

Wenn die Ansicht richtig ist, daß der heutige Zustand des Erdinnern das Ergebnis eines asymptotischen Vorgangs ist, so wird das Ergebnis mit dem von uns geschilderten (stoffliche Kontinuität im Erdinnern) im wesentlichen immer übereinstimmen müssen, mit dem Zusatz, daß in den Einzelheiten betreffend den Tiefgang der einzelnen Differenzierungsvorgänge und die genaue Verteilung der einzelnen Elemente noch Präzisierungen möglich sein werden.

Summary

According to considerations put forwards by W. KUHN and A. RITTMANN some years ago, it follows that the chemical composition of the interior of the earth must be rather homogeneous; the well-known discontinuity which occurs at 2900 km with respect to the propagation of longitudinal and transverse waves should not be due to a discontinuity of the material composition (not to an iron core). It is due to a continuous decrease of the viscosity and thereby of the relaxation time; transverse waves of a period of e.g. 30 seconds will no more be propagated in a material whose relaxation time for tangential stress is below 30 seconds, while the longitudinal waves will suffer a decrease of the velocity at the same time.

A criticism put forward by A. EUCKEN consists in the argument that a material in which the time of relaxation for tangential stress becomes equal to the period of the vibration will exhibit a considerable absorption coefficient for longitudinal waves too. It is now shown that the distance on which the period of vibration and the relaxation time are approximately equal is small compared with the wave length of the seismic waves in question, from which it follows that the resulting absorption of the longitudinal waves too will only be small.

A further consideration shows that a mixture of 99 atomic % hydrogen and 1 atomic % of iron is most probably supercritical at a temperature of 5000° abs.

A survey of the solubilities in question shows further that the hydrogen present in a mixture of 90 % hydrogen and 10 % iron should on the strength of the absorption coefficient be completely absorbed by the iron at 5000° abs. and at a total pressure of $2 \cdot 10^6$ atmospheres.

The main argument why the assumption of an iron core inside the earth must be dismissed remains the fact that the present state must be the result of an asymptotic process which at least in its final phase has occurred under conditions similar to the present conditions of temperature, pressure and viscosity; these latter conditions are far from permitting the process of sedimentation etc. which would be required.

Die «Sprache» der Bienen und ihre Nutzenanwendung in der Landwirtschaft¹

Von KARL V. FRISCH, Graz

Man kann sich durch ein einfaches Experiment davon überzeugen, daß die Bewohner eines Bienenstockes imstande sind, einander Nachrichten zu geben. Ein Honigschälchen, in der Nähe des Stockes aufgestellt, bleibt oft stunden- und tagelang unbeachtet. Wird es aber von einer Biene entdeckt, so stellen sich nach kurzer Zeit auch andere ein, in steigender Zahl, und bald in Massen. Sie kommen aus demselben Heimatstock wie die Entdeckerin. Haben wir mehrere Schälchen rings um den Stock in dessen Nähe aufgestellt, und wurde eines von ihnen gefunden, so kommen Neulinge etwa gleichzeitig und in gleicher Zahl an sämtliche Schälchen. Die verständigten Bienen fliegen also nicht der Entdeckerin nach, sondern sie suchen selbständig nach allen Richtungen.

Was hier vorgeht, bleibt in einem gewöhnlichen Bienenkasten den Blicken entzogen. In einem Beobachtungsstock aber, dessen Waben nebeneinander angeordnet und durch Glasfenster in ihrer ganzen Ausdehnung überschaubar sind, sieht man folgendes: Die heimkehrende Sammlerin läuft in einen bestimmten Wabenbezirk und gibt zunächst etwas von dem eingetragenen Honig an die nächstsitzenden Bienen ab.

Dann beginnt sie einen *Rundtanz*. Sie läuft in engen Kreisen abwechselnd rechts herum und links herum, wobei sie einen Schwanz anderer Bienen hinter sich herzieht, die ihr nachtrippeln und alle Wendungen mitmachen. Nach neuerlicher Futterabgabe wiederholt sich dasselbe Spiel an anderen Wabenstellen oft noch mehrere Male. Der Rundtanz bedeutet, daß in der Nähe des Stockes etwas zu holen ist. Bienen aus der Gefolgschaft der Tänzerin sind es, die hernach ausfliegen und nach allen Seiten suchen. Haben sie das Futter gefunden, so tanzen auch sie, und es steigert sich der Alarm im Bienenvolk.

