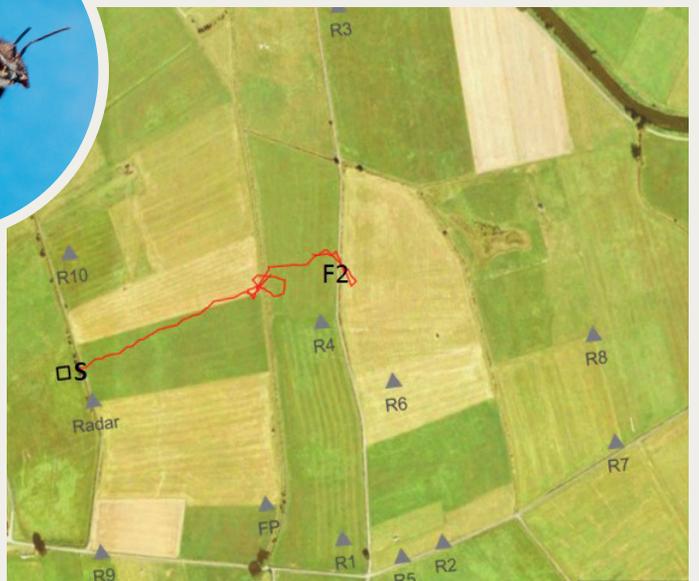


Unbeirrt zum Ziel

Bienen lesen aus den Tänzen ihrer Stockgenossinnen sehr genau ab, wo sich eine attraktive Trachtquelle befindet - und lassen sich bei der Suche nach diesem Ziel erstaunlich wenig irritieren.



Oben: Die Bienen tragen einen Transponder, der es erlaubt, sie im Flug mit einem Radargerät zu verfolgen.

Unten: Mit einem sogenannten harmonischen Radar lässt sich die Flugbahn aufzeichnen.

Die erste Beobachtung des Bienentanzes wird häufig Karl von Frisch zugeschrieben. Das stimmt nicht ganz: Viele Imker und Wissenschaftler hatten den Schwänzeltanz beobachtet, bevor der Forscher dessen Bedeutung entschlüsselte. Im Jahr 1828 schrieb zum Beispiel der deutsche Imker Nikolaus Unhoch im *Schweizer Bienenfreund*: „Es wird manchem lächerlich, ja wohl gar unglaublich erscheinen, wenn ich behaupte, dass auch die Bienen (...) gewisse Lustbarkeiten und Freuden unter sich haben, dass sie sogar auch nach ihrer Art zuweilen einen gewissen Tanz anstellen. (...). Was eigentlich dieser Tanz bedeuten soll, kann ich noch nicht erklären, ob es vielleicht eine muthige Freude und Aufmunterung ist (...) das muss die Zukunft klären.“

