

Die insektizide Wirkung von Pyrethrum- und Derrisgiften und ihre Abhängigkeit vom Insektenkörper.

Von Heinz Klinger.

(Aus der Mittelprüfstelle der Biologischen Reichsanstalt.)

(Mit 2 Tafeln und 2 Textfiguren.)

(Schluß).

Stellwaag (1934) berichtet aus seinen Erfahrungen im Weinbau über Zersetzung der Pyrethrine durch alkalische Seifenlösungen, die als Zusatzstoffe Verwendung fanden. Das Alkali spaltet die Ester und verbindet sich mit der entstehenden Säure. In besonderem Maße findet dies nach Stellwaag in Pyrethrine enthaltenden Kupferkalkbrühen bei einem Kalküberschuß statt. Daher ist besonders bei Seifenzusätzen auf die neutrale Reaktion größter Wert zu legen.

Auch eine Verminderung der Giftigkeit von Rotenonaufschwemmungen hat Stellwaag ermittelt und fand einen schnelleren Giftigkeitsverlust, als bei wässrigen Pyrethrumaufschwemmungen. Oelseifen mit Rotenonaufschwemmungen sollen den Giftigkeitsverlust nicht vergrößern, doch soll in alkalischen Brühen die Giftigkeit sehr nachlassen.

Ein weiteres Absinken der Giftigkeit der angewandten Pyrethrum- und Derrisgifte tritt dadurch ein, daß die Giftstoffe sich auf Elättern und Zweigen bald durch Licht und Luft verändern und ihre Giftigkeit verlieren. Den Mitteln kommt daher nur eine „Augenblickswirkung“ zu, sie schädigen und töten nur Insekten, die sie beim Herabfallen treffen. (Kontaktgifte). Eine nachträgliche Berührung der Schädlinge mit dem auf den Pflanzen liegenden Giftstoff hat späterhin keine ausreichende Wirkung. Die Mittel können daher nicht, wie die Arsenmittel, vorbeugend angewendet werden.

B. Vergiftungsverlauf bei Behandlung einzelner Körperteile.

Für den Verlauf meiner Untersuchungen war es wichtig, festzustellen, ob die zu den Versuchen benutzten Pyrethrine und Derrisgifte an allen Körperstellen, zunächst lediglich durch Berührung, gleichmäßig stark wirken, oder ob besonders empfindliche Stellen am Insektenkörper nachweisbar sind. Mit Hilfe eines fein ausgezogenen Glasstabes mit einem fadendünnen Ende war es möglich, winzige Mengen der Giftlösung auf beliebige Körperteile aufzutragen. Dergleichen bewährte sich für diese Versuche eine ebenso feine Kapillare, aus der kleinste Tröpfchen durch eine Gummihaut gepreßt werden konnten. Das Auftragen des Giftes geschah immer unter einem Binokular. Bei diesen Versuchen kam es nicht darauf an, das Tier

abzutöten, sondern bei annähernd gleicher Vergiftung die Empfindlichkeit und Reaktionen einzelner Körperteile zu prüfen. Die Konzentration dieser so aufgetragenen minimalen Giftmenge mußte natürlich sehr viel höher liegen, um deutliche Reaktionen des Tieres hervorzurufen. Ich benutzte daher zu diesen Versuchen den 15 % igen Pyrethrumextrakt.

a) Behandlung der Mundteile und Fühler.

Untersuchungen über die Einwirkung von Pyrethrinen auf verschiedene Körperteile von Insekten liegen von mehreren Autoren vor. So hat Saling (1928) in seiner bereits zitierten Arbeit ein Verfahren zur biologischen Wertbestimmung der Pyrethrine veröffentlicht, in dem er die Methode der peroralen Wirkungsweise verwertete. Er gab Spuren eines Pyrethrumpulvers auf den Stechrüssel von *Stomomya calcitrans* und stellte dabei eine unmittelbar einsetzende Wirkung fest. Die Stechfliegen gingen taumelnd zu Boden, surrten in Rückenlage noch eine Zeit, bis eine völlige Lähmung eintrat. Auch Gößwald (1934) berichtet, daß Nonnenraupen sich bei Bestäubung des Kopfendes am empfindlichsten erwiesen.

Ich habe an einigen Raupenarten die Mundteile behandelt. Auf die Berührung der Maxillartaster erfolgte ein sofortiges Zittern der Taster und starke Bewegung mit den Mandibeln, dasselbe war bei Behandlung der kurzen Fühler zu beobachten. In beiden Fällen sonderten die Tiere Speicheltropfen ab. Diese minimale Vergiftung führte in den meisten Fällen zum Tod der Tiere, wobei alle Vergiftungsphasen nacheinander durchlaufen wurden. Die gleiche Wirkung hatte die Berührung der Ober- und Unterlippe. Nach längerem Seitwärtsschlagen mit dem Kopf und Wischbewegungen an der Unterlage erfolgten nach etwa 10 Minuten die typischen Krümmungen des Körpers.

Besonders auffallend war das Verhalten einer an den Mundteilen vergifteten japanischen Gewächshausheuschrecke (*Tachycines asynamorus*). Sofort nach der Berührung mit dem Pyrethrumextrakt setzten heftige Wisch- und Putzbewegungen mit dem ersten Beinpaar an den Mundwerkzeugen ein. Das Tier bäumte sich häufig auf, und versuchte sich rückwärts zu bewegen. Nach 10—15 Minuten erfolgte ein krampfartiges Zucken des ersten Beinpaares, das sich bald auch auf das zweite Beinpaar ausdehnte. Dabei war das Tier noch in der Lage, auf Berührung Sprünge auszuführen. Nach weiteren 3—5 Minuten krampfte das Tier auch die Sprungbeine an, der ganze Körper begann zu taumeln und allmählich, auf der Seite liegend, zog es die zuckenden Extremitäten ventral dicht an den Körper. Nach 24 Stunden war das Tier tot. Die Vergiftung hatte sich also vom Mund über die einzelnen Extremitätenpaare auf den ganzen Körper ausgedehnt. Diese im Körper fortschreitende Vergiftung war nicht in allen Fällen so deutlich wahrnehmbar, dies hing

vor allem von der Giftmenge ab. Es konnte ja nicht immer genau die gleiche Menge Extrakt bei der schwierigen Ausführung des Versuches an Fühlern oder Palpen haften bleiben. Floß eine etwas größere Giftmenge an der Kontaktstelle ab, so waren die einzelnen Phasen kürzer und zeitlich mehr zusammengedrängt.

Die fast gänzliche Unempfindlichkeit der Stabheuschrecke (*Carausius morosus*) äußerte sich sehr bei Behandlung ihrer Mundteile. Sie zeigte wohl starke Bewegung der Mandibeln, sonderte auch, indem sie schreckhaft rückwärts kroch, einen Flüssigkeitstropfen ab, jedoch überstand sie die Wirkung schon nach 24 Stunden und begann wieder mit dem Fraß. Bei mehrfacher starker Mundvergiftung wurde die Wirkung intensiver, nach taumelnden Bewegungen und Versagen der Beine trat nach 3 bis 4 Tagen der Tod ein.

Auch die Behandlung langer Fühler löste charakteristische Vergiftungssymptome aus. Die Gewächshaushuschrecke *Tachycines asynamoros*, mit einem etwa 5 cm langen Fühler, wurde nach Behandlung einer Fühlerspitze sofort unruhig und begann, den behandelten Fühler durch ihre Mundwerkzeuge zu ziehen und bearbeitete dabei besonders die mit dem Gift in Berührung gebrachte Spitze. In zwei Fällen biß sich das Tier sogar ein ungefähr 0,5 cm langes Stück des Fühlers ab und zeigte nach einer Stunde wieder ganz normales Verhalten. Wurde von einer so behandelten Fühlerspitze nach etwa 30 Sekunden die $\frac{3}{4}$ -Länge des ganzen Fühlers abgeschnitten, so gingen die Vergiftungssymptome weiter, die Wirkung war also schon bis zur Kopfkapsel vorgedrungen. Dagegen zeigte ein ebenso behandeltes Tier keine deutlichen Vergiftungserscheinungen, wenn etwa die Hälfte des Fühlers 1—2 Sekunden nach der Vergiftung abgeschnitten wurde. Das Gift braucht eine gewisse Zeit, um von der Fühlerspitze aus auch in Kopf und Körper seine Wirkung entfalten zu können. Eine große Zahl ähnlicher Versuche wurde an Käfern und Tagfaltern ausgeführt. In allen Fällen war eine überaus hohe Empfindlichkeit der Tiere an Fühlern und Mundteilen festzustellen.

Bei gleicher Anwendung von Rotenon und der gemahlenden Derriswurzel in so kleinen Mengen an den Kopforganen wurde keine Vergiftung ausgelöst. Das Verhalten der Tiere war ein völlig normales, spätere Vergiftungserscheinungen traten nicht ein.

b) Behandlung einzelner Körpersegmente.

Wie verhalten sich nun die Tiere bei Behandlung einzelner Körpersegmente und setzt die Giftwirkung am Integument an allen Stellen gleichmäßig ein? Buchmann (1929) hat diese Frage an Fliegenlarven (*Musca domestica*) untersucht, indem er der Reihe nach einzelne Körpersegmente mit einem Pyrethrumpulver behandelte und die Zeiten der ein-

tretenden Reaktionen mit der Stoppuhr feststellte und die Symptome beschrieb. In diesen Versuchen stellte sich heraus, daß bei Behandlung des 1. und 2. Segmentes (Pharyngealregion) die erste Reaktion der Larve nach 30—35 Sekunden einsetzte, bei Behandlung des 5. und 6. Segmentes nach nur 5 Sek.

Die Wirkung war am heftigsten und in den Exzitationsstadien am kürzesten bei Behandlung des 5. und 6. Segments. Buchmann vergleicht die Lage des Nervensystems mit diesen Ergebnissen und findet im 5. und 6. Segment die Hauptnervenmasse, also die Stelle, an der die Wirkung der Pyrethrine am heftigsten ist.

Ich habe nach Buchmanns Verfahren einzelne Raupen von *Smerinthus ocellletta* mit Pyrethrinen behandelt und die einsetzenden Reaktionen beobachtet.

Behandlung des:	Zeit in Sek. bis zur ersten Reaktion
1. und 2. Segm.	25—30
3. „ 4. „	35—40
5. „ 6. „	40—60
7. „ 8. „	40—60
9. „ 10. „	50—70

Aus den gemessenen Zeiten geht die schnellere Wirkung bei Behandlung der ersten Segmente, eine ungefähr gleichbleibende, aber später einsetzende, bei Behandlung der Mittelsegmente und eine noch spätere und langsamere Wirkung bei Behandlung der letzten Segmente hervor. Diese Feststellung haben auch Hartzell und Wilcoxon (1932) an Raupen gemacht. Die Lage der Ganglien kann hier ebenfalls zur Erklärung der Unterschiede herangezogen werden. Nahe dem Kopf- und Unterschlundganglion ist die Wirkung heftiger, am Abdomen ist sie in den meisten Segmenten gleich stark, da auch die Innervierung ungefähr die gleiche ist; im letzten Segment kann die Wirkung am langsamsten in Erscheinung treten, da die beiden zusammengedrückten Ganglien von der Berührungsstelle weiter entfernt liegen. Beobachtungen an Kiefernspinnerraupen und Nonnenraupen zeitigten grundsätzlich die gleichen Ergebnisse. Weiterhin war zu beobachten, daß eine am gleichen Segment einer Raupenart, aber an verschiedenen dicht nebeneinander liegenden Stellen, aufgetragene gleiche Giftmenge ungleich lange Zeiten brauchte, um als Reiz an den Angriffsstellen wirksam zu werden. Dies konnte an der Reaktion des Tieres ermittelt werden, denn sobald das Gift seine erste Reizwirkung entfaltete, fuhr die Raupe ruckartig mit dem Kopf nach dem behandelten Abdominalsegment. Diese Reaktion trat bei Behandlung einer kleinen Stelle über dem Rückengefäß schneller ein, als bei Behandlung einer mehr lateral über den Stigmen gelegenen Stelle. Das Gift kann also nicht an allen Stellen der Cuticula gleich schnell zur

Wirkung kommen. Nach diesen Feststellungen stimmt es also nicht, wie Umbach (1934) sagt, daß es keine Stelle maximal schneller Wirkungsweise gibt und daß sich die Giftwirkung überall etwa gleich schnell äußert.

Bei Versuchen mit der Stabheuschrecke äußerte sich wiederum die sehr große Widerstandsfähigkeit des Tieres. Auf ein Bestreichen des Rückens mit 15%iger Pyrethrumextraktlösung erfolgte erst nach ungefähr 8 Minuten unruhiges Hin- und Herlaufen, Krümmung des Abdomens und einzelner Extremitäten. Nach 24 Stunden kann sich das Tier noch auf dem vordersten Extremitätenpaar langsam fortbewegen, 3 Tage später hat sich das Tier völlig erholt und beginnt mit dem Fraß.

Bei der gleichen Rotenon- und Derriswurzelbehandlung waren wiederum nicht die geringsten Vergiftungserscheinungen festzustellen.

c) Behandlung der Extremitäten.

Um noch weiter in das Wesen der Pyrethrinwirkung Einblick zu erhalten, habe ich noch Extremitäten und äußere Körperorgane auf ihre Empfindlichkeit untersucht. Hierzu war ein geeignetes Tier der Weberknecht (*Phalangium opilio* L.) Ließ ich das Tier über eine Glasplatte laufen, auf der das 0.15%ige Pyrethrinstäubemittel in dünner Schicht haftete, so erfolgte sehr schnell erregtes Hin- und Herlaufen. Die Beine wurden unter Zuckungen angezogen und die Tarsen häufig an die Mundteile geführt, wobei das Tier den Tarsus mit den Mundwerkzeugen heftig bearbeitete. Bald sank der Leib auf den Boden, da die Beine nicht mehr imstande waren, den Körper zu tragen. Die Tarsen rollen sich spiralig unter Zittern und Zuckungen der ganzen Extremität ein. Nach 48 Std. ist das Tier tot. Auch Hartzell und Wilcoxon (1932) haben eine typische Pyrethrinwirkung bei Behandlung eines Tarsus von *Macroductylus subspinosus* Fabr. festgestellt. Die Tarsenbehandlung an Stabheuschrecken löste dagegen fast gar keine Wirkung an dem Tier aus, selten war ein leichtes Anziehen der Extremitäten sichtbar. Sonst war bei allen von mir untersuchten Insektenarten eine relativ hohe Empfindlichkeit an den Extremitäten festzustellen. Die Wirkungsweise verlief bei Anwendung geeigneter Konzentrationen folgendermaßen: Von einer behandelten Extremität ging die Wirkung auf die entsprechende Extremität der anderen Seite über und dehnte sich sodann auf die übrigen Beinpaare und den ganzen Körper aus.

Von Körperanhängen habe ich die Flügelspitzen von Bienen, Wespen und Tagfaltern auf ihre Empfindlichkeit geprüft. Sofort nach der Berührung mit dem Gift setzte ein aufgeregtes Umherfliegen ein, das allmählich schwächer wurde. Die Tiere fielen auf den Boden, zeigten ein Zittern der Flügel, krampften die Extremitäten zusammen und waren nach kurzer Zeit völlig gelähmt.

Schneidet man einer Schwammspinnerraupe die Spitzen der langen Rückenhaare ab und bringt die Haarstümpfe mit Pyrethrin in Berührung, so erfolgen nach etwa 2 Minuten die typischen Vergiftungserscheinungen.

Die gleichen Versuche mit Rotenon und der gemahlten Derriswurzel verliefen auch hier negativ.

d) Behandlung durch Injektion.