Die naturgegebenen Trinkbecher der Bienen sind nicht Glasschälchen, sondern Blumen. Wir verändern das Experiment, indem wir in der Nähe des Stockes einige *Phlox*blüten anbringen und mit Zuckerwasser betropfen. Gezeichnete Bienen sammeln das Zuckerwasser auf diesen Blüten und tanzen an Stock. Am Futterplatz anfliegende Neulinge werden abgefangen, damit sie den Versuch nicht stören. An einem andern Ort der Umgebung stellen wir eine Schale mit *Phlox* und eine mit *Zyklamen* auf, ohne sie mit Zuckerwasser zu betropfen. Bald stellen sich auch hier alarmierte Neulinge ein und befliegen den *Phlox* in steigender Zahl. Sie setzen sich auf die Blüten und unter-

¹ Vortrag an der 126. Jahresversammlung der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft in Zürich am 8. September 1946.

suchen sie mit Ausdauer, obwohl ihnen der tief geborgene Nektar dieser Schmetterlingsblumen gar nicht zugänglich ist. Die Zykamen werden nicht beachtet. Füttern wir aber nun die gezeichnete Bienenschar statt auf Phlox auf *Zyklamen*blüten, so wendet sich das Interesse der später ausschwärmenden Neulinge vom Phlox ab und den Zykamen zu. Sie wissen, wonach sie suchen sollen!

Ich habe dieses Experiment mit vielerlei Blumenarten wiederholt und es ist immer gelungen, wenn an den Blüten ein Duft erkennbar war. Nur mit völlig duftlosen Blüten (Heidelbeere, wilder Wein, windblütige Gräser u. a.) geht es nicht. Demnach liegt das Verständigungsmittel offenbar im Duft der besuchten Blüten. Wenn dieser dem Körper der heimkehrenden Sammlerin noch erkennbar anhaftet, so wird auch klar, warum die Stockgenossen, die der Tänzerin nachtrippeln, deren Leib so eifrig mit ihren Riechwerkzeugen, den Fühlern, betasten. Sie merken sich den Duft, suchen draußen nach ihm und gelangen so an dieselbe Blütensorte, an der die Sammlerin gewesen war. Dieser Zusammenhang wird überzeugend deutlich, wenn man die Blumen wegläßt und ätherische Öle oder künstliche Riechstoffe anwendet. Wir füttern gezeichnete Bienen aus einem Glasschälchen auf einer Unterlage, die nach Pfefferminz duftet. Nach dem Einsetzen der Tänze befliegen die ausschwärmenden Neulinge alle Gegenstände, wie immer sie aussehen, wenn wir ihnen durch eine Spur von Pfefferminzöl dessen Geruch verliehen haben.

Es ist erstaunlich, daß diese Duftsprache der Bienen auch bei sehr schwachem Blütenduft nicht versagt. Der Versuch ist z. B. mit Schwalbenwurz (z. B. *Gentiana asclepiadea* L.), mit Hahnenfuß (*Ranunculus acer* L.) oder Feuerbohnen (*Phaseolus multiflorus* Lmk. var. *coccineus* L.) gelungen, durchwegs Blumen mit so unauffälligem Duft, daß man sie gewöhnlich für geruchlos hält. Die Erklärung liegt zum Teil darin, daß Duftstoffe am Körper der Bienen länger haften als an anderen Gegenständen, wie Glas, Porzellan, verschiedenen Metallen, Watte, Papier, oder auch am Chitin anderer Insekten¹.

Es kommt aber noch etwas Weiteres hinzu: Der im Blütengrunde abgesonderte Nektar ist mit dem spezifischen Blütenduft geschwängert. Daher trägt die Sammlerin in ihrer Honigblase mit dem Nektar eine Duftprobe nach Hause, die sie beim Verfüttern des Tropfens den umgebenden Bienen zur Kenntnis bringt. Daß dies richtig ist, ergibt sich aus folgendem Versuch: Wir betropfen Phloxblüten mit Zuckerwasser, bis sich dieses nach 1–2 Stunden mit dem Phloxduft beladen hat. Dann lassen wir einige Bienen das phloxduftende Zuckerwasser aus einem engen Spalt saugen, so daß ihr Körper dem Duft *nicht* ausgesetzt ist (Fig. 1). Sie tanzen daheim und verfüttern das duftende Zuk-

kerwasser. Die ausschwärmenden Neulinge suchen nach diesem Duft. Sie tun es mit gleicher, einwandfreier Deutlichkeit wie in einem Gegenversuch, bei

