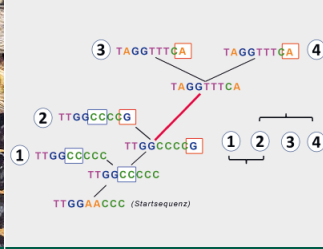


SONDERDRUCK  
aus

1 | 2024

**VBio**

Verband | Biologie, Biowissenschaften  
& Biomedizin in Deutschland



**ZOOLOGIE**  
Kontroverse um  
den Bientanz

**EVOLUTION**  
Molekulare  
Phylogenetik

**ÖKOLOGIE**  
Pflanzen mit  
Bodyguards

# BIOLOGIE

IN UNSERER ZEIT



**Die Rückkehr der Wölfe**

Eine Sammelbiene wirbt mit dem Schwänzeltanz für ein lohnendes Ziel und beginnt damit eine Kommunikationskette, die im Feld fortgesetzt wird. Foto: Ingo Arndt.



50 Jahre nach dem Nobelpreis

## Die „Sprache“ der Bienen

JÜRGEN TAUTZ

*Die „Sprache“ der Bienen ist weit komplexer, als es das einfache Modell zum sogenannten Schwänzeltanz wiedergibt. Die hohe Attraktivität des einfachen Modells aufgrund seiner kurzen klaren Aussage, die beeindruckende Sonderstellung unter den Insekten, die der Honigbiene als Folge dieses Modells zugeschrieben wird, aber auch bisherige methodische Beschränkungen, haben das Modell zementiert. Im Laufe der Zeit wurde nicht mehr verfolgt, was bereits Karl von Frisch in seinen ersten Studien zur Bienenkommunikation entdeckt hatte: Der Tanz im dunklen Stock ist Teil einer Verständigungskette; er findet seine Fortsetzung in Kommunikationssignalen draußen im Feld.*

Am 12. Dezember 1973 wurde Karl von Frisch in Stockholm der Nobelpreis für Physiologie und Medizin verliehen. Seine zentrale wissenschaftliche Entdeckung wird auf der offiziellen Web-Seite der Nobelpreisstiftung in einer Kurzfassung wie folgt vorgestellt: „Ende der 1920er-Jahre zeigte von Frisch, dass Bienen, wenn sie Nektar in einer Blüte finden, in einem speziellen Muster fliegen und eine Art Tanz aufführen, der anderen Bienen in der Nähe zeigt, wo sie den Nektar finden können.“<sup>1</sup>

Zwei experimentelle Kniffe waren entscheidend für diese Entdeckung: Zum einen wurden Honigbienen zu künstlichen Futterstellen dressiert, die zur leichteren Auffindbarkeit für die Sammelbienen mit Blütendüften dotiert waren. Zum anderen wurden Bienen mit Farbpunkten markiert, um erfahrene Bienen, die an ihnen bekannten Futterplätzen sammelten, und Rekruten, die erstmals an diesen Orten auftauchten, zu unterscheiden und Bienen sogar individuell wiedererkennen zu können. So gelang Karl von Frisch unter anderem die vom Nobelpreiskomitee hervorgehobene Entdeckung, dass die gleichen Bienen, die man in einem Beobachtungsstock beim Aufführen ihrer

<sup>1</sup> <https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/1973/frisch/facts/>

Tänze sieht, am Futterplatz auffallende Brauseflüge – also Flüge in einem speziellen Muster – aufführen (Abbildung 1). Neulinge, die als Nachtänzerinnen im Bienenstock zu sehen waren, trafen an den beworbenen Orten ein. Ein halbes Jahrhundert nach der Verleihung des Nobelpreises ist es nun an der Zeit, diese bahnbrechende Entdeckung von Karl von Frisch an die neuen Entwicklungen der Bienenforschung der letzten 40 Jahre anzupassen. Im folgenden Beitrag wird kursorisch und auszugsweise vorgestellt, welche Entwicklung die Bienenforschung genommen hatte, in deren Verlauf entscheidende Entdeckungen Karl von Frischs in Vergessenheit geraten sind.

Klassisch ist die Formulierung, mit der Professor Börje Cronholm, Mitglied des Nobel-Komitees für Physiologie und Medizin, anlässlich seiner Einführungsrede zur Preisverleihung (stellvertretend für Karl von Frisch an dessen Sohn Otto von Frisch, der bei der Preisverleihung in Stockholm vor Ort war) den Informationsgehalt der Tänze vorstellte: „Der Tanz informiert die Bienen im Bienenstock über das Vorhandensein von Nahrung, oft auch über die Richtung, in der die Blumen gefunden werden und über die Entfernung zu ihnen“. Die leicht zu machende Beobachtung, dass Bienenneulinge genau dort eintreffen, wo bereits erfahrene Bienen sammeln, erschien dafür als Beleg. Es folgte bei den Wissenschaftlern die Schlussfolgerung, dass rekrutierte Bienen aufgrund dieser Tanz-Information das Ziel finden. Eine Kommunikation zwischen Bienen im Feld wurde hier nicht erwähnt.

Diese Einschätzung zu einer „Sprache der Bienen“ bekam rasch und anhaltend erhebliche Aufmerksamkeit und Bewunderung. Stellvertretend sei aufgeführt, was die *Los Angeles Times* in einem Beitrag 1991 schrieb „... eine der wichtigsten wissenschaftlichen Hypothesen des 20. Jahrhunderts: Honigbienen führen sich gegenseitig mit komplizierten Tänzen zu Futterstellen“. <sup>2</sup> Nicht nur Biologen waren von der Vorstellung einer „Sprache der Bienen“ elektrisiert. Auf den Web-Seiten des Max-Planck-Institutes für Wissenschaftsgeschichte kann man dazu lesen: „Die Sprache der Honigbienen nahm ... einen herausragenden Platz ein – Zoologen, Psychologen, Linguisten, Soziologen und Anthropologen machten sie zur am häufigsten untersuchten Form der Tierkommunikation, und die Forscher hielten sie in Bezug auf ihre Komplexität für die zweitwichtigste Form nach der menschlichen Sprache.“ <sup>3</sup>

Man findet bis heute immer wieder die Einschätzung, dass nur Menschen und Honigbienen die Fähigkeit besäßen, untereinander abstrakte Informationen zur Richtung und Entfernung eines Ortes auszutauschen [1]. So gesehen finden sich die Honigbienen über alle anderen Tiere herausgehoben wieder. Was lässt sich heute, 50 Jahre nach der Verleihung des Nobelpreises und rund 100 Jahre nach dem Beginn ihrer modernen Erforschung zum Wissensstand über die „Sprache der Bienen“ und dem dazu etablierten Modell sagen?

