



## Aktuelle Forschungen zur Neurophysiologie

# Fünf Augen sehen mehr als zwei

*Nachdem wir Ihnen im letzten Heft das Gehirn der Honigbiene etwas näher vorgestellt haben, sollen in diesem und weiteren Beiträgen die neuesten Erkenntnisse zur Neurophysiologie aus der Sonderausgabe der Apidologie erläutert werden. Dr. Heike Ruff hat das bisherige Wissen und die aktuellen Forschungsergebnisse zum Sehvermögen der Bienen für Sie zusammengefasst.*

Wie vielleicht nicht jeder weiß, besitzt jede Biene insgesamt fünf Augen: zwei große Facettenaugen und drei winzige Punktaugen (Ocellen).



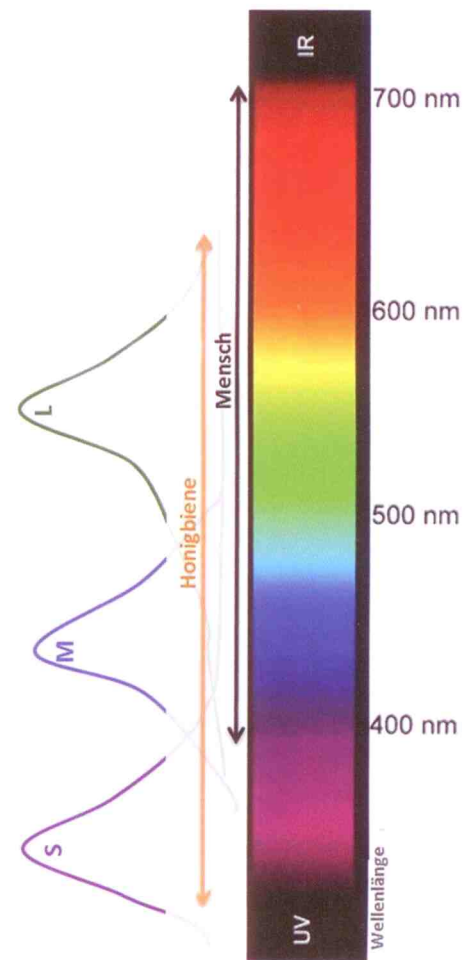
▲ 2 – 3 Tage vor dem Schlupf erkennt man schon deutlich die fünf Augen: links und rechts die großen Facettenaugen, auf der Stirn die im Dreieck angeordneten Ocellen. Die fünf Augen einer Arbeiterin sind auf dem Foto wahrscheinlich leichter zu erkennen als am lebenden Tier.  
▼ Fotos: J. Schwenkel



## Tausende Einzelbilder ergeben ein Ganzes

Die beiden Facettenaugen sind wiederum aus vielen kleinen, sechseckig geformten Einzelaugen (Ommatidien) zusammengesetzt. Über 5.000 Linsen pro Facettenauge ermöglichen der Biene eine wahre Panoramasicht. Die Zahl der Einzelaugen ist dabei variabel: Das Facettenauge des Drohns ist mit 7.000 bis 8.000 Einzelaugen im Vergleich zur Königin (3.000 – 4.000) oder Arbeiterin (4.000 bis 5.000) am stärksten ausgeprägt. Jedes Ommatidium besteht aus einer durchsichtigen Linse und einem Kristallkegel. Direkt darunter ist ein Bündel von acht Sehzellen. Im Zentrum dieser Zellen liegt der lichtempfindliche Teil, das Rhabdomer. Die Einzelaugen sind umhüllt von Pigmentzellen, die sie von den anderen Ommatidien abschirmen. Jedes Einzelauge nimmt einen einzelnen Blickpunkt wahr, der an das Gehirn weitergeleitet wird. Die Vielzahl von Informationen aus diesen kegelförmig nebeneinander angeordneten Ommatidien wird dort innerhalb von Sekundenbruchteilen zu einem mosaikartigen Gesamtbild zusammengefügt. Der Aufbau der Facettenaugen bietet einen extremen Weitwinkel, mit der die Biene ein Blickfeld von 280 Grad beobachten und Winkelgrade exakt wahrnehmen kann. (Der Mensch kann mit seinen beiden Augen maximal einen Winkelbereich von 180 Grad erkennen.) Bei einem Auflösungsvermögen von 265 Lichtreizen pro Sekunde (Mensch 45) kann sie schnelle Bewegung sehr gut sehen. Kein Wunder also, dass derjenige bevorzugt gestochen wird, der aufgeregt nach Bienen schlägt. Wer dagegen stillhält, wird meist gar nicht bemerkt. Während die Facettenaugen das Farbsehen ermöglichen, dienen die Ocellen der Wahrnehmung von Hell und Dunkel. Die in einem Dreieck mittig auf dem Kopf angelegten Stirnaugen sind mit einem Gleichgewichtsorgan verbunden und funktionieren wie eine Art Licht-Kompass. Sie steuern die Ta-