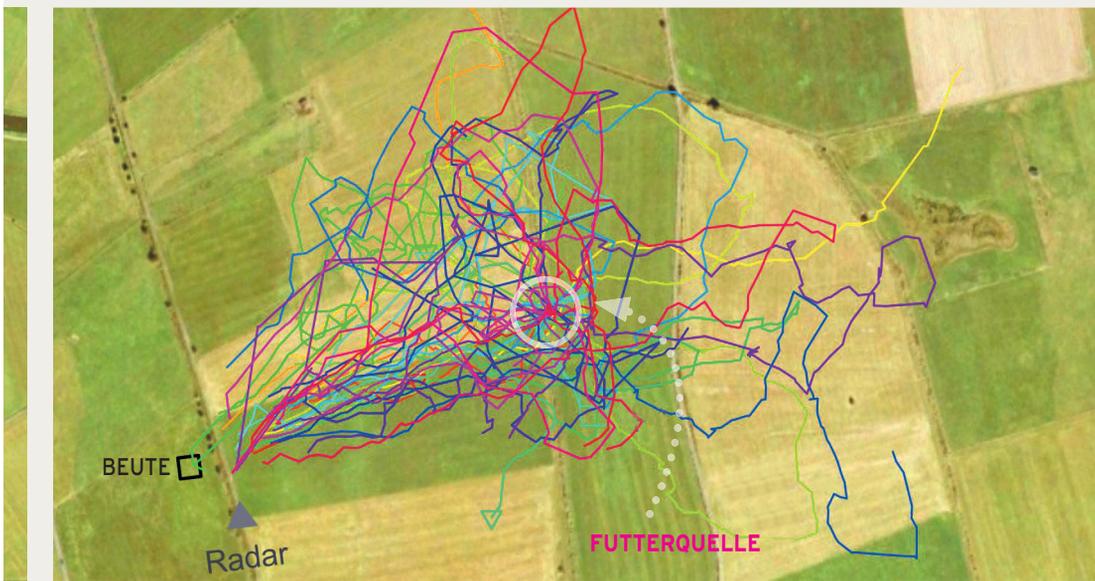
Markierte Bienen und Dressur

Karl von Frisch konnte das Geheimnis des Bienentanzes lüften, weil er beim Arbeiten mit den Bienen zwei wichtige Verfahren entwickelt hatte. Das war zum Ersten die Markierung von einzelnen Bienen mit Farbtupfen. Durch unterschiedliche Farbkombinationen war es möglich, viele Bienen individuell zu erkennen und ihr Verhalten sowohl an der Futterstelle als auch im Stock zu verfolgen. Der zweite Punkt war die Dressur einer kleinen Schar von markierten Bienen auf eine Futterstelle, an der die Bienen Zuckerlösung sammelten. Als von Frisch Anfang des vorigen Jahrhunderts mit diesen Methoden das Farbsehen und den Geruchssinn erforschte, beobachtete er, dass er die Zahl der sich an seiner Futterstelle sammelnden Bienen leicht beeinflussen konnte, indem er die Zuckerkonzentration veränderte. Erhöhte er den Zuckergehalt, kamen bald mehr Bienen aus dem

selben Volk, verringerte er ihn, blieben einige Bienen weg.

Karl von Frisch hatte den Bienentanz bereits zuvor mit eigenen Augen beobachtet. Was dieser Tanz genau bedeutete, erkannte er jedoch erst Mitte der 1940er-Jahre, als er die Entfernungen zwischen Futterstelle und Bienenstock veränderte, die seine dressierte Bienenschar überbrücken musste. War dieser Weg weiter, wurde die Schwänzelsecke länger und enthielt mehr Schwänzelsekungen. Es fiel ihm auch auf, dass sich die Richtung des Schwänzellaufs auf der Wabe im Laufe des Tages veränderte. blieb die Futterstelle über mehrere Tage an derselben Stelle, tanzten die Bienen den Schwänzellauf auch am nächsten Tag zur gleichen Uhrzeit in exakt derselben Ausrichtung. Frisch erkannte, dass die Tänzerinnen damit die Flugrichtung angeben, in der die Trachtquelle liegt. Da sie diese Information im dunklen Stock auf einer vertikal hängenden Wabe an die anderen Flugbienen weitergeben, benötigen sie dafür eine Art Code, also eine Verschlüsselung der Flugstrecke vom Stock zur Futterstelle. Sie nutzen dazu die Schwerkraft im Stock und setzen sie in Beziehung zum Sonnenstand bei ihrem Ausflug zur Futterstelle. Fliegt die Biene in einem bestimmten Winkel zur Sonne, hält sie beim Tanzen den gleichen Winkel zur Schwerkraft ein. Da die Sonne im Tagesverlauf wandert, benötigt die Biene eine innere Uhr, um den wechselnden Winkel zur Sonne in die Richtung zur Schwerkraft zu übertragen.

Noch einmal zusammengefasst: Von Frisch erkannte, dass beim Tanzen ein angeborener Code gilt. Nach oben tanzen bedeutet, zur Sonne hinfliegen; 90 Grad nach links tanzen heißt, die Sonne um genau diesen Winkel rechts von der Flugbahn zu halten. Die tan-



Ganz links, S. 56: Die rote Flugspur gibt die Route einer Biene an, die einer Tänzerin gefolgt war.

Links: Viele Flugspuren von Bienen, die einer Tänzerin zur Futterstelle nachgefolgt sind. Am Ende korrigiert die Nachläuferin ihre Abweichung und fliegt ganz nahe an die Futterstelle heran. Wenn sie nicht landet, sucht sie in weiteren Flügen um die Futterstelle herum.