<sup>2</sup> <https://www.latimes.com/archives/la-xpm-1991-11-05-vw-842-story.html>

<sup>3</sup> [https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/research/projects/deptll\\_munz\\_ScienceofAnimals](https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/research/projects/deptll_munz_ScienceofAnimals)



**ABB. 1** Bereits Karl von Frisch hat in seinen frühen Versuchsprotokollen festgehalten, dass die gleichen Bienen, die im dunklen Stock Tänze aufführen, das Ziel mit auffallenden „Brauseflügen“ und geöffneter Nasanov-Drüse umfliegen. Foto: Ingo Arndt.

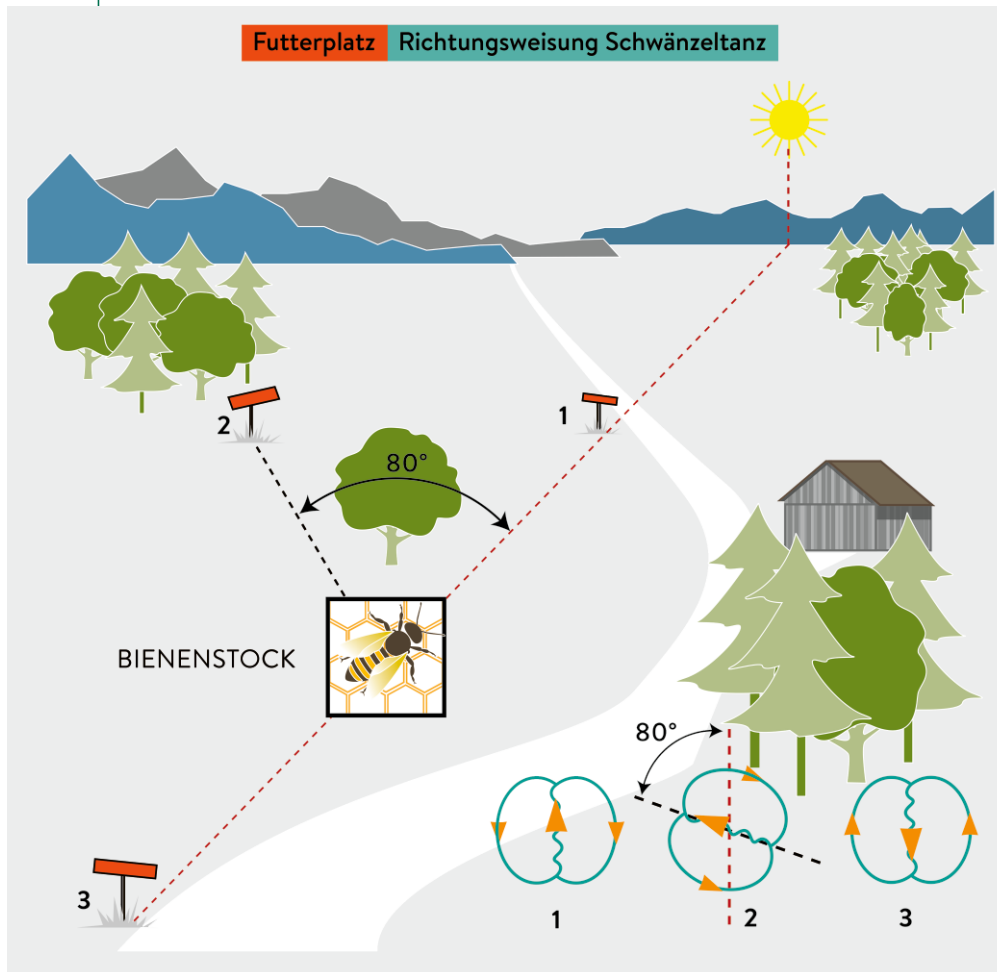
### Die Fokussierung auf das Tanzverhalten

Mit den vielen neuen Puzzlestücken, die in den letzten Jahrzehnten gewonnen wurden, kann deutlich gemacht werden, dass das klassische Modell, das von Karl von Frisch begründet wurde und so auch in verkürzter Form Eingang in die Lehrbücher gefunden hat, mit vielen neueren experimentellen Daten nicht in Einklang zu bringen ist. Es zeigt sich, dass das Festhalten an dem bislang propagierten, „alten“ Modell nur einen sehr eingeschränkten Blick auf das an sich komplexe Kommunikationsverhalten erlaubt. Karl von Frisch konzentrierte sich bei der Untersuchung der Rekrutierung von Bienen an einen Futterplatz ausschließlich auf die Untersuchung von Bientänzen. Er erkannte schon sehr früh in seinen Studien, dass es damals

#### IN KÜRZE

- Karl von Frisch hatte mit dem Einsatz von Beobachtungsstöcken und der Dressur von Bienen auf beduftete Futterplätze **die moderne Bienenforschung eröffnet**.
- Dabei erkannte er die **Bientänze als Bausteine in der Kommunikation** zwischen Bienen.
- Er erkannte auch die Bedeutung einer **Kommunikation zwischen Bienen im Feld** für die Zielfindung der Rekruten – der Bienen, die im dunklen Stock den Tänzen gefolgt waren.
- Das **klassische Modell zur „Tanzsprache“** der Bienen und jahrzehntelange Forschung erfassen den Aspekt einer Verständigung zwischen Bienen im Feld nicht. Die Fülle an neueren Daten, schwer einzupassen in das alte Modell, machte eine neue Sicht immer drängender.
- **Ein neues Modell** löst eine Reihe von Widersprüchen und erlaubt den Verzicht auf zahlreiche Hypothesen.

ABB. 2 | KLASSISCHE DARSTELLUNG ZUR „SPRACHE“ DER BIENEN



Gezeigt ist hier die klassische auf den Fächerversuchen von Karl von Frisch basierende Darstellung, wie Nachtänzerinnen die Richtungsinformationen aus dem Bientanz entschlüsseln. Unten rechts sind drei Tänze schematisch dargestellt. Die Tanzbiene, die vom Sammelflug zurückgekehrt ist, markiert im Bientanz während seitlichem Schwingen des Hinterleibs eine besondere Linie und signalisiert damit eine Richtung. Tanz 1 und 3 weisen nach oben beziehungsweise unten, folgen also der Richtung der Schwerkraft. Damit wird jene Richtung signalisiert, in der der Futterplatz (orange markiert) positioniert ist. Die Nachtänzerin transformiert diese schwerkraftbezogene Richtungsinformation aus dem Tanz dann im freien Feld mit Referenz zum Sonnenstand. Nach diesem Modell findet eine Nachtänzerin, z. B. aus Tanz 2, den Weg zum Futterplatz, indem sie in einem um 80 Grad vom Sonnenstand nach links abweichendem Winkel fliegt. Die Darstellung folgt der Originalabbildung aus [2], 137, Abb. 119.

praktisch unmöglich war, am Zielort (der Futterstelle) die mögliche kommunikative Bedeutung von zwei Informationsquellen gleichzeitig zu entschlüsseln („ein spezielles Flugmuster“ und „eine Art Tanz“ – so das Zitat der Nobel-Stiftung). Systematische Beobachtungen und Zählungen der Bienen direkt am Ziel wurden bewusst aufgegeben [2].