Ganz kurz möchte ich noch auf die Wirkung von Pyrethrininjektionen hinweisen. Mit einer graduierten Injektionsspritze habe ich 0,2 ccm der 0,00018 % igen Pyrethrin enthaltenden Giftemulsion injiziert. Bei lateral injizierten Raupen trat eine augenblickliche Wirkung ein, die Tiere krümmten sich sofort und zeigten ein heftiges Exzitationsstadium, das aber schon nach 2 Minuten einer fast völligen Lähmung Platz machte. Bei Pyrethrumextraktinjektion war nur ein kurzes heftiges Schlagen des Körpers sichtbar, worauf die Lähmung sofort eintrat. Lateral injizierte Stabheuschrecken zeigten sofort heftige Erregung, das Abdomen wurde aufwärts gebogen, die Extremitätenpaare wurden angezogen, das Tier fiel in Rückenlage und war nach 3—5 Minuten völlig gelähmt.

Einer in einer Schale befindlichen Stabheuschrecke wurde mit scharfer Schere der Kopf abgeschnitten. Das Tier blieb danach ruhig in seiner Lage, auf die Extremitäten gestützt, 24 Stunden ohne Bewegung. Berührte ich danach die Schnittstelle mit Pyrethrumextrakt, so setzten bald heftige, krampfartige Bewegungen und besonders auffälliges Rückwärtskriechen ein. Das Tier machte mit dem vordersten Extremitätenpaar Wischbewegungen nach der Schnittstelle und war noch fähig, über den Tisch zu laufen. Nach $\frac{1}{4}$ Std. erst war die Wirkung so weit fortgeschritten, daß das Tier taumelte und in Rückenlage fiel.

Eine auf dieselbe Weise dekapitierte Stabheuschrecke wurde an dem aus der Schnittstelle hervortretenden Tropfen Haemolymphe ohne Berührung von Gewebeteilen mit Pyrethrumextrakt in Kontakt gebracht. Der Tropfen haftete dabei weiter an der Schnittstelle, ohne daß eine Reaktion des Tieres zu bemerken war. Dekapitierte Tiere reagierten auf Injektionen in normaler Weise.

Zum Vergleich injizierte ich eine physiologische Kochsalzlösung, die die Tiere ohne Giftzusatz gut vertrugen. Setzte ich der Salzlösung kristallines Rotenon zu und ließ die Lösung mehrere Tage stehen, so wurde eine Injektion mit dieser filtrierte Lösung auch in den meisten Fällen ohne Schaden ertragen. Eine Lösung des Rotenons kann also nicht erfolgt sein (vgl. Tischler 1935).

C. Nachweis der Giftwirkung im Tierkörper.

Der in den vorhergehenden Abschnitten beschriebene Vergiftungsverlauf läßt die Annahme zu, daß die Pyrethrine Nervengifte sind, die

vermutlich über die Nervenbahnen auf das nächstliegende Ganglion wirken, von hier aus auch die übrigen Ganglien beeinflussen, so daß alle innervierten Körperteile einer Lähmung verfallen. Trifft diese Vermutung zu, so besteht die Möglichkeit, wie sich aus Untersuchungen anderer Autoren ergibt, die Einwirkung der Pyrethrine histologisch in den Ganglien nachzuweisen.

Andererseits habe ich bei den Derrisgiften keine Beobachtung machen können, die auf eine Nervengiftwirkung hindeutete. Hier scheint es sich vielmehr um Stoffwechselgifte zu handeln, deren Wirkung sich im Organismus auf kein bestimmtes Organ erstreckt, so daß auch der Versuch, eine Gifteinwirkung an einzelnen Organen histologisch nachzuweisen, mißlingen mußte.

a) Untersuchung des Nervensystems.

Bisher ist noch keine Methode bekannt geworden, die Pyrethrine chemisch im Insektenkörper nachzuweisen. Versuche, die Pyrethrineinwirkung auf das Nervensystem histologisch nachzuweisen, haben aber schon Wilcoxon und Hartzell (1932) durchgeführt. Zu diesem Zwecke haben sie den ventralen Nervenstrang von *Tenebrio militor*-Larven, die in konzentriertem Pyrethrumextrakt getaucht waren, in Querschnitten untersucht und fanden bei Anwendung einer Tolluidinblaufärbung, im Gegensatz zu Schnitten unbehandelter Tiere, zerstreut in dem sonst blaufärbten Schnitt, besondere violett erscheinende Zellen. Außerdem waren manche Stellen vakuolisiert mit dunkelblauer Randfärbung. Schnitte durch Kopfganglien haben die Verfasser wegen technischer Schwierigkeiten nicht ausgeführt. Hartzell (1934) hat in einer späteren Arbeit die Pyrethrineinwirkung auf Ganglienknotten von einer Heuschreckenart und von Mehlwurmlarven histologisch festgestellt und beschreibt außer den gleichen Veränderungen eine Zelldegeneration in der Rindenschicht des Oberschlundganglions, sowie in geringerem Maße auch in den Rumpfganglien von Heuschrecken. Weiterhin konnte er eine Tigrolysis und häufige Vakuolisierung des Gewebes erkennen. An den Konnektiven waren diese Veränderungen weniger und seltener wahrnehmbar. Von deutscher Seite hat Krüger (1931) Untersuchungen an den durchsichtigen Corethralarven ausgeführt. Er findet starke Vakuolisierung im Bauchmark und übrigen Nerven und betrachtet daher das Nervensystem als das Hauptangriffszentrum des Giftes.

Zur Feststellung, ob die Ergebnisse vorgenannter Autoren auch auf Raupenarten zutreffen, habe ich Schnitte durch Rumpf- und Kopfganglien behandelter und unbehandelter Tiere ausgeführt.

Ich ging zunächst von der Annahme aus, daß bei stärkster Konzentration der Pyrethrine und langer Einwirkungszeit sich die Vergiftung:

auch am intensivsten an den Ganglien zeigen müsse. Aus diesem Grunde ließ ich den 15%igen Pyrethrumextrakt auf der ganzen Dorsalseite einer Schwammspinnerraupe (5. Stad.) 24 Stunden lang einwirken. Die Raupe zeigte vor der Fixierung keinerlei Bewegung mehr, doch konnte ich an dem aufgeschnittenen Tier noch ganz schwache Kontraktionen des Rückengefäßes erkennen.

Aus Taf. 2 Fig. 1 ist ersichtlich, daß eine vollständige Zerstörung aller Zellelemente eingetreten ist. Die Rinden- oder Neuronschicht fällt durch einen dicken Farbniederschlag auf. Dasselbe Bild ergab sich in sämtlichen Ganglienknoten des Bauchmarkstranges.

Es ist anzunehmen, daß die starke Rissigkeit im Neuropilem z. T. durch die Behandlung (Fixierung) entstanden ist, die Degeneration der Neuronschicht ist aber doch so auffallend deutlich, daß unter Berücksichtigung der nächsten Bilder und der vielen sonst noch von mir erhaltenen Schnitte eine durch die Giftwirkung verursachte Veränderung sicher ist. In Fig. 2 ist ein Schnitt durch ein in gleicher Weise fixiertes und gefärbtes Ganglion einer unbehandelten Schwammspinnerraupe (5. Stad.) wiedergegeben.

Nach diesem Ergebnis behandelte ich nur zwei Mittelsegmente einer gleichaltrigen Schwammspinnerraupe mit einer geringeren Menge des 15%igen Pyrethrumextraktes und ließ das Gift ebenfalls 24 Stunden einwirken, wonach die Raupe zwar gelähmt war, aber noch geringe Bewegungen erkennen ließ. Die Schnitte durch die den behandelten Segmenten zugehörigen Ganglienknoten sowie auch durch Thorax und Abdominalganglien zeigten im allgemeinen das gleiche Bild. Doch war eine Veränderung in den den behandelten Segmenten entsprechenden Ganglien in vielen Fällen deutlicher und größer. Hieraus ist der Schluß zu ziehen, daß die Vergiftung im Bauchmarkstrang zum Kopf- und Kaudalende hin von den zunächst betroffenen Ganglien aus fortschreitet.

Fig. 3 zeigt einen Schnitt durch das Ganglion eines behandelten Mittelsegmentes. Die Ganglienzellen scheinen mehr isoliert, teilweise ist das Zellplasma aufgelöst, so daß von der Zellstruktur kaum etwas zu erkennen ist. Starke Vakuolen sind am Rande des Neuropilems sichtbar, während in der Neuronschicht wieder ein dicker Farbniederschlag zu erkennen ist. Im Gegensatz zu Hartzell konnte ich eine Tyroglycolysis an den weniger angegriffenen Neuronen mit Sicherheit nicht feststellen.

Fig. 4 zeigt einen Schnitt durch die Kopfkapsel desselben Tieres mit einem Teil des Oberschlundganglions. Auch hier ist im Gegensatz zum normalen Bild eine deutliche Veränderung sichtbar. In der Ganglienzellschicht erscheinen die einzelnen Neurone isoliert und von Vakuolen und Lücken umgeben. Wiederum ist ein starker Farbniederschlag in der Neuron-

schicht vorhanden. Das gleiche Bild bieten Schnitte durch das Unterschlundganglion.

Taf. 2 Fig. 5 stellt einen Schnitt durch das Oberschlundganglion einer gleichaltrigen unbehandelten Schwammspinnerraupe dar. Hier ist die Nervenmasse zusammenhängend und ohne Zerstörungen sichtbar.

Weiterhin vergiftete ich eine Schwammspinnerraupe an den Mundteilen mit einem Tröpfchen Pyrethrumextrakt und ließ das Gift gleichfalls 24 Stunden einwirken. Schnitte durch das Oberschlund- und Unterschlundganglion boten ein ähnliches Bild wie Taf. 2, Fig. 4. Also auch hier war die Vergiftung vom Mund zum Kopfganglion gedrunken. Die Abdominalganglien dieser Raupe ließen weniger deutliche Unterschiede erkennen, so daß ich hier größere Veränderungen nicht nachweisen konnte. Immerhin war auch hier der Zellverband gelockert.

Erwähnenswert ist noch, daß in Schnitten durch Bauchmarkganglien von Nonnenraupen bei gleicher Gifteinwirkung kaum Veränderungen erkennbar waren. So grobe Unterschiede zwischen Schnitten behandelter und unbehalteter Tiere wie in Taf. 2, Fig. 1 und 2 bei Schwammspinnerraupen waren nicht festzustellen. Vielleicht ergibt sich hieraus ein Zusammenhang mit der großen Widerstandsfähigkeit von Nonnenraupen gegen Pyrethrine.

Ich habe endlich noch die Ganglienknotten von den gegen Pyrethrine am meisten widerstandsfähigen Stabheuschrecken untersucht. Da durch Berührung selbst mit Pyrethrumextrakt eine Abtötung nicht eintrat, injizierte ich, wie auf p. 120 erwähnt, Pyrethrumextrakt und ließ das Gift 10 Stunden einwirken. Die Tiere waren völlig gelähmt, zeigten aber noch ganz geringe Fühlerbewegungen. Schnitte durch die Abdominalganglien (Taf. 2, Fig. 6) ließen sehr deutliche Veränderungen zum normalen Bild erkennen. Eine Degeneration der Neuronzellen mit dazwischenliegenden Lücken und Vakuolen ist deutlich sichtbar.

Taf. 2, Fig. 7 zeigt zum Vergleich einen Schnitt durch ein Abdominalganglion einer unbehalteten Stabheuschrecke.

Ob die ganz groben Veränderungen besonders in Taf. 2, Fig. 1 durch aktive Zerstörung der Pyrethrine in so hohem Maße und selbst bei so hoher Konzentration hervorgerufen werden, möchte ich bezweifeln. Es ist auch denkbar, daß das Gift durch qualitative Umsetzungen innerhalb der Nervenmasse diese so verändert, daß durch die Einwirkung des Fixiermittels ein Bild entsteht, welches den wirklichen Verhältnissen nicht mehr entspricht. Die Pyrethrine als Lipoid-lösliche Stoffe (Ester) haben eine besondere chemische Affinität zu der stark lipoid- und fetthaltigen Nervensubstanz und können mit dieser besonders leicht reagieren. Nach den Ergebnissen anderer Autoren und meinen Untersuchungen kann aber als

sicher eine Einwirkung der Pyrethrine auf das Nervensystem angenommen werden.

Rotenon- und Derriswurzelbehandlung verursachte an den Tieren keinerlei Veränderungen in den Ganglien (vgl. Hartzell, 1934).

Die Einwirkung der Pyrethrine auf das Nervensystem macht das Krämpf stadium und die darauf folgende Lähmung verständlich. Ist es nun so, daß die Leitungsbahnen nicht mehr funktionieren, was nach den Ganglienschnitten anzunehmen ist, so muß sich das auch in einer verminderten Leitfähigkeit des Nerven ausdrücken. Diesen Versuch konnte ich mit Hilfe eines Saitengalvanometers am Bauchmarkstrang behandelte und unbehandelte Raupen ausführen. Ich benutzte hierzu die bereits auf p. 54 erwähnte Methode. Da ich das Saitengalvanometer nicht mit dem Schlitteninduktorium geeicht habe, kann ich nicht die Messung der Stromstärke angeben, sondern ich kann an den verschiedenen starken Ausschlägen des Fadens nur eine geringere oder größere Leitfähigkeit des Nervenstranges erkennen. Die Messungen wurden bei jedem Versuch an mehreren Tieren wiederholt, die Ausschläge wurden einzeln registriert.

So wurde z. B. eine unbehandelte Schwammspinnerraupe (5. Stad.) dorsal aufgeschnitten, der Darm wurde entfernt und die Cuticula ausgebreitet und festgesteckt. An dem einen Ende des so freigelegten Bauchmarkstranges wurden die Fäden der unpolarisierbaren Elektroden angelegt und an dem anderen Ende wurde gereizt.

Die Ausschläge der Saite betragen:

23 bis 23,5 Teilstriche.

Der gleiche Versuch wurde darauf mit einer auf der ganzen Dorsalseite mit Pyrethrumextrakt behandelten Raupe ausgeführt, das Gift ließ ich bis zur völligen Lähmung 2 Stunden einwirken.

Die Ausschläge der Saite betragen:

nur 5 Teilstriche.

Dieselben Versuche führte ich an Kiefernspinnerraupen im 5. Stadium aus. Das Ergebnis war bei unbehandelten Tieren folgendes:

Ausschläge des Fadens: 21 bis 22 Teilstriche.

Bei mit Pyrethrumextrakt behandelten Tieren betragen die Ausschläge des Fadens nach zwei Stunden Einwirkung:

3 bis 4 Teilstriche.

Die Versuche lassen ein beträchtliches Absinken der Leitfähigkeit im Nervenstrang nach einer Pyrethrinvergiftung erkennen und sind ein weiterer Beweis dafür, daß die Pyrethrinwirkung sich auf das Nervensystem erstreckt.

Messungen der Leitfähigkeit des Nervenstranges an Rotenon- und Derriswurzel vergifteten Raupen wurden nicht ausgeführt.

b) Untersuchung der Muskulatur.

Die Pyrethrine werden von vielen Autoren als neuro-muskuläre Gifte bezeichnet. Die Einwirkung auf Muskeln hat Chevalier an einer vergifteten Grille untersucht. Hierbei zeigte sich die paralyisierende Wirkung der Pyrethrine, die in einer starken Kontraktion, die allmählich langsamer wurde, ihren Ausdruck fand. Chevalier und Ripert haben darauf die Veränderungen der Nerven und Muskelchronaxie untersucht und stellten an vergifteten Muskeln fest, daß die Chronaxie bei langsamer Kontraktion fortschreitend von 1 bis 4 gesteigert wird, während die Nervenchronaxie unverändert bleibt.

