

Wunderwelt der Kutikula

von W. Peters

Kutikula ist für die meisten Laien und auch viele Entomologen das, was sie fast ausschließlich von einem Insekt kennen. Was hinter dieser Formenfülle der Kutikula steckt, wird heute bis in die molekularen Dimensionen erforscht. Ich möchte keineswegs eine gründliche, alle Aspekte berücksichtigende Vorlesung über die Kutikula halten. Dazu reicht die Zeit gar nicht aus. Stattdessen möchte ich auf einige interessante Themen aufmerksam machen, die vielleicht zu eigener Beschäftigung mit diesen Problemen anregen können.

Die Kutikula bildet das Außenskelett der Insekten, das wesentlich mehr Funktionen übernehmen kann als das Innenskelett der Wirbeltiere. Die Kutikula kann ständig verstärkt und verändert werden. Sie muß gehäutet werden, wenn das Tier stärker wächst.

Sie bedeckt lückenlos die Körperoberfläche. Sie wird von der Epidermis abgeschieden, die dabei eine unglaubliche Syntheseleistung vollbringt, denn die Kutikula ist kein einfaches, einheitliches Sekretionsprodukt.

Es ist bedauerlich, daß bis auf den heutigen Tag - selbst in angesehenen Lehrbüchern - die Kutikula als Chitinkutikula bezeichnet wird oder schlicht mit Chitin gleichgesetzt wird. Davon kann überhaupt keine Rede sein!

Die Kutikula besteht vielmehr vorwiegend aus Proteinen, die als Grundsubstanz oder Matrix fungieren. In diese kann Chitin in unterschiedlichem Maße eingelagert sein. Der Chitinanteil kann zwischen 0 und 60 % schwanken. Andere Substanzen, wie Lipide, Salze usw., haben allenfalls einen Anteil von wenigen Prozent.

Chitin wird immer als Poly-acetyl-glucosamin aufgefaßt. Aber man ist wegen der Nachweis-schwierigkeiten nicht sicher, in welchem Maße Chitin wirklich acetyliert ist. Der Acetylie-rungsgrad ist aber von großer funktioneller Be-deutung, insbesondere hinsichtlich des Wasser-gehalts des Chitins.

Chitin gehört neben Cellulose und Kollagen zu den verbreitetsten Biopolymeren. Die Fähigkeit zur Synthese und Einlagerung von Chitin ist keineswegs auf die Insekten oder Arthropoden beschränkt, sondern eine uralte und im Tier-reich weit verbreitete Fähigkeit.

Man hat immer schon diesen massenhaft vorkom-menden Stoff wirtschaftlich nutzen wollen. Lei-der ist dies wegen der geringen Löslichkeit mit Problemen verbunden. Neuerdings sind aber welt-weit Nutzungsmöglichkeiten in der Technik wie in der Medizin gefunden (MUZZARELLI, 1977). Oh-ne Frage kann man hier noch mit erheblichen Steigerungsraten rechnen. Wegen der kaum vor-handenen Toxizität des Chitins und seiner Ab-bauprodukte wird es zum Abdecken von größeren Wunden verwendet, wobei zusätzlich noch eine Beschleunigung der Heilung zustande kommt. Au-ßerdem kann dieses Material zur Herstellung von Diffusionsfolien zur Blutreinigung bei Nieren-kranken genutzt werden. Da es sich um ein bio-logisch abbaubares, ungiftiges Material han-delt, möchte man es als Umhüllung für Chemothe-rapeutika der verschiedensten Art verwenden, wie das bereits mit Liposomen geschieht. Diese Packungen sollen in den Körper eingeschleust

werden und eine kontinuierliche Abgabe im Körper ermöglichen, ohne daß durch das Verpackungsmaterial ein Schaden entsteht. In der Abwasserreinigung wird ein Abbauprodukt des Chitins, das Chitosan, in einer besonderen Aufbereitungsform zum Abfangen von Quecksilber, Cadmium und anderen Schwermetallen verwendet. Chitosananacetat fungiert hier als Polyelektrolyt. In gleicher Eigenschaft wird es bei der Konzentrierung von Klärschlämmen in den USA, Japan und Europa eingesetzt. Ein Zusatz von 0,5 % Chitosan bewirkt durch die Neutralisation von Ladungen eine Abgabe von gebundenem Wasser und eine rasche Verklumpung. Ähnlich günstig wirkt sich die Zugabe von Chitosan bei der Aufarbeitung von eiweißhaltigen Abwässern in Lebensmittelbetrieben wie Hühnerschlachtereien, Fischkonserven- und Sojafabriken usw. aus. In derartigen Betrieben ist die Entfernung des Proteins weder durch Filtration noch durch Zentrifugation in wirtschaftlicher Form möglich. Durch die Ausflockung der Restproteine mit Chitosanacetat und nachfolgende Filtration ist das Problem aber sehr einfach zu lösen. Sehr günstig ist auch hier, daß das Chitosan überhaupt nicht giftig ist und biologisch abgebaut werden kann.