In der Vorstellung von Bienenkommunikation im Sinne des klassischen Modells der Bienen-sprache spielt ein möglicher Austausch von Signalen zwischen Bienen außerhalb des Stocks bislang keine Rolle. Bis heute wird ausschließlich auf die Erforschung des Tanzverhaltens in allen möglichen Einzelheiten fokussiert. Das punktgenaue Eintreffen von Rekruten nach der Verfolgung von Tänzen in der

Dunkelheit des Bienenstockes wird ausschließlich dem Verhalten der Bienen im Stock zugeschrieben (Abbildung 2). Dabei zeigte sich von Beginn an ein Problem: Das Erscheinungsbild der Tänze zeigt eine hohe Variabilität; die vom Menschen abgelesene Zielangabe schwankt zum Teil erheblich. Trotzdem erreichen die Rekruten punktgenau das beworbene Ziel – und das bis in mehreren Kilometern Entfernung. Ein menschlicher Beobachter kann aus den streuenden Einzelwerten arithmetische Mittelwerte für Richtung und Entfernung berechnen, die recht gut die tatsächliche Lage des Zieles wiedergeben. Aus diesen Analysewerten wird dann die Hypothese formuliert, dass die rekrutierten Bienen mehrere Tanzrunden verfolgen, daraus Mittelwerte entnehmen und somit über die so verfeinerten genauen Zielkoordinaten verfügen [3]. Die Genauigkeit der errechneten Angabe steigt mit der Anzahl der Rohdaten. Das Weglassen der ersten und letzten Tanzrunden erhöht die Zielgenauigkeit zusätzlich [4].

Eine Frage, die über viele Jahrzehnte hinweg die Bienenforschung beschäftigte, war: In welchen Details der Tänze sind die Informationen über die Lage eines Zieles verschlüsselt? Die Ausrichtung der Schwanzphase relativ zur Schwerkraft auf den senkrecht hängenden Waben ist der Richtungsanzeiger – eine Tatsache, die als entscheidende Einsicht Karl von Frischs die moderne Erforschung der Kommunikation bei Honigbienen eröffnete. Die damals erfolgte Zusammenschau von Tanzfigur und letztlich auch punktgenauem Eintreffen von Rekruten am

beworbenen Futterplatz lässt es nachvollziehbar erscheinen, dass den Tanzfiguren eine hohe Präzision zugeschrieben wurde. Karl von Frisch hat dabei die Ablesewerte auf einen halben Winkelgrad genau tabelliert (Abbildung 3).

Die zweite Information, die der Tanzsprache zugeschrieben wurde, betrifft die Distanz vom Bienenstock zum Zielpunkt. Es zeigte sich, dass die Dauer der Schwanzphase mit der Entfernung zum Ziel zunimmt. Werden die Verhaltensdaten zur Dauer der Schwanzphase gegen die tatsächliche Entfernung des Futterplatzes vom Bienenstock aufgetragen (wenn diese kontrolliert in sukzessiven Experimenten verändert wird), entsteht eine Eichkurve, aus der im Falle einer für einen Beobachter unbekannt

Futterquelle die Entfernung zum Bienenstock abgelesen werden kann.

### Stark variierende Angaben und Hilfhypothesen

Es fällt auf, dass in der Fachliteratur eine ganze Reihe höchst unterschiedlicher Eichwerte publiziert sind. Da es sich zeigte, dass Sammelbienen zurückgelegte Flugdistanzen nicht, wie ursprünglich angenommen, der im Flug verbrauchten Energiemenge entnehmen, sondern dem sogenannten optischen Fluss, der im Flug ihren Sehsinn reizt [5], liegt eine plausible Erklärung für die Tatsache der vielen unterschiedlichen Eichkurven auf der Hand: Der optische Fluss ändert sich mit der Struktur der in den Versuchen unterschiedlichen durchflogenen Landschaften [6]. Diese Einsicht zog eine Hilfhypothese nach sich, der zufolge rekrutierte Sammelbienen auf der gleichen Flugroute in der gleichen Flughöhe wie die Tänzerin zum Ziel fliegen müssten, um die Entfernungsangabe aus dem Tanz richtig umzusetzen.

Auch diese Hilfhypothese ist nicht belegt. Im Gegenteil spricht alles dafür, dass rekrutierte Bienen bei ihrem ersten Flug zum beworbenen Futterplatz nur mit einer groben Information ausgestattet wurden. Sie haben mit Sicherheit nicht jene zur Verfügung, die durch Mittelung vieler experimentell gemessener Tanzläufe oder durch Weglassen der ersten und letzten Tanzrunden präzisiert und virtuell zu Eichkurven standardisiert wurden. Bestimmt man die Flugzeiten zwischen Bienenstock und Ziel, benötigen Neulinge bis zur 50-fachen Dauer im Vergleich zu den Tänzerinnen [7]. Die Neulinge überladen sich um das 3-4-fache mit Nektar als Treibstoff für den Flug im Vergleich zu den Bienen, die das Ziel bereits besucht haben und dessen Position nun kennen [8]. Eine ebenfalls umstrittene Hypothese ist das Vorhandensein einer Landkarte im Kopf der Biene [9], für die bis heute überzeugende Belege fehlen [10, 11].

### Rund- und Schwänzeltänze gibt es nicht als klare Kategorien

In den letzten Jahren haben zwei methodische Fortschritte die Tanzbewegungen bis ins letzte Detail aufklären lassen: Zeitlupen-Videoaufzeichnungen und das automatische Verfolgen und Aufzeichnen von Bewegungsspuren des exakten Tanzbewegungsverlaufes in Raum und Zeit über auf den Bienen angebrachte und optisch oder elektronisch erfasste Kennzeichen (Abbildung 4). Die Resultate dieser Studien bestätigen den prinzipiellen Aufbau der Schwänzeltänze, zeigen aber auch den hohen Grad an Idealisierung der klassischen Vorstellung (Abbildung 5). Die genaue Aufzeichnung der Tanzbewegungen hat auch ergeben, dass eine Unterscheidung in Rund- und Schwänzeltänze willkürlich ist. Mit zunehmender Distanz zwischen Bienenstock und Ziel verändert sich das Erscheinungsbild der Tänze fließend. Die immer wieder als klare Kategorien aufgeführten Rundtänze für nahe Ziele und

ABB. 3 | KARL VON FRISCHS VERSUCHSPROTOKOLL ZUR GENAUIGKEIT DER TÄNZE

25. VIII Fortsetzung

es wird jetzt also alle Bienen von den alten Vätern, sofern sie noch vorhanden, empfangen. Alle mit weißem Papier sind normal.

