Foto: Anne Rollero

Intelligente Bienen

Bereits das Lernen verschiedener Trachtquellen, deren Nutzung und das Wiederfinden des Nestes am Ende des Sammelfluges sind besondere Leistungen. Lassen sich diese allein durch Instinkte erklären?

Der Schriftsteller Maurice Maeterlinck war sicherlich nicht der Meinung, dass Honigbienen es mit der Intelligenz der Menschen aufnehmen könnten – er sah in der Biene aber eine andere Qualität von Intelligenz, die an die Herausforderungen einer vollkommen anderen Lebensweise angepasst ist. Insekten sind seltsame „einheimische Außerirdische", deren Sinnes- und Wahrnehmungswelt sich von unserer stark unterscheidet. Sie können beispielsweise ultraviolettes Licht, magnetische Felder, Elektrizität und polarisiertes Licht wahrnehmen. Zudem befinden sich ihre Sinnesorgane manchmal an Körperteilen, die für uns befremdlich sind, zum Beispiel Infrarotsensoren auf dem Hinterleib einiger Käfer oder Lichtrezeptoren an den Fortpflanzungsorganen von Schmetterlingen. Könnte es im Kopf der Insekten ebenso seltsam zugehen?

Biologen haben schon vor einiger Zeit das reiche Verhaltensrepertoire sozialer Insekten erkannt. Dieses organisiert das Zusammenleben in einer Kolonie, vereinfacht den aufwendigen Bau eines gemeinsamen Nestes, sichert einen beständigen Nahrungsstrom für die Brut, verteidigt die Kolonie und reguliert deren Klima. Diese vielfältigen Verhaltensweisen wurden aber oft als „einfache Instinkte" abgetan. Dabei gibt es, beispielsweise bei der Errichtung eines Heims, keine Wirbeltierart – mit Ausnahme des Menschen und vielleicht des Bibers –, die es mit dem komplexen Verhalten der Honigbienen und anderer sozialen Insekten, wie Ameisen, Wespen und Termiten, aufnehmen könnte. Instinkte bestimmen sicherlich die Lebensweise der Bienen. Um all ihre Aufgaben erledigen zu können, müssen sie aber auch lernen können und ein gutes Gedächtnis haben. Zudem gibt es zwischen angeborenem Verhalten und Intelligenz zahlreiche Wechselwirkungen auf verschiedenen Ebenen. So haben alle gesunden Menschen eine angeborene Veranlagung für die menschliche Sprache. Aber dieser Instinkt vereinfacht fast alle unsere höheren geistigen Fähigkeiten, auf die wir so stolz sind. Im Folgenden wollen wir uns anschauen, zu welchen enormen Fähigkeiten Bienen in der Lage sind, und uns anschließend überlegen, ob diese wirklich nur mit einfachen Instinkten zu erklären sind.

> *„Einige werden sich fragen, was wir mit der Intelligenz der Bienen anfangen sollen. Die Entdeckung eines Hinweises auf einen echten Intellekt jenseits der Menschen vermittelt uns das Gefühl von Robinson Crusoe, als er am Sandstrand seiner Insel den Abdruck eines menschlichen Fußes entdeckte. Wir scheinen weniger allein zu sein, als wir gedacht hatten."*
>
> Maurice Maeterlinck, *Das Leben der Bienen* (1901)

Die besten Quellen im Kopf

Wenn eine Hummel oder eine Honigbiene das erste Mal zum Sammeln ausfliegt, beginnt für sie ein Rennen gegen die Zeit. Sie leben nur noch wenige Wochen, und müssen daher den Zeitaufwand zur Erkundung der Umgebung ebenso minimieren wie für das Lernen von Landmarken zur Orientierung und für das Finden und Ausbeuten der profitabelsten Nahrungsquellen. Neuere Versuche mit Hummeln, die ihr gesamtes Leben lang per Radar verfolgt wurden, haben gezeigt, wie die Tiere diese Herausforderung meistern. Die ersten Flüge führen immer in großen Schleifen um das Nest herum. Sobald sie eine geeignete Nah-

Diese Sammlerin hatte kein Glück. Doch Bienen, die einer Spinne entkommen, meiden anschließend den Blütentypus oder sind vorsichtiger.
Foto: Raphaela Nickel

Klein, aber nicht einfach

Auch kleine Gehirne wie die der Bienen sind nicht einfach aufgebaut. Sie haben zwar weniger als eine Million Nervenzellen, aber jede Nervenzelle kann wie eine alte Eiche weit verzweigt sein und Kontakte mit Tausenden anderer Nervenzellen in verschiedenen Hirnregionen knüpfen. Neuere Untersuchungen haben zudem gezeigt, dass Lernprozesse, die früher als recht einfach angesehen wurden, in Bezug auf die Hirnprozesse alles andere als einfach sein können – während solche, die als hochintelligente Operationen angesehen wurden, recht simpel ablaufen können. So kann asssoziatives Lernen – also zum Beispiel das Verbinden eines bestimmten Blütengeruchs mit einer Belohnung – zu substanziellen Veränderungen in mehreren Regionen eines Insektenhirns führen.