In der Kutikula ist das Chitin vorwiegend in Form von Mikrofibrillen vorhanden. Diese haben einen Durchmesser von etwa 3 nm. Sie sind schichtweise parallel angeordnet. Elektronenmikroskopisch kann das Chitin durch ein Lektin, Weizenkeimagglutinin, das an kolloidales Gold gekoppelt wird, lokalisiert werden (PETERS und LATKA, 1986). Chitin kommt anscheinend nie allein vor, sondern ist stets mit Proteinen assoziiert. Nach intensiver Hydrolyse bleiben stets bestimmte kurzkettige Aminosäuresequenzen mit den Chitin-Mikrofibrillen verbunden. Diese mit N-Acetylglucosamin konvalent verbundenen Komplexe hat man Peptidochitodextrine genannt. Die Mikrofibrillen sind eingebettet in eine prote-

inhaltige Grundsubstanz. Aus den Ergebnissen der Röntgenbeugung und chemischer Untersuchungen kann man entnehmen, daß ein erheblicher Teil dieser Proteine parallel zu den Chitinketten orientiert ist. Beide können konvalent über Apspartat- bzw. Histidin-Reste miteinander verbunden sein. Die Proteine der Kutikula konnten in neuerer Zeit endlich genauer auch mit molekularbiologischen Methoden untersucht werden. Dabei stellte sich heraus, daß es eine gänzlich unerwartete Fülle von Proteinen gibt. Bereits auf engstem Raum, wie etwa in der besonders gut untersuchten Tibia der Wanderheuschrecke, kommt eine Vielzahl von Proteinen vor. Bisher ist noch unklar, welche funktionelle Bedeutung dies haben könnte. Die Analyse der Aminosäuresequenzen ergab, daß diese Vielfalt nur ganz bestimmte Bereiche der Proteine betrifft. Es ist stets ein sehr langer konservativer Abschnitt im Mittelteil vorhanden, während die Enden der Proteinketten überaus variabel sind. Die Kutikulaproteine sind vielfach wasserlöslich und haben meist ein relativ geringes Molekulargewicht zwischen 10.000 bis 80.000 Dalton, vorwiegend unter 20.000 Dalton. Auffallend ist auch ihr niedriger isoelektrischer Punkt zwischen pH 3 bis 6.

Mechanisch besonders belastete Anteile der Kutikula können in besonderer Weise gehärtet werden. Die Schneidekanten der Mandibeln von Wanderheuschrecken, mit denen harte Gräser abgebissen werden, sind durch Einlagerung von Zink besonders hart und widerstandsfähig. Bei anderen Orthopteren, Phasmiden und Larven von Lepidopteren spielt Zink, bei manchen Coleopteren Mangan, und bei anderen Coleopteren sowie bei Ameisen Zink und Mangan eine derartige Rolle; Eisen kommt in den Mandibeln von mehreren Schabenarten und dem Ohrwurm, **Forficula auricularia**, vor; Silicium wurde allenthalben gefunden (HILLERTON and VICENT, 1982).

1960 entdeckte Weis-Fogh ein Kutikulaprotein mit gummiartigen Eigenschaften und nannte es Resilin. Es erscheint farblos und transparent. Auch im Elektronenmikroskop ist es strukturlos. Wahrscheinlich kommt es bei allen Insekten vor. So weit das Resilin daraufhin untersucht wurde, hatte es eine recht gleichartige Aminosäurezusammensetzung. Es besteht aus einem dreidimensionalen Netzwerk von Proteinketten. Wenige vorhandene Quervernetzungen bestehen nach Andersen aus ungewöhnlichen, fluoreszierenden, oligomeren Tyrosinderivaten, wie Dityrosin, Tertyrosin. Das dreidimensionale Netzwerk von Proteinketten kann auf 200 % der ursprünglichen Länge gestreckt werden. Resilin kommt anscheinend besonders an Stellen vor, an denen diese Eigenschaften von Bedeutung sind. So wurde es u.a. an Flügelbasen von Libellen und Wanderheuschrecken, am Rüssel von Schmetterlingen und in den Sprungbeinen der Flöhe gefunden. Es ermöglicht den Aufbau einer Art Federspannung in den betreffenden Kutikulapartien.