	Nr.	rechts	links	Winkel	Fehler
9 <sup>10</sup>	103	ca 230°	130°	119,5°	150,5° - 20,5°
9 <sup>11</sup>	43	213°	147°	119,5°	150,5° - 3,5°
9 <sup>13</sup>	106	224°	136°	120°	150° - 14°
9 <sup>15</sup>	40	222°	138°	120,5°	149,5° - 11,5°
9 <sup>16</sup>	48	218°	142°	121°	149° - 7°
"	48	210°	150°	121°	149° + 1°
9 <sup>17</sup>	50 (Kurz)	ca 221°	ca 139°	121°	149° ca. - 10°
9 <sup>18</sup>	45	228°	132°	121,5°	148,5° - 16,5°
9 <sup>20</sup>	43	220,5°	139,5°	122°	148° - 8,5°
9 <sup>21</sup>	43	213,5°	146,5°	122°	148° - 1,5°
"	104	208,5°	151,5°	122°	148° + 3,5°
9 <sup>22</sup>	101	208,5°	151,5°	122,5°	147,5° + 4°
"	103	211,5°	148,5°	122,5°	147,5° + 1°
9 <sup>23</sup>	50	219°	141°	122,5°	147,5° - 6,5°
9 <sup>24</sup>	106	222°	138°	123°	147° - 9°
"	41	210°	150°	123°	147° + 3°
9 <sup>28</sup>	40	209°	151°	124°	146° + 5°

Originalprotokoll aus den Arbeiten von Karl von Frisch, in denen von Frisch und seine Mitarbeiter/-innen die Winkel der Ausrichtung bei der Schwänzeltänze im Verhältnis zur Schwerkrafttrichtung vermaßen. Sie gaben Winkelwerte bis auf 0,5 Winkelgrad genau an. Abb. aus [21].

Schwänzeltänze für weiter entfernte Ziele gibt es nicht. Es lassen sich keine klar getrennten Kategorien an Rekrutierungstänzen unterscheiden [12].

Es ist bekannt, dass Rekruten nachweislich allein durch Düfte vom Bienenstock aus zu bestimmten Futterzielen gelockt werden können. Deshalb lehnte eine Gruppe von Wissenschaftlern die Vorstellung ab, dass der Bientanz eine Ortsinformation beinhaltet [13]. Das war ein Standpunkt, der bereits durch die frühen Versuche Karl von Frischs widerlegt wurde. Karl von Frisch und Mitarbeiter konnten in den berühmten Fächer- und Stufenversuchen zeigen, dass die neu angeworbenen Rekruten an Kontrollstationen breit gestreut um das beworbene Ziel auftauchen

**ABB. 4 | AUTOMATISCH AUFGEZEICHNETE TANZRUNDEN**



**Auf Basis optischer Daten automatisch aufgezeichnete Bewegungen des Hinterleibes einer Tänzerin mit mehreren aufeinanderfolgenden Schwänzelphasen und Rückläufen.** ABB. aus [22].

(Abbildung 6 und 7). Dabei erscheinen sie an den aufgefächerten Zielen insgesamt umso häufiger, je kürzer die Entfernung zum von den Tänzerinnen beworbenen Ziel war.

Am Ziel selbst sind die Vorgänge komplex. Eine der seltenen Protokollierungen der Anflüge von Neulingen direkt am Ort, zu dem die Tänzerinnen selbst flogen, zeigte den erheblichen Rekrutierungserfolg zu diesem Ziel (Abbildung 7). Dieser Erfolg wäre erklärbar durch entweder eine hochpräzise „Tanzsprache“ oder durch eine

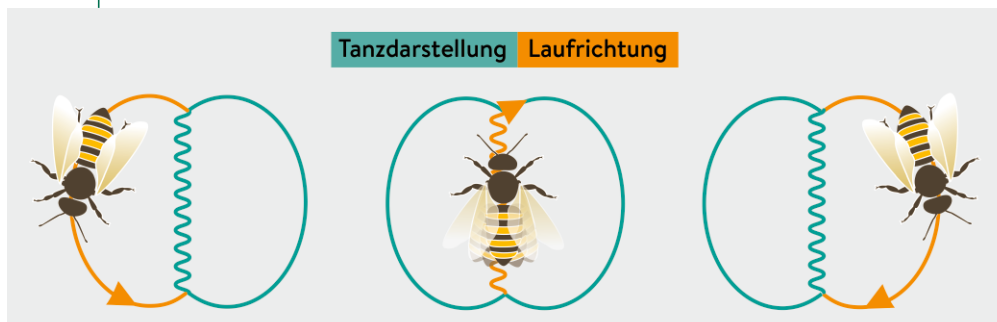
Fortsetzung der Kommunikation im Feld. Karl von Frisch hatte früh erkannt, dass letzteres der Fall ist. Doch ihm fehlte das methodische Rüstzeug, diese hoch komplexe Kommunikation weiter zu erforschen. Bis heute fehlen geeignete Methoden, um das Verhalten von erfahrenen Bienen und Rekruten auf dem Flug zum Ziel und dabei relevante Signale und Reize zu erfassen. Erst beim Ziel kommen die Bienen im wahrsten Sinne ins Blickfeld.

### Methodische Fortschritte entwirren eine hochkomplexe Kommunikation

Seit den 1970er Jahren gelang es mit zwei unterschiedlichen experimentellen Ansätzen, den im Schwänzeltanz enthaltenen Informationswert zu isolieren. Dabei werben die Tänzerinnen für eine vorhandene Futterstelle, die sie auch selbst aufgesucht haben. Doch auf ihrem Flug zum Zielort durchflogen sie einen Tunnel mit einem experimentell-künstlich deutlich erhöhten optischen Fluss und bekommen so eine falsche Information über die Lage der Futterstelle. Den Bienen wird durch einen aufgezwungenen höheren optischen Fluss eine deutlich größere Flugweite vorgespielt, als es der tatsächlichen Strecke zwischen Bienenstock und Futterplatz entspricht. Diese Falschinformation geben sie im Tanz weiter. In diesem Experiment flogen die angeworbenen Bienen auch tatsächlich weiter als zu jenem Futterplatz, zu dem die Tänzerinnen tatsächlich geflogen waren [14].

