

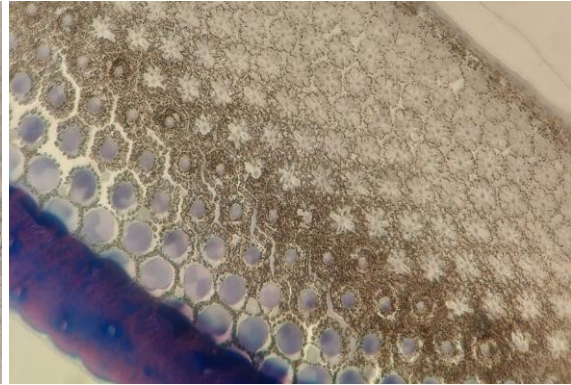
A. Appositionsaugen von Insekten (Bienen, Wespen)

Jedes Einzelommatidium ist optisch von den Nachbar-Ommatidien durch Pigmentzellen getrennt. Es enthält 8-9 Retinula-Zellen. Die Photopigmente (Rhodopsine) sind in den Mikrovilli des Rhabdomers eingelagert. Die Mikrovilli-Säume (Rhabdomere) stoßen in der Mitte des Ommatidiums aneinander und bilden das Rhabdom, das wegen seines höheren Brechungsindex wie ein Lichtleiter wirkt. Pigmentgranulae in den Retinulazellen wandern je nach Lichteinfall und haben Pupillenfunktion. (Appositionsaugen z.B. bei Hautflüglern, Libellen, Heuschrecken, Tagschmetterlingen).

