



Aktuelle Forschungen der Neurophysiologie



Durch die Sonderausgabe der *Apidologie* lernen wir die faszinierende Welt des Bienengehirns kennen, erfahren, wie Bienen zu Gedächtniskünstlern werden. In der Oktober-Ausgabe hat Dr. Heike Ruff über das Sehvermögen der Biene berichtet. Der visuelle Sinn wird perfekt vom nachfolgend beschriebenen Geruchs- und Geschmackssinn ergänzt.

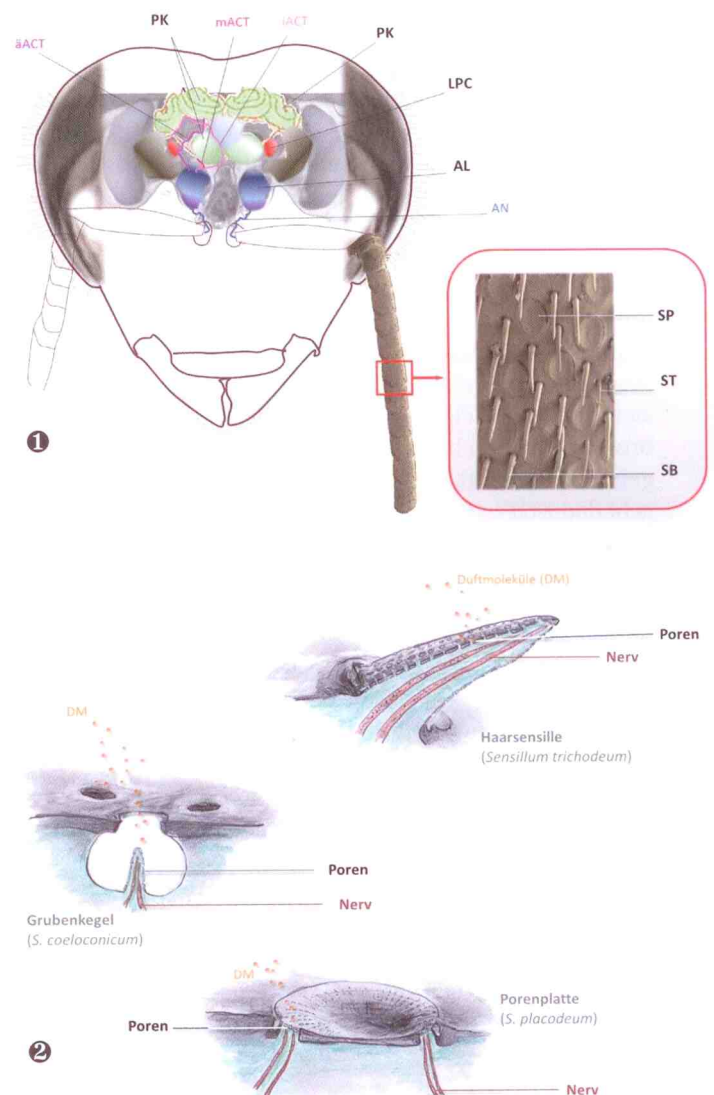
Bei der Wahrnehmung und Verarbeitung olfaktorischer (Duft-) Reize leisten die Bienen Erstaunliches. Sie registrieren jede einzelne Komponente eines Duftes und unterscheiden sogar spezielle Duftmischungen und deren Wert für die Futtersuche. Experimentelle und mathematische Analysen haben gezeigt, wie das funktioniert. So werden nicht nur Duftstoffe selbst wahrgenommen, sondern auch deren Konzentration. Und das sogar, wenn der Duftstoff nur Bruchteile einer Sekunde (200 Millisekunden) wahrnehmbar ist. In ebenso kurzer Zeit können Bienen bereits erlernte Düfte wiedererkennen und Komponenten voneinander unterscheiden. Schon 150 Millisekunden nach Duftaufnahme entscheidet eine Biene, ob der Duft vielversprechend ist und zu verfolgen lohnt.