Auch in einem zweiten diesbezüglichen Experiment wurde die Anwesenheit erfahrener Bienen in der Umgebung eines Zieles ausgeschlossen, damit keine Kommunikation zwischen den erfahrenen Bienen und den von ihnen rekrutierten Nestgenossinnen am Futterplatz zustande kommen kann. Dazu wurden die Nachtänzerinnen, unmittelbar nachdem sie den Tänzen gefolgt waren, am Stockausgang abgefangen. Sie wurden dann mit dünnen Metallantennen versehen, die vom Radar erfasst werden können, und zu einem entfernten Ort transportiert, von dem aus sie starten durften. Diese mit Radartechnik aufgezeichneten Flugspuren waren nicht beliebig ausgerichtet. Jede dieser Bienen flog in denselben Sektor hinein, der eine Öffnungsweite von dreißig bis vierzig Winkelgrad hatte [15]. Diese Öffnungsweite entspricht einem niedrigen Informationsgehalt für die Richtungsangabe von etwa 3 bit. Dieser geringe Informationsgehalt wurde bereits Jahre vor dem Vorliegen von Flugspuraufzeichnungen aus der Ungenauigkeit der Richtungsangaben in den Tanzfiguren im Bienenstock bestimmt [16, 17]. Es konnte damals nicht überprüft werden, ob Rekruten beim Flug vom Bienenstock diese ungenaue Angabe voll ausnutzen und sie in ihren ersten Flügen

**ABB. 5 | STARK IDEALISIERTE DARSTELLUNG DES SCHWÄNZELTANZES**



**Drei Bewegungsphasen im Schwänzeltanz nach einer ersten zeichnerischen Darstellung durch Karl von Frisch: Rücklauf linksherum, Schwänzelphase, Rücklauf rechtsherum. Ein kompletter Tanzzyklus dauert nur wenige Sekunden und spielt sich auf einer Fläche von etwa zwei bis vier Zentimetern Durchmesser ab.** Die Darstellung folgt der ersten und seitdem unzählige Male oft kopierten Originalabbildung eines Schwänzeltanzes aus [23].

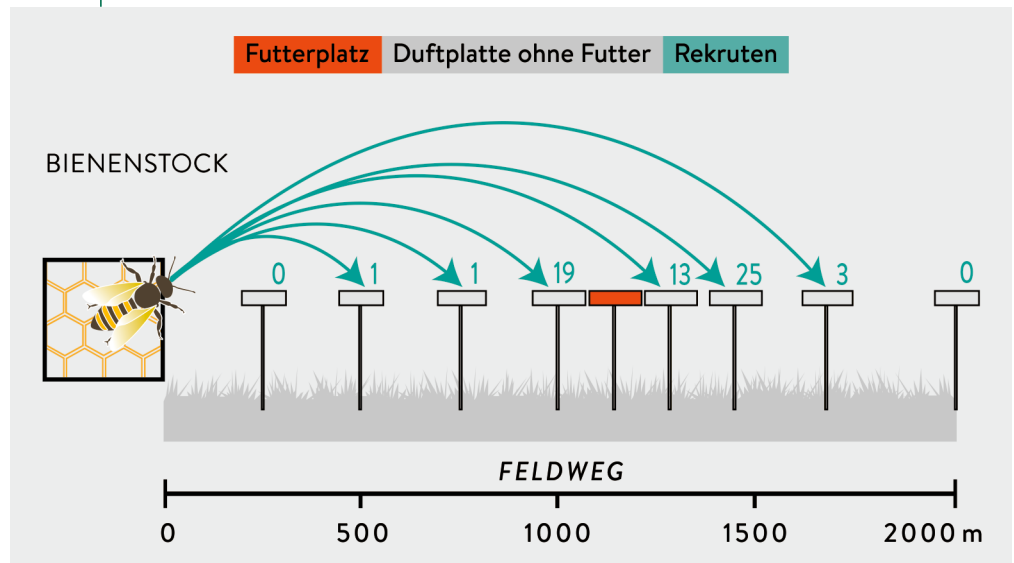
zum Ziel voll umsetzen. Die Aufzeichnungen der Flugspuren von Rekruten zeigen, dass der Informationsgehalt der Tänze und die daraus vorhergesagten Öffnungsweiten der Anfangsrichtung der Ausflüge der angeworbenen Rekruten gut zusammenpassen. Die Resultate aus den beiden geschilderten Versuchsansätzen belegen, dass die Bienen die Angaben aus den Tänzen durchaus nutzen, diese sind aber zu ungenau, um sie auch zum Ziel zu führen.

### Das neue Modell – die Zugvögel machen es vor

Für die offene Frage, wie Neulinge trotz ungenauer Information über die Position eines beworbenen Futterplatzes dieses Ziel finden können, sind zwei Überlegungen hilfreich: Zum einen führt bereits der Kurztext auf den Seiten der Nobelstiftung über die allerersten Beobachtungen von Karl von Frisch auf die richtige Spur: Er konnte zeigen, dass die rekrutierenden Bienen, die im Stock tanzen, anschließend im Feld die Brauseflüge aufführen [7]. Zum anderen ist ein analoges Modell sehr hilfreich, das bereits sehr früh von Ornithologen für die sogenannte Fernorientierung von Zugvögeln aufgestellt worden war: Die Annäherung an ein Ziel erfolgt über mehrere unterschiedliche Schritte [18, 19].

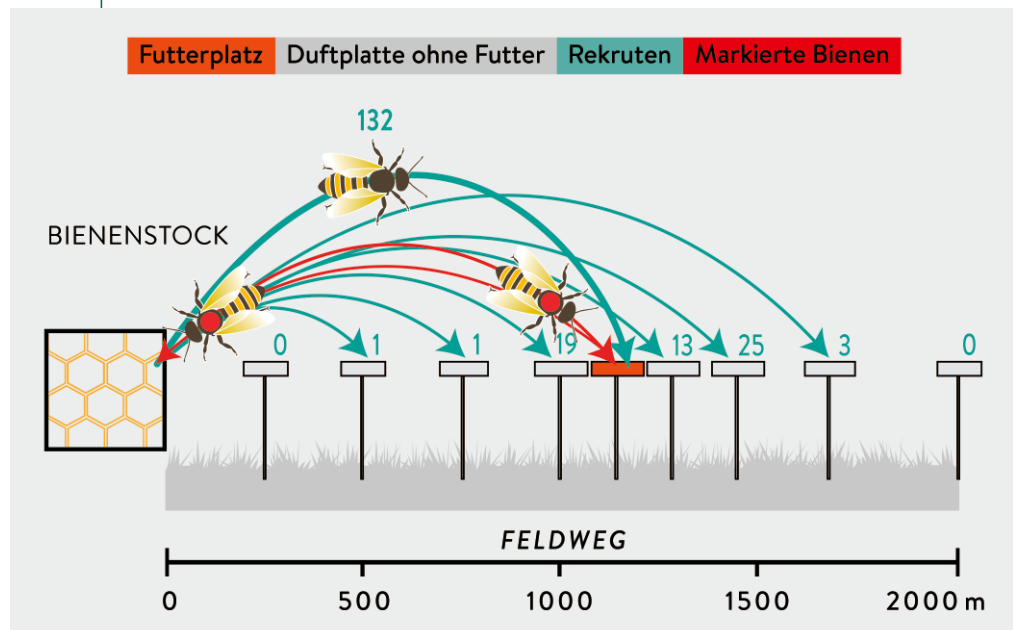
Die Methode, nach der Tiere ein räumliches Ziel erreichen können, das sie beim Aufbruch zu ihrer Reise oder im ersten Streckenabschnitt nicht direkt wahrnehmen, bezeichnet die Verhaltensforschung als Fernorientierung oder Navigation. Das angepeilte Ziel wird beim Start und im ersten Teil der Flugstrecke weder gesehen, noch gerochen oder gehört, es gibt also keine direkte wie immer geartete Verbindung mit dem Ziel. Navigationsleistungen von Tieren wurden schon sehr früh beim Heimfindevermögen von Zugvögeln untersucht – Jahre vor der modernen Erforschung der Kommunikation bei Honigbienen. Dabei wurden maximal drei aufeinanderfolgende Phasen identifiziert, über die ein Vogel zu

