

## A. Übersicht Facettenaugen

Wichtige Facettenaugentypen bei Insekten: Appositions-, Neural-Superpositions- und Brechungs-Superpositions-Augen (Abb. 1),.

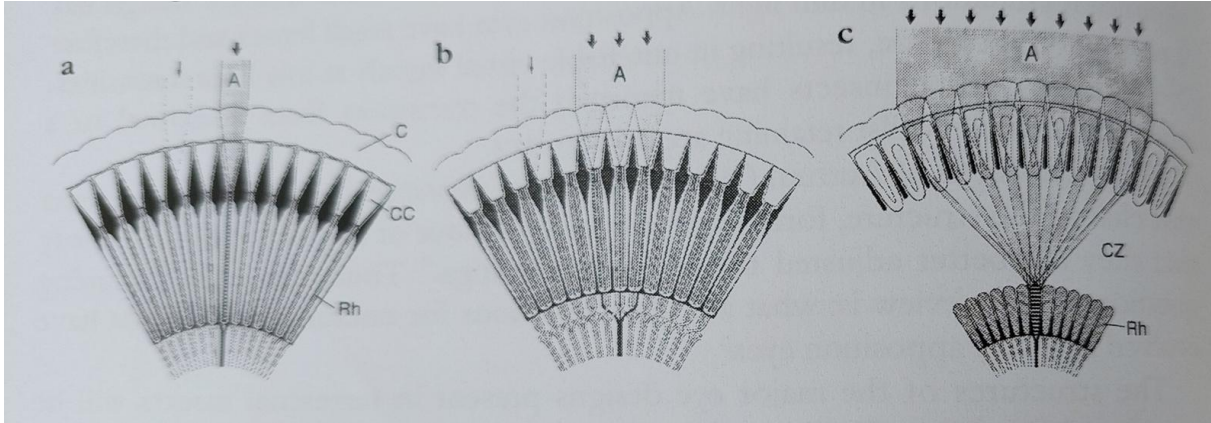


Abb. 1: Schematische Längsschnitte der drei wichtigsten Facettenaugentypen, **(a) Appositions-, (b) Neural-Superpositions- und (c) Brechungs-Superpositions-Auge**. Die axialen Strahlengänge des vom Photorezeptor absorbierten Lichts (grau schattiert) und des außeraxialen Lichts, das im Abschirmpigment absorbiert wird (gestrichelte Linien), werden gezeigt. Die Blendengrößen (A) spiegeln die Unterschiede in der Empfindlichkeit zwischen den Augentypen wider. Weitere Erläuterungen finden Sie im Text. C - Hornhaut, CC - Kristalliner Zapfen, CZ - Klare Zone, Rh - Rhabdom (adaptiert von Nilsson, 1989 by Greiner 2005, Adaptions for Nocturnal Vision in Insect Apposition Eyes).

### 1. Appositionsaugen

(z.B. bei Hautflügler, Libellen, Heuschrecken, Tagschmetterlingen). Jedes Einzelommatidium ist optisch von den Nachbar-Ommatidien durch Pigmentzellen getrennt. s enthält 8-9 Retinula-Zellen. Die 'photopigmente (Rhodopsine) sind in der Mikrovilli des Rhabdomers eingelagert. Die Mikrovill-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.

### Räumliches Auflösungsvermögen

Facettenaugen sind wegen des kleinen Durchmessers von Cornea und Kristallkegel beugungslimitiert und das Auflösungsvermögen wird im wesentlichen durch den Winkel zwischen zwei benachbarten Ommatidienachsen bestimmt. Dieser beträgt in der Regel 1-2 Sehwinkel. Während sich beim Linsenauge das räumliche Auflösungsvermögen durch Vergrößerung des Augendurchmessers steigern lässt, ist dies beim Facettenauge kaum möglich. Nach Kirschfeld würde ein Facettenauge mit dem hohen Auflösungsvermögen des menschlichen Auges (bedingt durch den Winkel-Abstand zwischen benachbarten Zapfen von  $0,5^\circ$  und der Brennweite der Linse von ca. 20mm) einen Augendurchmesser von ca. 20 m erfordern!

