Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 67 (1978)

Heft: 1

Artikel: Das Komplexauge und das Sehen bei den Insekten

Autor: Schönenberger, N.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308557

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 08.07.2025

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

Das Komplexauge und das Sehen bei den Insekten

von N. SCHÖNENBERGER,
Institut d'Anatomie de l'Université de Lausanne

Bei etwa drei Vierteln aller Tierarten findet man sogenannte Komplexaugen, hochentwickelte Organe, die der Abbildung der optischen Umwelt und der Weiterleitung der dadurch gewonnenen Information an die nervösen Zentralorgane dienen. Äußerlich gekennzeichnet ist diese Augenform durch ein Mosaik vieler kleiner Linsen (bei *Drosophila* 700, bei *Apis* 6000–7000, bei *Aeschna* 10 000), von denen jede den Hauptteil des optischen Systems einer Untereinheit des Komplexauges ausmacht, eines sogenannten Ommatidiums (Abb. 1; 2 b). Jedes Ommatidium besteht aus einem dioptrischen Teil, der Cornea mit dem Kristallkegel darunter, und einem rezeptorischen Teil, der Retinula (Abb. 2a). Diese besteht meistens aus 8 langgezogenen Sinneszellen (Seh- oder Retinulazellen) die zylinderförmig um die Ommatidienachse angeordnet sind (Abb. 3a, b). An ihrer der Achse zugekehrten Seite enthalten die Retinulazellen einen Stäbchensaum, das Rhabdomer, in dessen Membranfalten (Microvilli) die Sehpigmentmoleküle eingelagert sind (Abb. 3c).

Jede Retinula besitzt ihren eigenen lichtbrechenden (dioptrischen) Apparat, der aus der transparenten Cuticula (Cornea) und dem darunterliegenden Kristallkegel besteht. Durch den dioptrischen Apparat werden diejenigen Lichtstrahlen auf das Rhabdom fokusiert, die parallel zur Achse oder unter einem sehr kleinen Winkel zu ihr auf die Corneafacette auftreffen, wodurch eine bestmögliche Lichtausbeute erreicht wird. Die Strahlen, welche schräg einfallen, werden von einem Pigmentmantel absorbiert, der je nach Augentypus jedes einzelne Ommatidium mehr oder weniger umhüllt und damit optisch isoliert. So gelangen nur die Strahlen eines sehr kleinen Gesichtsfeldes in ein Ommatidium. Das aufrechte Bild, welches durch Zusammensetzung aller Lichtpunkte entsteht, wurde bei vielen Insekten beobachtet und bei *Lampyris* durch Exner photographiert.

Der Vergleich zwischen dem Komplexauge und den Augen vom Kamera-Typ, wie wir sie aus unserer eignen Anatomie kennen, führt uns zu einigen ganz allgemeinen Feststellungen.

Zunächst ist bekannt, daß beim Kamera-Auge die lichtempfindliche Schicht sich in oder nahe der Brennebene des optischen Systems befindet, woraus folgt, daß entfernte Gegenstände umgekehrt abgebildet werden. Im Gegensatz dazu kann man das Komplexauge in erster Näherung als ein Bündel von divergierenden, radiär angeordneten Röhren ansehen, durch die die Umwelt sozusagen von einem Mittelpunkt her betrachtet wird. In einem solchen System entsteht ein aufrechtes Bild, dessen Schärfe von der Zahl der Röhren pro Flächeneinheit abhängt. Je mehr man von den Röhren in ein kugeliges Komplexauge einbauen wollte, desto feiner würde zwar das Raster, desto kleiner müßte aber auch der Durchmesser dieser Röhren und damit die Flächen der entsprechenden Linsen ausfallen, was zu einer Verminderung der Lichtstärke führen würde.

Ein ganz wesentlicher Unterschied ergibt sich in der Lichtstärke eines Auges, bei dem die ganze Öffnung von einer einzigen großen Linse ausgefüllt ist, im Vergleich mit der eines Komplexauges, bei dem eine gleichgroße Öffnung mit einem Raster vieler kleiner Linsen besetzt ist. Die Abbildung eines Objektpunktes auf ein lichtempfindliches Element erfolgt

Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. *67 (1)*, 18–23 (1978)