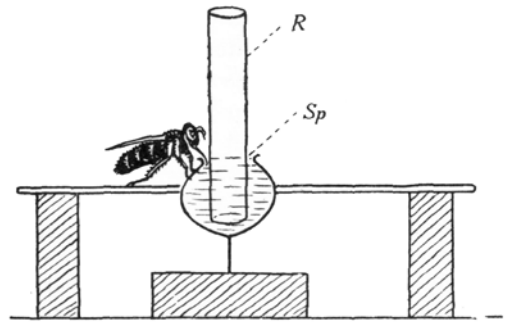


Fig. 1. Bienen saugen nach Phlox duftendes Zuckerwasser aus dem schmalen Spalt *Sp* zwischen dem Rande der Glaskugel und dem eingesetzten Glasrohr *R*. Der Körper der Bienen ist dem Duft *nicht* ausgesetzt. Das duftende Zuckerwasser wird mit einer Pipette durch die obere Öffnung des Glasrohrs nachgefüllt.

dem die sammelnden Bienen auf Blüten sitzen und aus dem engen Spalt *duftloses* Zuckerwasser aufsaugen (Fig. 2). Der äußerlich am Körper haftende und der innerlich in der Honigblase eingetragene Duft sind *beide* wirksam. Ich habe Bienen auf *Zyklamen*blüten sitzen lassen und ihnen gleichzeitig aus dem engen Spalt *phloxduftendes* Zuckerwasser geboten, also den äußerlich mit dem innerlich eingetragenen Duft gleichsam in Konkurrenz gesetzt. Am Beobachtungsplatz erhielt die Phloxschale doppelt so viele Anflüge als die

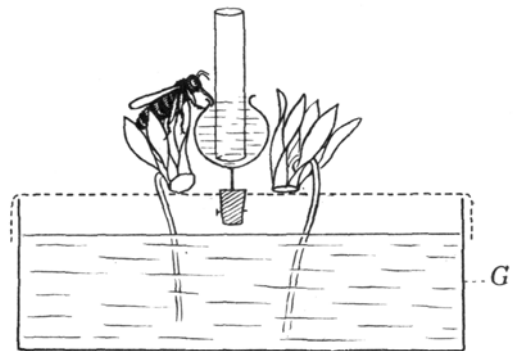


Fig. 2. Bienen saugen *duftloses* Zuckerwasser aus dem Spalt. Ihr Körper ist dem Duft von *Zyklamen*blüten ausgesetzt. *G* Glasschale mit Wasser, zum Einstecken der Blüten mit einem Gitter bedeckt.

*Zyklamen*schale. Im Gegenversuch saßen die Bienen auf Phloxblüten und tranken *zyklamenduftendes* Zuckerwasser; nun wurde die *Zyklamen*schale von Neulingen etwa zweimal so stark angefliegen als die danebenstehende Schale mit Phloxblüten. Demnach hat der von der Lösung absorbierte, im Magen eingetragene Blütenduft die größere Bedeutung. Er gewinnt den Wettbewerb entscheidend, wenn sich die Futterquelle in weiter Entfernung vom Bienenstock befindet. Ich habe den eben beschriebenen Versuch bei einem Abstand von 600 m zwischen Futterplatz und Bienenstock wiederholt. Bei weiter Flugstrecke

¹ Noch unveröffentlichte Untersuchungen von Fr. STEINHOFF.

wird der Körper stark gelüftet und der äußerlich anhaftende Duft verliert an Intensität. Nun richteten sich die ausschwärmenden Neulinge *ausschließlich* nach dem im Magen eingetragenen Blütenduft. Wir erkennen daraus die große biologische Bedeutung des vom Nektar absorbierten Blumenduftes, der von den Bienen in ihrer Honigblase wie in einem wohlverkorkten Fläschchen heimgetragen wird und dann im Stock zur Geltung kommt.

Der Alarm durch die tanzenden Bienen, in Verbindung mit dem Duftsignal, vermittelt den Stockgenossen in einfachster Weise die Kenntnis des Zieles, nach dem sie suchen sollen. Die Nachricht ist eindeutig, weil jede Pflanzenart ihren spezifischen Blütenduft besitzt und weil das Geruchsorgan der Bienen diese vielen Düfte auch zu unterscheiden vermag. Ich stellte einst einen Beobachtungsstock an der systematischen Abteilung des Münchner botanischen Gartens auf. Inmitten dieser Abteilung befand sich eine kleine Anpflanzung einer Immortellenart, die unter normalen Umständen nicht von Honigbienen befliegen wird (*Helichrysum lanatum*). Als ich gezeichnete Bienen an anderer Stelle auf einigen abgepflückten Immortellenblüten fütterte, kamen nach kurzer Zeit alarmierte Neulinge in ansehnlicher Zahl an jenes winzige Beet. Sie hatten das Ziel unter 700 anderen Pflanzenarten, die damals gleichzeitig auf dem engen Raum des Systemgartens in Blüte standen, richtig herausgefunden.

