringe Lipoidmengen vorhanden sind, dass aber die hier durchdringenden Substanzmengen unterletal bleiben und dadurch nicht zur Wirkung gelangen.

Im Prinzip gleich verhält es sich wohl auch bei den Halteren und dem Facettenauge, wo ebenfalls die Exocuticula der nicht permeable Teil der Cuticula ist.

Bei *Phyllodromia germanica* liegen die Verhältnisse ähnlich. Es handelt sich hier um den Insektentyp mit sehr hartem Integument bei dem unter einer sicherlich lipoidhaltigen Epicuticula eine braune Exocuticula vorhanden ist, die nach PRYOR aromatische Gruppen, wahrscheinlich ortho-Dihydroxy-phenole neben Sklerotinen enthält. Sie ist ebenfalls lipoidfrei oder dann sehr lipoidarm. Die Exocuticula von *Phyllodromia* ist deshalb ebenfalls für die lipophilen Insektizide nicht oder nur ganz ungenügend durchlässig.

Bei den DDT-Wirksamkeit-unempfindlichen, weiss- und weichhäutigen Raupen, resp. Larven wird der Eintritt und die Resorption der Aktivsubstanz durch das Vorhandensein einer nach PRYOR hochpolymerisierten Epicuticula verhindert, die als ein lückenloser Mantel den ganzen Körper überzieht. PRYOR stellt fest, dass die Epicuticula von *Calliphora*- und *Ephestialarven* in gewissen Entwicklungsstadien Proteine und Phenole enthält und dass sie hauptsächlich aus Sklerotinen besteht, die mit Lipoiden imprägniert sind. Durch einen Kondensations- und Polymerisationsprozess werden die Lipide unlöslich für Fettlöser.



Wie KLINGER in seiner interessanten Pyrethrumarbeit zeigen konnte, lässt sich bei den Raupen von *Laspeyresia pomonella* die Epicuticula mit Sudan III nicht nachweisen, ein weiterer Beweis dafür, dass durch die hohe Polymerisation diese Schicht ihren Lipoidcharakter eingebüsst hat und eine Resorption des Dichlordiphenyltrichloräthans und des Pyrethrins gar nicht stattfindet.

Die Cuticula der Apfelwicklerraupe besitzt wie bei andern Raupen und Larven viele Sinnesorgane, meistens in Form von Sinnesstiftchen und Sinneshaaren mit bipolaren Sinneszellen, die sich zu einem subepidermalen Nervenplexus, dem Hautnervensystem vereinigen. Interessant ist nun, dass Tiere mit einem derart gut ausgebildeten Hautnervensystem, wie die ausgewachsene Apfelwicklerraupe, die Larve von *Calliphora*, der Maikäferengerling, um ein paar der bekanntesten zu nennen, sowohl Dichlordiphenyltrichloräthan als auch Pyrethrum unempfindlich sind. Es hat demnach nicht den Anschein, als ob der Grund für hohe Giftempfindlichkeit immer im Vorhandensein und einer reichen Verzweigung der peripheren Nerven zu suchen wäre. Gerade die reiche Ausbildung des Hautnervensystems der genannten Tiere lässt vermuten, dass die Giftempfindlichkeit in der besondern Struktur der Cuticula, besonders des veränderten Chemismus der Epicuticula bedingt ist. Hat diese ihren typischen Lipoidcharakter eingebüsst, dann bildet sie von Anfang an eine undurchdringbare Barriere für die Resorption der Kontaktinsektizide, in unserem Falle für die Aktivsubstanz.

Bei diesen weichhäutigen Larven, resp. Raupen erzielen wir nun interessanterweise in der Bekämpfungspraxis bei den halb bis ganz ausgewachsenen Stadien mit dem Insektizid keine Bekämpfungserfolge, während Eiraupen und jüngere Stadien DDT-Wirksamkeit empfindlich sind. Dies führt zur Annahme, dass im Verlaufe des Alterns, resp. nach jeder weiteren Häutung die Epicuticula immer höher polymerisiert und dadurch für die lipophile Aktivsubstanz immer schwerer resorbier- und durchdringbar wird. Bewiesen ist diese Annahme allerdings noch nicht.

Betrachten wir nun die Cuticulaschichten, durch die die Insektizide wirken können. An den Stellen, wo eine Permeabilität für die beiden Kontaktinsektizide vorhanden ist, wie an den Intersegmentalhäuten und den Sinnesöffnungen, ist im Gegensatz zu den Undurchdringbaren, neben einer lipoidhaltigen Epicuticula, die auch die Poren der Sinnesorgane als feine Häutchen überzieht, entweder die Exocuticula sehr dünn, nicht pigmentiert und flexibel, enthält also wenig oder keine Sklerotine oder dann fehlt sie vollkommen, wie im Falle der untersuchten Sinnesorganöffnungen. Wie das Integument der Intersegmentalhäute verhalten sich auch die Membranen der Sinnesorgane färbereich ganz anders als die für die beiden Wirksubstanzen undurchlässigen Sklerite des Fliegenkörpers. Sie lassen sich mit basophilen Farben, wie Hämalan und anderen Kernfarben mehr oder weniger stark anfärben. Sie enthalten nach den Untersuchungen von PRYOR,

