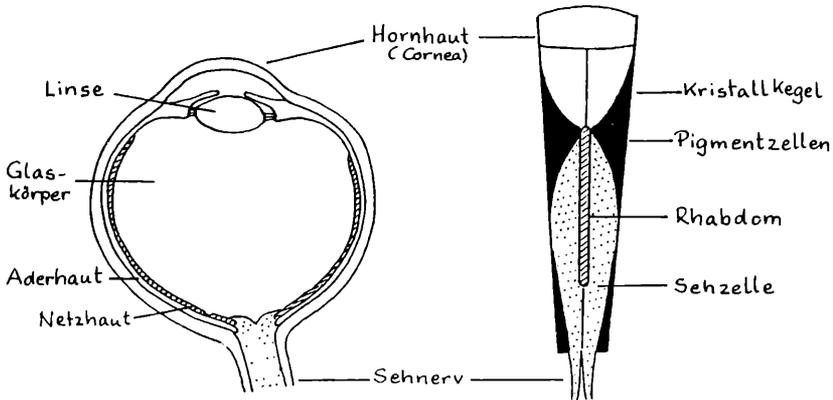


Wenn auch das Grundprinzip des Strahlenganges und der Wahrnehmung des einfallenden Lichtes recht ähnlich ist, baut sich doch ein Insektenauge anders auf als ein Linsenauge der Wirbeltiere:



Das Insektenauge besteht aus vielen Einzelaugen, den sog. Ommatidien. Sie alle sind zu einem "Überauge" zusammengefaßt, weshalb man auch von einem Komplexauge spricht. Da die Ommatidien in optimaler Raumaufteilung und materialsparend die Oberfläche des Auges mit mehr oder weniger ideal ausgebildeten Sechsecken überziehen, spricht man folglich von einem Fazettenauge.

Ein Ommatidium hat als lichtbrechende Einheit eine linsenförmig gestaltete Hornhaut, die Cornea, und direkt darunter einen von spezialisierten Zellen gebildeten sog. Kristallkegel. Diese optische Kombination bringt die Lichtstrahlen aus dem Umfeld der optischen Achse zu einem Brennpunkt, der im Bereich der Sehzellen liegt. Von diesen sind meist 7 oder 8 um die optische Achse angeordnet. Sie haben innen jeweils einen lichtempfindlichen Randsaum, das sog. Rhabdomer, in dem die eigentlichen Photorezeptoren mit ihrem Lichtfarbstoff liegen. Hier werden die eintreffenden Lichtsignale auf ihre Helligkeit, auf ihren Farbwert und auf ihre Polarisation geprüft. Das geschieht durch charakteristische Strukturveränderungen der dort vorhandenen Moleküle. Diese Vorgänge verursachen wiederum die Entstehung adäquater Nervenimpulse, die über den Nerv jeder einzelnen Sehzelle dem Gehirn zugeleitet werden.

In jedem einzelnen der vielen Ommatidien entstehen somit 7-8 Nervenimpulse, die ihren kleinen Sehwickelausschnitt weiterleiten. Im Seh-

zentrum des Gehirns schließlich werden die einzelnen Eindrücke der vielen Einzelaugen zu einer Art Mosaikbild zusammengefügt. Je kleiner die Ommatidien, je kleiner ihr Öffnungswinkel ist, desto mehr Mosaikpunkte liefern das Material für die Bildwahrnehmung, also desto höher ist die Auflösung und desto schärfer ist das Bild. Indirekt läßt sich somit aus der Größe der Augen, der Ommatidienzahl pro Auge und des Öffnungswinkels eines Ommatidiums auf die Güte des Sehvermögens des Insektes schließen.