Fotos und Grafiken: Randolf Menzel (4), Franc Sivic, Sabine Rübensaat, bjoerno/stock.Adobe.com (2), stgrafix/stock.adobe.com

zende Biene gibt also einen Vektor (Richtung und Entfernung) an, der symbolisch die Flugstrecke zur Futterstelle wiedergibt.

Nutzen Bienen die Information?

So großartig diese Entdeckung war, sie ließ eine ganz wichtige Frage offen: Nutzen die nachlaufenden Bienen diese Information tatsächlich? Das war für Karl von Frisch sehr naheliegend, denn eine erhöhte Zuckerkonzentration führte zu mehr Tänzern und zu mehr Bienen an der Futterstelle. Dennoch wurde dieser Aspekt unter Wissenschaftlern diskutiert und infrage gestellt. Manche Forscher meinten, dass die nachtanzenden Bienen eventuell lediglich generelle Informationen über eine außerhalb des Stockes vorhandene Trachtquelle erhalten, sich dann selbstständig auf die Suche machen und einfach dem Duft der Tracht folgen, sobald sie die Fährte gefunden haben. Wie wir heute wissen, war das eine naheliegende Annahme, denn die nachlaufenden Bienen lernen in der Tat den Duft und den Geschmack der Futterstelle.

Mit seinen Mitarbeitern, darunter vor allem Martin Lindauer, erdachte er geniale Experimente, um den Informationstransfer von der Tänzerin zur Nachläuferin zu beweisen. Leider gelang das nur eingeschränkt. Damals gab es noch keine für die Bienenforschung

nutzbaren Radargeräte, und so musste von Frisch seinen Futterquellen Duft beimengen, um die ausfliegenden Bienen an die Teststellen zu locken. Sonst wäre es damals nicht möglich gewesen, die markierten Bienen in der Umgebung der Futterstelle zu entdecken und zu zählen. Obwohl sehr kluge Kontrollexperimente angewandt wurden, konnte der Zweifel, dass die Duftanlockung eine wichtige, vielleicht sogar die wichtigste Rolle spielte, nicht vollständig ausgeräumt werden.

Zweifel sind heute beseitigt

Dies ist inzwischen kein Problem mehr und völlig geklärt. Heute ist es möglich, die nachfolgenden Bienen auf ihren Flügen zu der im Tanz angegebenen Futterstelle mit einem speziellen Radargerät zu verfolgen. Dabei kann man so vorgehen, dass der Duft der Futterquelle keine Rolle spielt. Den Bienen, die einer Tänzerin beim Werben für eine Futterquelle gefolgt sind, wird ein Transponder aufgeklebt, der von dem Radargerät erkannt wird und mit dem sich ihre Route aufzeichnen lässt. Es lässt sich auch ausschließen, dass die Nachläuferin der Tänzerin einfach hinterherfliegt. Abbildung 1 zeigt die Flugspur einer Biene, die eine Tänzerin beim Werben für eine Futterstelle beobachtet hatte und ihr beim Tanzen gefolgt war. Der anschließende Flug führte sie sehr genau zu eben dieser Futterstelle, und die Biene landete präzise am bezeichneten Ort.

Registriert man viele Flugspuren (Abbildung 2) dann erkennt man, dass durchaus einige Variabilität in der Anwendung der Tanzinformation besteht. Diese Variabilität ist allerdings sehr viel kleiner, als es die Abbildung erscheinen lässt. Verfolgen Sie einmal

unterschiedliche Flugspuren. Jede Biene ist mit einer anderen Farbe dargestellt. Es wird Ihnen auffallen, dass jede auf einer relativ geraden Strecke startet und ihre Flugbahn korrigiert, wenn sie in die Nähe der Futterstelle kommt. Fehler, die also in der Richtung der ersten geraden Strecke gemacht wurden, werden in den anschließenden Suchschleifen so korrigiert, dass die Biene näher an die im Tanz angezeigte Stelle kommt. In der Tat kommen fast alle Nachfolgerinnen sehr dicht an die Futterstelle heran. Die meisten landen aber nicht, was daran liegt, dass in diesen Experimenten der Futterstelle kein Duft zugesetzt wurde. Die letzte Orientierung wird also durch eine Duftmarkierung erleichtert, sie ist aber nicht notwendig. Die Bienen, die nicht landen, fliegen dann weiter suchend herum, was den Eindruck erweckt, als ob sie nur eine ungenaue Information über den Ort der Futterstelle erhalten hätten. Das ist aber nicht der Fall, denn sie waren ja schon ganz dicht bei der Futterstelle.