Die Tänze der Bienen erhalten ihren vollen biologischen Sinn erst durch den Umstand, daß sie *nur durch gute, ergiebige Futterquellen* ausgelöst werden. Bei einer Tracht, die ein großes Aufgebot nicht lohnt, wird nicht getanzt. Ein Schälchen mit Zuckerwasser gibt Anlaß zu immer wiederholten Tänzen, solange es gefüllt gehalten wird, stundenlang, vom Morgen bis zum Abend. Bietet man dieselbe Nahrung spärlich in zuckerwasserdurchfeuchtetem Fließpapier, so wird zwar weitergesammelt, aber nicht getanzt. Derselbe Gegensatz ist an natürlichen Blüten zu beobachten, wenn sie einmal reichlich, das andere Mal spärlich Nektar enthalten. Sind also bei einer neu erblühten Pflanzenart durch die Tänze der ersten Sammlerinnen so viele Bienen mobilisiert worden, daß sie den Honigsegen bewältigen und der Nektar in den Blüten spärlich wird, so unterbleiben die Tänze und es unterbleibt hiermit auch ein weiteres Anwachsen der Sammlerschar. Neben der *Menge* des Futters ist seine *Süßigkeit* von ausschlaggebender Bedeutung. Je süßer der gebotene Zuckersaft, desto lebhafter und anhaltender wird getanzt. Bei abnehmender Süßigkeit werden die Tänze matt und unterbleiben schließlich ganz, auch wenn die Sammeltätigkeit noch fortgesetzt wird. Das bedeutet, daß die Blüten mit dem meisten und süßesten Nektar die stärksten Tänze auslösen, daher am besten befliegen und am sichersten befruchtet werden – gewiß für die Blüten ein mächtiger Faktor zur

Steigerung der wunderbaren Fähigkeit, in ihren Kellen hochkonzentrierten Zuckersaft zur Abscheidung zu bringen.

Wenn die Blumendüfte, wie prägnante Ausdrücke einer Wortsprache, zur Verständigung über das Ziel der Sammelflüge dienen, so gesellt sich dazu als weiteres «Wort» der Bienensprache noch ein körpereigener Lockduft, der mit Nachdruck die Stockgenossen dahin ruft, wo ihre Kameraden bereits erfolgreich tätig sind. Die Honigbiene besitzt am Hinterleib ein *Duftorgan*, wie solche von weiblichen Insekten vielfach benützt werden, um die Männchen anzulocken. Bei der Bienenarbeiterin hat es soziale Bedeutung gewonnen. Beim «Sterzeln» vor dem Flugloch zeigen sie den noch uner-



Fig. 3. Biene am Futterschälchen. Der Pfeil weist auf die ausgestülpte Duftfalte hin.

fahrenen Kameraden als lebende Duftmarken den Weg zum Eingang des Stockes, und beim Anflug an eine Trachtquelle locken sie die in der Nähe herumsuchenden Neulinge durch das Ausstülpen der Duftdrüse an den richtigen Ort (Fig. 3). Man kann bei Bienen, die an einem Glasschälchen Zuckerwasser sammeln, das Duftorgan dadurch ausschalten, daß man die Hinterleibsringe, zwischen denen das Organ bei seiner Betätigung hervortritt, mit Schellack aneinanderklebt. Der Zustrom an Neulingen wird dadurch etwa auf den zehnten Teil vermindert. So mächtig ist die lockende Kraft dieser winzigen Drüse. Es erscheint durchaus logisch, daß die Biene nur dann von ihr Gebrauch macht, wenn sie auf der Wabe getanzt hat. Wenn bei schlechter Tracht die Tänze unterlassen werden, dann unterbleibt auch das Ausstülpen der Duftdrüse beim neuerlichen Anfliegen des Weideplatzes; dann sind ja auch keine neu angeworbenen Helferinnen unterwegs, für die der Wink von Nutzen wäre.

Bei meinen alten Versuchen über die Sprache der Bienen bot ich das Futter stets in unmittelbarer Nähe des Beobachtungsstockes, um die Vorgänge auf den Waben und den Futterplatz gleichzeitig im Auge behalten zu können. Daß sich die ausschwärmenden Neulinge in der Nähe des Stockes rasch und in großer Zahl, an entfernteren Plätzen später und viel spärlicher einstellten, erschien nicht auffällig. Vor zwei Jahren legte ich zum erstenmal einen Futterplatz einige hundert Meter vom Bienenstock entfernt an und er-

lebte die große Überraschung, daß nun die Neulinge in dieser Entfernung sehr bald und zahlreich, in der Nähe des Stockes aber viel spärlicher suchten. Es schien so, als könnten die Tänzerinnen auch sagen, wie weit man fliegen muß, um die Futterstelle zu finden. Ich richtete es nun so ein, daß Bienen eines Beobachtungsstockes in dessen Nähe, an einem 12 m

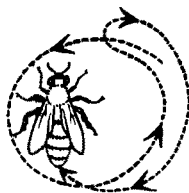


Fig. 4. Laufkurve der Biene beim *Rundtanz*.