Insektenart	Auge Ø mm (maximal)	Ommatidien- zahl / Auge	Öffnungs- winkel
<i>Aeshna grandis</i> (Libelle)	7,5	28.000	0°50'
<i>Sphinx convolvuli</i> (Schwärmer)	5,1	27.000	1°50'
<i>Papilio machaon</i> (Tagfalter)	3,2	15.000	0°55'
<i>Melolontha melolontha</i> (Käfer)	2,1	6.000	1°30'
<i>Apis mellifica</i> (Biene)	3,1	5.000 (Arbeiterin)	1°5'
<i>Musca domestica</i> (Fliege)	1,9	3.500	1°

(Angaben ohne Augendurchmesser aus: G.A. Mazokhin-Porshnyakov 1969)

2. Spezielle Strukturen bei Schmetterlingen

Schmetterlingsaugen verfügen über zwei bemerkenswerte Eigenschaften, die in dieser Form nur bei wenigen anderen Insektengruppen auftreten: Sie tragen auf ihrer Cornea-Oberfläche zahlreiche kegelförmige Ausstülpungen ("Nippel") und sie reflektieren nachts eingestrahletes Licht besonders stark.

Die Nippel (vgl. die folgenden Bilder) sind etwa halb so groß wie die Wellenlänge des sichtbaren Lichtes. Da beim Übergang elektromagnetischer Strahlung von einem durchsichtigen Medium ins andere nur ein Teil weitergeleitet, der andere Teil aber reflektiert wird, bedeutet das im Normalfall einen Lichtverlust. Die Nippel nun haben die Fähigkeit durch ihre spezielle Größe, die Reflexion zu reduzieren und so die Weiterleitung zu steigern. Und zwar gilt das für den Bereich des sichtbaren Lichtes bis fast zu den kurzen UV-Wellenlängen. (Untersuchungen von Bernhard et al. 1965)

Man hat sich natürlich nun überlegt, welche biologische Bedeutung

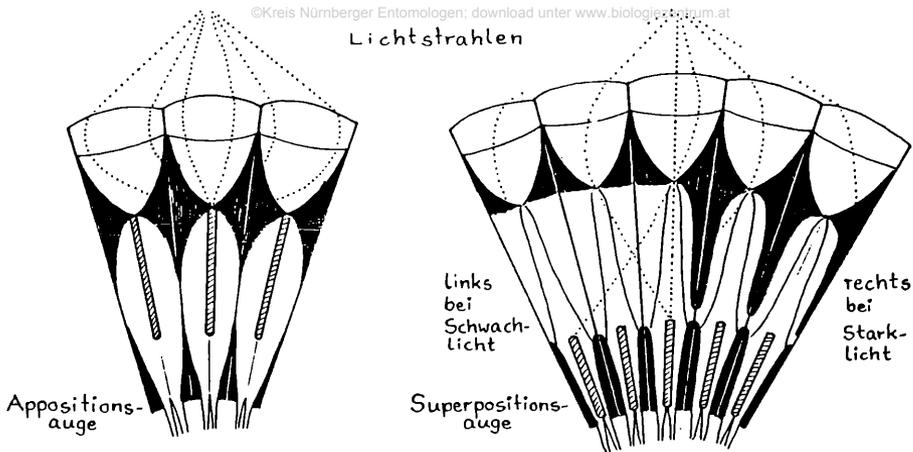
Da diese Nippel besonders bei nachtaktiven Insekten vorhanden sind (bei allen Schmetterlingen, Stechmücken, Steinfliegen und Netzflüglern), vielen tagaktiven Arten (Fliegen, Bienen und viele Käfer) aber fehlen, müssen sie etwas mit der Tarnung dieser Tiere während der nicht aktiven Zeit zu tun haben.