Rigal und Gautrelet (1932) haben die Wirkung der Pyrethrine auf verschiedene isolierte Organe geprüft, z. B. auf die isolierte Uterusmuskulatur eines jungen Kaninchens und auf den Magenmuskel der Grille. Dabei stellten sie ein Nachlassen des Tonus und der Kontraktionen sowie eine Lähmung fest. Danach ist anzunehmen, daß auch die Muskulatur einer Pyrethrineinwirkung unterliegt, da besonders bei Insekten der Muskeltonus sehr schnell und vollständig nachläßt.

Bei mikroskopischer Untersuchung von Muskelbündeln behandelter Raupen sind aber keine Veränderungen in der Struktur der Muskeln nachzuweisen. Ein Zupfpräparat mit einer Supravitalfärbung (Kresylechtviolett) ließ ebenfalls zwischen behandelten und unbehandelten Muskeln keine sichtbaren Unterschiede hervortreten. Die Wirkung auf die Muskulatur scheint am lebenden Insekt in der Hauptsache eine Folge der Nervenlähmung zu sein. Durch die Einwirkung auf die Ganglien und das Sinken der Leitfähigkeit im ventralen Nervenstrang, wird die motorische Funktion in Mitleidenschaft gezogen, wodurch die Muskulatur ihren Tonus verliert. v. Holst (1935) hat nachgewiesen, daß der Muskeltonus und die Reizbarkeit bei Raupen in einem Segment sofort aufhört, sobald eine Durchschneidung der von dem zugehörigen Ganglion abzweigenden Nerven erfolgt. Dieselben Erscheinungen sind bei einer Pyrethrinvergiftung im Lähmungsstadium einer Raupe zu beobachten.

Bei Rotenon- und Derriswurzelbehandlung war ebenfalls mikroskopisch keine Einwirkung auf die Muskulatur festzustellen.

c) Untersuchung der Körpersäfte.

Bei der Frage nach den Angriffspunkten der Pyrethrine tauchte die Vermutung auf, ob vielleicht eine Einwirkung des Giftes auf die Haemolymphe stattfinde, so daß die Gifte vielleicht auf diesem Wege zu den Nervenzentren gelangen. Obwohl alle Beobachtungen gegen diese Möglichkeit sprechen, habe ich die pH-Werte der Körperflüssigkeit vor- und nach der Pyrethrineinwirkung gemessen und fand sie nach 5 stündiger Einwirkungszeit nicht verändert. Eine mikroskopische Untersuchung der

Haemolympe behandelter Tiere ließ ebenfalls keine Unterschiede zu der unbehandelter Tiere erkennen. Weiterhin stand mir eine Methode zur Verfügung, die Leitfähigkeit kleinster Tröpfchen Haemolympe zu messen (Langenbuch 1934). In einer großen Zahl von Messungen war eine Veränderung der Leitfähigkeit nach einer mehrstündigen Pyrethrin-einwirkung nicht nachzuweisen.

In einer größeren Reihe von Versuchen, prüfte ich noch die Schwärzung der Haemolympe behandelter und unbehandelter Tiere an der Luft (Melaninbildung durch oxydierendes Ferment) und die Oxydation in Tyrosinlösung. Auch hier waren keine bedeutenden Unterschiede erkennbar.

Nach meinen Beobachtungen glaube ich nicht, daß die Pyrethrine auf die Haemolympe eine Einwirkung ausüben.

Schlupfwespenlarven, die in Pyrethrin-vergifteten Kohlweißlingsraupen schmarotzen, verpuppen sich normal und zeigen keine Schädigung. Auch dies spricht gegen eine Einwirkung auf die Körpersäfte.

Eine Einwirkung von Rotenon oder gemahlener Derriswurzel auf die Haemolympe war mikroskopisch ebenfalls nicht sichtbar.

D. Art der Giftwirkung.

Der bei der Behandlung von Insekten und bei der Behandlung einzelner Körperteile der Tiere beobachtete Vergiftungsverlauf ist für die Pyrethrine eindeutig. Die Giftwirkung ist durch bestimmte Wirkungszustände gekennzeichnet: Ruhestadium, Erregung, Krämpfe, Lähmung und Tod. Bei lokaler Anwendung der Pyrethrine erstreckt sich die Giftwirkung deutlich von der Applikationsstelle auf das nächste Nervenzentrum, breitet sich auf die nächstfolgenden Ganglien aus und bewirkt eine Lähmung aller von diesen Ganglien innervierten Körperteile.

Die Untersuchungen zum Nachweis der Pyrethrineinwirkung ergaben eine histologische Veränderung in den Nervenzentren und eine starke Herabsetzung der Leitfähigkeit der Nervenbahnen. Die Pyrethrine wirken also als Nervengifte.

Die Vergiftungserscheinungen bei Rotenon- und Derriswurzel-einwirkung sind gänzlich andere. Vergiftete Tiere verharren lange in Schreckstellung, um ganz allmählich nach einer völligen Erschlaffung der Muskulatur und des ganzen Körpers (Turgor) abzusterben. Die Vergiftung ist also ein allmähliches Dahinsiechen und der Tod tritt erst nach längerer Zeit ein. Die Untersuchungen zum Nachweis der Einwirkung von Derrisgiften auf einzelne Organe haben keine positiven Ergebnisse gezeigt. Eine Klärung des Wesens der Derrisgiftwirkung ist schon von mehreren Autoren versucht worden. Diese Untersuchungen sind vielfach an Wirbeltieren durchgeführt worden, da die giftige Eigenschaft des

milchigen Saftes der frischen Derriswurzel als Pfeilgift gegen Fische und auch Säugetiere zuerst bekannt war.

van Hasselt (1911) untersuchte die Wirkung des Derrisharzes an Fischen, Fröschen, Kaninchen u. a. auf Zirkulation des Blutes, Atmung, Darmtraktus und Nervensystem. Aus seinen Versuchen schloß er, daß das Gift durch eine Atmungslähmung wirke. Auch Campbell (1916) hat die Wirkung wässeriger Extrakte und des frischen milchigen Wurzel-extraktes an Wirbellosen und Wirbeltieren untersucht. Hierbei stellte Campbell fest, daß ein Auszug von 0,08 g Wurzel bei einer Kröte noch als Magengift tödlich wirkte. Aus seinen weiteren Versuchen folgert er, daß das Gift auf die höheren Glieder des Tierreiches schneller wirkt als auf die niederen. Diese Tatsache erklärt er damit, daß die Wirkung sich auf das Gehirn erstreckt, und zwar vornehmlich auf die Medulla oblongata. Eine Magengiftwirkung mit Todeserfolg ist auch an Hunden und Katzen beobachtet worden, die ihr gegen Ektoparasiten mit Derrispulver eingestäubtes Fell ableckten (Eidmann 1925).

Die Wirkung auf Insekten haben McIndoo, Sievers und Abbott (1919) geprüft, sie stellen ebenfalls eine starke Magengiftwirkung bei Kartoffelkäferlarven (desgl. Turner [1932]) und eine Kontaktgiftwirkung bei Blattläusen fest. Den sicheren Nachweis einer Eindringungsfähigkeit des gefärbten Derrispulvers durch das Integument von Seidenraupen konnten die Verfasser nicht erbringen.

Vor kurzer Zeit ist ein wertvoller Beitrag zur physiologischen Derrisgiftwirkung an Insekten erschienen. Tischler (1935) hat die Frage der Absorption und die physiologische Wirkungsweise von Derrisgiften besonders bei Insekten untersucht. Verf. gibt eine allgemeine Zusammenstellung von Ergebnissen und kündigt einen folgenden Bericht über die Untersuchungsmethoden an. Nach seinen Angaben durchdringt das Derrispulver die Cuticula der Insekten und soll von der Körperflüssigkeit oder von Körpersekreten extrahiert werden. Zur Begründung führt Tischler an, daß schon Wasser allein genügend aktive giftige Stoffe der Wurzel in Lösung oder suspensioide Form zu bringen vermag, deren Wirkung auf Insekten feststellbar ist. Daß Wasser diese Fähigkeit besitzt, geht nach Meinung Tischlers aus der hohen Wirkung von Derrispulver auf Fische hervor. Die Extraktion durch Körpersäfte soll auch mit genügender Schnelligkeit geschehen, mit der Begründung, daß bei Extraktionsverfahren von ganz kurzer Dauer der gleiche Prozentsatz an Extraktstoffen erhalten wird, wie bei einer Extraktionsdauer von 2 Tagen. Theoretisch stellt sich Tischler die Extraktion und Absorption der Giftstoffe am Insektenkörper sowie die Durchdringung des Integumentes durch ein Konzentrationsgefälle auf osmotische Weise an den dünnen und drüsigen Stellen der Oberfläche vor. Aus Untersuchungen an Fröschen.

teilt Verf. mit, daß Derrisgifte keine spezifische Wirkung auf motorische Nerven und die von ihnen innervierten Muskeln haben, daß vielmehr die Einwirkung der Gifte auf Nervenregbarkeit, Muskeltonus und Zirkulation sekundärer Natur zur sein scheinen. Nach Untersuchungen an Insekten soll vielmehr, in Übereinstimmung mit Ergebnissen anderer Autoren an Wirbeltieren, durch die Giftstoffe die Atmung gehemmt, die Nutzbarmachung des Sauerstoffs in den Zellgeweben verhindert werden. Mit Derrisgiften behandelte Insekten zeigten sehr deutliche Atemstörungen. Mit einem Respirometer hat Verf. ein Sinken des respiratorischen Wertes nach Gifteinjektion von 92 % auf 42 % der normalen Atmung festgestellt. Trotz eines viel geringeren Sauerstoffverbrauchs der vergifteten Insekten ergab sich, ähnlich der Normalatmung, ein konstantes, periodisches Anwachsen der Atmung bei einer Messungsdauer von 2 Stunden. Nach diesen Untersuchungen wirken Derrisgifte schädigend auf die innere Zellatmung, indem sie den normalen Sauerstoffverbrauch hemmen. Das Tier erleidet also, wie auch aus den beschriebenen Symptomen zu schließen ist, einen langsamen inneren Erstickungstod. Dies würde auch das späte Absterben der Tiere zwischen dem 6. bis 8. Tage nach der Vergiftung verständlich machen. Es erklärt sich daraus auch die Tatsache, daß mit zunehmender Giftmenge eine entsprechend höhere und schnellere Sterblichkeit der Tiere einhergeht. Geringe Konzentrationen lösen nur vorübergehende Störungen der Oxydationsprozesse aus, während eine höhere Konzentration eine größere und zeitlich schnellere Wirkung entfalten muß.

Im allgemeinen wächst aber die Geschwindigkeit eines Vergiftungsvorganges sehr viel stärker, als der Menge des Giftes entsprechen würde. Dies ist so zu verstehen, daß die Widerstandsfähigkeit und Tätigkeit der Zellen mit zunehmender Gifteinwirkung sehr schnell nachläßt.

Tischler hat noch eine ganz ähnliche toxikologische Wirkung zwischen Derrisgiften und Stickstoff festgestellt. An *Cyclops* und *Amöben* konnte er bei beiden Vergiftungen ganz ähnliche Erscheinungen beobachten. Dagegen konnte er eine Einwirkung der Derrisgifte auf *Bakterien* und einige *Ziliaten* nicht erkennen.

II. Abhängigkeit der Giftwirkung vom Insektenkörper.

Wie gelangen nun die Gifte durch die Chitincuticula in das Innere des Insektenkörpers und sind die großen Empfindlichkeitsunterschiede der einzelnen Arten und Altersstadien vielleicht durch verschiedene Stärke und Struktur des Chitins oder durch das Vorhandensein besonderer Giftportalen, wie Hautsinnesorgane, bedingt?

a) Die Cuticula.

Aus Bekämpfungsergebnissen in der Praxis hat die Meinung auch in der Literatur allgemeine Verbreitung gefunden, daß die empfindlicheren

Arten der Großschädlingsraupen die „Nacktraupen“ und die giftwiderstandsfähigeren die „behaarten“ Raupen seien. Diese Auffassung wurde ohne Rücksicht auf den Biotop der Schädlinge ganz allgemeingültig vertreten. Zu dieser Auffassung kam man, als bei Bestäubungen im Wald von den behaarten Arten meist ein größerer Prozentsatz überlebender Tiere festgestellt wurde. Als Ursache dafür nahm man den besseren mechanischen Schutz durch das Haarkleid an. Eingehende Untersuchungen sind in dieser Richtung kaum angestellt worden. Eine dichte Behaarung gewährt der Raupe gegen staubförmige Berührungsgifte natürlich einen Schutz, wie es aus Tabelle 1. und Taf. 3 Fig. 9 für Goldafertraupen zutrifft, die Empfindlichkeit des Tieres aber zeigt sich deutlich bei der Verwendung von Spritzmitteln, die zur Abtötung sämtlicher Versuchstraupen führten. Es konnte also, wie aus diesen Versuchen hervorging, die Behaarung kein Maßstab für die tatsächliche Empfindlichkeit sein, zumal eine Reihe von Nacktraupenarten eine viel größere Widerstandsfähigkeit als manche behaarten Arten zeigten.

Da nun die Berührungsgifte durch die Cuticula hindurch ihre Wirkung entfalten, wird diese zunächst auch in ihrer Struktur und allen ihren Ausbildungen zu untersuchen sein, um vielleicht schon durch morphologische Verschiedenheiten die Hauptursachen der Giftempfindlichkeitsunterschiede klären zu können.

1. Struktur und Bau des Chitinskeletts mit Berücksichtigung der Hautsinnesorgane.

Vorerst sei ganz kurz auf einige Merkmale der Bildungsweise und des Aufbaues der Cuticula hingewiesen, dabei nehme ich auf Taf. 2 Fig. 9, einen Schnitt durch die Seidenraupenhaut im letzten Stadium, Bezug. Die einschichtige Hypodermis (Epidermis) hat als chitinogene Schicht zur Zeit der Chitinbildung hohe zylindrische Zellen, die, nachdem die Chitinabsonderung beendet ist, kleiner werden und häufig nur noch als dünner Zellstrang erscheinen. Die Größe der Hypodermiszellen kann je nach ihrer besonderen Funktion bei demselben Tier stark variieren. Die Chitincuticula selbst, durch die das Gift seinen Weg nehmen muß, variiert in ihrer Dicke ebenfalls sehr, an Stellen besonderer Beanspruchung kann sie die mehrfache Stärke normaler Ausbildung annehmen, wogegen sie an den Gelenkstellen und Intersegmenthäuten häufig eine dünne Lamelle bleibt. Schon hieraus geht hervor, daß die Schnelligkeit der Giftwirkung an den entsprechenden Stellen schlechter oder besser erfolgen kann.

Die Cuticula im ausgebildeten Zustand läßt eine deutliche Schichtung erkennen. Auf die Hypodermiszellen folgt die breiteste lamellenartige Schicht (Taf. 2, Fig. 9), die Endocuticula. Diese grenzt nach außen zu an eine Chitinschicht dichter Struktur, die Exocuticula. Allerdings ist

letztere nicht bei allen Raupenarten, besonders nicht bei jüngeren Stadien, ausgebildet. In diesem Falle ist also keine Unterscheidung zwischen Exo- und Endocuticula möglich. Die Chitinschichten werden ganz oder teilweise von sogenannten Pseudoporen durchzogen, auf deren Verlauf ich bei den einzelnen Arten eingehe. Die Oberfläche der Cuticula ist entweder eben oder sie trägt sehr verschieden ausgebildete Fortsätze und Anhänge in Gestalt von kleinen oder größeren Chitinhöckern. Bei der Seidenraupe erscheinen sie als ein dünner Härchensaum. Die gesamte Oberfläche der Cuticula wird von einer dünnen Schicht überzogen, die mit Eosin eine besonders intensive Rotfärbung zeigt und die man als Epicuticula bezeichnet. Bei der Seidenraupe ist sie z. B. als dünnes zusammenhängendes Häutchen vorhanden, das in Taf. 2, Fig. 9, teilweise abgehoben, sichtbar ist. Die gesamte Cuticula wird von Haarkanälen oder von Drüsengängen durchzogen, auf die ich noch besonders hinweise.