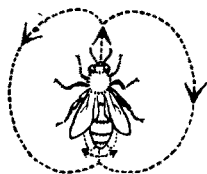


Fig. 5. Laufkurve der Biene beim *Schwänzeltanz*.

entfernten Futterschälchen, andere Bienen aus demselben Volk an einem fernen Schälchen in etwa 300 m Abstand sammelten. Die einen waren durch einen blauen, die anderen durch einen roten Tupfen auf dem Hinterleib auffallend gekennzeichnet. Als ich nach diesen Vorbereitungen an beiden Plätzen gleichzeitig Futter bot und den Beobachtungsstock öffnete, traute ich kaum meinen Augen. Alle Nahsampler machten *Rundtänze* (Fig. 4), alle Fernsampler führten *Schwänzeltänze* (Fig. 5) auf. Beim Schwänzeltanz läuft die Biene einen Halbkreis, dann geradlinig zum Ausgangspunkt zurück, einen Halbkreis nach der anderen Seite, wieder geradlinig zurück, usw. Beim Geradelauf erfolgt jedesmal ein Schwänzeln mit dem Hinterleib. Der Schwänzeltanz erregt genau so wie der Rundtanz das lebhafteste Interesse der umgebenden Bienen. Ich verlegte den nahen Futterplatz stufenweise in größere Entfernung. Bei einem Abstände von 50–100 m gingen die Rundtänze in Schwänzeltänze über. Ich brachte gleichzeitig das Futterschälchen der Fernsampler stufenweise immer näher an den Heimatstock. Zwischen 100 und 50 m wurden die Schwänzeltänze durch Rundtänze abgelöst. In vielen weiteren Versuchsreihen hat sich seither dieses Verhalten ausnahmslos bestätigt. Rundtanz und Schwänzeltanz sind zwei verschiedene Ausdrücke der Bienen-sprache, die auf nahe gelegene und ferne Futterquellen hinweisen und, wie sich zeigen läßt, von den Stockgenossen in diesem Sinne verstanden werden¹.

¹ Ich habe früher den Schwänzeltanz als den Tanz der *Pollensammler* aufgefaßt. Der Irrtum war dadurch entstanden, daß ich Zuckerwasser und Nektar stets in der Nähe des Stockes geboten hatte, während ich die leicht kenntlichen Pollensammler bei ihrer

Die Bienen geben einander genaue Kunde von der Art der entdeckten Blütensorte, sie berichten über die Üppigkeit der Tracht, sie rufen beim Anflug an die Futterquelle die anderen, noch Unerfahrenen, zu sich heran. Sollte sich wirklich eine so differenzierte Sprache auf die Mitteilung «näher» oder «weiter als 100 m vom Stock» beschränken, wo sich doch die Sammel-flüge eines Volkes bis zu Entfernungen von 2–3 km ausdehnen? Diese Überlegung gab Anlaß zu vergleichenden Beobachtungen über den Schwänzeltanz bei stufenweiser Verlagerung des Futterplatzes bis an die Grenzen des Flugbereiches. Es zeigte sich, daß mit zunehmender Entfernung der Rhythmus des Tanzes in gesetzmäßiger Weise geändert wird. Bei einem Abstand der Futterquelle von 100 m vollzieht sich der Tanz in hastigen Wendungen; die kurzen, rasch hingeworfenen Schwänzellaufe wiederholen sich etwa zehnmal in einer Viertelminute. Je größer die Entfernung des Weideplatzes ist, desto geringer wird die Zahl der Wendungen beim Schwänzeltanz, um bei einem Abstand von 3 km auf fast nur zwei in einer Viertelminute abzusinken (Fig. 6). Die tanzenden Bienen drehen sich langsamer, während gleichzeitig der geradlinige Schwänzellauf verlängert wird und an Nachdrücklichkeit gewinnt. So kann man mit der Uhr in der Hand auf etwa 100 m genau die Entfernung angeben, in der die Tänzerin gesammelt hat.