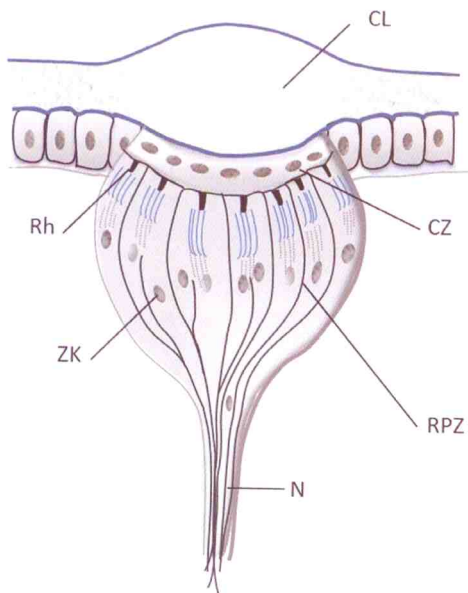
gesaktivität der Biene, unterstützen die Navigation, stabilisieren die Flugbahn in Bezug auf den Horizont und reagieren auf kurzwelliges, polarisiertes Licht. Eine starre Linse bündelt das einfallende Licht auf eine Netzhaut (Retina) mit fotosensitiven Zellen (Retinulazellen), die alle Lichtsignale über Nervenfasern ins Gehirn weiterleiten. Da beide



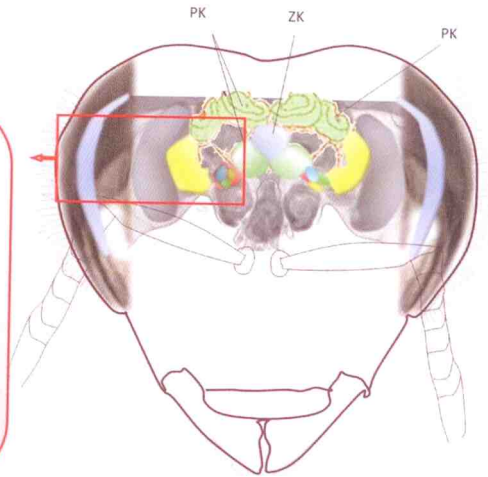
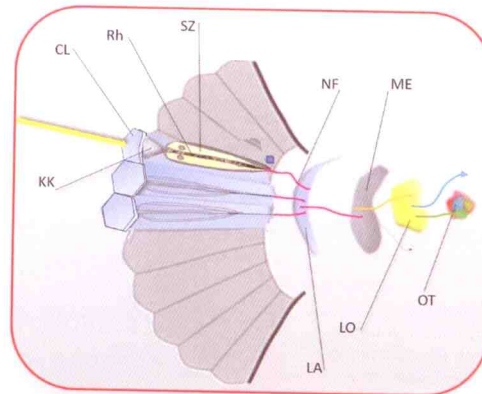
Trichromatisches Farbspektrum der Honigbiene. Das Farbspektrum der Biene reicht von 300 bis 650 nm. Im Vergleich zum Menschen ist es in den UV-Bereich verschoben. Die Bienen können zwar kein Rot wahrnehmen, dafür aber Ultraviolett. Rote Blüten erscheinen als grau/schwarz, haben aber häufig ultraviolette Markierungen. In der Netzhaut des Bienen Auges gibt es drei Fotorezeptoren, von denen jeder einen bestimmten Wellenlängenbereich absorbiert: kurze (S) im UV-Bereich, mittlere (M) im blauen und lange Wellenlängen (L) im grünen Spektralbereich. Grafik: Heike Ruff







Schematischer Längsschnitt durch ein Punktauge (Ocellum). Eine starre, bikonvexe Linse (Cornealinse, CL) bündelt das einfallende Licht auf eine Netzhaut (Retina) mit fotosensitiven Zellen (Retinulazellen, RPZ; Zellkerne, ZK). Die Linse wird von einer dünnen Schicht aus linsenbildenden Zellen (corneagenen Zellen, CZ) gebildet. Damit das Licht ein Signal in der Zelle auslösen kann, muss es in einem Sehfärbstoff absorbiert werden. Dieser Farbstoff wird in den sehfärbstoffhaltigen Zellen (Rhabdome, Rh) eingelagert, die auch als Lichtleiter bezeichnet werden. Die Sehzellen leiten alle Lichtimpulse über Nervenfasern (N) ins Gehirn weiter.