Die Cuticula ist zunächst kein totes Abscheidungsprodukt, sondern steht noch mit den Stoffwechselforgängen im Zusammenhang. Es ist auch sicher anzunehmen, daß nach beendeter Chitinabsonderung sich noch plasmatische Fortsätze in die Pseudoporen hinein erstrecken. Bei Versilberungen waren in den Schnitten gelegentlich Niederschläge sichtbar, die innerhalb dieser Poren bis unter die Epicuticula reichten.

Ob nun Beziehungen dieser morphologischen Verhältnisse der Cuticula zu der Giftempfindlichkeit des Tieres vorhanden sind, soll an einigen Arten untersucht werden.

Die Seidenspinnerraupe, als ein überaus empfindliches Tier, besitzt eine sehr weiche und elastische Chitindecke. Ein Schnitt durch den Dorsalteil eines Mittelsegments im vierten Stadium zeigt Taf. 2, Fig. 8. Das Dickenverhältnis vom Chitin zur Hypodermis ist etwa 1:1. Das aus einzelnen Lamellen bestehende Chitin wird von dicht nebeneinander liegenden Pseudoporen durchzogen, die an ihrem basalen Ende enger sind, an der apikalen Seite sich dagegen wie ein Trichter erweitern. Sie endigen nicht frei an der Oberfläche, sondern reichen, soweit sichtbar, nur bis an die Basis der Epicuticula. Zur Zeit der Neubildung des Chitins, also unmittelbar vor und nach jeder Häutung, sind die Pseudoporen nicht so deutlich sichtbar, später heben sie sich, nachdem das gesamte Chitin erhärtet ist, in schärferen Konturen ab. Die Epicuticula ist, wie schon betont, in zusammenhängender Schicht auf der gesamten Oberfläche vorhanden. Dazu ist die Chitindecke mit einer großen Zahl kleiner Härchen besetzt, die durch Kanäle in einer Hypodermiszelle münden. An diesen Stellen wird flüssigen Giftstoffen die Diffusion erleichtert. Außerdem sind Drüsen in größerer Zahl als Giftportalen zu nennen.

Vergleicht man nun die vorgenannte Beschreibung mit einem Schnitt durch den Dorsalteil einer im letzten Stadium befindlichen Seidenraupe

(Fig. 9), so fällt der Dickenunterschied und besonders die Dicke der Endocuticula auf. Die Chitinschicht ist etwa dreimal dicker als die Hypodermis, die Pseudoporen sind nur unscharf in der dunkel gefärbten Exocuticula sichtbar. Die Farbunterschiede von Endo- und Exocuticula deuten auf qualitative Verschiedenheiten hin. Die Exocuticula ist stärker verkrustet und von größerer Härte, die Endocuticula ist weicher und nachgiebiger und wird nicht von Pseudoporen durchsetzt. Es ist ersichtlich, daß diese stärkere Ausbildung der Cuticula einen besseren Schutz bietet und auch einer Gifteinwirkung durch die Haut besseren Widerstand leistet. Daraus dürfte sich auch die höhere Widerstandsfähigkeit letzter Stadien erklären lassen.

Es sei jedoch schon hier betont, daß nicht die Ausbildung der Cuticula allein, wie aus der weiteren Untersuchung hervorgehen wird, der einzige für die Giftwiderstandsfähigkeit verantwortliche Faktor sein kann.

Die Kiefernspinnerraupe, schon ein erheblich widerstandsfähigeres Tier, zeigte in den Giftversuchen im Frühjahr zu Beginn des 4. Stadiums noch eine relativ hohe Empfindlichkeit gegen Pyrethrine. Dagegen ist am Ende des 4. Stadiums die Widerstandsfähigkeit schon sehr hoch und das Chitin hat eine Ausbildung wie in Taf. 2, Fig. 10 erreicht.

Die Chitinschicht ist hier etwa 4 mal stärker als die Hypodermis. Die Endocuticula ist als heller Streifen oberhalb der Hypodermis in sehr ungleicher Breite ausgebildet. Die Exocuticula hat eine bedeutende Breite, sie wird von vielen Pseudoporen durchzogen. Diese beginnen am basalen Teil der Exocuticula und reichen bis zu einer Schicht, die im Bild gekörnt erscheint. Diese unter der Epicuticula gelegenen Granulationen sind vermutlich Ablagerungen organischer Substanz, und besitzen eine kristalline Form. Die Epicuticula färbt sich auch hier sehr rot, doch ist sie kein zusammenhängendes Häutchen, sondern ist mehr in diffuser Verteilung vorhanden. Dieser Grad der Ausbildung der Cuticula gewährt der Raupe einen sehr guten Schutz, so daß sie so widerstandsfähig ist, daß nur noch ein kleiner Teil, im Gegensatz zum Anfang des 4. Stadiums, der Gifteinwirkung erliegt.

Kurz nach erfolgter Häutung sind die Raupen wieder empfindlicher, dies geht aus Taf. 2, Fig. 10 hervor, in der ein Dorsalschnitt durch ein Tier im 5. Stadium einen Tag nach der Häutung wiedergegeben ist. Die Chitinabsonderung ist hier noch nicht beendet und eine Endocuticula noch garnicht vorhanden. Plasmafortsätze reichen in die Pseudoporen hinein, so daß Kontaktgifte nur einen kurzen Weg durch das Chitin zu nehmen haben. Am Ende des 5. Stadiums übertrifft die Stärke des Chitins noch die in Taf. 2, Fig. 11, und die Raupen können mit einer solchen Panzerung die dreifach höhere Giftkonzentration überstehen.

Die Nonnenraupen im 4. Stadium haben sich bedeutend widerstandsfähiger erwiesen als die Kiefernspinnerraupen des gleichen Stadiums. Eine Nonnenraupe im 4. Stadium mit einer dünnen Chitinausbildung, wie in Taf. 2, Fig. 12, ist dennoch weniger empfindlich gegen Pyrethrine als die Raupe des Kiefernspinners mit der breiten Cuticula von Taf. 2, Fig. 10. Dazu ist bei der Nonnenraupe die Chitinabsonderung noch nicht ganz beendet, das Chitin wird aber in diesem Stadium kaum breiter als der Hypodermisstreifen im Bild. Pseudoporen sind nicht so deutlich, man kann sie aber stellenweise gut erkennen. Die Epicuticula zeigt eine undeutliche und blasse Rotfärbung und hebt sich nicht besonders ab. Nur um Haaransatzstellen und Drüsenöffnungen ist infolge größerer Sekretablagerung die Färbung intensiver.

Aus dem Vergleich mit der Kiefernspinnerraupe läßt sich die Widerstandsfähigkeit der Nonnenraupen in keinen Zusammenhang mit der Ausbildung ihrer Cuticula bringen, es müssen vielmehr für die Giftfestigkeit noch andere Ursachen vorhanden sein.

Es seien noch zwei Abbildungen der Nonnencuticula im widerstandsfähigsten 5. Stadium in Taf. 3, Fig. 1 und Taf. 3, Fig. 2 wiedergegeben. Die Raupen sind in diesem Stadium ganz ungewöhnlich giftfest geworden, so daß die fünffach höhere Konzentration bei Spritz- und Stäubemitteln fast unwirksam bleibt. Wie aus Taf. 3, Fig. 1 hervorgeht, sind in der recht breiten Exocuticula die Lamellen sehr dicht aneinandergelagert und werden von breiten Pseudoporen durchzogen. Auf einem großen Teil der Oberfläche der Cuticula erhebt sich ein dichter Borstensaum. Die einzelnen Borsten sind basal kolbenartig erweitert. Die Endocuticula ist sehr stark ausgebildet und trägt sicher zu der größeren Widerstandsfähigkeit dieser Stadien bei.

Vergleicht man den Schnitt mit dem der Kiefernspinnerraupe in Taf. 2, Fig. 10, so findet man die Gesamtstärke der Cuticula beider Arten ungefähr gleich und trotzdem ist die Widerstandsfähigkeit der Nonne um ein Vielfaches größer.

Taf. 3, Fig. 2 zeigt einen Schnitt durch eine Muskelansatzstelle am Integument des letzten Stadiums. Sogenannte Faserkegel durchziehen das Chitin, das an diesen Stellen höckerartig vorgewölbt ist. Die Oberfläche wird auch an diesen Stellen infolge größerer Sekretablagerung deutlich rot gefärbt. Das Chitin ist viel dünner und wird von vielen Pseudoporen durchzogen. Für die Pyrethrine werden diese dünnen Stellen der Cuticula, die sehr zahlreich vorhanden sind, besonders leicht zu durchdringen sein. Zu erwähnen sind weiterhin noch die drüsenartigen Rückenwarzen, die Drüsenöffnungen des 6. und 7. Abdominalsegmentes und eine große Zahl von Haareingelenkungsstellen, die als Giftportalen dienen können.

Diese Hinweise zwingen zu der Annahme, daß die Cuticula im letzten

Stadium wohl einen guten Schutz gegen Kontaktgifte bieten kann, daß sie aber allein nicht die hohe Widerstandsfähigkeit der Raupe bedingt.

Die Weidenspinnerraupe besitzen annähernd die gleiche Widerstandsfähigkeit gegen Pyrethrine wie die Nonnenraupen. In Taf. 3, Fig. 3 ist ein Dorsalschnitt des 5. Stadiums wiedergegeben. Das Größenverhältnis von Hypodermis und Chitinschicht ist etwa 1:1 (vergl. Taf. 2, Fig. 8). Das Chitin wird an den meisten Stellen in seiner ganzen Dicke von vielen und engen Pseudoporen durchzogen. Die Oberfläche ist ebenfalls von dichten Chitinborsten besetzt. An anderen Stellen zeigt das Chitin eine verschiedene Schichtung; teilweise ist eine breitere Endocuticula ausgebildet (wie in Fig. 3), der eine von Pseudoporen durchzogene dichtere Exocuticula aufliegt. Im Vergleich mit der breiten Panzerung der Nonnen- und Kiefernspinnerraupe fällt die geringe Dicke des Chitins besonders auf, die den Tieren gegen Kontaktgifte nur wenig Schutz bieten kann. Als Durchlaßstellen für Gifte sind noch die Drüsenwarzen und Haarkanäle jedes Segmentes zu erwähnen. Trotzdem geht aus Tabelle 1 eine sehr hohe Widerstandsfähigkeit der Raupe (Gruppe 3) hervor. Auch hier kann durch Stärke und Struktur der Cuticula die Giftwiderstandsfähigkeit keine Erklärung finden.

Nachdem die Ausbildung der Cuticula an vier verschiedenen Raupearten untersucht ist und diese zur Giftempfindlichkeit in Beziehung gesetzt wurde, soll das Ergebnis noch durch einige Messungen der Cuticula gestützt werden. Da das Chitin an vielen Stellen sehr ungleich ausgebildet ist, mußte die durchschnittliche Dicke an einer Stelle des Schnittes in μ gemessen werden.

	Gruppe I		Gruppe II		Gruppe III			
	Seidenraupe		Kiefernspinnerraupe		Nonnenraupe		Weidenspinnerraupe	
	4. Stad.	5. Stad.	4. Stad.	5. Stad.	4. Stad.	5. Stad.	4. Stad.	5. Stad.
Chitin + Hypod.								
a) kurz vor d. Häut.		57,8	61,2		38,4			
b) ausgebildet	57	119	149,6	198,3	47,6	194	54,3	64,8
Chitin								
a) kurz nach d. Häut.		15,3	32,3		18			
b) ausgebildet	23,8	95,2	125,9	154,7	27,2	145	32,9	40,8

Aus den Messungen geht die Dickenzunahme des Chitins von jüngeren zu älteren Häutungsstadien hervor. Die Giftversuche zeigen, daß mit dem Alter der Tiere auch die Widerstandsfähigkeit wächst. Es kann daraus also mit Recht angenommen werden, daß Raupe letzter Stadien durch eine stärkere Cuticula gegen Kontaktgifte einen besseren Schutz erfahren. Diese Folgerung kann aber nur für die Häutungsstadien einer

Tierart gelten, eine Übertragung des für eine Art geltenden zahlenmäßigen Verhältnisses von Chitinstärke zur Empfindlichkeit auf andere Arten zur Ermittlung oder Erklärung ihrer Empfindlichkeit ist aber nicht möglich. Dies ergibt sich klar aus dem Vergleich von Chitinstärke und Empfindlichkeit z. B. zwischen Nonnenraupen und Kiefernspinnerraupen gleicher Altersstadien.

In der folgenden Zusammenstellung von Schnitten durch die Cuticula weiterer Versuchstiere soll der gleichen Frage nach den Beziehungen zwischen Struktur und Empfindlichkeit nachgegangen werden.

Zu den widerstandsfähigsten Arten sind die „nackten“ Erdeulen- und Kohleulenraupen zu zählen, die ebenfalls wie der Weidenspinner an sehr feuchten Orten vorkommen. Ein Schnitt durch die Cuticula einer Erdeulenraupe im vorletzten Stadium zeigt Taf. 3, Fig. 4. Hier fallen besonders die schmalen Hypodermiszellen auf, die nur als dünner Streifen erscheinen. Die Zellen werden in ihrer Höhe von der Chitinschicht um das ungefähr 15 fache übertroffen. Das Chitin wird nach außen zu härter und wird in breiteren Abständen von Pseudoporen durchsetzt. Eine scharfe Abgrenzung von Exo- und Endocuticula ist nicht vorhanden. Die obersten Schichten des Chitins färben sich mit Eosin auffallend rot. Die Epicuticula stellt eine glatte, wachsartige Masse dar, die sehr schwer benetzbar ist. Die Erdraupen sind durch die dicke Chitinschicht, die geringe Pseudoporenzahl und die glatte Oberfläche gut gegen äußere Einwirkungen geschützt.

Den Bau der Cuticula der Kohleulenraupe zeigt Taf. 3, Fig. 5. Auch hier ist wieder der dünne Hypodermisstrang und eine um das 20—30 fache dickere Chitinschicht vorhanden. Die Raupe hat ebenfalls eine glänzende wachsartige, rosa färbare Oberfläche und ist auch schwer zu benetzen. Eine mächtige Ausbildung haben die Pseudoporen, die von der Hypodermis bis dicht unter die Oberfläche ziehen.

Bei beiden Raupenarten bedingen wohl in erster Linie die Dicke und Dichte des Chitins, sowie die wachsartige Oberfläche die besondere Unempfindlichkeit gegen Kontaktgifte. Hautsinnesorgane sind bei beiden Arten in geringer Zahl entweder in Gestalt von Tasthärchen oder drüsenartigen Organen in der Cuticula vorhanden, doch findet das Gift wohl wegen ihrer kleinen Zahl an diesen Stellen keine ausreichende Diffusionsmöglichkeit.

Taf. 3, Fig. 6 stellt einen Schnitt durch die Cuticula der Apfelmade (*Carpocapsa pomonella*) dar. Das Tier hat eine im Verhältnis zu seiner Größe sehr dicke Chitinschicht, die an vielen Stellen durch eine außerordentliche Dichte ausgezeichnet ist und in der nur gelegentlich Pseudoporen sichtbar sind. Wichtig ist das Fehlen einer besonderen Epicuticula, die bei empfindlichen Arten immer vorhanden ist. Die Wider-

standsfähigkeit des Tieres könnte aus der Chitinbildung eine teilweise Erklärung finden.

Den widerstandsfähigen Arten seien Schnitte durch die Cuticula 4. Stadien der sehr empfindlichen zur Gruppe 1 gehörenden Tagpfauenaugenraupen (*Vanessa io*) Taf. 3, Fig. 7 und Abendpfauenaugenraupen (*Smerinthus ocellata*) Taf. 3, Fig. 8 angeschlossen.