Bienen kennen ihre Umgebung

Eine weitere Beobachtung ist auch sehr wichtig: Lässt man eine Nachläuferin nicht am Stockausgang starten, sondern versetzt sie an einen anderen Ort innerhalb des von ihr erkundeten Bereichs um den Stock (ca. 500 m Radius), dann beobachtet man, dass sie in Richtung auf die im Tanz angegebene Stelle sucht. Das ist eine aufregende Beobachtung, denn es bedeutet, dass die Nachläuferin, die ja die Gegend aus ihren Orientierungs- und Sammelflügen gut kennt, die Botschaft der Tänzerin in die „innere Karte“ einfügt, die sie von der Umgebung hat. Sie sucht also nach einem konkreten Ort, anstatt einfach nur eine

Die Nachfolgerin fügt die Botschaft der Tänzerin in die „innere Karte“ ein, die sie von der Umgebung hat.

Eine Tänzerin wirbt für eine Futterquelle, die sich in einem Winkel von rund 130 Grad zur Sonne befindet. Sie wird dabei von anderen Bienen beobachtet. Man spricht von „Nachläuferinnen“. Nachdem sie mehrere Tänze beobachtet haben und der tanzenden Biene gefolgt sind, sind die Nachläuferinnen in der Lage, die Futterquelle eigenständig zu finden.



Fluganweisung zu befolgen. Damit ist eine ganz erstaunliche Leistung der Tanzkommunikation bewiesen: Die Tänzerin teilt mit, über eine bestimmte Entfernung und in eine bestimmte Richtung zu fliegen (also eine Vektorinformation), die Nachläuferin interpretiert diese Information so, dass sie einen Ort angibt. Ein Ort ist in ihrem Landschaftsgedächtnis durch viele Eigenschaften ausgezeichnet, zum Beispiel durch seine Position zu Merkmalen der Landschaft (das können Bäume Büsche, Wegränder und vieles andere sein). Außerdem erwartet die Nachläuferin Landschaftsmerkmale, die die Tänzerin erlebt hat. Wenn die Tänzerin zum Beispiel eine Straße entlangeflogen ist, dann erwartet die Nachläuferin eine Straße, die in der Richtung verläuft, die die Tänzerin genommen hat, und folgt dieser Straße dann bevorzugt. Die Landschaftsmerkmale werden natürlich nicht im Tanz mitgeteilt, sondern von der Nachläuferin aus ihrem Gedächtnis aufgerufen. Die Fähigkeit der Nachläuferin, aus der Vektorinformation einen Ort in der Landschaft zu bestimmen, versetzt sie

auch in die Lage, zwischen Orten auf direktem Weg hin- und herzufliegen.

Immer wieder wird fälschlicherweise der Eindruck erweckt, dass die Tanzkommunikation der Bienen nur im Zusammenhang mit einer Duftmarkierung erfolgreich ist. Das ist nicht der Fall, denn Nachläuferinnen benötigen keine Duftinformation, um gezielt an der im Tanz angezeigten Stelle anzukommen. Zudem wird behauptet, dass die Tanzinformation recht ungenau sei. Diese Annahme beruht auf der Beobachtung, dass die Richtungs- und Entfernungsangaben des Tanzes recht breit streuen. Das ist richtig, bedeutet aber nicht, dass die Nachläuferin ungenau ist. Die Nachläuferinnen sind aus zwei Gründen in ihren Flügen genauer als die Tänzerinnen in ihren Tänzen. Sie folgen erstens mehreren bis vielen Schwänzelläufen und bilden daraus einen Mittelwert, und erschließen sich zweitens – wie oben beschrieben – aus der Vektorangabe des Tanzes einen Ort und den Weg zu diesem Ort. Dazu brauchen sie natürlich ein sehr gutes Landschaftsgedächtnis, das wie eine Karte