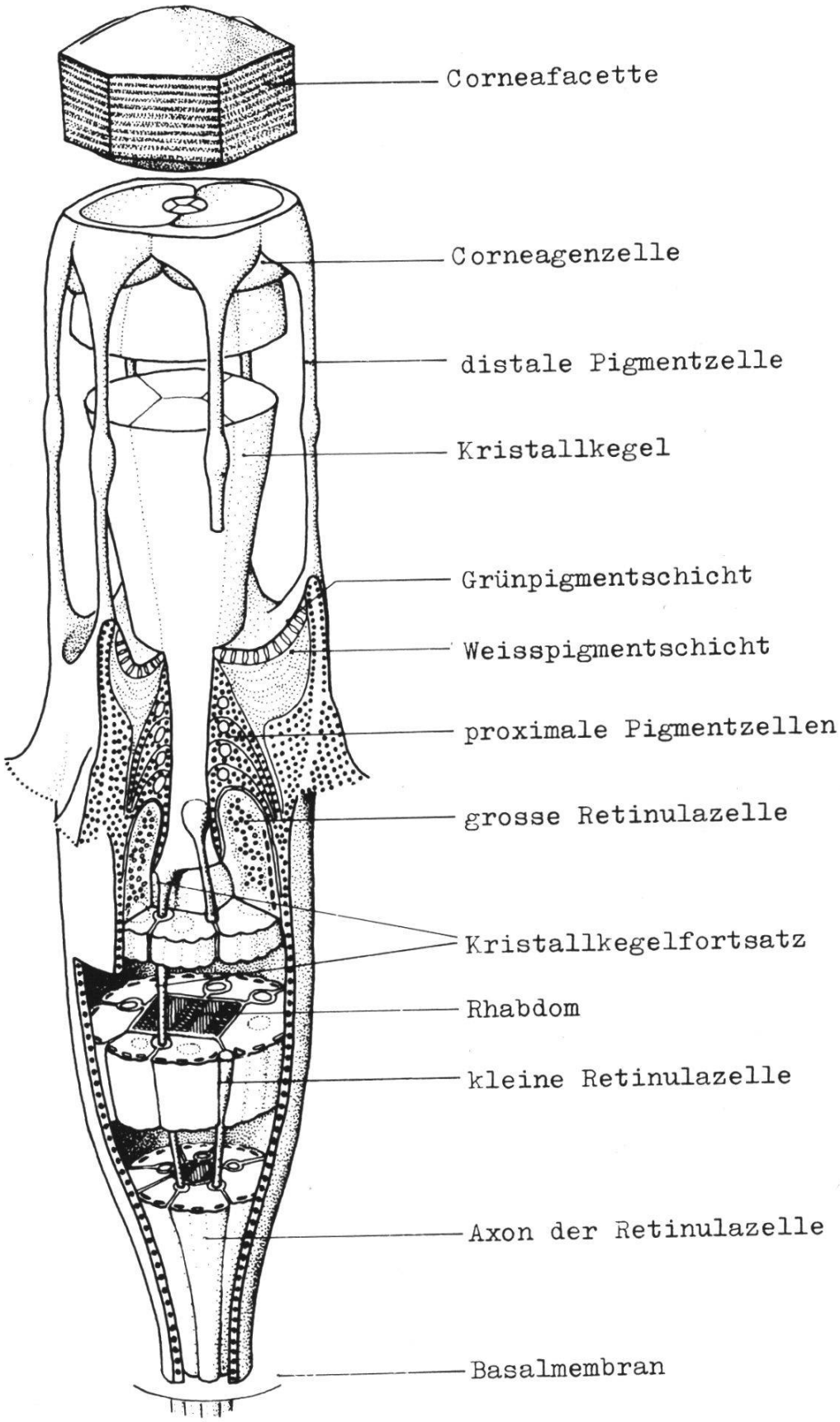

Abb. 1. Halbschematisches Modell eines Ommatidiums des marinen Heuschreckenkrebses *Squilla mantis*. Der "Pigmentmantel" ist eröffnet, um den Blick auf die Einzelheiten frei zu geben. Die Gesamtlänge des Ommatidiums, gemessen in der mittleren Augenregion, beträgt ca. 900 μm.