ABB. 6 | STUFENVERSUCH IN ORIGINALDARSTELLUNG



Gezeigt ist einer der vielen Stufenversuche, die Karl von Frisch und seine Mitarbeiter/-innen durchgeführt haben. Von einem Beobachtungsstock wurden dreißig Sammelbienen darauf dressiert, an einem Futterplatz (orange markiert) in 1050 Metern Abstand zum Bienenstock zu sammeln. Diese Bienen tanzten im Stock und aktivierten Rekruten. Acht Kontrollstationen wurden in gerader Linie und unterschiedlichen Abständen vom Bienenstock eingerichtet. Gezählt wurden die Rekruten, die sich den Kontrollstationen bis auf zwanzig Zentimeter angenähert hatten (nicht aber die, die den Futterplatz erreichten). Der Versuch ergab, dass an Kontrollstationen in der Nähe des Futterplatzes die meisten Rekruten beobachtet werden konnten (Anzahl und Flugbahn der Rekruten in Petrol). Die Darstellung folgt der Originalabbildung aus [2], S. 90, Abb. 85.

ABB. 7 | STUFENVERSUCH MIT ERGÄNZUNG DER BIENEN AM FUTTERPLATZ

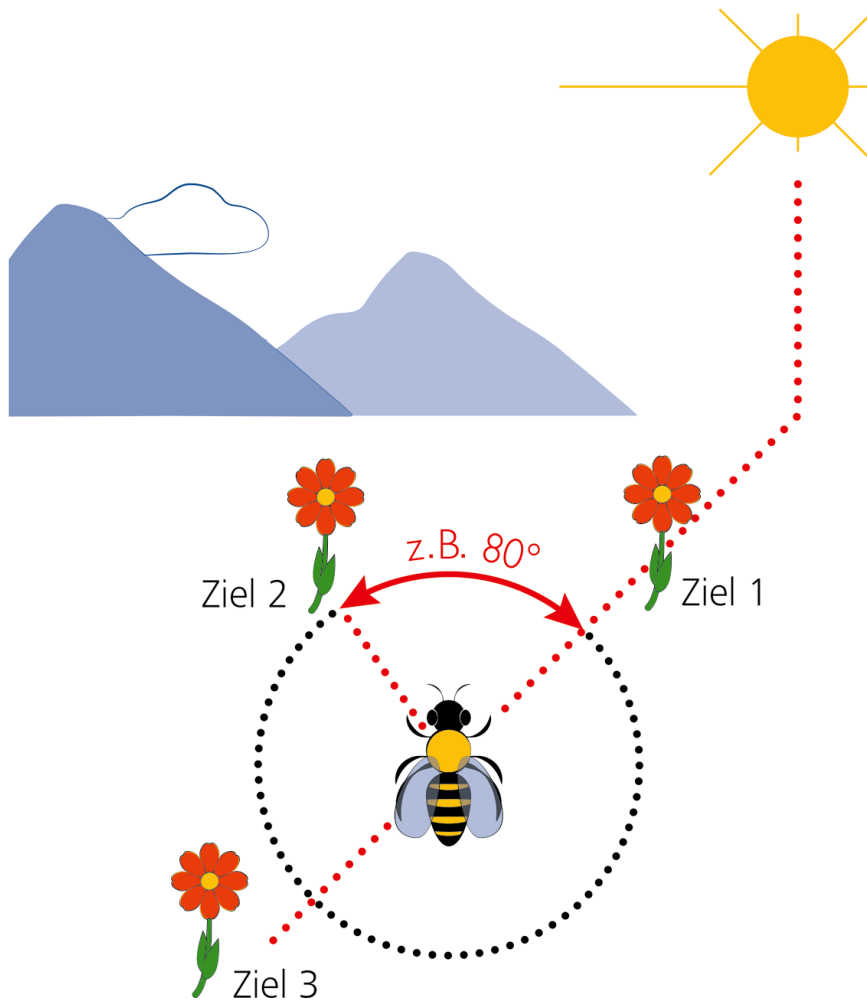


Für einige von Karl von Frischs Stufenversuchen lässt sich aus dem Text, der die Versuche beschreibt [2], entnehmen, wie viele Rekruten direkt an dem Futterplatz (orange markiert) gelandet sind, für den die erfahrenen Bienen tanzten und den sie während der Versuchszeit kontinuierlich anfliegen (rote Flugbahn). In diesem Versuch haben 132 Tiere den von den erfahrenen Bienen beworbenen Futterplatz erreicht (Anzahl und Flugbahn der Rekruten in Petrol). Dagegen erscheint die Zahl der Rekruten, die an die gefächerten Kontrollstationen versprengt wurden, relativ klein (vergleiche Abbildung 6).