Das Kutikulamaterial wird nicht pausenlos, sondern periodisch, d.h. schichtenweise abgeschieden. Die Abscheidung erfolgt in einem circadianen Rhythmus, d.h. etwa alle 24 Stunden (NEVILLE, 1967). Wurden Teile von Schabenbeinen *in vitro* in definierter Kulturlösung gehalten, so blieb dieser Abscheidungsrythmus bis zu 3 Wochen nach der letzten Häutung erhalten. Er wird offenbar nur von der Temperatur der Kulturlösung, nicht aber von Hell-Dunkel-Zyklen oder von konstanter Helligkeit bzw. Dunkelheit beeinflusst. Das heißt, Licht ist als Zeitgeber bei diesem circadian arbeitenden System anscheinend nicht erforderlich, oder nicht mehr nötig (WEBER, 1985; WIEDEMANN et al., 1986).

Im elektronenmikroskopischen Bild einer Kutikula erkennt man Lagen, die man als Lamellen bezeichnet. Innerhalb jeder Lamelle sind viele Schichten erkennbar. Michael Locke hat die Ab-

scheidung dieser Lamellen bei den Larven eines Schmetterlings, **Calpodes ethlius**, genauer untersucht. Er zählte mehr als 400 Lamellen in der Larvenkutikula. Die ersten Lamellen sind mit 0,5 relativ dick. Zu ihrer Abscheidung sind 6 Stunden erforderlich. Später sind die Lamellen nur noch 0,1 dick und werden innerhalb von 10 Minuten abgeschieden. Jede Lamelle besteht aus vielen Schichten. Bei den dickeren ersten Lamellen dürften etwa 150 Schichten vorhanden sein, wenn man annimmt, daß die Schichtdicke etwas größer ist als der Durchmesser der Chitin-Mikrofibrillen der 3-5 nm beträgt. Von Schicht zu Schicht dürfte die Orientierung der parallel angeordneten Chitin-Mikrofibrillen um etwas mehr als 1 Grad verändert werden. Jede dieser Schichten dürfte in etwa 2 Minuten abgeschieden werden. Bei den dünneren Lamellen dürften etwa 30 Schichten vorhanden sein, deren Mikrofibrillen-Orientierung von Schicht zu Schicht um etwa 6 Grad verändert wird. In diesem Falle dürfte jede Schicht innerhalb von 20 Sekunden abgeschieden werden. Es handelt sich um eine rasch gebildete und sehr präzise orientierte Struktur.

Die Porenkanäle sind Ausläufer der Epidermiszellen. Sie durchziehen die Kutikula in stark gewundener Form, und zwar in Abhängigkeit vom Verlauf der chitinhaltigen Schichten. In ihnen kann Material bis in den Bereich der Epikutikula transportiert werden.

Der Gesamtaufbau der Kutikula kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten unterteilt werden. Die bekannteste Gliederung, die in allen Lehrbüchern zu finden ist, unterscheidet nach histologischen und feinstrukturellen Merkmalen: Epi-, Exo- und Endokutikula. Die Subkutikula scheint neu abgeschiedener, vielleicht noch nicht recht geordneter Endokutikula zu entsprechen. Die Epikutikula gilt als chitinfrei. Sie ist aus einer unterschiedlichen Zahl von

Schichten aufgebaut, die man nur im EM erkennen kann. Die einzelnen Schichten haben unterschiedliche Zusammensetzung und Funktion. Endo- und Exokutikula sind die chitinhaltigen Anteile, die zusammen als Prokutikula bezeichnet werden.

Die Endokutikula wird bei der Azanfärbung nach Heidenhain blau gefärbt. Licht- und elektronenmikroskopisch erkennt man in ihr den Aufbau aus Lamellen. Da die Endokutikula sehr elastisch ist, wurde sie von HEPBURN und JOFFE (1976) als plastische Kutikula (Plastic cuticle) bezeichnet. Die Autoren wollten damit gegenüber der bisher vorwiegend histologisch begründeten Einteilung und Benennung die mechanischen Eigenschaften ins Spiel bringen.