Schmetterlinge beispielsweise sind besonders am Tag der Nachstellung von Vögeln ausgesetzt. Wenn sie nicht gerade giftig oder ungenießbar sind, müssen sie sich folglich tarnen. Das Farbmuster der Schuppen auf den Flügel-Oberseiten (Nachtfalter) oder -Unterseiten (Tagfalter) vermag die Körpergestalt recht gut unsichtbar zu machen. Das Auge aber kann auf diese Weise nicht getarnt werden, zumal auch keine Augenlider vorhanden sind. Bei den meisten Arten sind die Augen ziemlich groß (extrem bei den Schwärmern!). Wenn bei einem ruhenden Falter auch nur ein kleiner Teil des Sonnenlichtes reflektiert würde, zöge das mit Sicherheit die Aufmerksamkeit der Feinde auf sich. Ein Schmetterlingsauge erscheint daher am Tage schwarz (bei Nachtfaltern) oder wenigstens dunkel und matt (bei Tagaltern), jedenfalls nicht hell glänzend, wie wir es von unseren eigenen Augen her kennen.

Die zweite Bedeutung knüpft sich an die andere Eigenschaft der Nippel, nämlich die verstärkte Weiterleitung des Lichtes. Zwar handelt es sich dabei nur um rund 5%, die für einen Tagfalter kaum von Bedeutung sein werden, für einen Nachtfalter aber während seiner aktiven Zeit einen beachtlichen Lichtgewinn darstellen. Nur der sichtbare Wellenlängenbereich, der Rest des reflektierten Sonnenlichtes, wird auf diese Weise verstärkt. Der im Nachtlicht vorhandene große Anteil an Infrarot - eine Auswirkung des Zusammentreffens von kosmischer Strahlung mit den oberen Atmosphärenschichten bleibt wegen der großen Wellenlänge von den Nippeln unbeeinflusst.

Das auffallend gute Sehvermögen der Nachtfalter hängt mit einer anatomischen Besonderheit zusammen, die auch einige andere nachtaktive Insekten besitzen: Das Auge kann von Starklicht (am Tag) auf Schwachlicht (in der Nacht) umgeschaltet werden. Bei Sonnenlicht funktioniert das sog. Appositionsauge, bei dem nur das Licht eindringen kann, das ungefähr in Richtung der Längsachse eines Ommatidiums einfällt. Alles schräg ankommende Licht wird von seitlich abschirmenden, einen dunklen Farbstoff enthaltenden Zellen, den Pigmentzellen, verschluckt. Daraus ergibt sich, daß Insekten mit solchen Augen sich nur bei hohen Lichtstärken gut orientieren können.

Lichtstrahlen



Nachtfalter haben demgegenüber Superpositionsaugen. In ihnen sind die einzelnen Ommatidien gegeneinander nicht durch Pigmente isoliert, so daß auch Schräglicht weitergeleitet wird und die Rhabdome der Nachbarommatidien erregt. Wenig verfügbares Licht ergibt dadurch eine höhere Lichtausbeute, wengleich allerdings die Bilder der Ommatidien durch seitliches "Störlicht" an Schärfe verlieren. Am Tag sind aber Nachtfalter keineswegs blind, wie man vielleicht annehmen könnte. Sie haben die Fähigkeit, durch eine Verschiebung der Pigmentzellen ein Appositionsauge hervorzaubern zu können.

Eine weitere bemerkenswerte Eigenschaft der Schmetterlingsaugen ist die eingangs erwähnte Reflexion einstrahlenden Starklichtes. Sicher kennt jeder die leuchtenden Augen z.B. einer Eule, die nachts am beleuchteten Fenster erscheint. Ein ähnliches Phänomen beobachtet man ja auch an grünreflektierenden Katzen- und Hundeaugen. Diejenigen von Huftieren strahlen Gelb, die von Krokodilen Rot zurück. Es ist bei nachtaktiven Tieren eine lichtreflektierende Schicht im Augenhintergrund, das Tapetum lucidum, das als eine Art Restlichtverstärker alles noch nicht ausgenützte Licht wieder zu den photosensiblen Sinneszellen zurückwirft.