Die Tagpfauenaugenraupen stehen in ihrer Empfindlichkeit gegen Pyrethrine den Seidenraupen wenig nach und werden auch von der halben Giftkonzentration zu fast 100% abgetötet. Im Schnitt erscheint das Chitin als eine dicht zusammenhängende unregelmäßig gelagerte Schicht, in der Pseudoporen nicht deutlich zu erkennen sind. Die Oberfläche der Cuticula ist von dicken Chitinhöckern besetzt und ist von einem schwarz pigmentierten, fettartigen Überzug (Epicuticula) bedeckt, der anscheinend den guten Kontakt mit Pyrethrinen vermittelt. Die Haarsensillen stehen auf einem weit über die Oberfläche sich erhebenden Höcker, in den sich eine große Zahl von umgewandelten Hypodermiszellen erstrecken. Diese Haarsockel erleichtern an den dünnen Gelenkstellen dem Gift den Durchtritt.

Der Schnitt durch die Haut der Abendpfauenaugenraupe in Taf. 3, Fig. 8 läßt eine sehr einheitliche Schichtung des Chitins erkennen, das in seiner bedeutenden Breite von Pseudoporen durchzogen wird. Die Epicuticula ist hier ebenfalls leuchtend rot in zusammenhängender Schicht färbbar und hebt sich sehr deutlich von dem Chitin ab. Sinnesknospen und Haarsensillen sind in großer Zahl in der Cuticula vorhanden und werden zur Empfindlichkeit der Raupen beitragen. Aus den Versuchen ergab sich aber eine höhere Widerstandsfähigkeit als für *Vanessa io*. Vielleicht hängt dies mit der stärkeren Chitinausbildung zusammen.

Charakteristisch sind bei beiden Arten die fettartige Epicuticula und das Vorhandensein von Hautsinnesorganen in allen Segmenten, woraus die Empfindlichkeit hervorzugehen scheint.

Kurz sei noch auf die Chitinhaut von Raupen mittlerer Empfindlichkeit (Gruppe 2) eingegangen.

Taf. 3, Fig. 9 u. Fig. 10 zeigen Schnitte durch die Cuticula von Goldafterraupen im 4. Stadium. Die Widerstandsfähigkeit der Tiere gegen Stäubemittel durch den besseren Haarschutz wurde bereits erwähnt. Die aus der Fig. 9 ersichtliche Dichte der Behaarung macht diese Tatsache leicht verständlich. Fig. 10 zeigt die über dem Rückengefäß befindliche Stelle der Cuticula. Das Chitin ist hier von dicken Borsten bedeckt, hat aber eine geringe Dicke. Auf der Oberfläche sind Sekretablagerungen vorhanden, die besonders um die Rückenwarzen nachweisbar sind. Gegen Spritzmittel ist die Raupe empfindlich (vergl. Tabelle 1).

Einer besonderen Betrachtung wert ist noch die Cuticula der auch

gegen Pyrethrumextrakt fast völlig widerstandsfähigen Stabheuschrecken Taf. 3, Fig. 12.

Das Chitin ist stark verkrustet und von einer sehr großen Härte und Sprödigkeit, es wird basal von einer dünnen Hypodermis begrenzt. Die Endocuticula zeigt mehr Balkenbildung und durchgehende Pseudoporen sind vorhanden. Das Chitin ähnelt in seinem Aufbau dem der Flügeldecken von Käfern. Die Exocuticula färbt sich mit Eosin blaßrot und ist eine sehr harte, zusammenhängende Schicht. Im Chitin befinden sich Sinnesstiftchen, die durch einen Kanal mit der Hypodermis im Zusammenhang stehen, oft wölbt sich die Hypodermis auch knospenartig bis dicht unter die Oberfläche des Chitins vor. Die große Gifffestigkeit ist hier schon durch das Chitin allein zu verstehen, doch auch innere Ursachen, wie aus der Wirkung von Injektionen und der Mundvergiftung hervorgeht, müssen die Widerstandsfähigkeit bedingen.

In Taf. 3, Fig. 11 ist ein Schnitt durch die Chitindecke einer Nashornkäferlarve wiedergegeben. Die außerordentliche Dicke des Chitins und die große Dichte der einzelnen Lamellen, die nur von schmalen Haarkanälen unterbrochen ist, bewirken wohl hauptsächlich die Unempfindlichkeit gegen Pyrethrine. Eine besondere Sekretschicht in Gestalt einer Epicuticula ist nicht vorhanden, vielmehr wird die Oberfläche sowie die obere Hälfte des gesamten Chitins schleierartig rosa gefärbt.

Aus den Ergebnissen der angeführten Beispiele läßt sich in vielen Fällen eine Abhängigkeit der Giftempfindlichkeit gegen Kontaktgifte (Pyrethrine) von der Ausbildung der Cuticula erkennen. Die Wirksamkeit der Giftstoffe muß aber noch von Faktoren abhängig sein, die mit der morphologischen Chitinausbildung nur in einem teilweisen Zusammenhang stehen. Hier ist zunächst an die Durchlässigkeit der Cuticula sowie weiterhin an die chemisch-physikalische Reaktionsmöglichkeit der Gifte auf der Oberfläche der Cuticula zu denken.

2. Die Permeabilität der Cuticula.

Giftstoffe müssen, wenn sie als Berührungsgifte wirken, an allen oder doch an bestimmten dünneren Stellen die Chitincuticula durchdringen. Die Durchlässigkeit des Chitins muß daher für Giftstoffe verschiedenster Art eine große Rolle spielen. Die Permeabilität wird von der Dichte und der qualitativen Beschaffenheit einzelner Chitinschichten sowie vom physikalischen Zustand und der chemischen Eigenschaft des Giftes abhängig sein.

In der Literatur finden sich wenige Angaben über die Durchlässigkeit des Chitins für Flüssigkeiten. In einer neueren Arbeit hat Alexandrow (1934) Versuche mit *Chironomus*- und *Corethra*-Larven gemacht. Er konnte feststellen, daß Farbstofflösungen durch das Chitin von *Chiro-*

nomus schneller, von *Corethra* langsamer eindringen. Die Geschwindigkeit war für die verschiedenen Farbstoffe verschieden groß. Neutralrotlösungen gelangten schneller als Thionin und Brillantkresylblau in das Innere des Insektenkörpers. Essigsäure und Ammoniaklösungen z. B. drangen bei *Chironomus*-Larven am schnellsten von allen untersuchten Tierarten ein.

Wilcoxon und Hartzell (1933) haben das Eindringungsvermögen der Pyrethrine nachzuweisen versucht, indem sie einen mit Sudan III vermischten Pyrethrumextrakt auf *Tenebrio molitor*-Larven einwirken ließen. Sie fanden in Schnitten durch das Integument besonders die trichogenen und hypodermalen Zellen rot gefärbt und schlossen daraus, daß auch die Pyrethrine ebenso weit einzudringen imstande sind.

Das Eindringen von Farbstoffen durch die Cuticula habe ich an Kiefernspinner-, Seidenspinner-, Nonnen- und Erdenlenraupen, also an Versuchstieren mit verschieden hoher Empfindlichkeit untersucht. Dabei erwiesen sich die lipoidlöslichen basischen Farbstoffe als nicht sehr geeignet, da sie infolge ihres sehr guten Eindringungsvermögens von fast allen Geweben sehr stark gespeichert werden und auch eine diffuse Färbung des Chitins verursachen. Saure Farbstoffe sind dagegen fast lipoidunlöslich und zeigen eine geringere Eindringungskraft in Protoplasma, sie werden daher auch nicht so stark gespeichert. Ich versuchte nun mit saurem Haemalaun durch Bestreichen der Dorsalfäche der Raupen festzustellen, ob und wie weit ein Eindringen der Farbe in Gefrierschnitten nachzuweisen war. Ich ließ die Farbe 24 Stunden einwirken, tötete die Raupe und stellte sofort 10—20 μ Schnitte durch Dorsalteile der Cuticula her. Es zeigten sich beim Kiefernspinner im 4. Stadium sehr deutlich Farbstoffkörnchen in der Hypodermis, besonders auffällig waren sie nahe den Haardrüsenzellen, wohl infolge besserer Diffusion durch die Haarkanäle, sichtbar. Auch bei Seidenraupen ließ sich an einzelnen wenigen Stellen die Farbe in der Hypodermis nachweisen, doch schien sie hier nur durch Haarkanäle eingedrungen zu sein. Bei Nonnen- und Erdenlenraupen konnte ich dagegen in keinem Falle irgendwelche Farbgranula erkennen. Vielleicht ist dies auf die Dichte des Chitins, die abweichend beschaffenen Haareingelenkungsstellen und die mit dichten Chitinfortsätzen versehene Exocuticula bei der Nonne zurückzuführen, bei der Erdraupe wohl auf die schwere Benetzbarkeit der Haut.

Umbach (1934) hat in der forstlichen Hochschule Hannoversch-Münden die Permeabilität der Raupencuticula des Wolfsmilchschwärmers untersucht und fand die frische Cuticula für OH-Ionen undurchlässig, dagegen ging die Diffusion eines in Chloroform gelösten Pyrethrumpräparates durch die frische Cuticula vonstatten. Die in KOH ausgekochte Cuticula erwies sich für OH-Ionen durchlässig (nach Umbach), dies-

konnte an der Rötung einer Phenolphthaleinlösung nach bereits 1 Minute erkannt werden.

Es erhob sich nun für mich die Frage, ob die verschiedene Giftempfindlichkeit der einzelnen Arten sich in einer entsprechenden Permeabilität der Cuticula ausdrücken würde. Ich benutzte das Prinzip eines Osmometers, dieselbe Methodik, die Umbach kurz beschrieben hat: Ein einfaches Reagenzglas von 12 cm Höhe, in welches eine Glasröhre von 3 mm lichter Weite hineinragt, die durch den Verschlusskorken des Glases geht und von ihm gehalten wird. Die untere Öffnung des inneren Röhrchens wurde etwas rund geschmolzen, so daß die Cuticula einer Raupe, ohne Verletzungen zu erleiden und ohne abzurutschen, um die Öffnung gespannt und durch einen dünnen Faden festgebunden werden konnte. Am Steigen oder Sinken des Meniskus im Innenrohr kann man feststellen, ob eine Diffusion zwischen zwei Lösungen durch die Raupencuticula hindurch stattfindet.

Leider ist aber die Chitindecke der meisten Raupenarten nicht als ein homogenes und gleichmäßiges Gebilde nach Art der sonst für solche Versuche verwandten tierischen Membranen aufzufassen, sondern zeigt in Stärke und Struktur an einzelnen Stellen gleicher Segmente beträchtliche Unterschiede. Außer dieser niemals ganz gleichen Chitinausbildung machen die verschiedensten Durchtrittsstellen, wie Haarkanäle, Hautsinnesorgane, Pseudoporen und Drüsenöffnungen genaue Permeabilitätsmessungen ganz unmöglich. Aus diesem Grunde hat eine sehr große Zahl von Versuchen mit der oben beschriebenen Methode zahlenmäßig solche Schwankungen beim gleichen Tier ergeben, daß ich nur die grundsätzlichen Erscheinungen, die aus den Zahlen zu erkennen sind, mitteilen will.

Es diffundierten Kochsalzlösungen und Kupfersulfatlösungen sowie Zuckerlösungen (Glukose) durch alle von mir untersuchten frischen Häute. Dabei ging die Diffusion von Zuckerlösungen am langsamsten vor sich.

Auffallend war bei der empfindlichen Seidenraupe sogar eine geringere Durchlässigkeit für Zucker- und Salzlösungen als bei den übrigen Raupenhäuten.

Bemerkenswert war es weiterhin, daß die Diffusion bei den sehr widerstandsfähigen Erdraupen und Kohleulen schneller vonstatten ging als bei Nonnen- und Kiefernspinnerraupenhäuten.

Umbachs Mitteilung, wonach die frische Raupencuticula für OH-Ionen undurchlässig ist, konnte ich in den meisten Fällen bestätigen, jedoch fand in mehreren Versuchen, besonders bei Nonnen- und Seidenraupen, am 3. Tage ein Austausch der Lösungen mit einer Diffusion der OH-Ionen statt, die an der Färbung des Indikators erkannt werden konnte.

Behandelte ich vor dem Versuch die um das Innenrohr gebundene Raupenhaut mit Chloroform und ließ einige Tropfen auf ihr verdunsten,

so war eine Rötung der KOH im Innenrohr, besonders bei Seidenraupenhäuten, schon nach 5 Stunden sichtbar. Die Chloroformbehandlung hatte also, wie es von allen lipolytischen Stoffen und Fettlösungsmitteln bekannt ist, die Durchlässigkeit der Cuticula erhöht. Diese Erscheinung war bei Seidenraupen besonders auffällig, was auf einen höheren Lipoid- oder Fettgehalt der Cuticula schließen läßt.

Ich prüfte nun weiterhin die Einwirkung meiner zur Ermittlung der Giftempfindlichkeit benutzten neutralen Pyrethrin-Türkischrotöl-Lösung, mit Wasser zu einer Emulsion vermischt, auf die Raupencuticula, welche die im Innenrohr befindliche KOH von der Giftemulsion trennte ($\frac{1}{10}$ normal KOH). Der Giftemulsion setzte ich einen Tropfen Phenolphthaleinlösung zu und beobachtete Farbe und Meniskus der KOH.

Hierbei konnte ich in den meisten Fällen nach 24 Stunden eine schwache Rotfärbung bei etwas gesunkenem Meniskus der KOH erkennen und dies wieder besonders stark bei den gegen Pyrethrine sehr empfindlichen Seidenraupen- und Abendpfaugenaugenraupen.

Behandelte ich vor diesem Versuch die umspannte Cuticula noch mit Chloroform, so zeigte sich eine stärkere Rötung der KOH und auch ein stärkeres Absinken ihres Meniskus. Es ist noch wichtig zu erwähnen, daß in den Versuchen mit Ölemulsionen sich im Innenrohr am oberen Rand der KOH eine deutliche Oelschicht ansammelte, so daß also auch eine Diffusion von Ölteilchen durch die Cuticula hindurch stattgefunden hat.

Wurde als Außenlösung reines, unverdünntes Türkischrotöl verwandt, so war ein sehr viel stärkeres Sinken der KOH sichtbar.

Aus allen Versuchen geht eine Durchlässigkeit der Raupencuticula hervor, die durch Einwirkung von Fettlösungsmitteln erhöht wird. Eine schnellere Diffusion durch Chloroformeinwirkung hat dies bewiesen. Der Fettgehalt der Cuticula wird also bei der Kontaktwirkung lipoidlöslicher Gifte eine entscheidende Rolle spielen.

Qualitative und quantitative Bestimmungen der diffundierten Stoffe lassen sich mit dieser Methode aber nicht ausführen.

3. Abhängigkeit der Giftwirkung von der Epicuticula.

Bei der Untersuchung des morphologischen Baues der Cuticula habe ich immer auf die Färbbarkeit der Epicuticula besonders geachtet. Nachdem die Möglichkeit einer Diffusion durch die Cuticula festgestellt ist, kann man nach einer Erklärung dafür suchen, wie die Pyrethrine durch die Chitindecke zu den Nervenzentren gelangen. Es wird für die Giftwirkung keinen grundsätzlichen Unterschied zwischen der flüssigen, an Ölteilchen gebundenen Giftform und der an trockene Substanz gebundenen Form (z. B. Talkum) geben. Im Öl sind die Pyrethrine als Ester gelöst,

am Talkum liegt dagegen eine Adsorption vor. In allen Versuchen war nur eine schnellere Giftwirkung der flüssigen Form festzustellen.