Lipoide, die nach KÜHNELT Lipoidbrücken darstellen, welche durch Umwandlungen von Zellplasma in den sogenannten Pseudoporen abgelagert werden. Aus diesen Daten verstehen wir ohne weiteres, warum die Sinnesorgane, sowie die nicht sklerotierten Cuticulapartien des Fliegen- und Phyllodromiakörpers als Eintrittspforten für die beiden Lipoid-löslichen Insektizide anzusprechen sind. Diese Stellen sind die einzigen, bei denen die Stoffe durch die Lipoidbrücke zu den Nervenendigungen gelangen können, ohne durch Sklerotien-Partien daran gehindert zu werden.

### VIII. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurden an Hand einer grossen Anzahl von Versuchen die Eintrittspforten des als Nervengift bekannten Dauerkontaktinsektizides Dichlordiphenyltrichloräthan am Körper von *Calliphora vomitoria*, *Phyllodromia germanica* und der Larven von *Laspeyresia pomonella* und *Calliphora* durch systematisches Betupfen bestimmter Körperstellen mit sogenannten Aktiv-Öl untersucht.

Am Flügel von *Calliphora* konnte durch Betupfen der Sinnesorgane nach mehr oder weniger langer Zeit eine typische Aktivsubstanz-Vergiftung erzielt werden, währenddem alle andern, sinnesorganfreien Stellen am Flügel als Eintrittspforten für das Insektizid nicht in Frage kommen. Durch Einstich der Wirksubstanz in die Nerven führenden Flügeladern konnten Vergiftungen erzielt werden, während das Betupfen der unverletzten gleichen Orte keine Reaktionen ergab. Beim Betupfen der übrigen Körperstellen bei *Calliphora* konnte festgestellt werden, dass auch hier die Eintrittspforten der Wirksubstanz die Sinnesorgane darstellen, während an den sinnesorganfreien, sklerotierten Cuticulapartien keine Permeabilität vorhanden ist. Reaktionen traten ein nach Betupfen der Rüsselscheibe, der Wangen des Kopfes, der Fühlerkeule, der Basis der Halteren, der äussern Genitalorgane, während sie beim Facettenauge, beim Kolben und Hals des Schwingers, den Skleriten der Thoraxoberseite, sowie der Sternite und Tergite des Abdomens ausblieben. Die Intersegmentalhäute mit ihren besonderen Strukturen sind die einzigen Stellen am Fliegenkörper, wo die Aktivsubstanz ohne Hilfe von Sinnesorganen wirken kann.

Bei *Phyllodromia germanica* konnte ebenfalls festgestellt werden, dass die hauptsächlichsten Eintrittspforten für das Insektizid die Sinnesorgane darstellen, während die sklerotierten Partien nicht permeabel sind. Als weitere Eintrittspforten kommen auch hier die nicht sklerotierten Intersegmentalhäute am Abdomen in Frage.

Die mit der Wirksubstanz betrupften ausgewachsenen Raupen von *Laspeyresia pomonella*, verpuppungsreifen Larven von *Calliphora* zeigten in keinem Falle Vergiftungen.

Aus den Versuchen konnte der Schluss gezogen werden, dass der Durchgang des DDT-Insektizids durch die Cuticula abhängig ist von der Struktur, der chemischen Zusammensetzung der Epicuticula und der ganzen Cuticula und auch der lipophilen Eigenschaften des Insektizids. Diese Erkenntnisse werden im Schlusskapitel eingehend diskutiert und es werden allgemeine Schlüsse gezogen.

### Résumé

Dans le présent travail, nous avons exposé les résultats d'un grand nombre d'expériences faites sur le corps de *Calliphora vomitoria* et de *Phyllodromia germanica* adultes et sur les larves de *Laspeyresia pomonella* et de *Calliphora*, en vue de préciser les voies par lesquelles le dichlorodiphényl-trichloréthane, doué d'une efficacité durable et connu comme agent neurotoxique, pénètre dans l'organisme des insectes. Nous avons opéré en humectant systématiquement certaines parties déterminées du corps avec une préparation huileuse de DDT dite « huile active ».

En humectant les organes des sens de l'aile de la *Calliphora* avec l'huile active, nous avons pu provoquer, en un laps de temps plus ou moins long, une intoxication typique, tandis que l'insecticide ne peut pénétrer par aucune des autres parties de l'aile dépourvues d'organes des sens. Nous avons également pu provoquer des intoxications en injectant la substance active dans les nervures de l'aile, conductrices des nerfs, tandis qu'en les humectant aux mêmes places, non lésées, on n'obtient aucune réaction. Le traitement des autres parties du corps de la *Calliphora* nous a permis de constater que la substance active pénètre toujours dans l'organisme à la faveur des organes sensoriels de la cuticule, les parties sclérifiées et dépourvues d'organes sensoriels étant imperméables au DDT. Nous avons enregistré des intoxications après application de la substance active sur la gaine de la trompe, les pièces buccales, la massue de l'antenne, la base du balancier, les organes génitaux externes. Au contraire, aucune réaction n'a été constatée après traitement des yeux à facettes, de l'extrémité et du col du balancier, des sclérites de la partie dorsale du thorax ainsi que des sternites et des tergites abdominaux. Les cuticules intersegmentaires, de structure particulière, sont les seules parties du corps des diptères à travers desquelles la substance active peut agir sans l'aide des organes sensoriels.