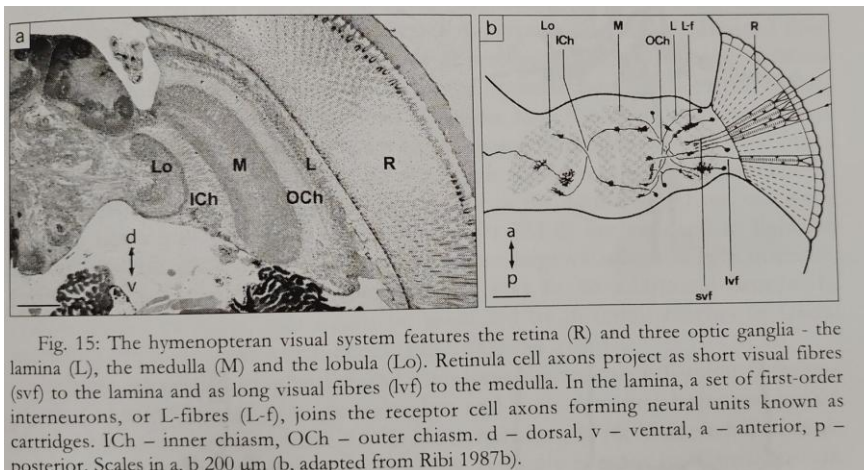
Ommatidien längs



Ommatidien quer



Informationsverarbeitung im Bienenhirn



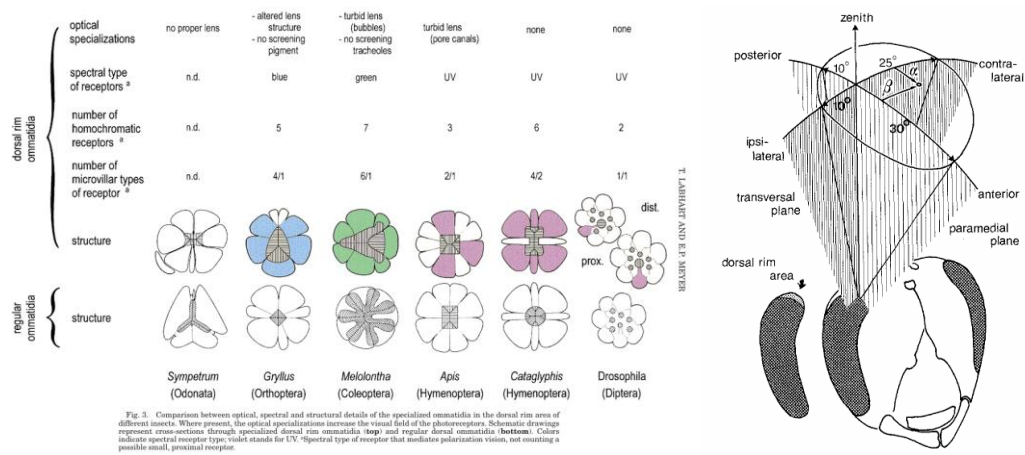
Detektion von polarisiertem Licht

Bei vielen Insektenarten wurden spezialisierte Ommatidien am dorsalen Rand des adulten Auges mit polarisationsempfindlichen Photorezeptoren identifiziert (siehe Labhart & Meyer, 1999). In diesem dorsalen Randbereich (DRA) enthalten die als Rhabdomere bezeichneten lichtsammelnden Strukturen von mindestens zwei Photorezeptorzellen stets gerade, unverdrehte Membraneinstülpungen oder Mikrovilli. Die lichtempfindlichen Rhodopsinmoleküle sind entlang der Achse dieser Rhabdomermembranen ausgerichtet, was zu einer bevorzugten Absorption einer bestimmten E-Vektor-Orientierung durch die Photorezeptorzelle führt.

Entscheidend für das Polarisationssehen ist also, dass diese Moleküle **parallel zur Längsachse der Mikrovilli** ausgerichtet sind und entlang der Längsachse **nicht verdreht** sind. Das bedeutet, dass ein Mikrovillus Licht maximal absorbiert, dessen elektrische Feldkomponente parallel zu seiner Längsachse schwingt.

Eine typische Anordnung ist, dass beispielsweise in einem Ommatidium zwei benachbarte Retinulazellen Rhabdomere mit Mikrovilli haben, die zueinander um 90 Grad verdreht sind. Dies ermöglicht es dem Insekt, die Schwingungsebene des polarisierten Lichts zu erkennen, indem es die Differenz der Absorptionsraten in diesen unterschiedlich ausgerichteten Rhabdomeren misst. (Bei der Fruchtfliege zB zentral gelegen, übereinander R7 distal, R8 proximal)

Polarisationssensitive Ommatidien sind bei vielen Insekten (auch bei Bienen) in der „dorsal rim area“ angeordnet.



Labhart und Meyer 1999,

HG Drüse (hypopharyngeal gland of *Apis mellifera*)

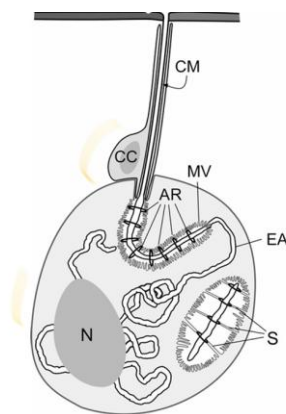


Fig. 1. Diagram of a single hypopharyngeal gland secretory cell and canal cell. AR; actin rings. CD, collecting duct; CC, canal cell.; EA, end apparatus; MV, microvilli; N, nucleus; S, septa. The diagrammatic cross-sections of the end apparatus show the microvilli and actin rings. No parts of the end-apparatus are intracellular. The coiled component of the end apparatus depicted without surrounding extracellular space and microvilli is intended to give a visual impression of the extent of the end-apparatus' invagination throughout the cell. The section at lower right represents the relationship of the actin rings and septa when the cell is swollen with secretion. Not drawn to scale.