Die ausfliegenden Neulinge haben aber nicht nur eine gewisse Kenntnis von der *Entfernung* der aufzusuchenden Trachtquelle, sondern auch von der *Richtung*, in der sie gelegen ist. Ein Beispiel mag dies anschaulich

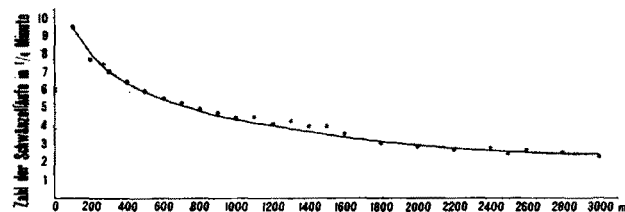


Fig. 6. Der Rhythmus des Schwänzeltanzes als Indikator für die Entfernung des Futterplatzes. Auf der Abszisse ist die Entfernung des Futterplatzes vom Bienenstock, auf der Ordinate die Zahl der Wendungen beim Tanz (Zahl der Schwänzellaufe) pro $\frac{1}{4}$ Minute aufgetragen. (Mittelwerte aus den bisher vorliegenden Beobachtungen.)

machen. Bei *B* (Fig. 7) befand sich ein Bienenstock. Bei *F*, 300 m in nördlicher Richtung entfernt, wurden 9 gezeichnete Bienen dieses Stockes auf einer Unterlage, die nach Thymianöl duftete, 1 Stunde lang mit Zuckerwasser gefüttert. Alle Neulinge, die sich zugesellten, wurden abgefangen. An verschiedenen Plätzen der Umgebung in gleicher wie auch in entgegengesetzter Richtung lagen kleine Kartonplatten im Grase, ohne Futter, aber mit Thymianduft. Bei jeder saß ein Beobachter und zählte die anschwärmenden,

natürlichen Sammeltätigkeit an weiter abgelegenen Trachtquellen zu beobachten pflegte. Auch Pollensammler machen Rundtänze, wenn ihr Weideplatz näher als 50 bis 100 m, und Schwänzeltänze nur dann, wenn er weiter als 50 bis 100 m vom Stock abliegt.

von den Tänzerinnen hinausgeschickten Bienen. An den entfernten Plätzen, die angenähert in der Richtung der Futterstelle lagen, kamen während jener Stunde je über hundert, während eine gleichartige Duftplatte in unmittelbarer Nähe des Stockes wie auch solche,

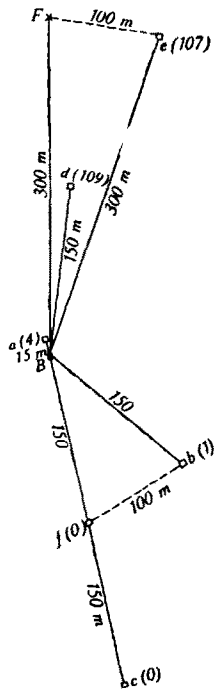


Fig. 7. Versuch über die Richtungsweisung. B Bienenstock, F Futterplatz in 300 m Abstand vom Bienenstock; die Unterlage des Futter-schälchens war mit Thymianöl versehen. a-f Duftplatten mit Thymianöl, ohne Futter, in verschiedener Entfernung und Richtung; in Klammer beigefügt: die Zahl der angeflogenen Bienen.

die in großer Entfernung, aber entgegengesetzter Richtung aufgelegt waren, nur vereinzelte oder überhaupt keine Besuche erhielten. Als der Futterplatz in einem anderen Versuch im Süden lag, wandte sich der Strom der Neulinge den südlichen Duftplatten zu und die nördlichen blieben unbeachtet.

Bei aufmerksamer Betrachtung der Schwänzeltänze im Beobachtungsstock lüftete sich der Schleier, der fürs erste über diesen Tatbestand gebreitet war. Bienen, die von verschiedenen Seiten mit Bürde beladen heimkehren, laufen beim Schwänzeltanz die geradlinige Strecke, in welcher das Schwänzeln erfolgt, in verschiedener Richtung. Bei allen Tänzerinnen von derselben Sammelstelle ist der Schwänzellauf gleichgerichtet. Er ändert aber seine Richtung mit der fortschreitenden Tagesstunde. Er ändert die Richtung um denselben Winkel, den die Sonne inzwischen durch-messen hat, aber mit entgegengesetzter Drehung. Hieraus war klar, daß die Tänzerinnen bei ihrer Richtungs-weisung irgendwie auf den Sonnenstand Bezug nehmen. Ich suchte nun dem Sinn ihrer Tanzweise auf die Spur zu kommen. Auch einfache Dinge können, so-lange man sie nicht weiß, dem Verständnis Schwierig-keiten machen. Diese werden geringer, wenn man