Avec *Phyllodromia germanica*, nous avons également constaté que les principales voies par lesquelles l'insecticide pénètre dans l'organisme sont les organes des sens, tandis que les parties sclérifiées sont imperméables. Mais l'insecticide peut aussi agir à travers des cuticules intersegmentaires non sclérifiées.

Les chenilles adultes de *Laspeyresia pomonella* et les larves de *Calliphora* prêtes à la métamorphose, humectées d'huile active, n'ont en aucun cas présenté des symptômes d'intoxication.

Des expériences faites, nous avons pu déduire que la pénétration du DDT. à travers des téguments dépend de la structure, de la composition chimique de l'épicuticule, et de la cuticule tout entière, ainsi que des propriétés lipophiles de l'insecticide.

Nous discutons de ces faits dans le dernier chapitre et en tirons les conclusions générales.

#### ZITIERTE LITERATUR

1. BERLESE, M., 1902. Gli Insetti. Roma.
2. BUDDENBROCK, W., 1919. Pflügers Arch. ges. Physiol. **174**, 125.
3. BUXTON, P. A., 1945. Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg. **38**, 206.
4. DENNELL, R., 1945. Nature, **155**, Nr. 3940.
5. DOMENJOZ, R., 1944. Schweiz. med. Wochenschr. **74**, 952.
6. — 1946. Arch. internat. de Pharmacodynamic et de Therapie **72**, 128.
7. HANSEN, E. L., HANSEN J. W., CRAIG K., 1944. Jl. Econ. Ent. **37**, 853.
8. HARTZELL, A. & WILCOXON, F., 1932, 1933. Contrib. Boyce Thompson Inst. **3**, **4**.
9. HENKE, H., 1924. Zeitschr. f. vergl. Physiol. **1**, 297.
10. HICKIN, N. E., 1945. Nature **156**, 753.
11. HURST, H., 1940. Nature **145**, 462.
12. KLINGER, H., 1936. Arb. physiol. angew. Entomologie, Berlin-Dahlem, **3**, 49.
13. KRAEPELIN, K., 1883. Zeitschr. f. wiss. Zoolog. **39**, 235.
14. KÜHNELT, W., 1928/29. Zoolog. Jahrb. Abt. Anat. **50**, 219.
15. LÄUGER, P., MARTIN, H. & MÜLLER, P., 1944. Helv. Chemica Acta. **27**, 892.
16. JOWNE, B., 1889. Journ. Sci. Soc. London, **20**, 248.
17. MC. INDOO, N. E., 1917. Journ. Morphol. **29**, 184.
18. METCALF, R. L. & KEARNS, C. W., 1946. Tennessee Valley Authority and Dept. of Entomol. Univ. Illinois.
19. NOÉ, G., 1905. Res. Acad. Lincei (5), **14**, Sc. 2.
20. PFLUGSTAEDT, W., 1912. Zeitschr. f. wiss. Zool. **100**, **1**.
21. PRYOR, H. G. H., 1940. Proc. Roy. Soc. London, **128**, 393.
22. ROARK, R. C. & MC. INDOO, N. E., 1944. U. S. Dept. Agr. Agr. Res. Admin. Bur. Ent. Plant Quarant., E. 631.
23. ROEDER, K. D. & WEIANT, A., 1946. Science **103**, 304.
24. RÖHLER, E., 1906. Zool. Jahrb. Abt. Anat. **22**, 225.
25. SCHENK, O., 1903. Zoolog. Jahrb. Abt. Anat. **17**, 233.
26. TRIM, A. R. H., 1941. Nature **147**, 115.
27. THOMSEN, E., 1938. Z. f. Morphol. Ökol. d. Tiere **34**, 416.
28. WIESMANN, R., 1938. Beiblatt zur Vierteljahrsschr. d. Nat. F. Ges. Zürich, **83**, 127.
29. — 1943. Schweiz. Arch. f. Tierheilkunde, S. 25.
30. WIESMANN, R. & FENJVES, P., 1944. Mitt. d. Schweiz. Entomolg. Ges. **19**, 179.
31. WIGGLESWORTH, V. B., 1941. Nature, **147**, 115.
32. — 1929. Quart. Journ. Micr. Sci. **75**, 269.
33. YEAGER, J. F. & MUNSON, S. C., 1945. Science, **102**, 305.
34. ZAWARGIN, V. R., 1912. Zeitschr. f. wiss. Zool. **100**, 342.