rungsquelle entdeckt haben, verfolgen verschiedene Individuen aber ganz unterschiedliche Strategien: Während einige Hummeln lange Zeit einem bestimmten Ort treu bleiben, halten andere regelmäßig nach profitableren Quellen Ausschau – Ähnliches gilt sicher auch für Honigbienen. Hummeln und Honigbienen können durchaus mehrere Nahrungsquellen gleichzeitig im Gedächtnis behalten. Dabei merken sie sich sogar, zu welcher Uhrzeit die einzelnen Quellen am ergiebigsten sind. Wenn getrennt liegende Blütenvorkommen unterschiedliche Gerüche abgeben, aktivieren die Bienen die Erinnerung an den richtigen Ort, sobald man den passenden Duft in den Bienenstock bläst. Einige Individuen fangen merkwürdigerweise nachts spontan an zu tanzen – anscheinend rufen sie die Erinnerung an den Ort ab, den sie am Vortag besucht hatten.

Wenn Bienen sich zwischen mehreren Orten hin und her bewegen, sind sie in der Lage, das „Problem des Handlungsreisenden" zu lösen: Sie finden die kürzeste Route, auf der jeder Ort nur einmal besucht wird. Jeder, der Erfahrung damit hat, sich in der Natur über längere Strecken ohne Kompass zurechtzufinden, wird bezeugen, dass dies keine triviale Aufgabe ist. Sie verlangt eine hohe Aufmerksamkeit bezüglich Landmarken und Details der Umwelt, manchmal ein aktives Absuchen der Umgebung und eine effiziente Suchstrategie für den Fall, dass man vom Weg abgekommen ist. Bienen zeigen alle diese Verhaltensweisen und können Dutzende visueller Eindrücke im Gehirn abspeichern. Diese reiche Bibliothek mit Erinnerungen an Landmarken wird wiederum mit Hinweisen am Himmel vernetzt. Dazu gehört der Stand der Sonne – den die Bienen manchmal durch das Polarisationsmuster des Himmels rekonstruieren müssen, wenn die Sonne nicht zu sehen ist. Aber da die Sonne im Laufe des Tages an verschiedenen Positionen am Himmel zu sehen ist, müssen die Bienen auch die Tageszeit kennen, um die Sonne als Kompass nutzen zu können.

Die Qual der Wahl

Eine unerfahrene Biene ist beim ersten Besuch einer Blumenwiese mit einer verwirrenden Vielfalt an Blüten konfrontiert, die sich in ihrer Farbe, ihren Mustern und im Geruch unterscheiden. Bienen haben die angeborene Veranlagung, Blüten von anderen Objekten unterscheiden zu können. Zudem finden sie manche Blütenfarben attraktiver als andere. Aber diese Veranlagung allein bringt sie nicht weit: Weil sich unterschiedliche Pflanzenarten in ihrer Nektar- und Pollenmenge stark unterscheiden, müssen die Bienen sorgfältig aus dem Blütenangebot auswählen. Sie müssen anhand bestimmter Blütensignale lernen, die zu erwartende Belohnung vorherzusagen. In der Folge werden sie vor allem an den Sorten sammeln, die die höchste Belohnung bieten. Manchmal ähneln sich jedoch die Signale für eine lohnenswerte und eine unbelohnte Situation. In solchen Fällen scheinen die Bienen in der Lage zu sein, die Wahrscheinlichkeit für einen Erfolg zu bestimmen: Sie verlangsamen ihren Flug, um sich die Angelegenheit genauer anzuschauen, steigen aber aus, wenn ihnen das Risiko zu hoch wird, am Ende einer schwierigen Aufgabe leer auszugehen. Unerfahrene Bienen orientieren sich manchmal an der Blütenwahl erfahrener Sammlerinnen – wenn man keine Ahnung hat, welche Blüten profitabel sind, ist es vernünftig, diejenigen auszuprobieren, die Artgenossinnen wählen. Selbst erfahrene Bienen tendieren dazu, die Wahl anderer Bienen zu kopieren, wenn sie sich in der Umgebung unsicher sind.