❶ Spezialisierte Sensoren (*Sensillum placodea*, SP; *S. basiconica*, SB; *S. trichodea*, ST; REM-Aufnahme) auf den Antennen (Fühler) nehmen Informationen über Geruch und Geschmack wahr, die sie über vier verschiedene Nervenbahnen des Antennalnervs (AN) an die erste duftverarbeitende Struktur (Antennalloben, AL) im Bienengehirn weiterleiten. Drei komplexe Nervenetze aus Projektionsneuronen (innere, mittlere und äußere Antenne-Cerebral-Trakte; iACT, mACT, äACT) senden die Informationen an spezielle Gehirnareale (Pilzkörper PK, laterales Protocerebrum LPC). Hier werden die Signale verarbeitet oder gespeichert.

❷ Auf der Oberfläche der Fühler gibt es eine Vielzahl spezialisierter Sinneszellen (Sensillen). Sie dienen vor allem der Geruchswahrnehmung, reagieren aber auch auf Feuchtigkeit, Temperatur, Strömung, CO₂ und mechanische Reize. Es gibt Sinneshaare (*S. trichodea*) und Borstenhaarsensillen (*S. chaetica*), kegelförmige Sensillen (*S. ampullaceum*, *S. coeloconicum*, *S. basiconica*), Porenplatten (*S. placodea*), eingesenkte Papillen (*S. campaniform*), Endzapfen (*S. styloconica*) und schuppenförmige Sensillen (*S. squamiformia*). Duftmoleküle (DM) gelangen durch die Poren und binden an Rezeptorneurone (Nerv). Diese wandeln die Information in ein elektrisches Signal um. Etwa 60.000 Nervenzellen der Sensillen leiten Duftsignale an die duftverarbeitenden Zentren im Bienengehirn (Antennalloben) weiter. Illustrationen: Dr. Heike Ruff, REM-Aufnahme: Erwin Rudolf

Die Nase im Fühler

Möglich machen das 60.000 Nervenzellen (Neuronen), die als Riechorgan in den Sinneszellen der Fühler sitzen. Duftmoleküle werden über Poren in diesen Sinneszellen aufgenommen und als Signale über Nervenbahnen zu einer speziellen Gehirnstruktur (Antennalloben) geleitet. Von hier





◀ Die hochsensiblen Fühler sind nicht nur „das wichtigste Sinnesorgan, wenn Bienen miteinander kommunizieren“, sondern neben den Augen auch das wichtigste Sinnesorgan für die Wahrnehmung der Umwelt. Foto: J. Schwenkel

Eine Vielzahl von Sensillen ► mit unterschiedlicher Form und Funktion ist auf der Oberfläche der Fühler verteilt. Damit können Bienen tasten, schmecken, riechen oder auch Vibrationen, Luftfeuchtigkeit, Temperatur und Kohlendioxid aus ihrer Umgebung wahrnehmen. REM-Aufnahme: Stefan Diller



senden Projektionsneuronen die Information über verschiedene Nervenetze in spezielle Gehirnareale (Pilzkörper, laterales Protocerebrum), die schließlich die Information verarbeiten.

Soziale Insekten, die über ein vielfältiges Verhaltensrepertoire verfügen und sehr lernfähig sind, verarbeiten und speichern alle Informationen über Bilder, Düfte und mechanische Reize in dieser nach ihrer Form eines Pilzes benannten Gehirnregion. Die Pilzkörper bestehen aus etwa 170.000 Nervenzellen.