Die Exokutikula wird bei der Azanfärbung - wenn überhaupt - rötlich gefärbt. Ihre Eigenfärbung über vielfältige Varianten von Gelb über Braun bis Schwarz kommt zustande durch Quervernetzung der Proteinketten durch die Einlagerung von Derivaten der Aminosäure Tyrosin - dieses Thema muß noch gesondert behandelt werden. Die Exokutikula weist ebenfalls Lamellen auf. Aber diese sind sehr viel schlechter als in der Endokutikula erkennbar. Der Winkel, um den die Orientierung der Chitin-Mikrofibrillen sich von Schicht zu Schicht ändert, ist kleiner als in der Endokutikula. Jensen und Weis Fogh haben die Exokutikula "solid cuticle" genannt, um ihre biomechanischen Eigenschaften zu betonen.

Ein Übergangsstadium zwischen Endo- und Exokutikula, das sich bei der Azanfärbung grün färbt, wurde erstmals von einem Schüler von Richards, nicht aber von Richards selbst, als Mesokutikula bezeichnet. Diese Bezeichnung bezieht sich auf ein Stadium der Umwandlung von Endo- in Exokutikula. Sie ist nicht räumlich zu verstehen.

Der Anteil von Endo- und Exokutikula variiert sehr stark. Collembolen und Fliegenlarven haben gar keine Exokutikula, während bei manchen Käfern fast die gesamte Kutikula aus Exokutikula besteht. Der Däne Andersen, der sich um die Erforschung der Kutikulaproteine und ihre Sklerotisierung sehr verdient gemacht hat, wies bereits darauf hin, daß es sehr zweckmäßig sein dürfte, daß die Kutikula von Entwicklungsstadien nur in geringem Maße sklerotisiert wird. Die Exokutikula kann vor der Häutung nicht resorbiert und für die Bildung der neuen Kutikula nicht wieder auf dem Wege des Recycling verwendet werden. Außerdem wäre eine dicke Exokutikula beim Schlüpfen ein Hindernis. Aber auch bei Imagines ist es nicht vorteilhaft, wenn der Anteil an Exokutikula zu groß ist. Exokutikula ist wenig elastisch und daher leicht zu brechen. Ein gewisser Anteil an elastischer Endokutikula erhöht daher die mechanische Widerstandsfähigkeit der Gesamtkutikula.

Damit sind wir beim Thema "mechanische Eigenschaften der Kutikula". Sie hängen u.a. in besonderem Maße vom Wassergehalt ab. Dieser kann außerordentlich schwanken. In dem besonders gründlich untersuchten Femur der Wanderheuschrecke wurden 15 % Wasser gefunden, in der Larvenkutikula der Fleischfliege, **Sarcophaga bullata**, waren es hingegen 55 %. Das Wasser soll aufgrund kapillarer oder molekularer Sorption vorhanden sein. Ein hohes Maß an Flexibilität und Dehnbarkeit z.B. der Kutikula von Larven der Schmetterlinge oder Fliegen ist nur bei hohem Wassergehalt möglich. Nimmt der Wassergehalt ab, so erhöhen sich Steifheit und mechanische Widerstandskraft der Kutikula. Dies kann man sehr schön bei der Verpuppung von Fliegen verfolgen. Dunkle Kutikula ist vielfach, aber nicht stets hart. Die Dunkelung über vielfältige Varianten von Gelb über Braun bis Schwarz kommt - wie bereits erwähnt - durch Quervernetzung der Proteinketten infolge Einla-

gerung von Derivaten der Aminosäure Tyrosin zustande. Hierfür scheinen zwei enzymatisch gesteuerte Wege von unterschiedlicher Bedeutung zu sein. Ausgangspunkt ist in beiden Fällen das aus Tyrosin entstandene N-Acetyl-dopamin.