B. Offenes Rhabdom der Fliegen

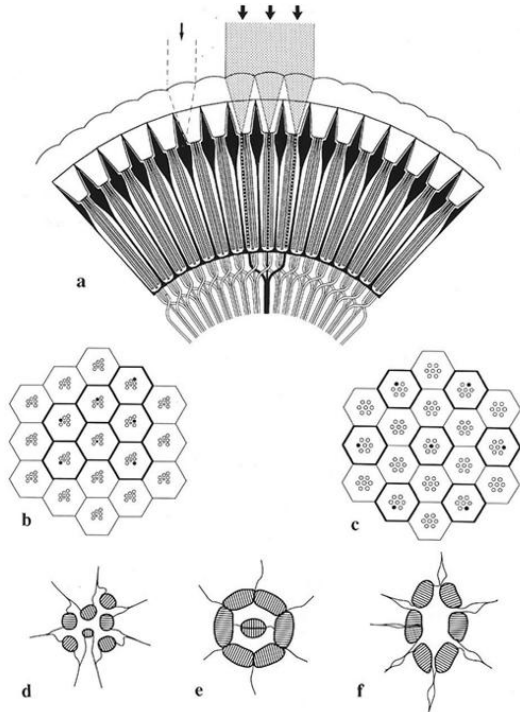
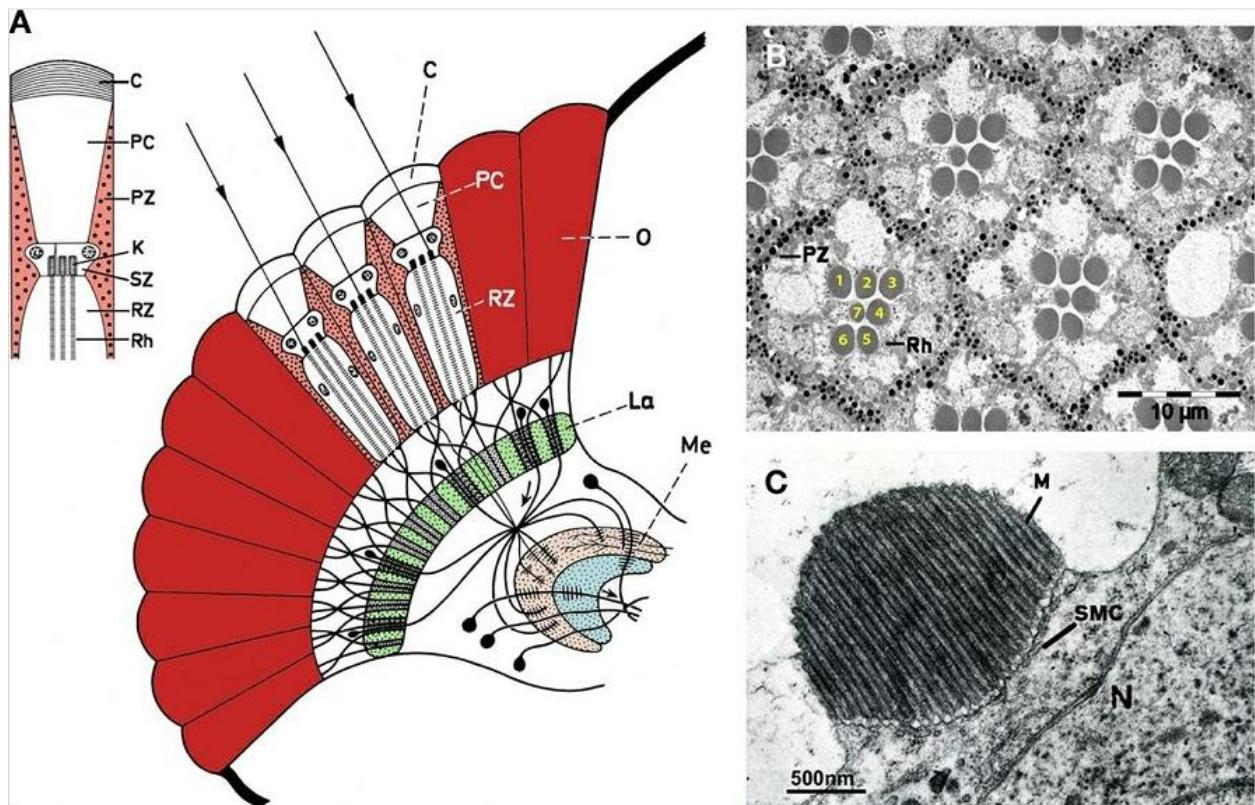
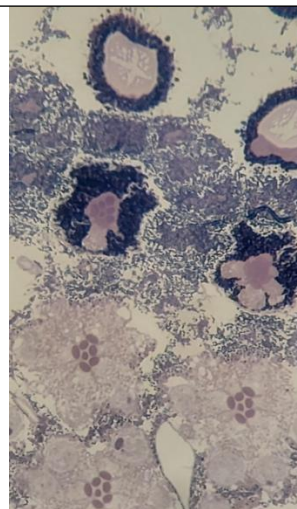


Fig. 4a-f. Apposition eyes with open rhabdoms. a Schematic section of an eye cut along the ommatidia, illustrating the neural superposition principle. Off-axis rays (dashed lines) are handled in the same way as in a simple apposition eye. b Cross-section geometry of rhabdomeres in ommatidia of a brachyceran neural superposition eye. c The corresponding arrangement in the dorsal eye of a bionid fly. Filled circles in b and c indicate rhabdomeres that share the same visual axis. d-f Semi-schematic drawings of open rhabdoms from a brachyceran fly (d), an insect without neural superposition (e), and the isopod crustacean *Ligia* (f). In all cases d-f, the rhabdomeres come closer to each other at the distal rhabdom tip.