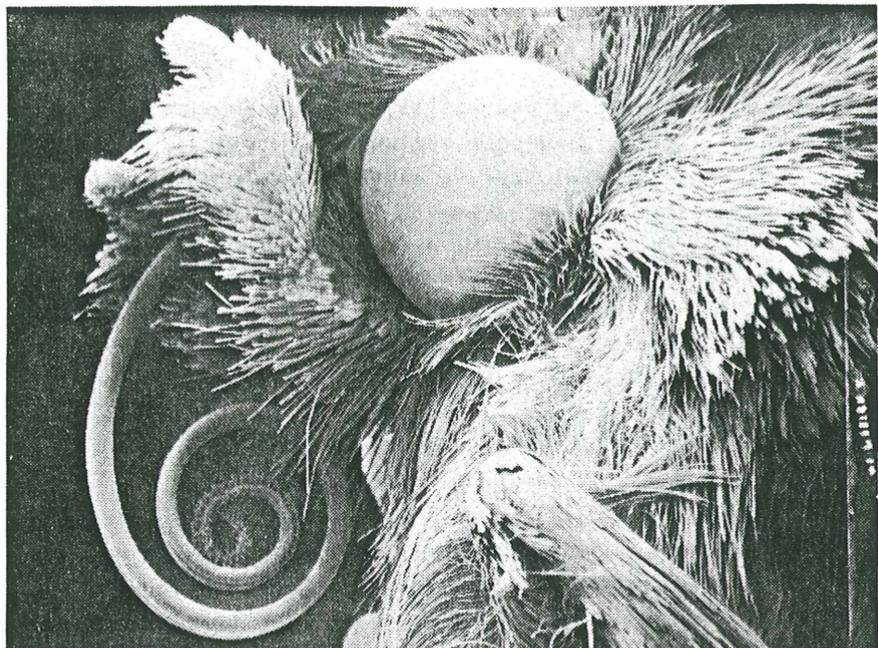
Ein solches Tapetum besteht aus besonders dicht gepackten Haut- oder Bindegewebszellen (bei Säugetieren) oder aus eingelagerten Guanin-Kristallen (bei Reptilien und Fischen). Bei Insekten nun ist die Ursache das Tracheensystem. Als feine Röhren durchzieht es den gesamten Körper und dient der Versorgung der Organe mit Sauerstoff bzw. der Entsorgung von Kohlendioxid. Natürlich sind so aktive Organe wie die Sehzellen der Ommatidien besonders gut mit Tracheen versorgt. Ribl (1979 und 1980) hat sich mit diesen Strukturen spe-

ziell beschäftigt. Er konnte zeigen, daß jedes Ommatidium von einem Tracheenast versorgt wird, der von unten her eindringt und sich dann in vier (bei Tagfaltern) oder in unzählig viele Ästchen (bei Nachtfaltern) aufspaltet. Kurz unterhalb des beginnenden Rhabdoms flachen sich die Spiralversteifungen (Taenidien) ab und bilden einen Stapel aus dicht übereinander liegenden Tafeln. Ihr Abstand zueinander etwa von $1/4$ der Wellenlänge des Lichtes bewirkt Interferenzerscheinungen, die sich summieren und dadurch ein stark irisierendes Licht zurückstrahlen. Als Farbe stellte er fest:

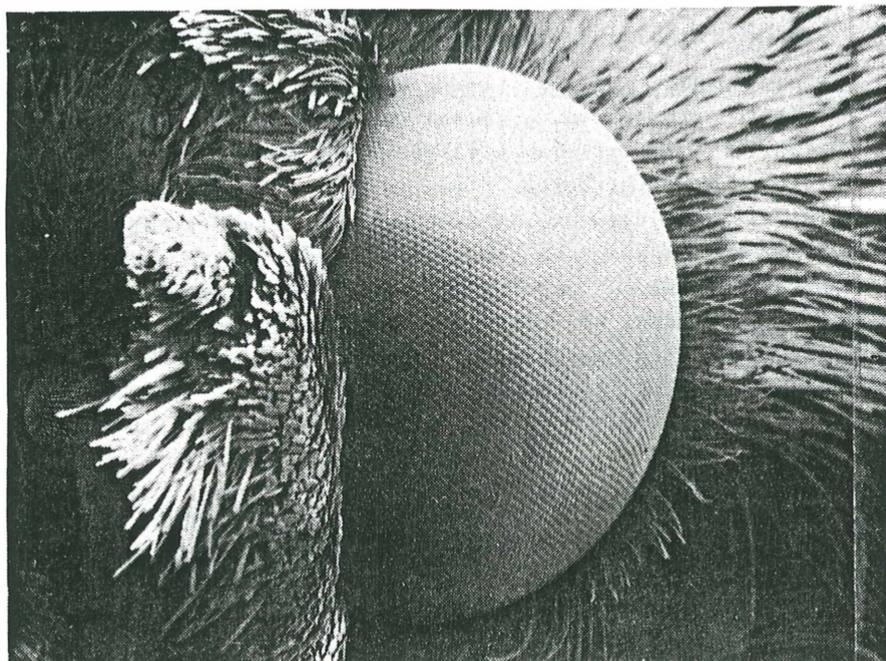
bei <i>Lysandra coridon</i>	Blau
bei <i>Aglais urticae</i>	Orange
bei <i>Argynnis paphia</i>	Orange-Rot
bei <i>Inachis io</i>	Rot
bei <i>Aphantopus hyperantus</i>	Helлтүrkis
bei <i>Colias</i> und <i>Gonepteryx</i>	Tүrkis-Gelbgrün
bei <i>Pieris</i> -Arten	Tүrkis-Gelbgrün im oberen Auge Rot im mittleren u. unteren Auge

Der Zweck dieser Reflexion wird darin gesehen, daß sie die Kontraste verstärkt und die Lichtempfindlichkeit der Sehzellen steigert. Die den *Pieris*-Arten offenbar eigene Zweifarbigkeit der Augen konnte Ribi 1979 folgendermaßen erklären: Das Tapetum für sich alleine reflektiert die Farbe Türkis-Hellgrün. Das Rot in den anderen Augenbereichen entsteht durch rote, im Rhabdombereich eingelagerte Farbpigmente, die das vom Tapetum zurückgeworfene Licht entsprechend verändern. Der Sinn dieser speziellen Einrichtung ist ebenfalls eine Kontraststeigerung und eine größere Empfindlichkeit gegenüber langen Wellenlängen, die bei einem Blick nach unten von einem fliegenden Falter wahrgenommen werden müssen. Zusätzlich wird so der Lichtglanz z.B. von Pflanzenblättern reduziert.

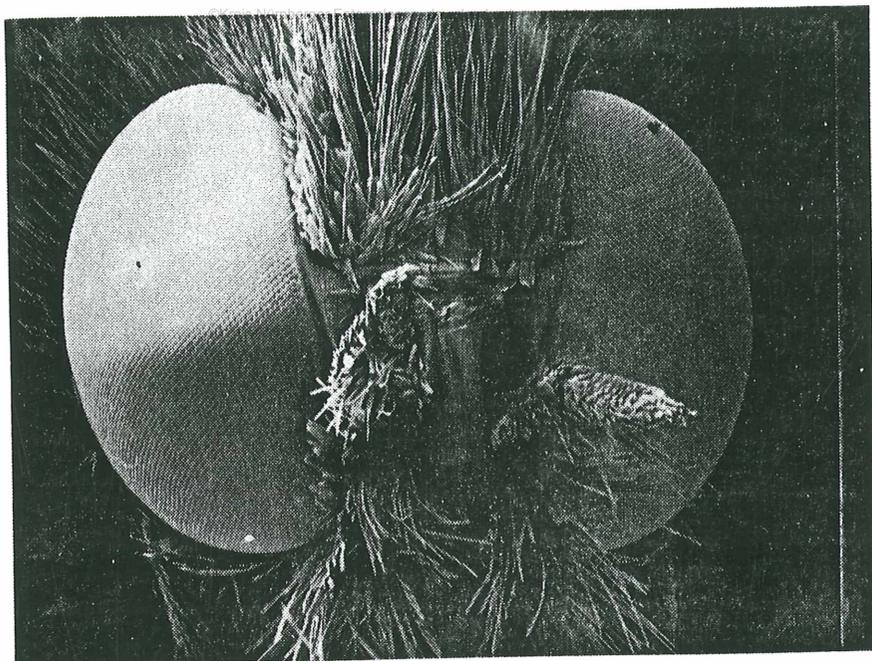
Die Bilder auf den folgenden Seiten zeigen Aufnahmen mit einem Raster-Elektronen-Mikroskop von einer Gammaeule (*Autographa gamma*) als Vertreter der Nachtfalter und vom kleinen Kohlweißling (*Pieris rapae*). Sie wurden mir freundlicherweise von Frl. K. Glasow, Erlangen zur Verfügung gestellt.