### Spektrale Empfindlichkeit:

Bei Bienen besitzt jedes Ommatidium drei spektrale Typen von Photorezeptoren mit einem Empfindlichkeitsmaximum von 340, 440 und 530 nm. Tagschmetterlinge haben zusätzlich "Violett"- und "Rot"rezeptoren (400 bzw. 600 nm maximale Empf.).

### Optische Ganglien:

Lamina, Medulla, Lobula. Die Axone der Retinulazellen ziehen in die Lamina bzw. in die Medulla (UV-Retinulazellen) und werden dort auf große Interneurone "verschaltet" (z.B. Lamina-Monopolarzellen). In der Lobula-Platte liegen große Richtungs-selektive Neurone, die für die Detektion von Ganzfeld-Bewegungen verantwortlich sind.

### Detektion von polarisiertem Himmelslicht:

Dient der Sonnenkompaß-Orientierung von Bienen und Ameisen (vielleicht auch bei manchen Käfern). Voraussetzung für die Polarisierungsempfindlichkeit ist die Ausrichtung der Mikro villi der Retinulazellen. Die UV-Rezeptoren des dorsalen Randbereichs der Augen sind für das Polarisationssehen verantwortlich. Die Retinulazellen aller anderen Ommatidien sind über die Länge der Ommatidien (ca. 100 ) vertwistet und damit ist die Polarisierungsempfindlichkeit aufgehoben. (Es gibt keinen Twist. s. Ribi WA (1979f) Do the rhabdomeric structures in bees and flies really twist? J Comp Physiol 134, 109-112)

### 2. Neurale Superpositionsaugen

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 (wie im "normalen" Superpositionsauge, in dem viele Ommatidien zum selben Bildpunkt beitragen).

### 3. Superpositionsaugen

bei z.B. Eintagsfliegen, Käfern und Nachtschmetterlingen. Während beim Appositionsauge Cornea und Kristallkegel jedes einzelnen Ommatidiums ein umgekehrtes Bild eines Gegenstandes (auf der Spitze des Rhabdoms) entwerfen, entsteht im Superpositionsauge ein einziges, aufrechtes Bild. Dies wird durch die klare Zone" des Superpositionsauges ermöglicht die den optischen Apparat und Photorezeptoren räumlich trennt. Durch Wanderung von Pigmentzellen können die einzelnen Ommatidien bei Tageslicht jedoch auch voneinander getrennt werden. Für das aufrechte Bild sind besondere Eigenschaften der Kristallkegel verantwortlich, die bereits von Sigmund Exner (1891) erkannt wurden. Sie wirken aufgrund des Gradienten der Brechungsindizes wie Doppellinsen. Die Gradienten wurden 1960 von P. Kunze mit Hilfe des Interferenzmikroskops nachgewiesen.

### 4. Spiegelaugen

Alle dekapoden Krebse haben ebenfalls Superpositionsaugen. Die Abbildung wird hier jedoch nicht durch Linsen erreicht, sondern durch Spiegelung an den senkrecht aufeinanderstehenden Flächen des äußeren Bereichs der Ommatidien. Das Prinzip wurde von Klaus Vogt 1980 entdeckt und hat inzwischen technische Anwendung bei der Bündelung von Röntgenstrahlen in Röntgenteleskopen gefunden.

(Text aus S staff.uni-mainz.de)