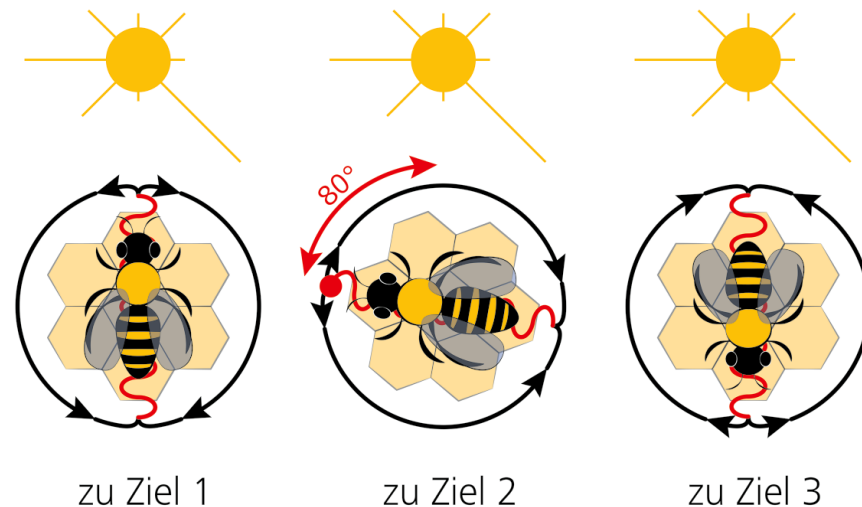
# REKRUTIERUNG BEI HONIGBIENEN



## Das klassische Modell zum Schwänzeltanz



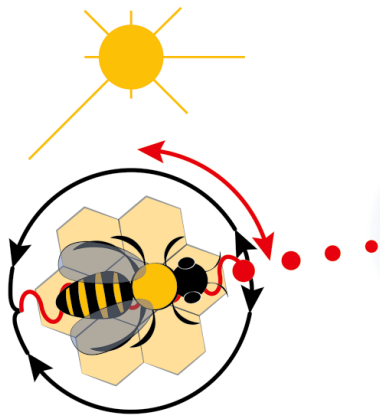
Der Schwänzeltanz gibt die Richtung und Entfernung zu einem Ziel an. Die Tänze zu den Zielen 1 und 3 weisen nach oben bzw. unten. Da sich die Biene im Feld an der Sonne orientiert, verstehen die Tanzfolgerinnen, dass die Futterstelle in einer Linie mit dem Stand der Sonne liegt. Entsprechend finden sie zur Futterstelle 2, indem sie einen um 80 Grad links vom Sonnenstand abweichenden Winkel anfliegen. Die Entfernung zum Ziel lesen sie aus der Länge der Schwänzelsecke.





## Das neue Drei-Phasen-Modell

Die Information aus dem Schwänzeltanz ist ungenau und gibt lediglich ein unscharf abgegrenztes Areal an, in dem sich das Ziel befindet. Fliegen die Bienen zu einem neuen Futterplatz, den eine andere Sammelbiene durch ihren Tanz beworben hat, durchlaufen sie drei Phasen.



**Schicken:** Die Bienen folgen den Hinweisen der Tänzerin und fliegen vom Bienenstock in das im Tanz angezeigte grob umrissene Areal.



**Suchen:** Die Bienen erreichen das Suchareal, dessen Lage, Form und Ausdehnung von äußeren (Wetter) und inneren (Motivation) Faktoren der Rekruten abhängt.

**Locken:** Treffen die Rekruten im Suchareal auf Düfte der Blüten, die sie auf der Tänzerin wahrgenommen hatten, und/oder die Signale der Tänzerinnen, welche die Kommunikation im Feld fortsetzen, werden die Bienen zum Ziel geführt.

Unerfahrene Bienen werden im Tandem von erfahrenen auf der letzten Etappe zum Ziel geleitet.

einem Fernziel gelangen kann. In einer ersten Flugphase wird eine Richtung eingeschlagen, die über eine bestimmte Strecke beibehalten wird; in der zweiten Phase kommt es zu einer Suchorientierung. Und erst in der dritten Phase kommt es zu einer gerichteten (Nah-) Orientierung, in der das Tier durch Signale wie Landmarken das Ziel auch erreicht. Das neue Drei-Phasen-Modell zur Rekrutierung bei Honigbienen umfasst die gleichen drei Phasen:

1. Schicken: Die Bienen folgen den Hinweisen der Tänzerin und fliegen – eine Flugstreckenausrichtung beibehaltend – vom Bienenstock in das im Tanz angezeigte grob umrissene Areal.
2. Suchen: Die Bienen erreichen das Suchareal, dessen Lage, Form und Ausdehnung von äußeren (Wetter) und inneren (Motivation) Faktoren der Rekruten abhängt.
3. Locken: In der Nahorientierungsphase treffen die Rekruten im Suchareal auf Düfte der Blüten und/oder die Signale der Tänzerinnen, welche die Kommunikation im Feld fortsetzen. Dadurch werden die Bienen zum Ziel geführt.

Das klassische Modell zur Rekrutierung bei Honigbienen nimmt an, dass es lediglich der Phase 1 der oben dargestellten Navigationshypothese bedarf, um Neulinge zum beworbenen Ziel zu bringen. Differenziert man den Rekrutierungsvorgang in die drei erwähnten Phasen einer Fernorientierung, kann die inzwischen angehäuften Fülle an Beobachtungsdaten in der Forschung des Bientanzes problemlos interpretiert und eingeordnet werden. Das klassische Modell kann durch die umfangreichen Daten, die bisher in diesem Prozess gesammelt wurden, nur durch Hilfshypothesen gestützt werden, die bis heute unbewiesen sind und unser Konzept der Bienenkommunikation nur verkomplizieren. Das hier vorgestellte angepasste Navigationsmodell für Honigbienen ist differenziert und ermöglicht es – anders als das alte Modell – alle bisher erhobenen Daten in ein einheitliches Konzept einzufügen.

### Schlussbemerkung

Um das klassische seit vielen Jahrzehnten gängige Modell durch ein neues Modell zu ersetzen, ist eine sehr detaillierte in die Tiefe gehende Betrachtung unumgänglich. Der vorliegende Beitrag kann diese notwendige komplette Argumentationskette nicht liefern, aber er soll im Grobschnitt deutlich machen, wie sehr Karl von Frisch mit seiner anfänglichen Einschätzung richtig lag und wie sehr ein entscheidender Teil seiner Einsichten von der späteren Forschung vernachlässigt worden ist. Wie eine Analyse der 100 Jahre Forschung zur Kommunikation der Honigbienen zu dem neuen Modell führt, ist unter Angaben aller relevanter Quellen nachzulesen in [20]. Auch das neue Modell wirft Fragen auf, die im Buch klar benannt werden und nicht zuletzt als eine To-do-Liste für kommende Bienenforscher gedacht sind. Ein Poster (siehe Seite 46/47), das altes und neues Modell gegenüberstellt, eignet sich zusätzlich als schulisches Übungsfeld für wissenschaftliches Argumentieren.