Nach Meinung der meisten Autoren ist die Häufigkeit der bei der Sklerotisierung entstandenen Querbindungen von besonderer Bedeutung für die Steifheit der Kutikula. Je mehr Quervernetzungen vorhanden sind, desto steifer sei die Kutikula. Der Prozeß der Quervernetzung durch Tyrosinderivate wird als Gerbung oder Sklerotisierung bezeichnet. Die hochkomplexe schwarze Form bezeichnet man als Melanin. Das Melanin kann auch im Körperinnern bei der Abkapselung von Parasiten und Fremdkörpern auftreten. Die schönen Untersuchungen von Frau Walker, einer Schülerin Hadorns in Zürich, haben gezeigt, daß die Fähigkeit zur Kapselbildung und Verwendung von Melanin genetisch fixiert sein muß. Fehlt sie, so kann ein eingedrungener Parasit nicht unschädlich gemacht werden. Die Gerbung oder Sklerotisierung wird durch Hormone in Gang gesetzt und gesteuert. Dieser Vorgang muß offensichtlich sehr genau gesteuert werden. Würde der Gerbungsprozeß blindlings ablaufen, so könnte das in vielen, aber nicht allen Fällen verheerende Folgen haben. Wenn ein Fliegenpuparium übermäßig sklerotisiert wird, so dürfte das kaum nachteilige Auswirkungen haben. Wenn aber ein Flügel nicht in der rechten Weise sklerotisiert würde, so wäre er entweder zu weich oder bei zu starker Sklerotisierung zu schwer und brüchig, um eine ausreichende Funktion zu gewährleisten. Bisher weiß man kaum etwas über die hormonelle Regulation der Sklerotisierung. Bursicon scheint nach Fraenkel daran beteiligt zu sein. Vielleicht spielt auch 20-Hydroxyecdysteroid eine Rolle. Über die Beteiligung anderer Hormone weiß man noch nichts.

Die Kutikula bedeckt nicht nur die Körperober-

fläche, sondern erstreckt sich auch über den Vorder- und Enddarm sowie das Tracheensystem. Doch davon soll hier nicht die Rede sein.

Ein interessantes Thema sind die Farben bei Insekten. Braune und schwarze Farbtöne entstehen im Zusammenhng mit der bereits erwähnten Sklerotisierung der Kutikula. Zahlreiche Pigmente kommen als Granula vor in Epidermiszellen, Fettkörper, Hämolymphe usw. In neuerer Zeit wurden die Ursachen der wunderschönen, durch Interferenzerscheinungen im Bereich der Kutikula zustandekommenden Farberscheinungen genauer untersucht. Die physikalischen Grundlagen beschrieben LAND (1972) und NEVILLE (1975). Die Interferenzfarben werden durch feinste nur im Elektronenmikroskop auflösbare Wechsel von unterschiedlich lichtbrechenden Schichten bestimmter Größenordnung hervorgerufen. Besonders bekannt sind die herrlichen blauen Schillerfarben von Schmetterlingsflügeln der Gattung Morpho (BERNHARD, 1979). Bei diesen sind die Interferenzerscheinungen bedingt durch den Wechsel von oberer und unterer Lamelle und der dazwischen befindlichen Luftschicht in den Schuppen. Blaue, grüne und bisweilen auch rötliche Schillerfarben kommen auch bei anderen Schmetterlingen, bei Käfern, bei Augen von Bremsen, Fischschuppen und Vogelfedern vor (Bernhard, 1983). Bei der Puppe des asiatischen Monarchfalters **Euploea core** glänzt die gesamte Körperoberfläche als ob sie aus Gold bestünde. Bei einer anderen Art ist es ein Silberglanz. Die Ursache dieses Metallglanzes sind in diesem Falle 200-300 regelmäßige, sehr dünne Schichten der inneren Endokutikula (STEINBRECHT, 1985). Die Schichten sind parallel zur Körperoberfläche angeordnet. Es wechseln miteinander elektronendichte und wasserhaltige Schichten ab. An diesen Schichten entstehen Interferenzen zwischen einfallendem und reflektierendem Licht. Optimaler Glanz kommt zustande wenn die Dicke der Schichten ein Viertel der Wellenlänge des

einfallenden Lichtes ausmacht. Es würde genügen wenn nur 100 Schichten vorhanden wären. Zu Beginn des Puppenstadiums sind zunächst noch nicht alle Schichten vorhanden. Daher hat die Puppe zunächst einen blauen, dann einen grünen und schließlich den Gold- oder Silberglanz. Naht der Schlüpftermin, so kommt es zu einem Abbau der Schichten und zu einer entsprechenden umgekehrten Reihenfolge der Schillerfarben. Trocknet die Flüssigkeit der Zwischenschichten aus, so erlischt der Glanz. Man vermutet, daß der Goldglanz eine Tarnung vor Freßfeinden bewirken könnte. Die Gestalt der Puppe könnte dadurch undeutlich werden. Vielleicht werden durch diese Färbung auch Tautropfen vorgetäuscht.