Die Techniken, mit denen die Bienen an Nektar und Pollen einer Blüte gelangen, können komplex sein. Manchmal braucht es Dutzende Versuche, bis eine Biene die Technik für eine Blüte perfektioniert hat. Eine einzelne Hummel kann mehrere solcher Techniken lernen. Die frühere Meinung, dass das kleine Gehirn den Bienen lediglich ➡

Nicht machen, aber trotzdem können

Die Tatsache, dass Tiere manche Verhaltensweisen nicht zeigen, ist kein Zeichen dafür, dass es für sie zu schwierig ist, die entsprechende Fähigkeit zu entwickeln, oder dass es dem Tier an Intelligenz mangelt. Im Umfeld dieser Tiere mag schlicht und ergreifend die entsprechende Herausforderung fehlen, um diese Fähigkeit zu entwickeln. So erkennen sich beispielsweise soziale Bienen untereinander nicht individuell. Der Grund dafür ist jedoch nicht, dass diese Aufgabe für das kleine Hirn nicht machbar wäre, sondern dass es in einem Bienennest zu viele zu ähnliche Individuen gibt, als dass ein Erkennen der Bienengesichter sinnvoll wäre. Dagegen haben einige Wespenarten mit kleinen Nestern die angeborene Fähigkeit, ihre Nestgenossinnen anhand ihrer Gesichter zu erkennen. Honigbienen können aber darauf trainiert werden, die Bilder von menschlichen Gesichtern wiederzuerkennen. In beiden Fällen sind wahrscheinlich teilweise dieselben Nervenbahnen für die Fähigkeit verantwortlich.

Foto: Alekks, Fotolia

Foto: Sylvain Alem

Die Bilder zeigen, wie eine Hummel an einer Schnur zieht, um an eine blaue Kunstblume zu gelangen, die unter einer Plexiglasscheibe liegt. In der Mitte der „Blüte" befindet sich Zuckerlösung als Belohnung.

dbj18_02_015 15 16.01.2018 09:25:00

Auch beim Bau von Waben müssen die Baubienen viele Informationen von außen sowie von den eigenen Sinnesorganen verarbeiten.
Foto: Sabine Rübensaat

erlaubt, den Umgang mit einer einzigen Blütenart zu lernen, war im Grunde niemals haltbar: Dazu musste man sich nur das natürliche Verhalten der Bienen anschauen. Und seitdem rechnerbasierte Modelle zeigten, dass Insektengehirne viele Informationen speichern können, ist diese Ansicht gänzlich überholt.

Bienen können sich auch an Gefahren erinnern, denen sie beim Besuch von Blüten begegnet sind. Diverse Räuber wie Krabbenspinnen jagen Bienen, die manchmal aber nach einem kurzen Kampf entkommen. Anschließend vermeiden einige dieser Bienen alle Blüten des Typs, auf dem sie angegriffen wurden. Andere Bienen sammeln hingegen weiter an diesen Blüten, zeigen dabei aber ein vollkommen verändertes Verhalten: Sie fliegen die Blüten langsamer an und suchen diese genau ab, bevor sie landen. Interessanterweise neigen diese Bienen auch leicht dazu, „Gespenster zu sehen“: Falscher Alarm, bei dem die Biene eine sichere Blüte verlässt, ist dann keine Seltenheit. Diese Beobachtungen zeigen, dass Bienen nicht starr auf Signale aus der Umwelt reagieren. Vielmehr weisen sie gefühlsähnliche Zustände auf, die ihr Verhalten beeinflussen – je nachdem, ob die Biene aufgrund ihrer Erfahrung eher „optimistisch“ oder „pessimistisch“ eingestellt ist. So können unerwartete Belohnungen an Blüten Bienen in einen optimistischen Zustand versetzen, in dem sie weniger negativ auf einen überstandenen Angriff reagieren.

Lösen unnatürlicher Aufgaben

Bienen können viel schneller bestimmte Farben mit einer Belohnung in Verbindung bringen als die meisten anderen Tiere. Das liegt aber nicht daran, dass sie intelligenter als beispielsweise Katzen wären. Vielmehr haben Farben im Leben einer Katze eine viel geringere Bedeutung als im Leben eines Insekts, das seine Nahrung an Blüten sammelt. Um die geistigen Fähigkeiten von Tieren zu vergleichen, wird daher oft ein Intelligenztest gefordert, der Tiere mit Aufgaben konfrontiert, die sich unter natürlichen Umständen nicht ergeben würden. Auf diese Weise wird die Flexibilität ihres Verhaltens getestet. Tatsächlich sind Hummeln und Honigbienen erstaunlich gut darin, solche Aufgaben zu erfüllen. So können Bienen bis zu drei Gegenstände zählen, wobei ihre Genauigkeit mit der von Tieren mit größeren Gehirnen, wie Fischen, vergleichbar ist.