organisiert ist. Wir können davon ausgehen, dass auch die Tänzerin über ein solches Landschaftsgedächtnis verfügt, denn sie kann ja jederzeit eine Nachläuferin sein (und war es vorher auch schon). Nur lässt sich das Landschaftsgedächtnis der Tänzerin nicht nachweisen, schließlich können wir nicht in ihr Gehirn schauen, wenn sie tanzt.

Zeitweise wurde auch spekuliert, dass Tänzerinnen breit streuende Richtungs- und Entfernungsangaben machen, weil sie damit eine großflächige Nahrungsquelle (Blumen auf einer Wiese) anzeigen würden. Das hat sich nicht bestätigt. Manchmal wird sogar die kuriose und durch nichts belegte Meinung vertreten, die Nachläuferinnen würden den Sammlerinnen hinterherfliegen. All das stimmt nicht. Der Blumenduft kann eine Rolle bei der letzten Annäherung spielen, er ist aber nicht notwendig. Karl von Frischs Entdeckung ist in jeder Weise korrekt. Wir können uns glücklich schätzen, dass wir nicht nur alle Zweifel daran ausgeräumt, sondern noch weitere Geheimnisse aufgedeckt haben. Die Kenntnisse der Bienen von der den Stock umgebenden Landschaft sind noch viel reichhaltiger, als wir bisher annahmen, und werden bei der Tanzkommunikation eingesetzt. So großartig all diese Leistungen des kleinen Bienehirns sind, eine Sprache ist die Tanzkommunikation nicht. Diese Bezeichnung sollte auch im übertragenen Sinne nicht verwendet werden, denn sie leitet in die Irre. Über Sprache verfügt nur der Mensch.

Bienen orientieren sich auf ihren Flügen an Bäumen, Büschen, Waldrändern, Straßenverläufen und ähnlichen Merkmalen der Landschaft.



DER AUTOR

Professor Randolph Menzel

kannte Karl von Frisch persönlich. Er promovierte bei dessen Schüler Martin Lindauer. Der Neurobiologe Menzel forscht auch nach seiner Emeritierung an der Freien Universität weiter zu der Frage, wie sich Bienen orientieren.



Auf geradem Weg zum Ziel

Zeigt eine Arbeitsbiene eine Trachtquelle an, die weniger als 100 m vom Stock entfernt ist, nutzt sie dafür in der Regel den sogenannten Rundtanz. Er enthält nur geringe Richtungsinformationen und veranlasst die durch den Tanz animierten Bienen, sich in der näheren Umgebung des Stockes nach der Tracht umzuschauen. Enthält die angezeigte Futterstelle einen Duft, dann suchen die Nachläuferinnen danach. Sie lernen den Duft von der Tänzerin, wenn sie von ihr eine kleine Kostprobe des Sammelgutes erhalten.

Der Schwänzeltanz enthält viel detailliertere Informationen über Richtung und Distanz einer weiter entfernten Trachtquelle. Die Distanz wird durch die Zahl der Schwänzelsbewegungen mitgeteilt, wobei eine Schwänzelsbewegung 73 m anzeigt. Mehr Schwänzelsbewegungen führen zu einer längeren und länger dauernden Schwänzelsstrecke, daher ist die Schwänzelsstrecke auch ein Maß für die Entfernung.