### Zusammenfassung

#### Die „Sprache“ der Bienen

*Das klassische Modell zur „Tanzsprache“ der Honigbienen lautet wie folgt: Honigbienen teilen ihren Stockgenossinnen mit einem Tanz die Lage einer neu entdeckten Futterstelle mit; Rekruten erreichen aufgrund dieser Information das Ziel. Die Bienenforschung der letzten Jahrzehnte ergibt dazu ein deutlich differenzierteres Bild. Der Bientanz allein besitzt keinen hohen Informationsgehalt. Aber er ist im dunklen Bienenstock der unverzichtbare Beginn einer Kommunikationskette zwischen erfahrenen und unerfahrenen Bienen, die im Feld bis zum Erreichen des Zieles dem neuen Drei-Phasen-Modell folgend seine Fortsetzung findet (siehe Poster S. 46/47).*

### Summary

#### The “language” of bees

*The classic model of the “dance language” of honeybees is as follows: Honeybees inform their hive mates about the location of a newly discovered feeding site with a dance. Recruits reach the target based on this information. Bee research over the last decades provides a significantly more differentiated picture. The bee dance alone has no high information content. However, in the dark hive it is the indispensable beginning of a communication-chain between experienced and non-experienced bees, which – according to the new three phase model – continues in the field until the goal is reached (see poster p. 46/47).*

### Schlagworte:

Nobelpreis, Karl von Frisch, Honigbienen, Tanzsprache, neues dreistufiges Modell zur Futterplatzrekrutierung

### Danksagung

Mein Dank für anhaltende Unterstützung meiner Arbeit, auch zum Zustandekommen dieser Publikation, geht an David C. Sandeman. Ebenso danke ich zwei Gutachtern für deren konstruktiven Beiträge zu dieser Publikation.

### Zusatzmaterial

Das Poster haben wir unter [www.biuz.de](http://www.biuz.de) in Druckauflösung zum Download für Sie bereitgestellt: Unter dem entsprechenden Artikel finden Sie es als separates PDF-Dokument.

### Literatur

- [1] T. Seeley (2021). How Karl von Frisch deciphered the waggle dance. *BeeCraft* 10/21, 9–13.
- [2] K. von Frisch (1965). *Tanzsprache und Orientierung der Bienen*. Heidelberg, Springer.
- [3] K. von Frisch, R. Jander (1957). Über den Schwänzeltanz der Bienen. *Z. vergl. Physiol.* 40, 239–263.
- [4] M. J. Couvillon et al. (2012). Intra-dance variation among waggle runs and the design of efficient protocols for honey bee dance decoding. *Biol Open* 15, 467–472.
- [5] H. Esch, J. Burns (1996). Distance estimation by foraging honeybees. *J. exp. Biol.* 199, 155–162.
- [6] J. Tautz et al. (2004). Honeybee odometry: performance in varying natural terrain. *PLOS* 2, 0915–0923.

- [7] K. von Frisch (1923). Über die „Sprache“ der Bienen. Zool Jb. 40, 1–186.
- [8] K. Harano et al. (2013). Honeybee foragers adjust crop contents before leaving the hive. Behav. Ecol. Sociobiol. 67, 1169–1178.
- [9] R. Menzel et al. (2005). Honeybees navigate according to a map-like spatial memory. Proc Natl Acad Sci USA 102, 3040–3045.
- [10] H. J. Cruse, R. Wehner (2011). No Need for a Cognitive Map: Decentralized Memory for Insect Navigation. PLoS. Comp Biol. 7, e1002009.
- [11] A. Cheung et al. (2014). Still no convincing evidence for cognitive map use by honeybees. PNAS USA 111, E4396–E4397.
- [12] K. E. Gardner et al (2008). Do honeybees have two discrete dances to advertise food sources? Animal Behaviour 75, 1291–1300.
- [13] A. Wenner, P. H. Wells (1990). Anatomy of a controversy – the question of a “language” among bees. NY: Columbia Press.
- [14] H. Esch et al. (2001). Honeybee dances communicate distance by optic flow. Nature 411, 581–583.
- [15] J. R. Riley et al. (2005). The flight paths of honeybees recruited by the waggle dance. Nature 435, 205–207.
- [16] J. B. S. Haldane, H. Spurway (1954). A statistical analysis of communication in “Apis mellifera” and a comparison with communication in other animals. Insectes sociaux 1, 247–283.
- [17] R. Schürch, F. L. W. Ratnieks (2015). The spatial information content of the honey bee waggle dance. Front. Ecol. Evol. 18, doi.org/10.3389/fevo.2015.00022.
- [18] W. Wiltschko, R. Wiltschko (2021). Das Navigationssystem der Vögel – Teil 1. Das Karte-Kompass-Prinzip und die Kompassmechanismen. Biologie in unserer Zeit 51 (2), 150–160.
- [19] W. Wiltschko, R. Wiltschko (2021). Das Navigationssystem der Vögel – Teil 2. Mechanismen zur Bestimmung der Richtung zum Ziel. Biologie in unserer Zeit 51 (3), 254–263.
- [20] J. Tautz (2021). Die Sprache der Bienen. Kneesebeck, München.
- [21] U. Kreutzer (2010). Karl von Frisch. Eine Biografie, München.
- [22] S. M. Oh et al. (2008). Learning and inferring motion patterns using parametric segmental switching linear dynamic systems. Int. J. Comput. Vis. 77, 103–124.
- [23] K. von Frisch (1946). Die Tänze der Bienen. Österr. Zool. Z. 1, 1–48.

**Verfasst von:**



Jürgen Tautz ist Professor i. R. am Biozentrum der Julius-Maximilians-Universität Würzburg und Autor u. a. des Bestsellers „Phänomen Honigbiene“, sowie vielfach ausgezeichnet für vorbildliche Vermittlung von Wissen in eine breite Öffentlichkeit.

**Korrespondenz**

Prof. Dr. Jürgen Tautz i. R.  
 Universität Würzburg  
 Email: tautz@biozentrum.uni-wuerzburg.de



Jürgen Tautz  
**DIE SPRACHE DER BIENEN**  
 256 Seiten | € 22,- [D] |  
 978-3-95728-503-4



Ingo Arndt, Jürgen Tautz  
**HONIGBIENEN -  
 GEHEIMNISVOLLE WALDBEWÖHNER**  
 192 Seiten | € 38,- [D] | 978-3-95728-362-7

Sensationelle Bilder und  
 aktuelle wissenschaftliche  
 Erkenntnisse!

Bienenforscher Jürgen Tautz  
 gibt einen spannenden  
 Einblick in die Kommunikation  
 von Bienen und dokumentiert  
 die ursprüngliche Lebensweise  
 der Wald-Honigbiene.

Mit  
 einzigartigen  
 Bildern des  
 preisgekrönten  
 Naturfotografen  
 Ingo Arndt



KNESEBECK

www.knesebeck-verlag.de



Verband | Biologie, Biowissenschaften  
& Biomedizin in Deutschland

**GEMEINSAM  
FÜR DIE**

**BIEWISSENSCHAFTEN**

### **Gute Gründe, dem VBIO beizutreten:**

- Werden Sie Teil des größten Netzwerks von Biowissenschaftlern in Deutschland.
- Unterstützen Sie uns, die Interessen der Biowissenschaften zu vertreten.
- Nutzen Sie Vorteile im Beruf.
- Bleiben Sie auf dem Laufenden – mit dem VBIO-Newsletter und dem Verbandsjournal „Biologie in unserer Zeit“.
- Treten Sie ein für die Zukunft der Biologie.



[www.vbio.de](http://www.vbio.de)

**Jetzt beitreten!**