Neurale Superpositionsäugen

bei Dipteren. Hier ist das Rhabdom "offen", d.h. die Rhabdomere der Retinulazellen eines Ommatidiums sind getrennt und haben leicht divergierende Achsen. Je eine Retinulazelle aus 7 benachbarten Ommatidien ist auf denselben Punkt des Gesichtsfeldes gerichtet. Deren Axone werden auf dieselbe "Cartridge" (entspricht einer funktionellen Einheit bestehend aus axonalen Endigungen der Retinulazellen und Interneuronen) in der Lamina geschaltet". Dadurch ergibt sich eine erhöhte absolute Empfindlichkeit (analog dem "normalen" (optischen) Superpositionsauge, in dem viele Ommatidien zum selben Bildpunkt beitragen).



Entwicklung des Fliegenauges

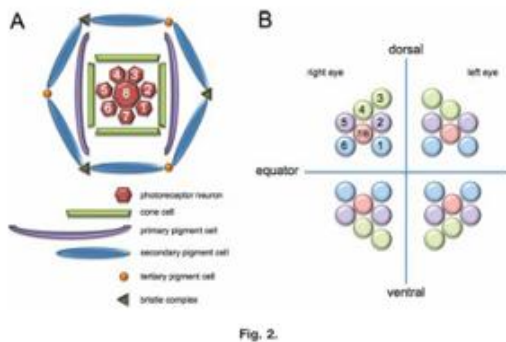


Fig. 2.

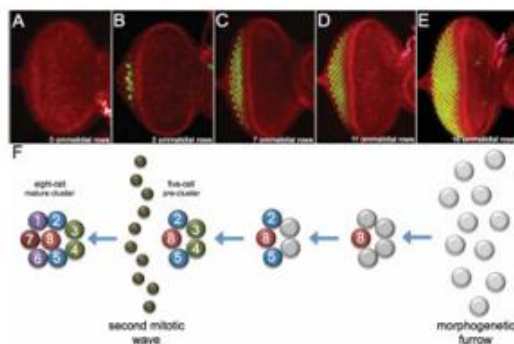


Fig. 3.

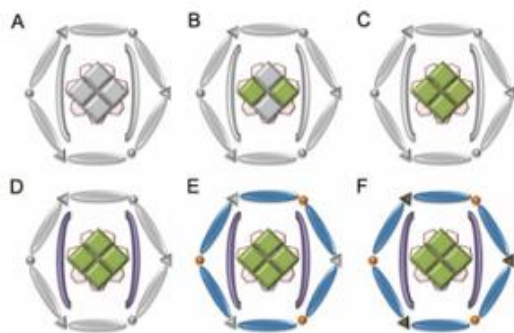


Fig. 4.

Fig. 2. Cellular composition and chirality of the *Drosophila* ommatidium. **A:** An illustration describing the cellular composition of a single ommatidium. **B:** An illustration describing the four-fold symmetry that exists within the two compound eyes of a single adult fly. Note that the photoreceptors are arranged in an orientation that resembles an asymmetrical trapezoid. Anterior is to the right in all illustrations.

Fig. 3. The morphogenetic furrow and the assembly of the ommatidium. **A–E:** Confocal images of developing wild-type eye discs. The adjacent antennal disc has been removed in each image. red, F-actin; green, ELAV. Note that the morphogenetic furrow initiates at the posterior margin and traverses the disc toward the anterior edge of the epithelium. **F:** An illustration depicting the developmental history of an ommatidium. Note that the eight-cell mature cluster has two-fold symmetry. This symmetry will be broken as the ommatidium rotates and adopts the asymmetric trapezoidal orientation of the adult retina. Anterior is to the right in all images and illustrations.

Fig. 4. Order of cone, pigment and bristle cell recruitment in the pupal retina. **A–F:** An illustration depicting the order in which all non-neuronal cells are recruited into the ommatidium. The photoreceptor clusters are marked in pink and sit below the quartet of cone cells in each panel. See Figure 2 for a description of each cell type. Anterior is to the right in each illustration.

Aus Kumar 2011, Building an Ommatidium One Cell at a Time

Literatur:

Land, M.F. & Nilsson, D.-E. (2002) Animal eyes. Oxford University Press

Helversen, O. von & Edrich, W. (1974) Der Polarisationsempfänger im Bienenauge: ein Ultraviolett-rezeptor. J.Comp. Physiol. 94: 33-47

Nilsson, Optics and Evolution of the Compound Eye in Facets of vision (Conference Paper)

Kumar 2011, Building an Ommatidium One Cell at a Time

Labhart and Meyer, 1999, Detectors for Polarized Skylight in Insects: A Survey of Ommatidial Specializations in the Dorsal Rim Area of the Compound Eye

September 2025, Paul Kneidl