möglichst übersichtliche Verhältnisse schafft. Ich legte darum in aneinander schließenden Versuchs-reihen den Futterplatz genau südlich, dann östlich, nördlich und westlich vom Stock an und beobachtete die Tänze zu verschiedenen Tagesstunden unter ge-nauer Beachtung des Sonnenstandes. Dabei offenbarte sich rasch eine sehr eigenartige Seite im Lexikon der Bienensprache: Befindet sich zur Zeit der Beobachtung der Futterplatz, vom Stock aus gesehen, in derselben Richtung wie die Sonne, so legen die Tänzerinnen auf der Wabe die geradlinige Tanzstrecke, den Schwänzellauf, genau nach oben (Fig. 8 a). Liegt der Futterplatz links vom Sonnenstande, so richten sie auch den Schwänzellauf nach links, und zwar um jenen Winkel, um den sich die Stockgenossen nach links von der Sonne halten müssen, um an den Weideplatz zu kom-men (Fig. 8 b). Liegt der Futterplatz rechts vom Sonnenstande, so wird um den entsprechenden Winkel-betrag nach rechts von der Richtung nach oben ge-tanzt (Fig. 8 c). Und liegt der Futterplatz genau ent-gegengesetzt zum Sonnenstande, so geht der Schwänzellauf auf der Wabe senkrecht nach unten (Fig. 8 d). Diese Richtungsweisung nach dem Sonnenstande ver-sagt auch bei bedecktem Himmel nicht. Sie versagt auch dann nicht, wenn man ein Bienenvolk bei be-decktem Himmel in eine ihm unbekannte Gegend ver-setzt und den Versuch durchführt, bevor ein Sonnen-strahl durch eine Lücke der Wolkendecke hervor-brechen konnte. Daraus geht zwingend hervor, daß die Bienen den jeweiligen Sonnenstand auch zu erkennen

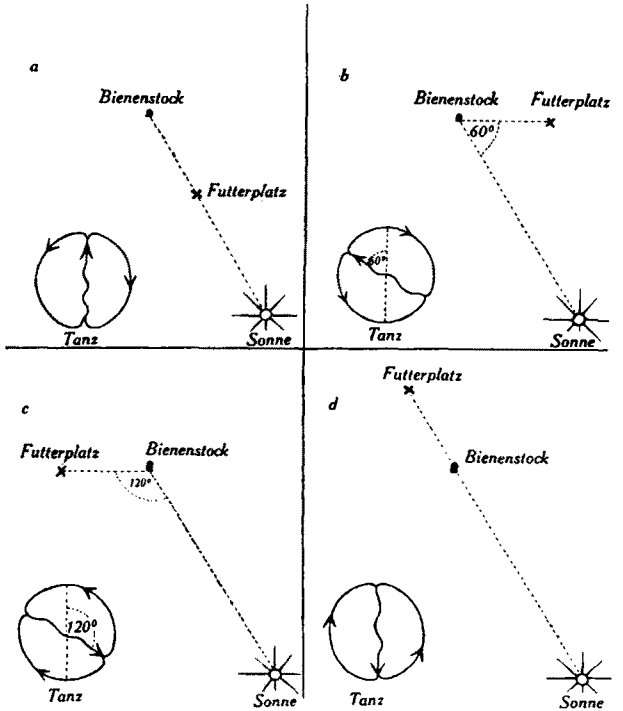


Fig. 8. Vier Beispiele für die Richtungsweisung. Die Sonne steht südöstlich vom Stock. Die Skizze links unten in jeder Abbildung zeigt schematisch, wie bei der angegebenen Lage des Futterplatzes der Schwänzeltanz verläuft.

vermögen, wenn er unseren Blicken durch Wolken verhüllt ist. Vielleicht liegt dieses Rätsels Lösung in einem feinen Empfindungsvermögen für die Richtung der Wärmestrahlen, die ja durch eine Wolke hindurchgehen, ohne nach allen Seiten zerstreut zu werden. Gewißheit darüber können erst künftige Versuche bringen.

Was ich von der Entfernungs- und Richtungsweisung gesagt habe, mag Ihnen phantastisch scheinen. Ich hätte es nicht vorgetragen, wenn ich mir nicht bewußt wäre, vor meinem Bienenstock jeden Zweifler von der Wahrheit der Sache überzeugen zu können.

