

kognition

Eine Pollensammlerin ist auf einer Kirschblüte gelandet. Nektar- und Pollensammelbienen stellen so die Bestäubung vieler Obstsorten sicher.

Foto: Mario Pahl

Wie Honigbienen die Welt erleben

Mario Pahl, Prof. Dr. Jürgen Tautz
BEEgroup, Biozentrum, Universität Würzburg

Es ist immer sehr spannend sich vorzustellen wie andere Menschen, wenn nicht sogar andere Tiere, die Welt wahrnehmen und erleben. Die Summe der Prozesse, bei denen sensorische Informationen verarbeitet, gespeichert, abgerufen und umgesetzt werden, nennt man kognitive Fähigkeiten. Die Kognitive Ethologie, die derartige Phänomene untersucht, beschäftigt sich traditionell eher mit Vertebraten wie Ratten, Affen und Tauben, statt mit wirbellosen Tieren. Obwohl die Anzahl der Publikationen zur Kognition bei Invertebraten in den letzten 25 Jahren zugenommen hat, liegt der Hauptfokus nach wie vor auf den Vertebraten. Wenn man die Gehirngröße mit kognitiver Leistungsfähigkeit gleichsetzt, ist das durchaus verständlich, besteht doch ein Bienenhirn nur aus knapp einer Million Neuronen. Das sind fünf Zehnerpotenzen weniger als in einem Menschengehirn mit geschätzten 80–100 Milliarden Nervenzellen.

Mehr als Reflexautomaten

Führen größere Gehirne aber unweigerlich zu komplexerem Verhalten? Iwan Pawlow (1849–1936) entwickelte als erster eine verlässliche und objektive Methode zur assoziativen Konditionierung von Hunden. Damals wurden Insekten noch als simple Reflexautomaten angesehen, die sich stereotyp und unflexibel verhalten und nur über die grundlegendsten Fähigkeiten verfügen, sensorische Informationen zu verarbeiten. Heute ist bei Bienenforschern die Probovis-Extension-Response (PER)-Konditionierung weit verbreitet, die auf Pawlow'schen Prinzipien beruht. Wird die Antenne der Biene mit Zuckerwasser berührt (unkonditionierter Stimulus), streckt sie ihren Rüssel aus, um zu trinken. Wenn kurz vor der Belohnung ein

Duft gegeben wird (konditionierter Stimulus), assoziiert die Biene den Duft mit der Belohnung und der Duft alleine reicht später aus um die PER auszulösen. Die Methode eignet sich hervorragend, um nicht-assoziatives, assoziatives und konfigurales Lernen im Labor an fixierten Bienen zu untersuchen.

Die Methodenentwicklung ging natürlich weiter und viele der für Vertebraten entwickelten Experimente konnten durch Modifizierung auch für Bienen eingesetzt werden. Ein gutes Beispiel für ein Freiflugsetup für Bienen ist der „Delayed-Match-to-Sample“ (DMTS)-Versuch, den 1959 Blough (in der USA) und Konorski (in Polen) unabhängig voneinander für Tauben entwickelten, und der Anfang dieses Jahrhunderts für Bienen adaptiert wurde [1]. Bei diesem Experiment wird

dem Tier ein visueller Stimulus (Sample) präsentiert, den es später, nach einer vom Experimentator festgesetzten Pause (Delay), mit zwei oder mehreren weiteren Stimuli vergleichen muss (Matching Stimuli). Die Stimuli können zum Beispiel Farben, Muster oder Bilder sein. Einer der Vergleichsstimuli ist identisch mit dem ersten Stimulus. Das Versuchstier muss sich nun für den Stimulus entscheiden, den es schon vorher als Sample gesehen hat, und wird dafür belohnt. Durch die Variation der Pause zwischen dem ersten Stimulus und den Vergleichsstimuli kann das Kurzzeitgedächtnis untersucht werden [2] und durch Variation der Stimuli und der Belohnungsregel können Erkenntnisse über das Langzeitgedächtnis und Mechanismen des Lernens gewonnen werden [2]. Eine Biene wird hierzu in einem Labyrinth trainiert und passiert am Eingang den Sample-Stimulus. Nach einer variablen Flugstrecke (Delay) erreichen sie eine Entscheidungskammer, in der die beiden Vergleichsstimuli präsentiert werden. Entscheidet sie sich richtig, wird sie in der Kammer hinter dem korrekten Stimulus mit Zuckerwasser belohnt.

Mechanismen der Kognition

Die riesige Diversität der Insekten erlaubt außerdem die Durchführung von vergleichenden Studien zur Evolution der Kognition. Central place foragers, also Tiere, die von ihrem Nest zu einer Futterquelle und zurück finden müssen, sind für solche Studien besonders gut geeignet. Durch die Manipulation der Umgebung um das Nest und die Futterquelle können die Mechanismen des Lernens, des Gedächtnisses und der Navigation untersucht werden.