Die Lokalisation von Lipiden in der Kutikula ist nach wie vor problematisch. Daher wird allgemein stillschweigend nur der Lipidgehalt der Epikutikula berücksichtigt, oder so getan als wären alle extrahierten Lipide in der Epikutikula angesiedelt. Diese Lipide sind für die wasserabweisende Wirkung der Kutikula bei Wasserbewohnern verantwortlich. Sie sind außerdem von außerordentlicher Bedeutung für den Wasserhaushalt der landbewohnenden Insekten.

Man hat schon vor dem II. Weltkrieg und auch danach versucht, diese Barriere mit Hilfe von inerten Stäuben zu ruinieren. Dies war besonders angebracht bei Schädlingen in Getreidesilos und Mühlen, da man in diesem Bereich so wenig wie möglich Insektizide anwenden wollte. Gründliche Untersuchungen in Indien Ende der 50er Jahre zeigten, daß die betreffenden Stäube eine Härte von mindestens 6 nach der Moh-Skala sowie einen Durchmesser der Partikel unter 10 haben müssen, um eine ausreichende Wirksamkeit zu entfalten. Weitere Untersuchungen zeigten aber, daß es nicht so sehr auf den Abrieb der lipidhaltigen Anteile der Epikutikula ankommt, denn Stoffe ohne diese Wirkung, aber mit

intensiver Aufnahme von Lipiden, erwiesen sich als besonders wirksam. Silikagel, aktivierte Kohle und Aluminiumpulver waren aus diesem Grunde viel effektiver als Caborundpulver.

Und noch etwas sehr Wesentliches muß in diesem Zusammenhang erwähnt werden: Die Epidermis ist eine um den Faktor 8 wirksamere Barriere gegen Wasserverlust als die im allgemeinen immer so hochgelobte Epikutikula!

Viel zu wenig untersucht ist die Frage wie es eigentlich möglich ist, daß ein Insekt nicht von Bakterien und Pilzen übersät ist, da es doch oft genug in bakterienhaltigem Boden und Dreck umherkriecht. Der Schutz gegen Bakterien und Pilzbefall hängt vermutlich von Lipiden der Epikutikula ab.

Ein weiteres interessantes Thema sind die Erkennungsstoffe, die sogenannten Pheromone, die sich ebenfalls unter den Lipiden der Epikutikula befinden können. Wir machen uns viel zu wenig klar, daß andere Lebewesen sich geruchlich erkennen, während wir uns als Augenwesen meist optisch einschätzen und unsere persönlichen Gerüche mit allerlei Chemie wie Eau de Cologne, Deodorantien, Lotions usw. unterdrücken. Aber unser phylogenetisches Erbe weist immer noch die geruchliche Erkennung auf. Nicht umsonst sagt man "Den kann ich nicht riechen". Im Reich der Insekten beriecht man sich in sehr starkem Maße zur Erkennung der Art, der Kaste, des Geschlechtspartners, der Stimmungslage des Geschlechtspartners usw. Männchen von Tagfalterlingen verfügen über sogenannte Duftschuppen auf den Flügeln. In anderen Fällen geben die Weibchen aus besonderen Drüsen der Epidermis Pheromone ab, durch die die Männchen von weiter angelockt werden. Dies wird heute zur biologischen Schädlingsbekämpfung bzw. im Warndienst eingesetzt. Bei der Hornisse ist ein Kutikulalipid bekannt, das von den Puppen abgege-

ben wird und thermoregulatorisches Verhalten der Arbeiterinnen an den Brutzellen veranlaßt.

Man hat auch Kutikulalipide identifiziert, die bei Schlupfwespen Suchverhalten und Eiablage auslösen können. Das gelang zum Beispiel bei dem wirtschaftlich so bedeutsamen Maiszünsler, *Heliothis zea*.

Ein wunderbares Thema sind die Wachsabscheidungen bei manchen Insekten. Bei einer an Ahorn vorkommenden Mottenschildlaus kommen starke Wachsabscheidungen nur bei den über Winter diapausierenden Formen vor.

Das Thema Haare, Schuppen, Sinneshaare reicht für einen weiteren Vortrag. Der Insektenkörper ist von Sinneshaaren übersät. Ich möchte an dieser Stelle nur auf drei Dinge kurz eingehen:

Spezielle Sinnesorgane, die Sensilla campaniformia ermöglichen die Kontrolle der Spannungen, die in der Kutikula aus verschiedenen Gründen auftreten. Gruppen dieser Sinnesorgane sind beispielsweise an der Basis der Halteren von Dipteren vorhanden.