Umbach (1934) hat in seiner Veröffentlichung nun die Vermutung ausgesprochen, daß vielleicht Lipide (der Begriff sehr weit gefaßt) auf der Oberfläche der Cuticula verteilt sein können oder sich sogar als dünnes Häutchen dort befinden können. Da die Pyrethrine als Ester lipidlöslich sind, vermutet Umbach, daß sie auf diese Weise gelöst in den Insektenkörper gelangen. Das, was Umbach bezgl. der Anwesenheit der Lipide nur vermutet, ist eine bekannte Tatsache. Die Epicuticula ist bei manchen Arten und besonders bei den Pyrethrinempfindlichen, mit Eosin oder Sudan III besonders auffällig färbbar und überzieht als zusammenhängendes Häutchen, wie an Taf. 2 Fig. 9 besprochen, die ganze oder teilweise Oberfläche. Nach Kühnelt (1928) besteht sie aus Fettsäuren und einem cholesterin (lipoid)-ähnlichen Stoff. Die fettartige Schicht ist, wie schon gesagt, besonders an Sudan III gefärbten Gefrierschnitten sichtbar und ist z. B. bei Seidenraupen als zusammenhängendes Häutchen, bei den widerstandsfähigen Nonnen- und Weidenspinnerraupen in mehr diffuser Form vorhanden. An Haareingelenkungsstellen oder an besonderen Drüsenöffnungen ist die Sekretschicht besonders deutlich färbbar. Diese als Sekret abgesonderte Substanz dient als Schutz und Schmiermittel an den Gelenkstellen und bewirkt die geringe Benetzbarkeit der Raupenhaut. Flüssigkeiten mit geringer Oberflächenspannung, wie die fettlöslichen Narkotika, werden dagegen sofort aufgesaugt und breiten sich weit über die Oberfläche aus. Die an Öl oder Talkum gebundenen Pyrethrum-Ester sowie das Öl selbst haben auch eine bedeutende Fettlöslichkeit und können bei fetthaltiger Cuticula auf diese Weise durch die Pseudoporen an die Nervenendigungen gelangen. Durch organische Fettlösungsmittel wird das Protoplasma verändert, indem es aufgelockert wird und seine Durchlässigkeit erhöht wird (Chloroformwirkung). Diese Erscheinung ist bei subletaler Chloroformwirkung reversibel. Vielleicht ist auf ähnliche Weise die Erscheinung der Wiedererholung von geringer Pyrethrineinwirkung zu erklären. Von der Hypodermis reichen besonders bei den empfindlichen und jüngeren Raupenstadien Plasmafortsätze weit in das Chitin hinein. Von der Epicuticula bis zu diesen Plasmasträngen ist bei geringer Höhe des Chitins nur ein kurzer Weg. Von der Hypodermis aus dringt das Gift vermutlich auf den Nervenbahnen zu den Ganglien. Bei älteren Stadien mit dicker Cuticula ist der Weg des Giftes entsprechend länger und die Diffusionsmöglichkeit infolge größerer Härte der Cuticula viel schwerer.

b) Abhängigkeit der Giftwirkung vom Hautnervensystem.

Eine besondere Bedeutung für die Wirkung der Pyrethrine als Nervengifte wird dem Hautnervensystem mit allen seinen reizperzipierenden

Ausbildungen zukommen. Bei der Untersuchung der Cuticula habe ich bereits auf einige weit verbreitete Sinnesorgane hingewiesen, die in den meisten Fällen ein kleines Sinnesstiftchen tragen. Holmgren (1896) hat das Hautnervensystem der Arthropoden untersucht und fand in der Haut der Raupe von *Sphinx ligustri* bipolare Sinnesnervenzellen, die er zu den Haaren gehörig betrachtete. Die größeren Hautnerven fand Holmgren mehrfach verzweigt, die peripheren aber dichotomisch. Diese letzteren gehen entweder lang ausgezogen über eine bipolare Nervenzelle in ein Haar oder enden kurz zwischen Hypodermiszellen an der Basis der Cuticula. Besonders bei Raupen sollen die Sinnesnervenzellen in der Hypodermis, bei Haarorganen oft innerhalb des Porenkanals lokalisiert sein. Nach Holmgren sind beinahe alle Haargebilde des gesamten Körpers mit Sinnesnervenzellen versehen. Weiterhin sollen sich multipolare Nervenzellen mit den Ansläufern anderer analoger Nervenzellen oder terminalen Nervenzweigen plexiform vereinigen. Hilton (1902) hat bei Lepidopterenlarven subhypodermale zusammenhängende Netzwerke von Nervenzellen nachgewiesen, so bei Spinner- und Schwärmerraupen.

Ein ebensolcher subepidermaler Nervenplexus ist bei Käferlarven nachgewiesen (vgl. Zawarzin in Weber, Handb. der Entom.), z. B. bei der gegen Pyrethrine völlig widerstandsfähigen Maikäferlarve ist ein gut ausgebildetes Hautnervennetz vorhanden. Es hat demnach nicht den Anschein, als ob der Grund für hohe Giftempfindlichkeit immer in dem Vorhandensein und in einer reichen Verzweigung der peripheren Nerven zu suchen wäre. Gerade die reiche Verzweigung des Hautnervensystems der Maikäferlarve läßt vermuten, daß hier die Giftunempfindlichkeit offenbar durch die Stärke und Struktur des Chitins bedingt ist. Trotzdem ist aber die große Empfindlichkeit fast aller Imagines (Wespen, Bienen, Fliegen usw.) gegen Pyrethrine und die große Widerstandsfähigkeit vieler Larven letzten Endes kaum anders zu erklären, als durch eine verschiedene Ausbildung des Nervensystems und insbesondere der Hautsinnesorgane, die bei den Imagines sehr hoch entwickelt und zahlreich vorhanden sind, während ihre Zahl bei den Larven gering ist und ihre Ausbildung im allgemeinen noch nicht die hohe Spezialisierung erreicht hat.

Auf die niedrige Organisationshöhe des Nervensystems führe ich auch die Widerstandsfähigkeit der in einigen Raupenarten parasitisch lebenden Fliegen- und Schlupfwespenlarven zurück. Die Parasiten überstanden Konzentrationen, denen die Nonnenraupen erlagen und verpuppten sich meist am 2. bis 3. Tage nach der Vergiftung.

c) Die artspezifische Resistenz.

Abhängigkeit der Giftwirkung von der Körperflüssigkeit.

Bei der Frage nach den inneren Ursachen, die einige Arten so wider-

standsfähig machen und die physiologisch bedingt sind, mußte geprüft werden, ob der pH-Wert der Körperflüssigkeit einen Zusammenhang mit der Giftempfindlichkeit erkennen läßt.

Gößwald (1934) hat an Raupenarten im Zusammenhang mit Untersuchungen über Pyrethrinempfindlichkeit pH-Messungen ausgeführt und fand, ohne Angabe einzelner Werte und Raupenarten, bei den empfindlichen „Nacktraupen“ einen niedrigen pH-Wert ansteigende Werte bei den stark behaarten und widerstandsfähigsten Arten. Gößwald gibt an, daß der pH-Wert unter verschiedenen Luftfeuchtigkeitsbedingungen erhebliche Unterschiede bei derselben Raupe aufweist und daß auch die Werte verschiedener Entwicklungsstadien Unterschiede bis zu 6 pH betragen können. Gößwald konnte sein Tiermaterial unter annähernd gleichen Versuchsbedingungen halten, während meine Zuchten im Gewächshaus und im Laboratorium Schwankungen von Temperatur und Feuchtigkeit ausgesetzt waren. Hieraus erklären sich vielleicht die von mir ermittelten, von Gößwalds Angaben abweichenden Ergebnisse. Zu den von Gößwald mitgeteilten pH-Schwankungen ist nach meinen Untersuchungen bemerkenswert, daß die pH-Werte der mir aus dem Freiland übersandten Arten mit denselben von mir in Zucht gehaltenen Arten fast genau übereinstimmten. Ich schließe daraus, daß meine Zuchtbedingungen sich doch nicht im ungünstigen Sinne auf die physiologische Konstitution der Tiere ausgewirkt haben.

Die von mir bei den einzelnen Arten gefundenen Werte betragen:

	pH	Leitfähigkeit
Nonnenraupe	5.85	64
Weidenspinner	6.50	62
Erdeulenraupe	6.90	59
Stabheuschrecke	6.61	61
Schwammspinner	6,41	61.5
Ringelspinner	6.62	61.5
Goldafter	6.78	59
Seidenraupe	6.77	59
Abendpfauenaugenraupe .	8.02	62
Tagpfauenaugenraupe . .	7.59	63
Kiefernspinner	7.15	63

Der pH-Wert der Pyrethrinemulsion betrug: 7.02.

Der pH-Wert der Rotenonemulsion betrug: 7.05.

Es ergibt sich aus den vorgenannten Messungen, daß die niedrigsten Werte bei den widerstandsfähigsten Arten, die höchsten Werte bei den empfindlichsten Arten vorkommen. Eine Ausnahme, die mit dieser Linie nicht ganz übereinstimmt, bilden die Erdeulenraupe und Seidenraupe. Bei

der Erdraupe liegen die Verhältnisse insofern anders, als die von den übrigen Arten verschiedene Lebensweise im Erdboden zu bedenken ist, die im Tier eine besondere physiologische Konstitution veranlaßt. Desgleichen ist bei der Seidenraupe durch jahrhundertelange Züchtung eine von den übrigen Arten abweichende Konstitution zu erwarten.

Die mit der Methode Laugenbuch (1934) ermittelten Leitfähigkeitswerte für die Körperflüssigkeiten bedeuten mit ansteigenden Zahlen ein Abfallen der Leitfähigkeit.

Schwankungen des pH konnte ich gelegentlich nach Fütterung mit anderem Nährmaterial feststellen; so lag der pH-Wert der Nonnenraupen bei Fütterung mit Apfelblättern wesentlich höher (6,5—7). Eine höhere Giftempfindlichkeit konnte ich dabei aber wegen zu geringen Tiermaterials nicht nachweisen.

Zur Feststellung des Einflusses der pH-Werte auf die Giftempfindlichkeit müßte noch eine größere Artenzahl untersucht werden, ehe in dieser Hinsicht sichere Schlüsse gezogen werden können.

Weitere Gründe für die Abhängigkeit der Giftwirkung von der art-spezifischen Resistenz.

Die in den letzten Kapiteln angestellten Untersuchungen haben aus dem Vergleich der Arten untereinander keine eindeutige und vollständige Erklärung für die überaus hohe Widerstandsfähigkeit einzelner Arten geben können. Es konnten wohl Beziehungen zwischen Stärke und Struktur der Cuticula, ihrer Permeabilität und der Wasserstoff-Ionenkonzentration der Körperflüssigkeit einerseits und der Giftempfindlichkeit andererseits festgestellt werden, jedoch können sie nicht als alleinige Ursachen angesehen werden. Es muß vielmehr noch die physiologische Konstitution des Insektes eine Rolle spielen, die im Zusammenwirken mit den untersuchten Faktoren die artspezifische Resistenz bedingen. Auch Gößwald (1934) betont, daß die physikalisch-chemische Struktur der Raupe von großer Bedeutung ist, die durch die ökologische Beschaffenheit des Biotops bedingt ist.

Die Nonnenraupen im 4. Stadium bieten ein gutes Beispiel in dieser Hinsicht. Die relativ dünne Cuticula kann keinen vollkommenen Schutz vor der Pyrethrineinwirkung bieten und das Hautnervensystem reicht ebenso sicher bis in die Hypodermis wie bei anderen Raupenarten. Es traten ja auch immer typische Vergiftungssymptome auf, nur ließen sie bald nach und die Raupe konnte ohne weitere Schädigung ihre Entwicklung bis zum Falter beenden. Als Ursache dieser schnellen Wiedererholung kann an eine Umlagerung oder Zersetzung der Pyrethrine im Körper in ungiftige Substanz gedacht werden; oder es müssen qualitative Unterschiede in der elementaren Zusammensetzung der Nervensubstanz bei

einzelnen Arten vorhanden sein, so daß die Giftstoffe in einem Falle eine chemisch-physiologische Reaktion von größerer toxikologischer Wirkung in der Nervenmasse auslösen, im anderen Falle aber werden die chemischen Bedingungen hierfür weniger günstig sein. Mit dieser Annahme ließe sich auch die geringe und sehr schwer nachweisbare Einwirkung der Pyrethrine in den Bauchmarkganglien der Nonnenraupen erklären. Ein weiterer Beweis für qualitative Verschiedenheiten der Nervensubstanz ist in der Tatsache gegeben, daß Pyrethrine besonders für Arthropoden giftig sind, während bei Wirbeltieren und besonders bei Warmblütern eine Kontaktgiftwirkung auf der Haut nicht festzustellen ist, obwohl in der Haut freie Nervenendigungen in großer Zahl vorhanden sind.

Die Klärung dieser eigenartigen Verhältnisse wird mit großen Schwierigkeiten verbunden sein und wird nur durch genaueste mikrochemische Analysen gelingen können.

III. Nachwirkung der Vergiftung auf Puppe und Imago.

Für die praktische Bekämpfung eines Schädlings ist es von größter Bedeutung, zu wissen, inwieweit sich die Kontaktwirkung der Pyrethrine und Derrisgifte auf das Puppen- und Falterstadium als Nachwirkung erstreckt. Daher habe ich die aus den Vergiftungsversuchen überlebenden Raupen gesondert weiter beobachtet und ihrer Entwicklungsfähigkeit und Sterblichkeit besondere Beachtung geschenkt.

Eine Reihe von Autoren haben eine Nachwirkung von Arsenvergiftungen im Puppen- und Falterstadium beobachtet (Friedrichs und Steiner (1930), Voelkel (1929, 1933)). Bei Puppen äußerte sich dies in einer höheren Sterblichkeit und bei Faltern in geringerer Fruchtbarkeit. Gößwald (1934) hat nach der Bestäubung von Raupen mit einem Pyrethrummittel diese Verhältnisse untersucht und fand als Nachwirkung der Vergiftung Krüppelpuppen beim Kiefernspanner. Gößwald glaubt, daß Arten mit langer Puppenruhe besonders einer Giftnachwirkung ausgesetzt sind, während bei Arten mit kurzer Puppenruhe, z. B. Nonnen und Goldafter, ein späterer Gifteinfluß nicht festzustellen war. Allerdings wirkt sich bei diesen Arten nach Gößwald eine Vergiftung im letzten Raupenstadium auch in einer höheren Sterblichkeit der Puppen aus, während jüngere Stadien die Vergiftung ohne nachhaltigen Einfluß überstehen.

Zu diesen Feststellungen kann ich ergänzen, daß sich eine Nachwirkung der Pyrethrinvergiftung in das Puppenstadium in besonderem Maße bei den empfindlichen Arten bemerkbar machte. Die widerstandsfähigen Arten, wie Nonne und Weidenspinner, ließen nach überstandener Pyrethrinvergiftung bei nachfolgendem Fraß im letzten Stadium keine Schädigung im Puppen- und Falterstadium erkennen. Verpuppten

sich die Tiere aber nach der Vergiftung, ohne weitere Nahrung zu sich zu nehmen, so starb die Mehrzahl von ihnen in der Puppenhülle ab, häufig waren sie auch nicht mehr imstande, die vollständige Puppenhülle zu bilden. Bei Pyrethrin-Vergiftungsversuchen mit Tagpfauenaugenraupen im letzten Stadium überstanden von 30 Tieren 21 die Vergiftung, diese begannen nach kurzem Fraß mit der Verpuppung. 6 dieser Tiere konnten aber keine normale Puppenhülle bilden und starben ab. Aus den 15 übrigen normal verpuppten Raupen schlüpfen nur 8 Falter, während 7 Tiere in der Puppenhülle starben.