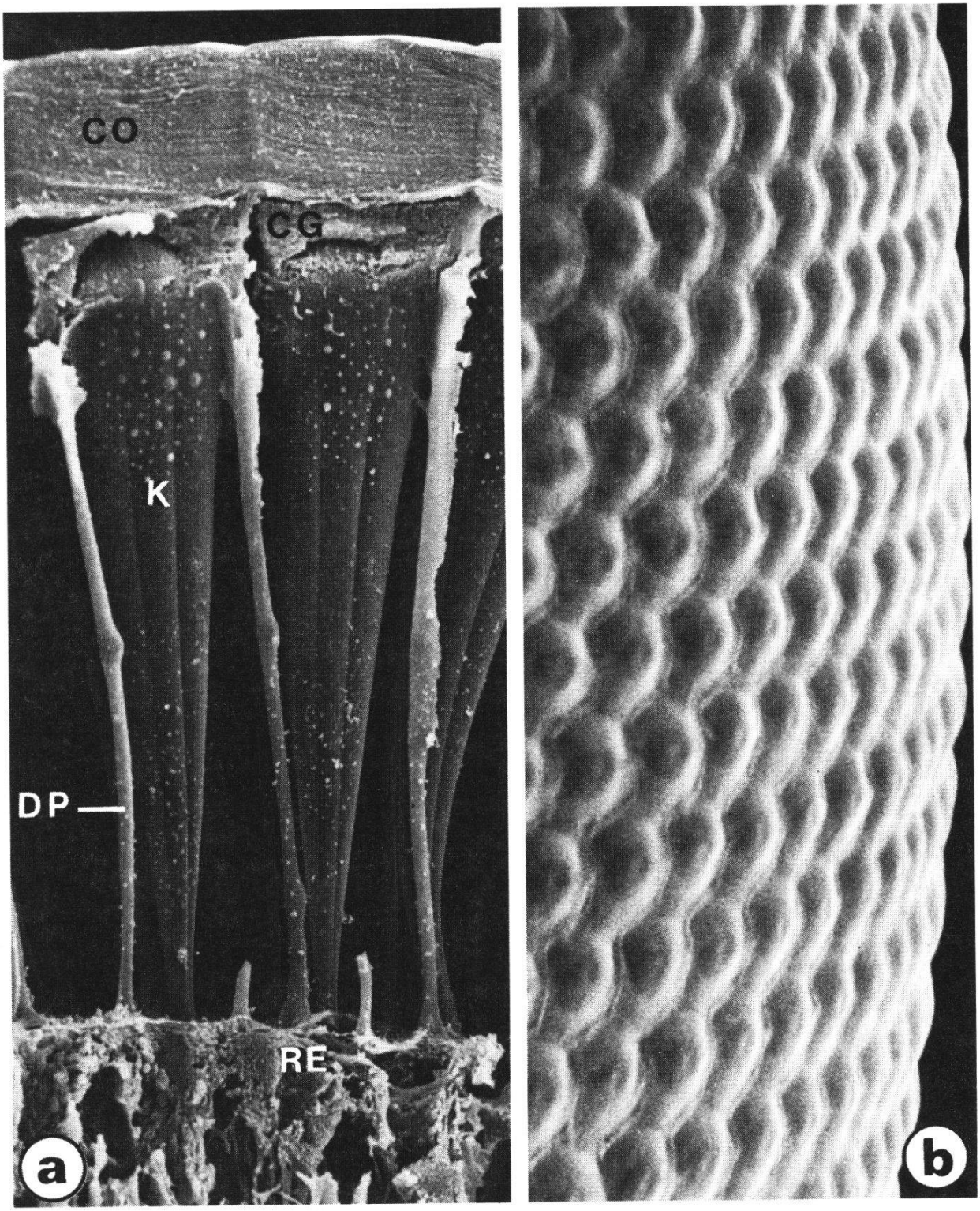

Abb. 2. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen des Komplexauges von *Squilla*. ⓐ Längsschnitt durch den dioptrischen Apparat. Der Retinula (RE) eines jeden Ommatidiums ist ein lichtbrechender (dioptrischer) Apparat vorgelagert, der aus der transparenten Cornea (CO) und dem darunter liegenden Kristallkegel (K) besteht. Die Cornea wird von zwei corneagenen Zellen (CG) epidermaler Herkunft gebildet. DP distale Pigmentzelle. Vergr. 280 x. ⓑ Äußere Oberfläche der Cornea; jedes Hexagon entspricht einem Ommatidium. Vergr. 170 x.