Mechanosensorische Haare, die Stellungshaare, sind allenthalben am Insektenkörper verteilt, um die relative Lage von Körperabschnitten und Körperanhängen zueinander zu ermitteln.

Bei der Häutung müssen auch die Sinnesorgane mitgehäutet werden. Das schafft eine überaus gefährliche Situation. Die Neubildung eines Sinneshaares wird daher schon vor der Häutung vorgenommen, damit die "Dunkelphase" möglichst kurz ist.

Zum Schluß möchte ich noch auf eine häufig auftauchende Frage eingehen. Wie kann sich eine Fliege an der glatten Fensterscheibe halten? Sie hat an ihren Tarsen ein Paar Pulvillen, die

mit winzig kleinen Haaren ausgestattet sind. Jedes dieser Härchen ist distal etwas abgeplattet. Sie sind mit einer öligen Flüssigkeit versehen, die schwerflüchtig ist und deren chemische Natur man noch nicht kennt. Diese Flüssigkeit dient als Adhäsionsflüssigkeit und ermöglicht Fliegen das Laufen auf glatten Flächen. Umstritten ist, wie diese Flüssigkeit aus einer Drüse im Tarsus an die Oberfläche gelangt. HASENFÜß (1977) nahm an, daß sie im dorsalen Teil des Tarsus austritt und über ein Rinnensystem auf die kleinen Härchen der Pulvillen gelangt. BAUCHHENß (1979) vermutete, daß die Adhäsionsflüssigkeit im sekretorischen Epithel der Pulvillen gebildet, in deren Kutikula gespeichert und über die Porenkanäle der Ventralseite der Pulvillen abgegeben wird.

Die Kutikula ist ein weltweit viel untersuchtes Phänomen. Daher gibt es seit vielen Jahren bereits einen losen Zusammenschluß aller auf diesem Gebiet arbeitenden Wissenschaftler in Form des Cuticle Club. Dieser ist kürzlich nach einer kleinen, technisch bedingten Diapause wieder aktiv geworden. Interessenten sollten sich entweder melden bei der Royal Entomological Society, 41 Queen's Gate, London, SW7 5HU, United Kingdom, oder bei Dr. Julian F.V. Vincent, Dept. of Pure and Applied Zoology, University of Reading, PO Box 228, Reading RG6 2AJ, United Kingdom. Sie erhalten in loser Folge ein Mitteilungsblatt über laufende und geplante Forschungsarbeiten und kommen jährlich 1-2 mal in London in den ehrwürdigen Räumen der Royal Entomological Society zu Workshops zusammen.

Literatur:

ANDERSEN, S.O.: Sclerotization and tanning of the cuticle. In: Kerkut, G.A., Gilbert, L.I. (Ed.) Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology. Pergamon Press, Oxford 1985. Vol. 3, 59-74

- BAUCHHENB, E.: Die Pulvillen von **Calliphora erythrocephala** (Diptera, Brachycera) als Adhäsionsorgane. *Zoomorphologie* 93, 99-123 (1979)
- BEAMENT, J.W.L.: The ecology of cuticle. In: Hepburn, H.R. (Ed.) *The Insect Integument*. Elsevier, Amsterdam 1976, 359-374
- BENNET-CLARK, H.C.: Energy storage in jumping insects. In: Hepburn, H.R. (Ed.) *The Insect Integument*. Elsevier, Amsterdam 1976, 421-444
- BERNHARD, H.: Schillerfarben bei Schmetterlingen: Farben dünner Blättchen. *Kontakte* (Merck) 79, 22-31 (1979)
- BERNHARD, H.: Schillerfarben bei Käfern. *Kontakte* (Merck) 1983, 29-37 (1983)
- BLOMQUIST, G.J., Dillwith, J.W.: Cuticular lipids. In: Kerkut, G.A., Gilbert, L.I. (Ed.) *Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology*. Pergamon Press, Oxford 1985. Vol. 3, 117-154
- EBELING, W.: Insect integument: a vulnerable system. In: Hepburn, H.R. (Ed.) *The Insect Integument*: Elsevier, Amsterdam 1976, 383-400
- FILSHIE, B.K.: The fine structure and deposition of the larval cuticle of the sheep blowfly (**Lucilia cuprina**). *Tissue & Cell* 2, 479-489, 1970
- HACKMAN, R.H.: The interactions of cuticular proteins and some components on their adaptation to function. In: Hepburn, H.R. (Ed.) *The Insect Integument*. Elsevier, Amsterdam 1976, 107-120