Honigbienen sind eusoziale Insekten mit einem hoch entwickelten System der Arbeitsteilung. Die Aufgaben der Bienen hängen von ihrem Alter und dem Bedarf der Kolonie ab und umfassen unter anderem Putzen, Brutpflege, Honigproduktion, Wabenbau, Stockverteidigung und Nektarsammeln. Sie sind schnelle und elegante Flieger, können bis zu 10 km zu Futterquellen und zurück zum Stock navigieren und die Lage einer neu entdeckten Futterquellen mit einer symbolischen Tanzsprache untereinander kommunizieren [3, 4]. All diese Eigenschaften machen die Biene zum optimalen Versuchstier um Lernen, Gedächtnis und Navigation zu studieren.

Eine Biene kann einen neuen Geruch während weniger Besuche an der Futterquelle lernen. Eine neue Farbe lernt sie nach etwa fünf Besuchen, ein neues Muster nach 20 bis 30 Besuchen und eine neue Route zu einer Futterquelle in nur drei bis vier Ausflügen. Die zugrunde liegenden navigatorischen Fähigkeiten benötigen effiziente Informationsverarbeitungs- und Speichermöglichkeiten. Diese ermöglichen Bienen erstaunlich vielfältige, komplexe und flexible Verhaltensweisen.

Zählkünstler

Trotz ihres kleinen Gehirns kann die Biene Aufgaben lösen, die man ursprünglich nur Vertebraten zugetraut hätte. Bienen können abstrakte Eigenschaften von visuellen Stimuli (wie Ausrichtung und Symmetrie) kategorisieren und sie anwenden,

um zwischen neuen, unbekanntem Stimuli zu unterscheiden. Sie können vorherige Erfahrung nutzen, um versteckte Objekte zu erkennen. Wie Menschen nehmen sie visuelle Illusionen wahr. Sie können lernen, mithilfe symbolischer Hinweise durch komplexe Labyrinth zu navigieren. Sie können Konzepte formen und so visuelle Stimuli assoziativ gruppieren [5]. Als Zhang et al. 2005 die Vergess-Funktion des Kurzzeitgedächtnisses der Biene mit einem DMTS-Experiment untersuchten, lagen die Ergebnisse erstaunlich nahe an den Resultaten, die Roberts bereits 1972 an Tauben erzielte. Sie fanden heraus, dass das Kurzzeit- oder Arbeitsge-



Foto: Helge R. Heilmann

Bei der Proboscis Extension Response Konditionierung reagiert die Biene mit dem Ausstrecken des Rüssels auf den erlernten Duft. Die Methode wird auch zur Sprengstoffdetektion am Londoner Flughafen eingesetzt.

www.chemgaroo.de

CHEMGAROO®
ChemgaPedia

CHEMGAROO®
ChemgaNet

CHEMGAROO®
ChemgaMedia

CHEMGAROO®
ChemgaCourse

CHEMGAROO®

Jump to Knowledge

- Neue Wege in der Ausbildung - Chemie Lernen leicht gemacht
- Naturwissenschaften entdecken - lebendig, anschaulich, interaktiv
- Umfangreiche Inhalte - von den Grundlagen zu modernsten Technologien
- Online oder Offline - individuelle Lösungen für Ihr Unternehmen



Telefon: +49 30 39977 0 · E-Mail: info@chemgaroo.de

...mehr Sicherheit für Ihre Zellkulturen!!!

Detektion: PCR-Kit

Wissen ist gut – Kontrolle ist besser: der **PCR-Mycoplasmen-Testkit** weist Mycoplasmen-Kontaminationen in Zellkulturen nach. Bereits nach wenigen Stunden haben Sie das Ergebnis:

einfach, schnell und sicher.

- ready-to-use optimierter PCR-Mix ● weist alle Mycoplasmen-Arten nach, die in Zellkulturen gefunden werden
- hohe Sensitivität ● keine Radioaktivität
- für 10 oder 20 Tests

Vorbeugung: Reinigung

Lassen Sie es erst gar nicht so weit kommen: das ungiftige und biologisch abbaubare **Incubator-Clean** in der praktischen Sprühflasche reinigt Ihren Inkubator auch bis in die letzte Ecke und mit **Incuwater-Clean** sind die Zeiten von kontaminiertem Wasser im CO₂-Inkubator endlich vorbei! Es wird in einer Konzentration von 1 % eingesetzt.

Behandlung: Antibiotika

... und wenn es doch einmal passiert ist: **Antibiotika** sind die wirksame Therapie bei einer Mycoplasmen-Kontamination. Bei uns entweder als Kombi-Präparat – **Myco-1 (Tiamutin) & Myco-2 (Mino-cyclin)** – oder als Einzelsubstanz – **Myco-3 (Ciprofloxacin)** – für die zielsichere Tötung unerwünschter Keime erhältlich.