### Appositionsauge

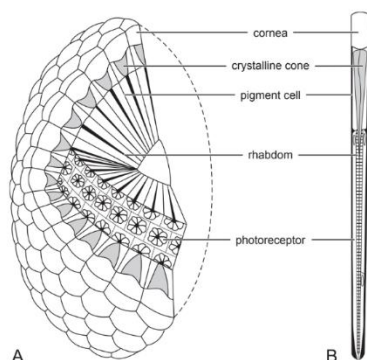
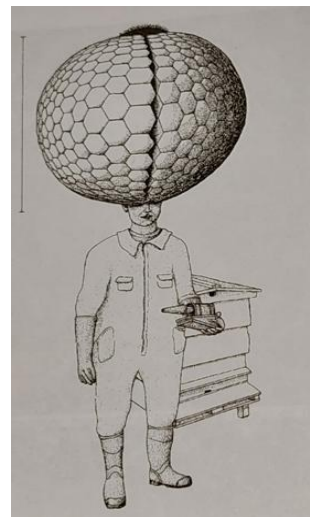
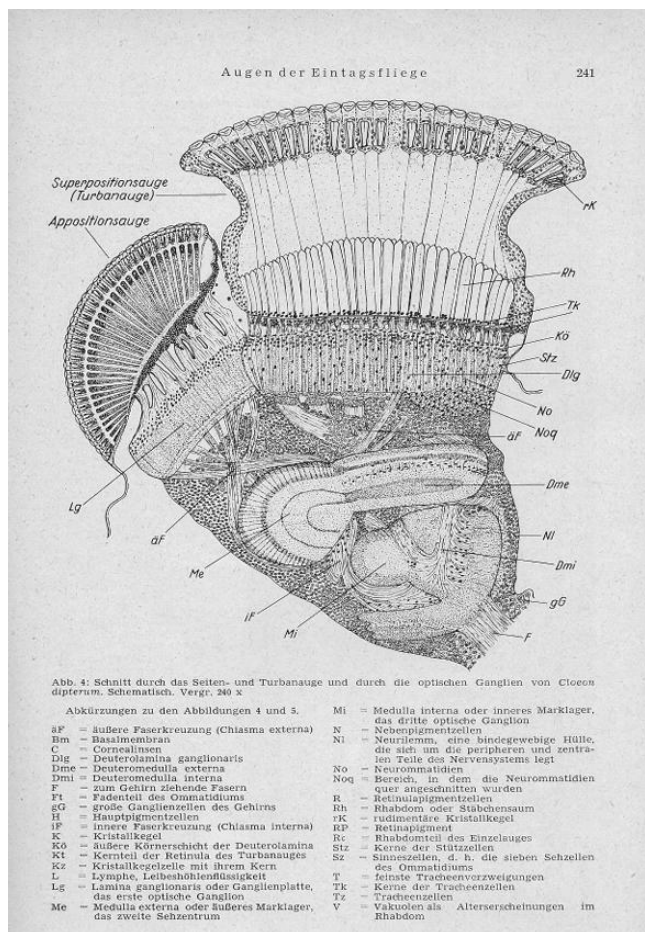


Fig. 3. Compound eye of the apposition type. (A) Diagrammatic three-dimensional drawing showing cross-sections and longitudinal sections through a compound eye. (B) Schematic longitudinal section of an ommatidium. Adapted from (Burghause, 1979; Wehner and Gehring, 1995).



Facettenaugen bei gleicher Auflösung wie unser Linsenauge.

## Superpositionsauge



Streble 1960 Augen Eintagsfliege  
Mikrokosmos 49 p237 bis 244.pdf

## Literatur.

Streble 1960 Augen Eintagsfliege Mikrokosmos 49 p237 bis 244

JP Bovard, Mikrokosmos 1976, Das Turbanauge unserer Eintagsfliegen S.301ff

Greiner Birgit 2005, Visual Adaptions in the Night Active Wasp *Apoica pallens* (Journal of comparative neurology)

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

Kirschfeld, K. (1976) The resolution of lens and compound eyes. In: Neural principles in Vision (F. Zettler & R. Weiler eds.) Springer Verlag, Berlin

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

Frisch, K. von (1965) Tanzsprache und Orientierung der Bienen. Springer Verlag

Rossel, S. (1989) Polarization sensitivity in compound eyes. In: Facets of Vision (D.Stavenga & R.C. Hardie, eds). Springer Verlag

Vogt, K. (1980) Die Spiegeloptik des Flußkrebsauges. J.Comp. Physiol. 135: 1-19

Youtube Videos:

Apposition Eye : [https://youtu.be/Lpt0XN\\_G8Tc?si=JDXmutRsMEKODs0z](https://youtu.be/Lpt0XN_G8Tc?si=JDXmutRsMEKODs0z)

Superposition Eye : <https://youtu.be/QLzyW9MFSII?si=5gEoQsuV5WRF12Sg>

Ocelli : <https://youtu.be/0XxCrDVqvMQ?si=2QuxD49tTikP1JWk>

What do Insects see ? <https://youtu.be/2Hs3vAZYsA8?si=BT0xVbsDXOdMVAnW>

November 2025, Paul Kneidl