Blick ins Gehirn der Biene: Das visuelle System der Biene besteht aus der Netzhaut des Komplexauges und drei optischen Nervenzentren: Medulla (ME), Lamina (LA) und Lobula-Komplex (LO). Die verschiedenen Bereiche im Gehirn sind über ein komplexes Nervensystem miteinander verbunden und tauschen Informationen untereinander aus. Die visuellen Impulse gelangen durch die Cornealinse (CL) zum Kristallkegel (KK), der das einfallende Licht zu den Sehzellen (SZ) leitet. Im Zentrum von jeweils acht Sehzellen liegt der lichtempfindliche Teil, das Rhabdome (Rh). Von diesen Photorezeptorzellen wird der Impuls entlang der Nervenfasern (NF) über die Lamina und Medulla zum optischen Lobus (LO) gesendet. Dieser übermittelt die Signale an das optische Tuberkel (OT). Für die Weiterverarbeitung ist es ausschlaggebend, von welchem Bereich des Facettenauges die Information kommt: Signale aus dem vorderen Bereich des Bienen Auges werden in anderen Teilen des optischen Tuberkels (rot, gelb, grün, blau) verschaltet als Informationen aus einem anderen Bereich. In besonderen Gehirnstrukturen werden Sinneseindrücke aus allen Sinnesorganen miteinander verglichen und verarbeitet (Pilzkörper (PK), Zentralkörper (ZK)).  
Zeichnungen: H. Ruff

Augentypen perfekt zusammenwirken, gleichen sie die geringe Beweglichkeit des Bienenkopfes aus.

Dass die Welt der Bienen bunt ist, konnte Karl von Frisch bereits 1914 belegen: Sie haben wie wir Menschen ein trichromatisches (Dreifarben-) Sehvermögen. Das dreifarbige Spektrum umfasst Wellenlängen von 300 bis 650 nm. Möglich machen das drei Arten von Fotorezeptoren im Bienenauge: jeweils einer für kurze, mittlere und lange Wellenlängen. In den frühen 1970ern wurden schon spezielle Nervenzellen identifiziert, die die farblichen Informationen umsetzen.

## Erstaunliche Fähigkeiten entdeckt

Bienen können aber nicht nur Farben, sondern auch Muster und Formen erkennen. Verhaltensstudien an Bienen haben in den letzten Jahrzehnten gezeigt, wie sie ihre Umwelt tatsächlich wahrnehmen: Sie fühlen, sehen, riechen und lernen, können Farben oder Muster unterscheiden und haben ein bemerkenswertes Gedächtnis.

Dank stetiger Weiterentwicklung modernster Technologien können wir heute immer besser verstehen, wie visuelle Reize weiterverarbeitet werden. Die kognitiven Fähigkeiten\* der Bienen sind nach den neuesten Erkenntnissen noch viel besser als bisher angenommen: Sie können zählen, ähnliche Objekte nach Farbe und Muster in bestimmte Kategorien einordnen und sogar zwischen radialer und bilateraler Symmetrie sowie konzentrischer und ringförmiger Struktur eines Musters unterscheiden. Dabei verknüpfen sie verschiedene Eigenschaften (wie Futtermenge, Zeit der Nektarproduktion) mit dem jeweiligen Muster. Auch hier ist jeder der drei Rezeptoren für bestimmte Mustererkennungen zuständig. Entdeckt eine Biene nektar- oder pollenhaltige Blüten, erinnert sie sich an deren Farbe, Form, Duft und die Art, wie sie an den unterschiedlichen Blütenkelchen am effektivsten an das begehrte Gut gelangt. Dabei merkt sie sich, wie zuverlässig und zu welcher Zeit die Blüte Nektar produziert. Aufgrund dieser Erfahrungen entscheidet sie schließlich, ob und wann sich ein

Besuch dieser Pflanze lohnt. Einmal Erlerntes kann sie ganz flexibel an verschiedene Bedingungen anpassen und optimieren: Wenn eine Sammlerin im Stock zu lange nach freien Zellen suchen muss, in die sie den gesammelten Pollen abladen kann, ändert sie ihr Verhalten. Sie bemerkt, dass der Nutzen ihrer Tätigkeit für das Volk geringer geworden ist. Daraufhin sucht sie lieber wieder vielversprechende Nektarquellen auf. Der visuelle Sinn der Biene wird perfekt ergänzt vom Geruchs- und Geschmacksinn. Darüber werden wir in den kommenden Ausgaben berichten.

Quelle: Avarguès-Weber et al: New vistas on honey bee vision, *Apidologie* Volume 43, Number 3 (2012), 244-268, DOI: 10.1007/s13592-012-0124-2 im Internet: <http://rd.springer.com/journal/13592>

\* Unter Kognition versteht man die Fähigkeit, Signale der Umwelt wahrzunehmen und zu verarbeiten, bspw. Lernfähigkeit, Abstraktionsvermögen, Gedächtnisleistung.

Dr. Heike Ruff ([heike.ruff@email.de](mailto:heike.ruff@email.de))