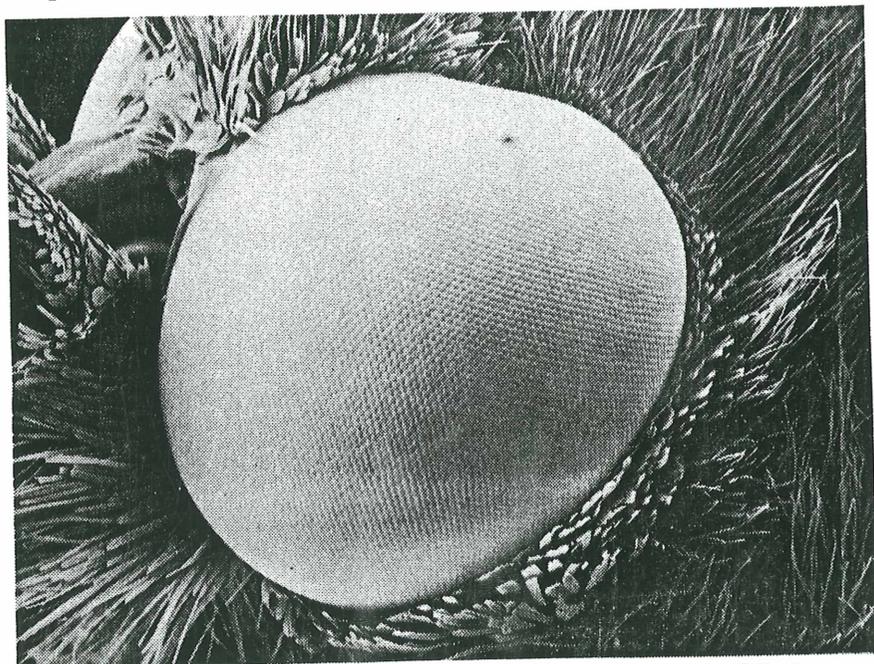
Kopf einer Gammaeule. Vergrößerung 25:1



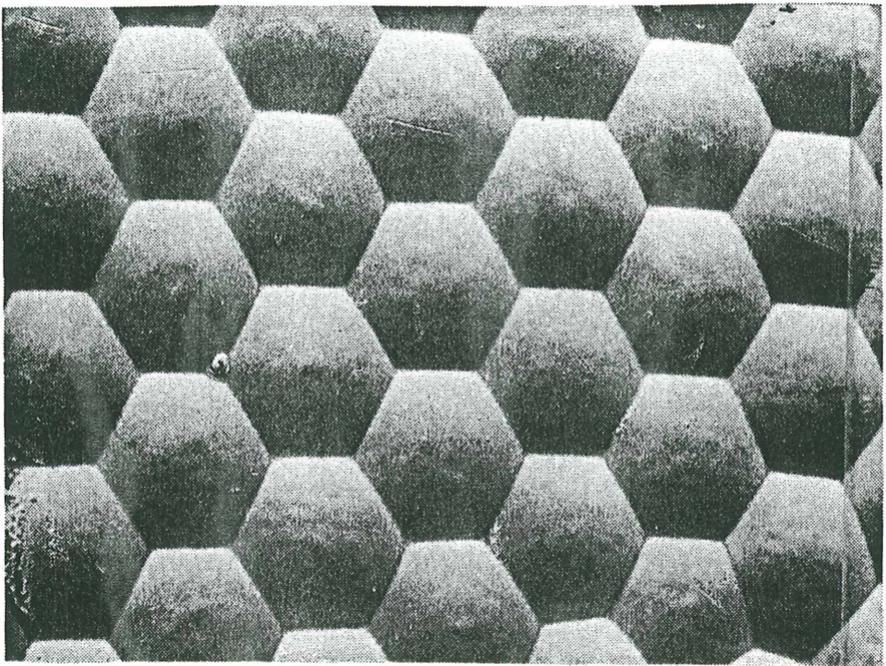
Linkes Auge dieser Gammaeule. 50:1