Einen schädigenden Einfluß hatte auch die Rotenon- und Derriswurzelwirkung auf die weitere Entwicklung der Raupen. Hier war die Nachwirkung schon in der auf die Vergiftung folgenden Häutung festzustellen. Die Tiere starben zumeist in der Häutung ab, da sich die alte Raupenhaut nicht ablöste, oder die Tiere nicht in der Lage waren, sie abzustreifen.

Von 17 Kiefernspinnerraupen im 4. Stadium, die eine Derriswurzelwirkung überstanden hatten, starben 5 bei der folgenden Häutung ab. Weitere 3 Tiere konnten keine vollständige Puppenhülle bilden. Von 9 normal verpuppten Raupen schlüpfen 6 Weibchen, die restlichen 3 starben in der Puppenhülle.

Es war auffällig, daß die überwiegende Zahl der geschlüpften Falter, die als Raupen eine Vergiftung überstanden hatten, Weibchen waren.

Eine ähnliche Verschiebung der Geschlechtsverhältnisse hat auch Gößwald bei der Pyrethrumwirkung an Nonnen- und Spanneraupen festgestellt, und führt diese Erscheinung auf die größere Fraßintensität der weiblichen Raupen zurück. Es ist schon möglich, daß die größeren Energievorräte dem Weibchen eine höhere vitale Kraft geben.

IV. Zusammenfassung der Ergebnisse.

Die vorstehenden Untersuchungen erstrecken sich auf die physiologische Wirkungsweise der Pyrethrum- und Derrisgifte auf Insekten unter besonderer Berücksichtigung der Ursachen verschieden hoher Empfindlichkeit einzelner Arten und einzelner Altersstadien.

Zur Ermittlung der Giftempfindlichkeit wurden Dosierungsapparate verwendet, die eine Anwendung gleicher Giftmengen gestatteten.

Der allgemeine Vergiftungsverlauf wurde an verschiedenen Insektenarten beobachtet, wobei die Ursachen der Giftempfindlichkeitschwankungen berücksichtigt wurden. Eine tabellarische Zusammenstellung der zu den Untersuchungen herangezogenen Insektenlarven nach ihren Abtötungsziffern ließ Gruppen verschiedener Giftempfindlichkeit unterscheiden. Durch Beobachtung des Vergiftungsverlaufes nach Behandlung einzelner Körperteile und auf Grund von Untersuchungen, die zum Nach-

weis der Giftwirkung im Insektenkörper durchgeführt wurden, konnte die Wirkung der Pyrethrine als Nervengifte nachgewiesen werden. Den in der Derriswurzel befindlichen Giften, insbesondere dem Rotenon, kommt der Charakter eines Zellatmungsgiftes zu.

Die bei einzelnen Altersstadien und bei den einzelnen Insektenarten festgestellten Giftempfindlichkeitsunterschiede sind bis zu einem gewissen Grade physiologisch-anatomisch durch den Insektenkörper bedingt. Die Giftempfindlichkeit hängt weitgehend von der Cuticula und ihrer Permeabilität, von der Beschaffenheit des Nervensystems und dem Hautsinnesorganen ab. Auch zwischen der Wasserstoff-Ionenkonzentration der Körperflüssigkeit und der Giftempfindlichkeit scheinen Zusammenhänge zu bestehen. Das Zusammenwirken und die Verkoppelung der morphologisch-anatomischen und physiologischen Faktoren bestimmen die Giftempfindlichkeit bzw. die artspezifische Resistenz des Tieres.

Sowohl die Pyrethrum- als auch in stärkerem Maße die Derrisgifte zeigen bei subletalen Dosen eine deutliche Nachwirkung auf das spätere Larven-, Puppen- und Imago stadium.

Als Ersatzgifte für Arsenmittel wird im Pflanzenschutz den Pyrethrinen und auch den Derrisgiften immer eine beachtliche Bedeutung zukommen. Infolge der chemischen Unbeständigkeit besonders bei Lagerung der Gifte und der bestehenden Notwendigkeit die Giftpflanzen aus dem Ausland zu beziehen, wird unter diesen Voraussetzungen ihre Verwendung in Deutschland aber wohl immer in engen Grenzen bleiben.

Literaturverzeichnis.

- Adriano, F. T., The cultivation toxic constituents uses chemical analysis and extraction of Derris (a review of the literature). *J. of Agric.*, 5, Philippina, 1934. (Ref.: *Tropenpflanzer* 37, 394—395, 1934).
- Alexandrow, Die Permeabilität des Chitins einiger Diptera-Larven und eine Methode für Permeabilitätsforschungen (russ.). *Biol. Ž.*, 3, 490—506, 1934. (Ref.: *Ber. wissenschaft. Biol.*, 33, 263, 1935).
- Baer, K. E. von, Über Entwicklungsgeschichte der Thiere. Beobachtung und Reflexion. Th. 1, 147—148, Königsberg, 1928.
- Beger, H., Über die Stammpflanzen der Flores Chrysanthemi. *Ztschr. Desinf. u. Ges. Wesen*, 19, 100—104, 1926.
- Buchmann, W., Untersuchungen über die physiologische Wirkung von Pyrethrum-Insektenpulver auf Fliegenlarven. *Ztschr. Desinf.*, 21, 3, 1929.
- Untersuchungen über die Teilchengröße der wirksamen Substanz von wässrigen Pyrethrum-Insektenpulver-Suspensionen. *Ztschr. angew. Ent.*, 20, 136—149, 1934.
- Butenand & McCartney, Untersuchungen über pflanzliche Fisch- und Insektengifte. 3. Mitteilung über Rotenon, den physiologisch wirksamen Bestandteil der Derris elliptica: Die Konstitution des Rotenons. *Liebigs Ann. Chem.*, 494, 17—40, 1932.
- Campbell, J. A., An experimental investigation concerning the effects of

- „Tuba“ (*Derris elliptica*) Fish poison. Jour. Straits Branch. Roy Asiatic Soc. N. 73, 129 - 137, 1916.
- Chevalier, J. & Ripert, zit. nach Rigal u. Gautrelet (1932).
- Clark, E. P., Some constituents of *Derris* and „Cube“ roots other than Rotenone. Science, 71, 396, 1930.
- Davidson, W. M., (1) Rotenone as a Contact Insecticide. Jour. Econ. Ent., 23, 868-874, 1930.
- (2) The relative Value as contact Insecticides of some Constituents of *Derris*. Journ. Econ. Ent., 23, 877-881, 1930.
- Davidson, W. M. & Jones, H. A., Change in Toxicity of Rotenone in Solution and Suspension. Journ. Econ. Ent. 24, 257-262, 1931.
- Darlay, M. M., Some Comparative Tests with Rotenone, Nicotine and Pyrethrum. Journ. Econ. Ent., 24, 111-115, 1931.
- Eidmann, H., *Derris* als Parasitizid. Anz. Schädl.-Kunde, 1, 31-32, 1925.
- Feytaud, J., Le Pyréthre. Rev. zool. agricole, 23, 238-243, Paris 1924.
- Fischer, W. & Nitsche, G., Methoden zur Prüfung von Pflanzenschutzmitteln IX. Die Brauchbarkeit einiger Schnellmethoden zur chemischen Prüfung von *Derris*extrakten und ihr Vergleich mit der biologischen Prüfung derselben Extrakte an Kiefern- u. Seidenspinnerräupen. Mitt. a. d. Biol. Reichsanstalt f. Land- u. Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem, Nr. 50, 57-78, 1935.
- Friedrichs & Steiner, Über Nachwirkungen der Begiftung des Kiefernspanners. Ztschr. angew. Ent. 16, 189-196, 1930.
- Fujitani, J., Beiträge zur Chemie und Pharmakologie des Insektenpulvers. Arch. experim. Pathol. u. Pharm., 61, 47-75, 1909.
- Georgi, C. D. V. & Teik, G. L., The Rotenone content of Malayan Tuba root. Malayan Agric., 1, 20, 1932.
- Ginsburg, J. M. & Schmitt, J. B., A comparison between rotenone and pyrethrins as contact insecticides. Journ. Econ. Ent., 25, 918-922, 1932.
- Gnadinger, C. B. & Corl, C. S., Studies on Pyrethrum Flowers I. The Quantitative Determination of the Active Principles. Journ. Amer. Chem., Soc. 51, 8054, 1929.
- (1) Studies of Pyrethrum Flowers II. Journ. of Americ. Chem., Soc., 52, 680-684, 1930.
- (2) Studies on Pyrethrum Flowers IV. The relative Toxicity of Pyrethrin I and II. Journ. Amer. Chem. Soc., 52, 3302, 1930.
- The Relative Toxicity of Pyrethrins and Rotenone as Fly Spray Ingredients. Journ. Econ. Ent., 25, 1237, 1932.
- Gnadinger, C. B., A review of Method for the Evaluation of Pyrethrum. Soap and the Insecticide and Disinfectant Rev., 7, N. 1, 97-101, 117, 1931.
- Pyrethrum Flowers. Minneapolis, Minnesota, 1933.
- Glassford, J., The Economics of Pyrethrum. Journ. Econ. Ent., 23, 874-877, 1930.
- Görnitz, K., Methoden zur Prüfung von Pflanzenschutzmitteln. Mitt. a. d. Biol. Reichsanst. f. Land- u. Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem, N. 46, 5-12, 1933.
- Gößwald, K., Die Wirkung des Kontaktgiftes Pyrethrum auf Forstschädlinge unter dem Einfluß der physiologischen Disposition der Schädlinge und der Einwirkung von ökologischen Außenfaktoren. Ztschr. angew. Ent., 20, 489-530, 1934.

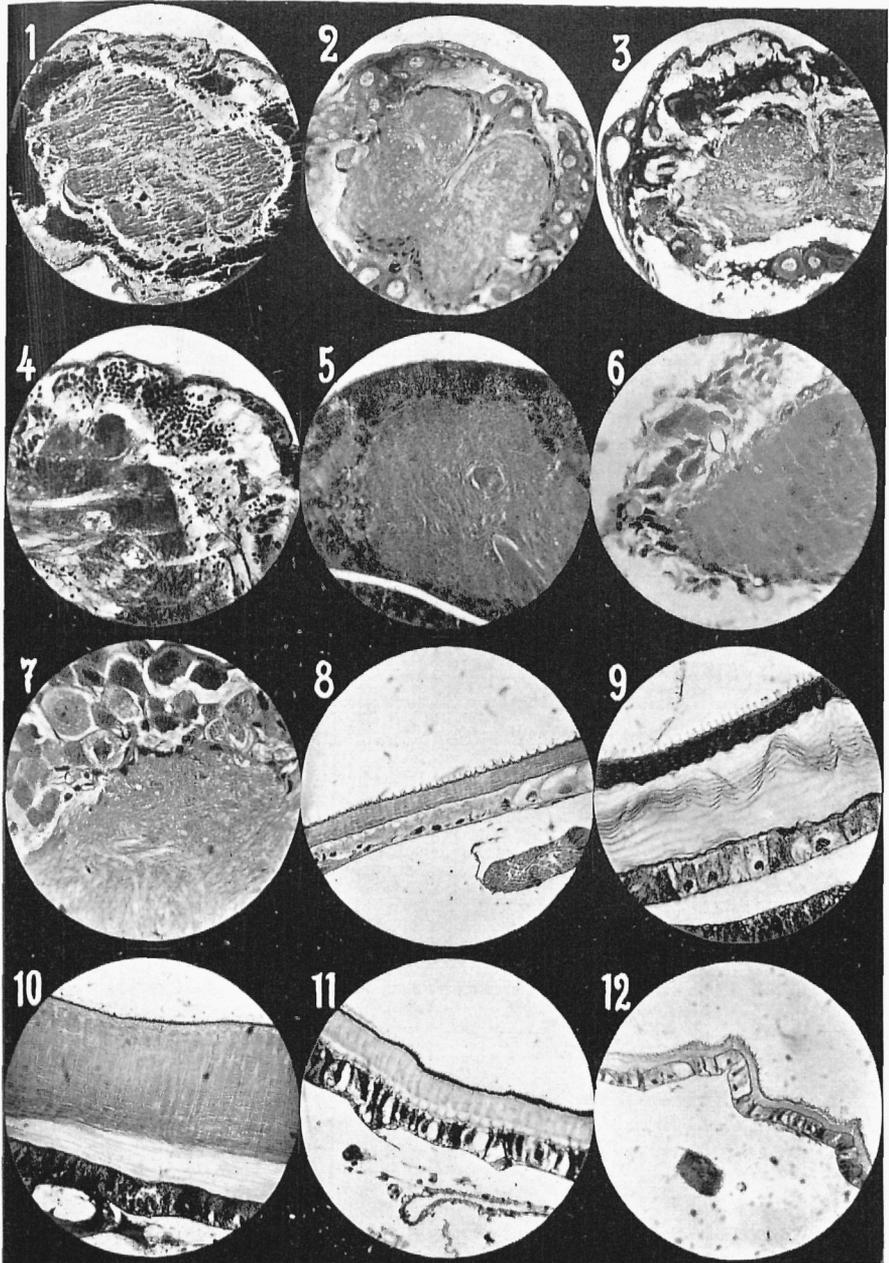
- Götze, R., Derrispräparate im Kampf gegen die Dasselfliege. Dtsch. tierärztl. Wochenschr., **41**, 1933.
- Hartzell, A., Histopathology of Insect Nerve Lesions Caused by Insecticides. Contrib. Boyce Thomps. Inst., **6**, 211—213, 1934.
- & Wilcoxon, F., Some factors affecting the efficiency of contact insecticides. II. Chemical and toxicological Studies of Pyrethrum. Contrib. Boyce Thomps. Inst., **4**, 107—117, 1932.
- Hasselt, E. H., Über die physiologische Wirkung von Derrid, Pachyrhizid, Nekoe. In: Arch. Internat. Pharmacod. et Ther., **21**, fasc. 3/4, 243—279, 1911.
- Hilton, W. A., The body sense hairs of lepidopterous larvae. The American Naturalist, **36**, 1902.
- Holmgreen, E., Zur Kenntnis des Hautnervensystems der Arthropoden. Anat Anz., **12**, 1896.
- Holst, von, Motorische und tonische Erregung und ihr Bahnverlauf bei Lepidopterenlarven. Ztschr. f. vergl. Physiol., **21**, 1935.
- Houben, J., Über insektentötende Pflanzenstoffe. Anz. f. Schädlingsk. **8**, 83—88, 1932.
- Johannsen, W., Über Erbllichkeit in Populationen und in reinen Linien. Jena, 1903.
- Experimentelle Grundlagen der Deszendenztheorie. In: Kultur der Gegenwart, Leipzig, 1914.
- Juillet, A., Le Pyrèthre Insecticide de Dalmatic. Origine, Culture, Principes actifs, Applications à l'Agriculture. Paris, 1924.
- Kemper, H., Versuche über die Wirkung von Pyrethrumblütenpulver auf Tiere verschiedener Klassen mit besonderer Berücksichtigung der wasserbewohnenden Arten. Ztschr. f. Gesundheitstechnik u. Städtehygiene, **25**, 149—164, 1933.
- Kopeč, St., Stud. on the infl. of Inanition on the develop. and the duration of life in insects. Biol. Bull., **46**, 1 und 22, 1924.
- Kühnelt, W., Zoolog. Jahrb. Anat., **50**, 1928/29.
- Krüger, F., Untersuchungen über die Giftwirkung von damaltnischem Insektenpulver auf die Larven von *Corethra plumicornis*. Ztschr. f. angew. Entomologie, **18**, 344—352, 1931.
- La Forge & Haller, Rotenon. Journ. Am. Chem. Soc., **54**, 1932.
- Lang, W. & Welte, E., Zur Prüfung staubförmiger Erdflöhmittel. Nachrichtenbl. f. d. Dtsch. Pflanzenschutzdienst, **10**, 75, 1930.
- Langenbuch, R., Beiträge zur Kenntnis der Biologie von *Agriotes lineatus* L. und *Agriotes obscurus* L. II. Teil. Ztschr. f. angew. Entom., **20**, 300—301, 1934.
- Martin, J. T. & Tattersfield, F., The Evaluation of Pyrethrum flowers (*Chrysanthemum cinerariaefolium*). Journ. Agric. Sc., **21**, 115, 1931.
- McIndoo, N. E., Sievers, A. F. & Abbott, W. S., Derris as an Insecticide. Journ. of Agric. Res., **17**, 177, 1919.
- Nagai, K., Über Rotenon, ein wirksamer Bestandteil der Derriswurzel (Japan). Ref. v. Takei in Biochem. Ztschr., 157:2, (1925) 1902.
- Richardson, H. H., The Pyrethrin I content of Pyrethrum Powders as an Index of insecticidal Power. Journ. Econ. Ent., **24**, 1098—1107, 1931.
- A Preliminary study of the Insecticidal Efficiency of the Pyrethrins, Nicotine and Rotenone against the Greenhouse Red Spider Mite. Journ. Econ. Ent., **25**, 592, 1932.