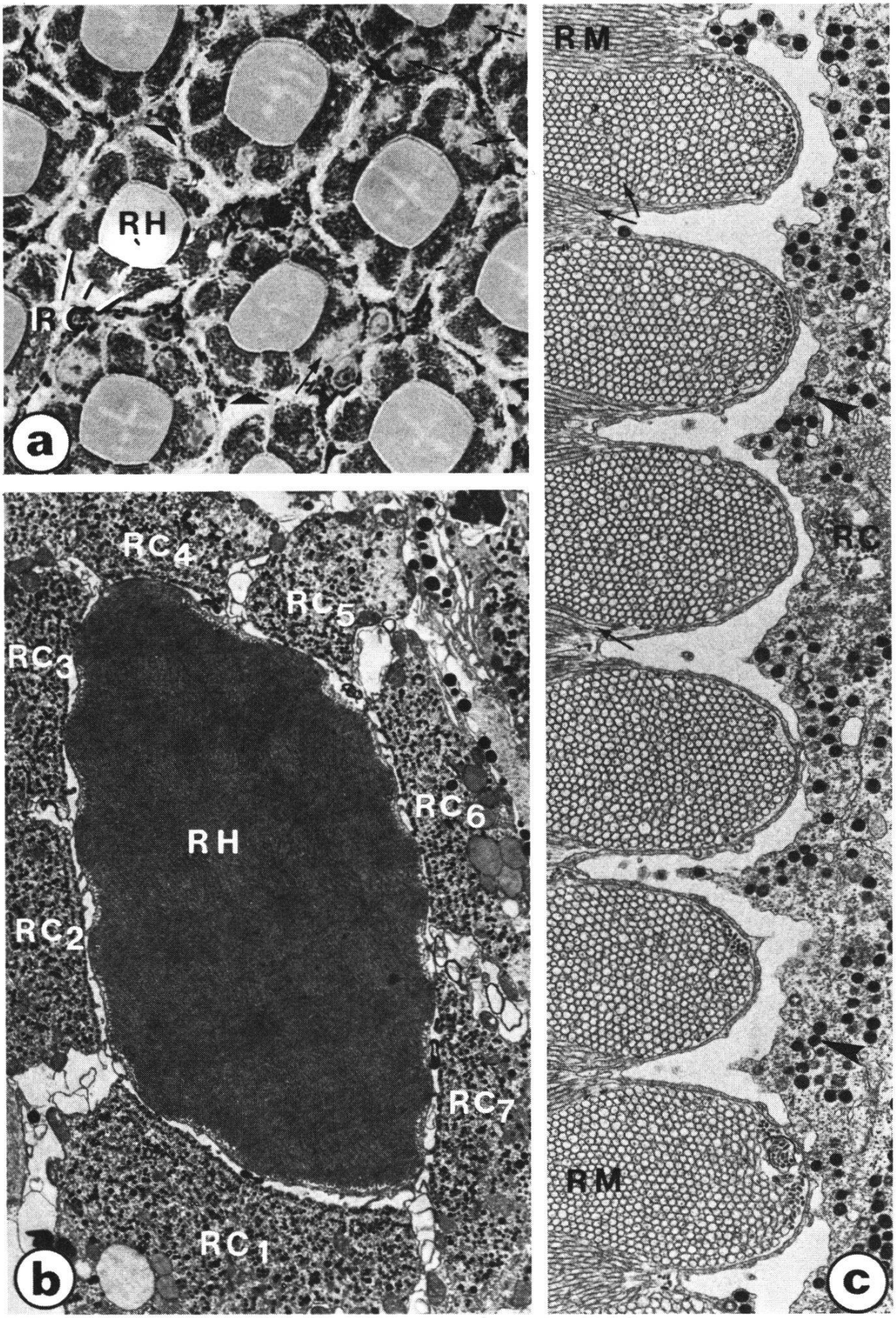

Abb. 3. Quer- und Längsschnitte durch die Retinulae der Ommatidien von *Squilla*. ⓐ Lichtmikroskopische Aufnahme eines Querschnitts durch eine Anzahl Retinulae auf der

Höhe der Retinulazellkerne (Pfeile). Die einzelnen Ommatidien werden von Pigmentzellen umgeben und damit optisch gegeneinander isoliert (Pfeilspitze). RC Retinulazellen; RH Rhabdom. Vergr. 400 x. ⓑ Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Querschnitts durch die Retinula wenig unterhalb der Retinulazellkerne. Das Rhabdom wird von den Retinulazellen (RC_1–RC_8) gebildet (kleine Retinulazelle, RC_8, nicht sichtbar). Vergr. 2300 x. © Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Längsschnitts durch die Retinula. Die Retinulazellen enthalten an ihrer der optischen Achse zugekehrten Seite das Rhabdomer (RM), in dessen Microvilli (Pfeile) die Sehpigmentmoleküle eingelagert sind. Im Cytoplasma der Retinulazellen treten Massen von kleinen Pigmentkörnern auf (Pfeilspitzen), die unter dem Einfluß verschiedener Lichtintensitäten ihre Stellung in der Zelle verändern (Adaptation). Vergr. 10 800 x.