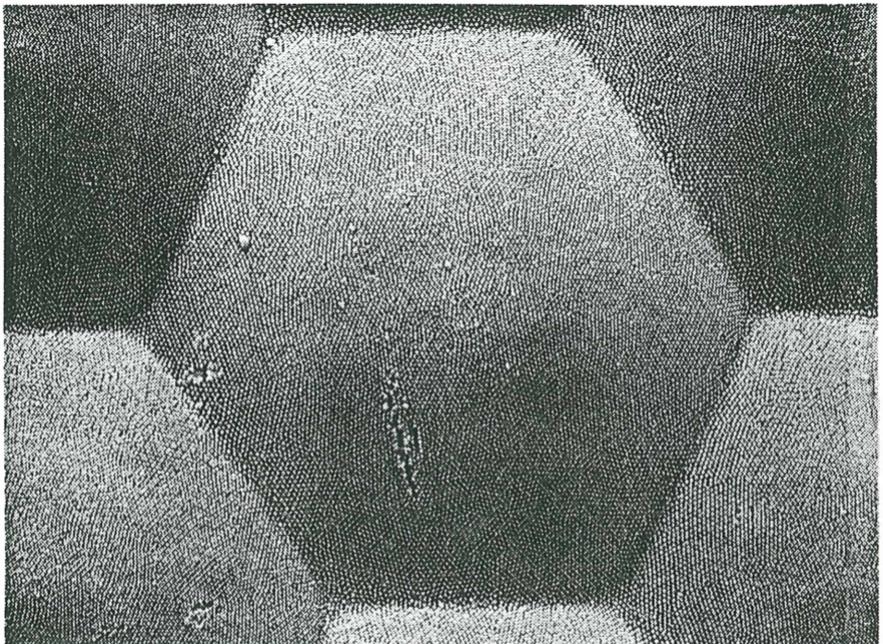
Kopf eines Kleinen Kohlweißlings. 40:1



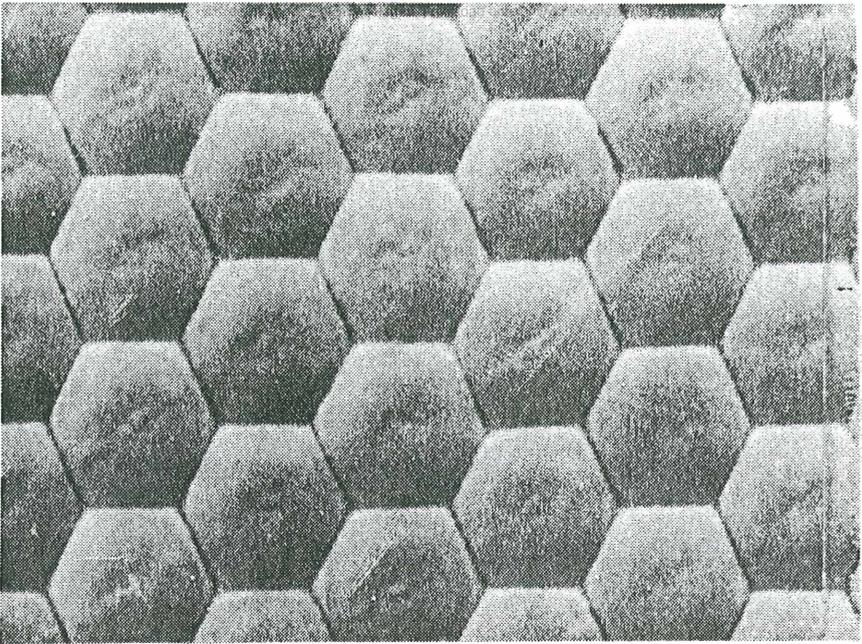
Linkes Auge dieses Kleinen Kohlweißlings. 50:1