- Rigal & Gautrelet, Action des Pyrethrines sur divers organes isolés. Compt. rend. d. Séances de la Société de Biologie, 111, 687—689, 1932.
- Roark, R. C., Genuine Derris root may contain no Rotenone. Journ. Econ. Ent. 24, 328, 1931.
- (1) Derris now produced and used on a large Scale. Journ. Econ. Ent., 25, 1244—1245, 1932.
- (2) A Digest of the Literature of Derris (*Deguelia*) Species used as insecticides, 1747—1931. United States Dept. of Agric. N. 120, Misc. Publ., 85, 1932.
- Rom eis, B., Taschenbuch der mikroskopischen Technik. München & Berlin, 1928.
- Saling, T., Über das wirksame Prinzip von Pyrethrum-Insektenpulvern und eine neue biologische Methodik ihrer Wertbestimmung. Ztschr. Desinf. u. Gesundheitswesen, 20, 33—42, 1928.
- Sato, S., Chrysanthemum from which insect powder is prepared. Journ. Pharm. Soc. Japan, N. 283, 766—788, 1905.
- Effective constituents of insect powder. Journ. Pharm. Soc. Japan, N. 304, 607, 1907.
- Schmitt, N., Rotenon, ein aussichtsreiches, für Warmblüter ungefährliches Insectizid. Wein und Rebe, 13, H. 8, 1931.
- Kultur und Absatz der Derris elliptica Benth. Tropenpflanzer, 35, 375—380, 1932.
- Sprengel, L., Gegenwärtiger Stand der Kenntnisse über Pyrethrum als Insektengift. Anz. f. Schädl.-Kunde, 10, Heft 1, 2, 10, 1934.
- Staudinger & Ruzika, Insektentötende Stoffe I—X. Helvetica Chimica Acta, 7, 177—259, 377—458, 1924.
- & Harder, Insektentötende Stoffe. 12. Mitt. Über die Gehaltsbestimmung des Insektenpulvers. Ann. Acad. Sci. Fennicae, Ser. A., 18, 1927.
- Stellwaag, F., Pyrethrum und Derris ein Vergleich. Pflanzenschutz und Schädlingsbekämpfung, 1, Nr. 2, 1934.
- Tattersfield, F., The Loss of Toxicity of Pyrethrum Dusts on Exposure to Air and Light. Journ. Agric. Sci., 2, 22, 396—417, 1932.
- Hobson, R. P. & Gimmingham, C. T., Pyrethrin I und Pyrethrin II. Their Insecticidal value and Estimation in Pyrethrum (*Chrysanthemum cinerariaefolium*). Journ. Agric. Sci., 19, Part II, 266—296, 1929.
- — Pyrethrin I and Pyrethrin II. Their Estimation in Pyrethrum (*Chrysanthemum cinerariaefolium*). II. Journ. Agric. Sci., 19, 433, 1929.
- Tischler, N., Studies on how Derris kills Insects. Journ. Econ. Ent., 28, 215, 1935.
- Trappmann, W. & Nitsche, G., Methoden zur Prüfung von Pflanzenschutzmitteln. VII. Eine einfache Dosierungsvorrichtung bei Laboratoriumsversuchen. Nachr. f. d. Dtsch. Pflanzenschutzdienst, 14, 51—52, 1934.
- Trappmann, W., & Nitsche, G., Beiträge zur Giftwirkung von Rotenon und Pyrethrin auf verschiedene Insekten. Nachrichtenblatt für den Deutsch. Pflanzenschutzdienst, 15, 6—7, 1935.
- — Methoden zur Prüfung von Pflanzenschutzmitteln. V. Beiträge zur Giftwertbestimmung und zur Kenntnis der Giftwirkung von Arsenverbindungen. Mitt. a. d. Biol. Reichsanst. f. Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem, Nr. 46, 61—89, 1933.
- Turner, N., Notes on Rotenone as an insecticide. Journ. Econ. Ent., 25, 1228—1237, 1932.

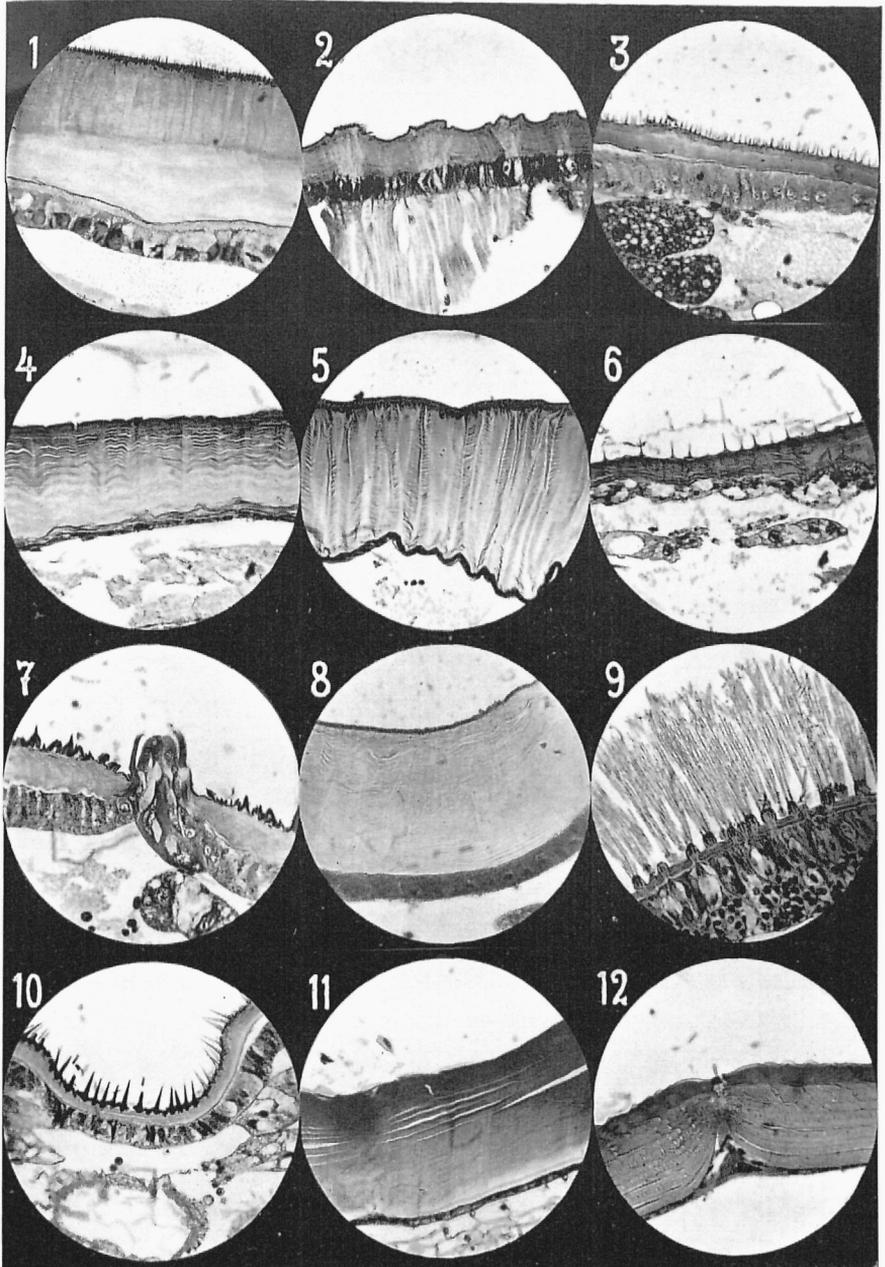
- Umbach, W., Untersuchungen über die Wirkungsweise der Kontaktgifte. Mitt. a. Forstwirtschaft u. Forstwissenschaft, 5, H. 1, 216—218, 1934.
- Völkel, H., Die Beziehungen des Ruhestroms zur Erregbarkeit. Pflügers Archiv f. d. ges. Physiologie, 191, 201—202, 1921.
- Nachwirkungen verschiedener Insektizide auf Seidenspinner. Mitt. a. d. Biol. Reichsanst. f. Land- und Forstwirtschaft, H. 6, 91—94, 1933.
- Weed, A., Derris und die insektizide Wirkung des Rotenous. Tropenpflanzer, 34, 163—166, 1931.
- Weber, H., Lehrbuch der Entomologie, Jena, 1933
- Wileoxon, F., & Hartzell, A., Some Factors Affecting the Efficiency of Contact-Insecticides. Further chemical and toxicological Studies of Pyrethrum. Contrib. Boyce Thomps. Inst. 4, 115, 1933.
- Windaus, A., & Butenandt, A., Untersuchungen über das Rotenon, den physiologisch wirksamen Bestandteil der Derris elliptica. Nachr. Gesellsch. Wiss. (Göttingen), H. 1, 1—8, 1928.
- Yamamoto, R., The insecticidal principle in Chrysanthemum cinerariaefolium. I Journ. Tokyo Chem. Soc., 1919.
- Zunker, M., Die Abtötung von Dasselfliegenlarven mit Derrisextrakten. Berl. tierärztl. Wochenschr., 50, N. 14, 1934.

Figurenerklärung der Tafel 2.

- Fig. 1. Schnitt durch ein Bauchmarkganglion einer Schwammspinnerraupe nach 24 stündiger Pyrethrumextrakt-Einwirkung. Die Rissigkeit im Neuropilem vermutlich Kunstprodukt.
- Fig. 2. Schnitt durch ein Bauchmarkganglion einer unbehandelten Schwammspinnerraupe bei gleicher Färbung und Fixierung.
- Fig. 3. Schnitt durch ein Bauchmarkganglion einer Schwammspinnerraupe. Zwei Mittelsegmente mit geringer Pyrethrum-Extraktmenge behandelt. (Zerstörung der Zellelemente!)
- Fig. 4. Schnitt durch die Kopfkapsel mit Oberschlundganglion. Pyrethrumextrakt-Einwirkung auf zwei Mittelsegmente. (Zerstörung der Neuronschicht.)
- Fig. 5. Schnitt durch das Oberschlundganglion einer unbehandelten Schwammspinnerraupe.
- Fig. 6. Schnitt durch ein Abdominalganglion einer durch Pyrethrumextrakt-Injektion vergifteten Stabheuschrecke. (Zerstörung der Neurone.)
- Fig. 7. Schnitt durch ein Abdominalganglion einer unbehandelten Stabheuschrecke.
- Fig. 8. Schnitt durch den Dorsalteil der Cuticula einer Seidenspinnerraupe im 4. Stadium.
- Fig. 9. Schnitt durch den Dorsalteil der Cuticula einer Seidenspinnerraupe am Ende des 5. Stadiums.
- Fig. 10. Schnitt durch den Dorsalteil der Cuticula einer Kiefernspinnerraupe am Ende des 4. Stadiums.
- Fig. 11. Schnitt durch den Dorsalteil der Cuticula einer Kiefernspinnerraupe im 5. Stadium kurz nach der Häutung.
- Fig. 12. Schnitt durch den Dorsalteil der Cuticula einer Nonnenraupe im 4. Stadium.



H. Klinger, Die insektizide Wirkung von Pyrethrum- und Derrisgiften.



H. Klinger, Die insektizide Wirkung von Pyrethrum- und Derrisgiften.

Figurenerklärung der Tafel 3.

- Fig. 1. Schnitt durch den Dorsalteil der Cuticula einer Nonnenraupe am Ende des 5. Stadiums.
 Fig. 2. Muskelansatzstelle der Cuticula einer Nonnenraupe am Ende des 5. Stadiums.
 Fig. 3. Cuticula der Weidenspinnerraupe in der Mitte des 5. Stadiums.
 Fig. 4. Schnitt durch den Dorsalteil einer Erdeulenraupe im vorletzten Stadium.
 Fig. 5. Schnitt durch den Dorsalteil der Cuticula einer Kohleulenraupe im vorletzten Stadium.
 Fig. 6. Schnitt durch den Dorsalteil der Cuticula einer Apfelwicklerlarve (*Carpocapsa pomonella*).
 Fig. 7. Schnitt durch den Dorsalteil der Cuticula einer Tagpfauenaugenraupe im 4. Stadium mit Haarsockel.
 Fig. 8. Schnitt durch den Dorsalteil der Cuticula einer Abendpfauenaugenraupe im 4. Stadium.
 Fig. 9. Schnitt durch den Dorsalteil der Cuticula einer Goldafterraupe im 4. Stadium (behaarte Rückenwarze).
 Fig. 10. Schnitt durch die Cuticula einer Goldafterraupe im 4. Stadium (Stelle über dem Rückengefäß).
 Fig. 11. Schnitt durch den Dorsalteil der Chitincuticula einer Nashornkäferlarve.
 Fig. 12. Schnitt durch den Dorsalteil der Cuticula einer Stabheuschrecke (*Carausius morosus*).

Trigonalys prudnicensis (nov. spec.).

(Hymenoptera: Trigonalidae.)

Von V. T o r k a, Neustadt (Oberschl.).

Kopf wenig breiter als der Thoraxrücken, Vorderansicht rundlich, Seitenansicht dreieckig, Scheitelansicht querrechteckig mit abgerundeten Hinterecken. Augen länglich elliptisch und schwach vorgewölbt. Nebenaugen in ein rechtwinkelig gleichschenkeliges Dreieck gestellt. Vor dem ersten Punktauge ist ein doppelt geschwungener Quereindruck vorhanden, dessen Spitze nach vorn gerichtet ist. Auch seitlich der beiden hinteren Ocellen befinden sich flache Eindrücke. Scheitel und Seiten des Kopfes sind zerstreut punktiert, dazwischen sind die Räume stark glänzend. Stirn eingedrückt, in den Vertiefungen zwei seitlich zusammengedrückte Fühlerzapfen vorhanden. Fühler kräftig, borstenförmig und 25 gliederig. Schaft glockenförmig, oben ausgehöhlt, die Ränder scharf abgestutzt, oberseits eingestochen punktiert und schwärzlich behaart. Pedizellus klein, ebenso breit wie lang. Das erste Geißelglied am längsten, die nachfolgenden allmählich kürzer, die letzten Glieder jedoch immer noch länger als breit. Zwischen den Fühlern an der Stirn ist eine kleine runde Erhabenheit sichtbar. Clipeus zweimal so breit als lang, abgestutzt und in der Mitte ausgerandet, Basis in einer Quervertiefung unterhalb der Fühler liegend. Wangen vorhanden, aber kurz. Mandibeln sehr kräftig und breit, mit zwei gleichgroßen, spitzen Zähnen. Hinterkopf oben und an den Seiten