Jürgen Tautz (geb. 1949) rechts, promovierte nach seinem Studium der Biologie, Geographie und Physik an der Universität Konstanz über ein sinnesökologisches Thema. Nach Arbeiten zur Bioakustik von Insekten, Fischen und Fröschen gründete er 1994 die BEEgroup an der Universität Würzburg, die sich mit Grundlagenforschung zur Biologie der Honigbiene befasst. Neben seiner wissenschaftlichen Tätigkeit (mit bis dato etwa 140 Publikationen, darunter etwa 30 Titelgeschichten unter anderem in Science und Nature) verfolgt Jürgen Tautz eine erfolgreiche Öffentlichkeitsarbeit, in der er ein breites Publikum für die Lebenswissenschaften interessieren möchte. Dafür wurde er von EMBO in den Jahren 2005, 2007 und 2008 als einer der besten europäischen Wissenschaftskommunikatoren ausgezeichnet.

Mario Pahl (geb. 1979) links, Doktorand an der Universität Würzburg, arbeitet seit seiner Diplomarbeit zum Zeitgedächtnis von Honigbienen in der BEEgroup in Würzburg und im Centre for Visual Sciences der Australian National University in Canberra. 2007 wurde er Stipendiat der Graduate School of Life Sciences und des DAAD und promoviert seitdem über Kognition bei Honigbienen. In seiner Arbeit erforscht er das Lernen, das Gedächtnis und die Navigationsfähigkeiten der Bienen mit verschiedenen verhaltensbiologischen und neuroanatomischen Methoden.

dächtnis der Honigbiene visuelle Informationen etwa acht Sekunden behält [2, 6]. In einem neueren Experiment untersuchten wir das Zahlenkonzept der Biene. Durch eine Variation des DMTS-Experiments, in dem Sample- und Vergleichsstimuli nicht identisch sind (Symbolic Delayed-Match-to-Sample, SDMTS), konnten wir zeigen, dass die Biene visuelle Stimuli nicht nur nach den bereits bekannten Kategorien wie Farbe, Form und Symme-

trie kategorisieren kann [5], sondern auch nach der Anzahl der gezeigten Objekte [7]. Die Grenze der „Zählkunst“ der Bienen liegt zwischen 3 und 4. Auch diese Ergebnisse sind durchaus vergleichbar mit Studien an Vertebraten wie Singvögeln [8] und Waschbären [9].

Die Mechanismen der Wahrnehmung und des Lernens sind bei Primaten und Säugetieren sicher komplizierter als bei Insekten. Trotzdem scheinen kognitive Fähigkeiten weiter verbreitet zu sein als gedacht und es findet sich keine scharfe Trennlinie zwischen Vertebraten und Invertebraten. Die kognitive Leistungsfähigkeit eines Tieres wird hauptsächlich durch die Anforderungen seiner ökologischen Nische bestimmt und nicht von der An- oder Abwesenheit einer Wirbelsäule [5].



Der Blick in einen frei gebauten Bienenstock. Ohne die Vorgaben der Imkerrähmchen bauen die Bienen ihre Waben dicker, und die Zellen-größe ist unregelmäßig.



Foto: Mario Pahl

In diesem Freiflugexperiment wurden Bienen auf vertikale blaue Streifen konditioniert. Hinter dem Stimulus befindet sich die Belohnung in Form von Zuckerwasser.

Literatur

- [1] Giurfa, M., S.W. Zhang, A. Jenett, R. Menzel, and M.V. Srinivasan, The concepts of 'sameness' and 'difference' in an insect. *Nature*, 2001. **410**: p. 930-933.
- [2] Zhang, S.W., F. Bock, A. Si, J. Tautz, and M.V. Srinivasan, Visual working memory in decision making by honeybees. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2005. **102(14)**: p. 5250-5255.
- [3] von Frisch, K., *The Dance Language and Orientation of the Bees*. 1967, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- [4] Tautz, J., *The Buzz about Bees*. 2008, Berlin: Springer.
- [5] Zhang, S.W. and M.V. Srinivasan, Visual Perception and Cognition in Honeybees, in *The Visual Neurosciences, Chalupa and Werner, Editors*. 2004, MIT Press: Cambridge, MA. p. 1501-1513.
- [6] Roberts, W.A., Short-Term Memory in Pigeon - Effects of Repetition and Spacing. *Journal of Experimental Psychology*, 1972. **94(1)**: p. 74.
- [7] Gross, H.J., M. Pahl, A. Si, H. Zbu, J. Tautz, and S. Zhang, Number-Based Visual Generalisation in the Honeybee. *PLoS ONE*, 2009. **4(1)**: p. e4263.
- [8] Hunt, S., J. Low, and K. Burns, Adaptive numerical competency in a food-board songbird. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 2008. **275**: p. 2373-2379.
- [9] Davis, H., Discrimination of the number three by a raccoon (*Procyon lotor*). *Animal Learning and Behavior*, 1984. **12**: p. 409-413.

→ tautz@biozentrum.uni-wuerzburg.de

→ mario.pahl@biozentrum.uni-wuerzburg.de

→ www.bee-group.de

AppliChem

Darmstadt hat eine weitere Topadresse:

AppliChem GmbH Ottoweg 4 64291 Darmstadt **Telefon** 06151 93 57 0
Fax 06151 93 57 11 **eMail** service@appliedchem.com **Internet** www.appliedchem.com