Die Richtung der Flugstrecke vom Stock zur Futterstelle gibt die Biene an, indem sie die Schwänzelsstrecke auf der Wabe im entsprechenden Winkel ausrichtet. Der aktuelle Sonnenstand ist dabei auf der Wabe immer oben. Dementsprechend ändert sich die Tanzrichtung der werbenden Biene im Tagesverlauf. Liegt die Trachtquelle genau im Süden, zeigt der Schwänzeltanz mittags auf der Wabe direkt nach oben. Die nachfolgenden Bienen erhalten damit die Information, dass sie, um die Tracht zu finden, direkt in Richtung der Sonne fliegen

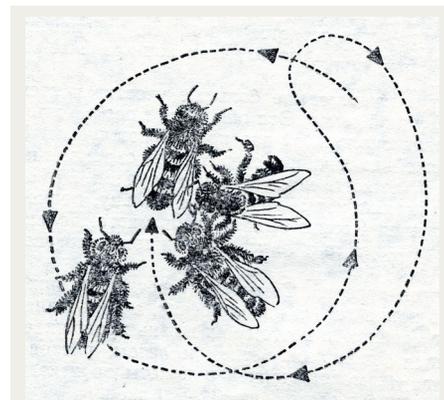
Der Schwänzeltanz vermittelt nicht nur Informationen, er hat außerdem auch eine motivierende Eigenschaft.

müssen. Wirbt die Biene am Nachmittag noch immer für diesen Ort, tanzt sie auf der Wabe nach rechts. Für die nachfolgenden Bienen heißt das: Lasst die Sonne um 90 Grad (oder den entsprechenden Winkel) links liegen, um zur Nahrungsquelle zu gelangen. Tanzt sie am nächsten Morgen, wenn die Sonne im Osten steht, noch immer für dieselbe Trachtquelle, würde sie nun nach links tanzen. Grob veranschlicht, könnte man den Hinweis mit „Lasst die Sonne rechts von euch, wenn ihr die Trachtquelle finden wollt“ übersetzen. Bienen tanzen auch viele Stunden nach ihren letzten Ausflügen und nicht selten auch in der Nacht. Da sie über eine recht genau gehende innere Uhr verfügen, können sie stets die richtige Richtung angeben. Über die gleiche innere Uhr verfügen natürlich auch die Nachläuferinnen.

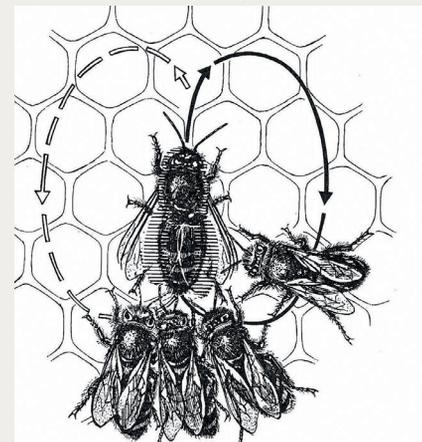
Der Schwänzeltanz vermittelt nicht nur Informationen, er hat auch eine motivierende Eigenschaft. So fliegen nachfolgende Bienen bevorzugt zu ihrer früher besuchten Nahrungsquelle, wenn sie nur wenigen Tanzrunden gefolgt sind. Auch ein tanzspezifischer Duft könnte eine motivierende Rolle spielen. Während des Tanzes wird nicht nur das Abdomen hin- und herbewegt, sondern auch die Flügel schwirren mitunter in kurzen Pulsen. Welche Information diese Flügelschlagpulse übermitteln, ist noch nicht geklärt. Eine Vermutung besteht darin, dass reichhaltige Futterquellen eher zu solchen Pulsen führen. Da Bienen nicht hören können wie wir, sind die Geräusche, die mit Mikrofonen aufgenommen werden, nicht die Signale, die Bienen empfangen. Da Bienen aber elektrostatisch geladen sind und die von der Bewegung ausgehenden elektrostatischen Signale erfühlen, unterscheiden und lernen können, ist es sehr wahrscheinlich, dass es diese elektrostatischen Felder sind, die bei der Tanzkommunikation eine entscheidende Rolle spielen.

Bec/Menzel

Bild oben: Manche Forscher behaupteten, die Sammlerinnen würden einer ortskundigen Biene nachfliegen, um eine Trachtquelle zu finden. Das ist eindeutig wiederlegt. Die Informationen werden durch Tänze übermittelt (siehe Grafiken).



Der Rundtanz enthält nur ungenaue Richtungsangaben.



Die Schwänzelsbewegung wird auf der geraden Strecke ausgeführt, dann läuft die Biene in Halbkreisen zurück zum Ausgangspunkt.