Gammaeule. Fazettenmuster. 1000:1



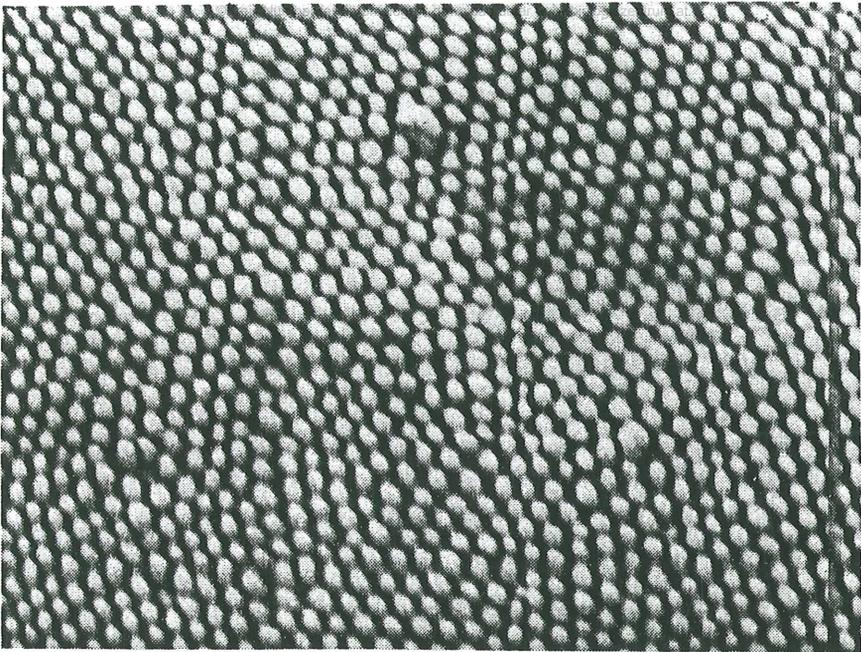
Gammaeule. Eine Fazette mit verletzter Nippelschicht. 3500:1



Kohlweißling. Fazettenmuster. 1000:1



Kohlweißling. Eine Fazette mit erkennbaren Nippeln
3500:1



Gammaeule. Nippelschicht der Hornhaut. 20000:1

Literatur:

Bernhard, C.G.: The Insect Corneal Nipple Array. Acta
Physiologica Scandinavica 63/243. 1965

Horridge, G.A.: The Compound Eye of Insects. Scientific
American 7. 1977

Mazokhin-Porshnyakov, G.A.: Insect Vision. New York
1969

Ribi, W.A.: Coloured Screening Pigments Cause Red Eye
Glow Hue in Pierid Butterflies. Journ. Comparat.
Physiology A. Heidelberg 1979

Ribi, W.A.: The phenomenon of eye glow. Endeavor N.S.
5/1. 1980

-- wird fortgesetzt --

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Galathea, Berichte des Kreises Nürnberger Entomologen e.V.](#)

Jahr/Year: 1988

Band/Volume: [4](#)

Autor(en)/Author(s): Dunk Klaus von der

Artikel/Article: [Das Sehvermögen der Insekten I. Allgemeines über Bau und Leistung des Insektenauges Spezielle Strukturen bei Schmetterlingen 38-48](#)