- HADLEY, N.F.: Die Cuticula der Gliederfüßler. Spektrum der Wiss. Sept. 1986, 98-107 (1986)
- HASENFUSS, I.: Die Herkunft der Adhäsionsflüssigkeit bei Insekten, Zoomorph. 87, 51-64 (1977)
- HEPBURN, H.R.: Structure of the Integument. In: Kerkut, G.A., Gilbert, L.I. (Ed.) Comprehensive Insect Physiology, Biochemistry and Pharmacology. Pergamon Press, Oxford 1985. Vol. 3, 1-58
- HEPBURN, H.R., JOFFE, I.: On the material properties of insect exoskeletons. In: Hepburn, H.R. (Ed.) The Insect Integument. Elsevier, Amsterdam 1976, 207-236
- HILLERTON, J.E., VINCENT, J.F.V.: The specific location of zinc in insect mandibles. J. exp. Biol. 101, 333-336 (1982)
- JEUNIAUX, C.: Chitine et chitinolyse. Masson, Paris
- KRAMER, K.J., DZIADIK-TURNER, C., KOGA, D.: Chitin metabolism in insects. In: Kerkut, G. A. Gilbert, L.I. (Ed.) Comprehensive Insect Physiologie, Biochemistry and Pharmacology. Pergamon Press, Oxford 1985. Vol. 3, 75-116
- LAND, M.F.: The physics and biology of animal reflectors. Progr. Biophys. Molec. Biol. 24, 77-106 (1972)
- LOCKE, M.: The role of plasma membrane plaques and Golgi complex vesicles in cuticle deposition during the moult/intermoult cycle. In: Hepburn, H.R. (Ed.) The Insect Integument. Elsevier, Amsterdam 1976, 237-258
- MARKS, E.P., SOWA, B.A.: Cuticle formation in vitro. In: Hepburn, H.R. (Ed.) The Insect

- Integument. Elsevier, Amsterdam 1976, 339-358
- MUZZARELLI, R.A.A.: Chitin. Pergamon Press, Oxford 1977.
- NEVILLE, A.C.: Chitin orientation in cuticle and its control. Adv. Insect Physiol. 4, 213-286 (1967)
- NEVILLE, A.C.: Biology of the Arthropod Cuticle. Springer, Berlin-Heidelberg-New York 1975
- PETERS, W., LATKA, I.: Electron microscopic localization of chitin using colloidal gold labelled with wheat germ agglutinin. Histochemistry 84, 155-160 (1986)
- RICHARDS, A.G.: The Integument of Arthropods. University of Minnesota Press, Minneapolis 1951
- RUDALL, K.M.: Basic properties of the integument. In: Hepburn, H.R. (Ed.) The Insect Integument. Elsevier, Amsterdam 1976, 21-42
- RUDALL, K.M., Kenchington, W.: The chitin system. Biol. Rev. 48, 597-636
- STEINBRECHT, R.A.: Fine structure and development of the silver and golden cuticle in butterfly pupae. Tissue & Cell 17, 745-762 (1985)
- STROUT, V., LIPKE, H., GHEOGHEGAN, T.: Peptidochitodextrins of *Sarcophaga bullata*: Molecular weight of chitin during pupariation. In: Hepburn, H.R. (Ed.) The Insect Integument. Elsevier, Amsterdam 1976, 43-62
- WAINWRIGHT, S.A., BIGGS, W.D., CURREY, J.D., GOSLINE, J.M.: Mechanical Design in Organism.

Princeton University Press, Princeton NJ.
1976

WEBER, F.: Postmolt cuticle growth in a cockroach: in vitro deposition of multilamellate and circadian-like layered endocuticle. *Experientia* 41, 398-400 (1985)

WIEDEMANN, G., LUKAT, R., WEBER, F.: Cyclic layer deposition in the cockroach endocuticle: a circadian rhythm ? *J. Insect Physiol.* 32, 1019-1027 (1986)

Prof. Dr. W. Peters
Institut für Zoologie
der Universität Düsseldorf
Lehrstuhl für Morphologie und
Zellbiologie
Universitätsstr. 1
4000 Düsseldorf

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen des Westdeutschen Entomologentag Düsseldorf](#)

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: [1988](#)

Autor(en)/Author(s): Peters W.

Artikel/Article: [Wunderwelt der Kutikula 4-21](#)