Hummeln können Aufgaben lösen, in denen sie an einer Schnur ziehen müssen, um an eine künstliche Blume samt Belohnung zu gelangen. Wie bei allen solchen Tests gibt es dabei sehr große Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchstieren. Die meisten benötigen ein schrittweises Training, oder sie müssen ein erfahrenes Tier dabei beobachten, wie es die Aufgabe löst. Nur die Minderheit schafft es, die Aufgabe durch Versuch und Irrtum selbst zu lösen. Doch sobald sich in einer Kolonie nur ein einziges Individuum befindet, das sich die Lösung erarbeitet hat, breitet sich dieses Wissen schnell unter den meisten Stockgenossinnen aus. Für Honigbienen stehen vergleichbare Tests noch aus – es bestehen aber kaum Zweifel, dass sie derartige Aufgaben ebenfalls lösen können.

Hummeln können auch lernen, einen Ball an eine vorher bestimmte Stelle zu bugsieren, um eine Belohnung zu erhalten. In einer Variante des Tests lernten die Hummeln, von drei Bällen immer nur denjenigen zu bewegen, der am weitesten entfernt lag. Die anderen Bälle waren festgeklebt. Auch dies lernten die Hummeln. Wenn eine unerfahrene Hummel eine erfahrene Hummel beobachten durfte und anschließend selbst getestet wurde, machte sie das Beobachtete jedoch nicht einfach nach. Stattdessen versuchte sie, sich den Ball zu schnappen, der dem Ziel am nächsten lag. Die Hummel wurde also durch das erfahrene Tier inspiriert, äffte es aber nicht einfach nach, sondern versuchte die für sie nächstliegende Lösung.

Solche Versuche zeigen, dass komplexes Lernen auch mit relativ kleinen Nervensystemen möglich ist. Aber warum sollten sich Bienen so exzellent in Aufgaben schlagen, auf die sie in der Natur wahrscheinlich niemals treffen werden? Weil die Natur unberechenbar ist und intelligente Tiere mit unberechenbaren Situationen besser umgehen können! Nach der Veröffentlichung der Versuchsergebnisse berichtete ein Leser, er habe eine Hummel dabei beobachtet, wie sie eine Schnecke aus dem Nesteingang rollte. Dabei verwendete sie dieselbe Technik, wie sie im Ballversuch beschrieben wurde. Das Meistern solcher seltenen Herausforderungen kann wesentlich für das Überleben der Tiere sein, wenn es um den Zugang zu Nachwuchs und Vorräten geht.

Mehr als nur Instinkte

Dies sind nur einige Beispiele für die Fähigkeiten der Bienen. Einige Leute mögen auch weiterhin mit einfachen Erklärungen für die beschriebenen Phänomene aufwarten. Es scheint aber, als ob wir unsere Sichtweise selbst für so kleine Gehirne wie das der Biene überdenken müssen. Eine mögliche alternative Erklärung – zum Beispiel für die Flexibilität beim Nachahmen des „Werkzeuggebrauchs“ – ist, dass Bienen ein grundlegendes Verständnis für das Ergebnis ihres Verhaltens haben: Das wäre ein bewusstseinsähnliches Phänomen. Sie werden jetzt vielleicht einwenden, dass ein Bewusstsein doch sicherlich ein großes Gehirn, einen Neocortex voraussetzt. Falsch. Man kann niemals von der groben Form des Nervensystems auf die geistigen Fähigkeiten schließen: Beispielsweise haben Schimpansen Gehirnareale, die beim Menschen die Sprache unterstützen, aber nicht bei den Schimpansen. Das Vorhandensein oder das Fehlen einer bestimmten Hirnregion sagt also nichts über die tatsächlichen Fähigkeiten aus. Vollkommen andere Teile des Nervensystems können bei unterschiedlichen Tierarten ähnliche Fähigkeiten im Verhalten begründen. Grundlegende bewusstseinsähnliche Phänomene können bereits mit einigen wenigen Tausend Nervenzellen erreicht werden – und die besitzt ein Insektengehirn allemal.

DER AUTOR

Prof. Dr. Lars Chittka

hat an der Queen-Mary-Universität in London den Lehrstuhl für Sinnes- und Verhaltensökologie inne. Zurzeit ist er am Wissenschaftskolleg zu Berlin tätig. Der gebürtige Hesse geht in seiner Forschung unter anderem der Frage nach, warum Tiere die Sinnesorgane haben, mit denen sie ausgestattet sind, und wie sie diese in ihrer Umwelt einsetzen. Der Beitrag beruht auf dem Artikel *Bee cognition* in der Zeitschrift *Current Biology 27*. Er wurde von Sebasian Spiewok übersetzt und für das dbj angepasst.

dbj18_02_016 16 16.01.2018 09:19:11