Die Abb. 1–3 sind mit Unterstützung des Schweiz. Nationalfonds zur Förderung der Wissensch. Forschung, Kredit No. 3.012.76, entstanden.

beim Kamera-Auge über eine einzige große Linse, beim Komplexauge dagegen über die viel kleinere, dem lichtempfindlichen Element zugeordnete Einzellinse. Ein einfaches Linsenauge ist also n mal lichtstärker als ein Komplexauge, bei dem die gleiche Gesamtöffnung durch n Einzellinsen ausgefüllt ist. Beim Vergleich der Fläche der menschlichen Pupille mit der einer einzelnen Linse des Komplexauges der Stubenfliege findet man zum Beispiel, daß die Fliege mit einem zehn bis hunderttausend mal kleineren Lichtfluß auskommen muß als der Mensch.

Der kleinste Winkelabstand zwischen zwei benachbarten Ommatidienachsen beträgt im Auge der Fliege ungefähr 2°. Betrachten wir ein Ommatidium zunächst als ein Element, das jeweils einen Punkt der Umwelt abbildet, so heißt das, daß der Abstand der Rasterelemente der optischen Abbildung nicht kleiner als 2°. sein kann. Dieser Wert ist erstaunlich groß, vergleicht man ihn mit der Auflösung, über die wir in unserem eigenen menschlichen Auge verfügen. So entspricht zum Beispiel der Durchmesser des Mondes oder der Sonne am Firmament einem Winkel von ungefähr einem halben Grad. Der Mond erscheint der Fliege also als ein super-feiner Punkt, dessen "Größe" weit unterhalb der Rasterkonstante ihrer Komplexaugen liegt. Der Winkelabstand benachbarter Zapfen in der Fovea des Menschen beträgt demgegenüber etwa eine Winkelminute, woraus hervorgeht, daß sich das Bild des Mondes in unserem Auge auf etwa 1000 Rasterpunkte projiziert und mithin in viele Einzelheiten zerlegt werden kann.

Zur Verteidigung des Komplexauges muß man sagen, daß es über Fähigkeiten verfügt, die wir von unserem eigenen visuellen System nicht kennen. Dazu einige Beispiele:

Das zeitliche Auflösungsvermögen, d.h. die Eigenschaft des optischen Systems, Einzelreize getrennt wahrzunehmen, liegt beim Menschen bei max. 16–20 Reizen/sec. Bei schnellfliegenden Insekten, zum Beispiel Dipteren und Hymenopteren, jedoch kann die Verschmelzungsfrequenz bis auf 200–300 Reize/sec. ansteigen. Man kann daher sagen, daß das schwache räumliche Auflösungsvermögen des Insektenauges durch ein großes zeitliches Auflösungsvermögen kompensiert wird.

Die Augen vieler Arthropoden (Insekten und Krebse) sind zu einer Leistung befähigt, für die dem Wirbeltierauge die Voraussetzungen völlig fehlen: Die Wahrnehmung der Schwingungsrichtung des polarisierten Lichtes. So können z.B. die Bienen den Sonnenstand – der für ihren "Sonnenkompaß" von entscheidender Bedeutung ist – auch dann erkennen, wenn sie die Sonne selbst nicht, sondern nur ein Stück blauen Himmels sehen. Das Licht des blauen Himmels ist nämlich teilweise polarisiert, wobei Schwingungsrichtung und Intensität eine bestimmte Beziehung zum jeweiligen Sonnenstand aufweisen.

Ein Farbsehen, d.h. die Fähigkeit, verschiedene Wellenlängen des Lichts zu unterscheiden, ist für Insekten wie Wirbeltiere durch verschiedene Experimente nachgewiesen. Der Empfindlichkeitsbereich der Insektenaugen befindet sich jedoch allgemein in einem etwas anderen Wellenlängenbereich als der der Wirbeltiere. Während er bei diesen zwischen 400 und 750 nm (Nanometer) liegt, erstreckt er sich bei den Insekten von unterhalb 300 nm bis etwa 650 nm. Die Komplexaugen sind also auch für ultraviolettes Licht empfindlich.

Abschließend können wir sagen, daß das visuelle System der Insekten – obgleich anders gebaut – dem der Wirbeltiere in der Leistung kaum nachsteht.