Mehr als nur Blütendüfte

Aber die spezialisierten Sinneszellen (Sensillen) der Fühler vermitteln nicht nur Blütendüfte, sondern auch Duftstoffe wie Hormone. Je nach Funktion haben sie ganz unterschiedliche Formen: kiel-förmig, haarähnlich, grubenförmig oder mit Poren. Über solche Poren gelangt auch das Königinnenpheromon (KPh) in die Lymph- (Blut-)bahn der Bienen. Dort bindet es an Transportproteine, die es zu den entsprechenden Rezeptoren bringen. Dies sind spezialisierte Zellstrukturen, die chemische Reize wahrnehmen können. Nach der Reizauslösung leiten sie die Signale weiter an die Pilzkörper. Von dort senden Nervenzellen den Impuls an andere Strukturen weiter, die auch Hormone ausschütten können. So beeinflussen ankommende Pheromonsignale die Hormonausschüttung von anderen Hormonen wie Juvenilhormon (JH), Ecdyson oder Ecdysteroid. Diese Hormone interagieren wiederum mit biogenen Aminen, die als Botenstoffe ebenfalls Informationen von einer Nervenzelle zur anderen wei-

tergeben. Gemeinsam steuern sie die Entwicklung einer Biene und deren Verhalten.

Duft steuert Aufgabenverteilung

Die Fühler von Drohnen und Arbeiterinnen sehen nur auf den ersten Blick identisch aus. Drohnen besitzen ein Schaftglied (Geißel) mehr, und sie haben etwa 5-mal mehr Sinneszellen, die zudem anders auf dem Fühler verteilt sind. Angepasst an die Lebensbestimmung von Drohnen sind ihre Sinneszellen besonders empfindlich für das Pheromon der Königin.

Das Königinnenpheromon kann aber noch viel mehr: Es aktiviert die Bildung des Dotterproteins Vitellogenin (Vg), das die Bildung von JH unterdrückt. Der JH-Spiegel ist ein wichtiger Faktor bei der Arbeitsteilung im Volk, da er die

Flugaktivität der Bienen stimuliert. Somit entscheidet er darüber, ob eine Biene als Amme oder Sammlerin tätig ist.

Duftirritationen

Bei der Übertragung der Informationen über Nervenzellen docken die Botenstoffe an eine spezielle Struktur, den Rezeptor. Diese Übertragung kann allerdings gestört werden. Manche Substanzen in Insektiziden binden nämlich ebenfalls an diese Rezeptoren und verhindern, dass die eigentlichen Botenstoffe andocken können. So kann man sich vorstellen, welche Folgen das für die Signalübertragung und dadurch auch für die Gedächtnisleistung der Biene haben kann. Sogar Thymol beeinflusst einige dieser Rezeptoren. Aber darüber berichten wir ausführlicher in einer der kommenden Ausgaben.

Dr. Heike Ruff, heike.ruff@email.de

Wie kommunizieren Nervenzellen?

Nervenzellen (Neuronen) verständigen sich untereinander beispielsweise durch Botenstoffe (Transmitter). Zwischen den Neuronen gibt es Kontaktstellen (Synapsen), die durch einen kleinen Zwischenraum (synaptischer Spalt) getrennt sind. Das elektrische Signal löst am Ende einer Nervenzelle die Freisetzung von Botenstoffen aus. Der Botenstoff bindet an eine spezielle Struktur (Rezeptor) der anderen Nervenzelle. Bei der Honigbiene gibt es Rezeptoren für Nikotin-Acetylcholin, GABA (Gamma-Aminobuttersäure), Glutamat oder Oktopamin. Sobald der Botenstoff die Bindungsstelle besetzt, verändert der Rezeptor seine Form, und es entsteht eine kleine Öffnung (Ionenkanal). Durch diese Pore können nun elektrisch geladene Teilchen wie Natrium- oder Kalzium-Ionen sowie Kalium-Ionen in die Zelle ein- oder ausströmen. Dadurch kommt es zu einer Verschiebung der elektrischen Ladung, und es entsteht ein elektrisches Signal, das bis zum Ende des Neurons geleitet wird. Dort kann es erneut zur Ausschüttung eines Botenstoffs führen und die Information an die nächste Nervenzelle weitergeben.