Vielleicht denken Sie, daß die Bienen meines Beobachtungsvolkes sozusagen schon gelehrte Bienen sind, die sich nicht normal verhalten. Ich habe mich an herausgehobenen Waben eines gewöhnlichen *Zander*-kastens überzeugt, daß seine Bewohner ebenso tanzen und ebenso die Richtung weisen. Mit einer solchen emporgehobenen Wabe in der Hand war ich versucht, dieselbe *horizontal* zu legen. Was würden dann die Tänzerinnen machen!? Es geschah etwas völlig Unerwartetes. Die Richtungsweisung nach dem Sonnenstande, auf der senkrecht hängenden Wabe die allein mögliche Art, wird auf horizontal liegender Tanzfläche abgelöst von einer unmittelbaren Angabe der Richtung zur Futterstelle: Die geradlinige Laufstrecke des Schwänzeltanzes weist direkt nach der Himmelsrichtung, in der sich der Futterplatz befindet. Bei Drehung der herausgehobenen Wabe in der horizontalen Ebene läßt sich die Tänzerin den Tanzboden unter den Füßen wegdrehen und hält die Richtung ein, wie eine Kompaßnadel. Ich habe den ganzen Beobachtungsstock horizontal gelegt und stundenlang den Tänzerinnen zugeschaut. Sie ändern nun die Tanzrichtung nicht mehr mit dem wandernden Tagesgestirn, sondern halten bei ihrem Schwänzellauf von früh bis abends die Himmelsrichtung ein, in der ihr Weideplatz zu finden ist. Man muß sich gegenwärtig halten, daß ein Tanz auf horizontalem Boden keine unbiologische Zumutung bedeutet. Bei vorlagernden Völkern kann man Tänze heimkehrender Sammlerinnen nicht selten auf der horizontalen Anflugfläche vor dem Flugloch sehen, und auch im Stock selbst, bei Waben, die nach unten nicht ganz ausgebaut sind, habe ich solche auf der inneren, horizontalen Fläche des Wabenrahmens mehrfach beobachtet.

Da wir nun wissen, wie sich die Bienen über Entfernung und Richtung einer gegebenen Örtlichkeit verständigen, wird auch eine jedem Imker geläufige Tatsache begreiflich, die bisher in ein undurchdringliches Dunkel gehüllt schien: daß die Kundschafter eines Bienenschwarms, die *Spurbienen*, die eine geeignete Wohnung aufgespürt haben, die Schwarmtraube veranlassen, sich aufzumachen und geraden Weges ihrer künftigen Behausung zuzufiegen, auch wenn diese in kilometerweiter Entfernung liegt. Man hat auf der

Oberfläche einer Schwarmtraube tanzende Bienen beobachtet. Ich glaube, daß solche Tänze nicht nur eine Aufforderung zum Aufbruch bedeuten, sondern daß sie ebenso, wie die Tänze der heimkehrenden Sammlerinnen, klare Angaben über die Entfernung und Richtung des Ziels zum Inhalt haben.

Lange, bevor mir die zuletzt geschilderten Feinheiten der «Sprache» der Bienen bekannt waren, habe ich vorgeschlagen, ihr Nachrichtenwesen auszunützen und sie durch künstlich ausgelöste Tänze mit entsprechender Duftparole rasch und in großer Zahl an bestimmte Blüten hinzulenken, wo solches dem Praktiker erwünscht ist. Ursprünglich zur Steigerung der Honigernten beim Wanderbetrieb gedacht, ist dieser Vorschlag dann zuerst zur Verbesserung der Bestäubung und zur Steigerung der Samenernten bei *Rotklee* von russischen Bienenforschern nach 1930 für die Praxis ausgearbeitet und bald mit Nutzen in ihre Landwirtschaft eingeführt worden. Ich selbst habe mich in den letzten Jahren mit Unterstützung der deutschen Imkerschaft und einer großen Zahl von Mitarbeitern dieser praktischen Auswertung zugewandt. Ohne hier auf technische Einzelheiten einzugehen, in denen wir, wie ich glaube, die russischen Versuche erfolgreich weiterentwickelt haben, möchte ich über Ziel und Weg der neuen Methode und über die erreichten Ergebnisse nur das Folgende sagen:

Rotkleeblüten setzen keine Samen an, wenn sie nicht von Insekten besucht und befruchtet werden. Langrüsselige Hummeln, die natürlichen Bestäuber dieser Blüten, sind zu spärlich, um an ausgedehnten Kulturen die Befruchtungsarbeit zu bewältigen. Bienen pflegen andere Blumen zu bevorzugen, weil ihrem kürzeren Rüssel der Nektar in den tiefen Kronröhren des Rotklee nur teilweise zugänglich ist. Die Samenerträge sind daher vielfach sehr unbefriedigend, die Beschaffung des nötigen Saatgutes für diese wichtige Futterpflanze ist in Frage gestellt.

Man kann einen ausreichenden Beflug der Blüten durch Bienen bewirken, wenn man etwa vier Völker je Hektar in der Nähe der Felder zur Aufstellung bringt und sie durch täglich wiederholte Fütterung mit kleinen Mengen Zuckerwasser unter Beigabe von Rotkleeblüten auf den Klee hinlenkt. Die gefütterten Bienen tanzen im Stock, sie duften nach Rotklee und machen dadurch bei ihren Kameraden Propaganda für den Besuch der Rotkleeblüten. Feldversuche großen Maßstabes sollten zeigen, wieweit sich auf diese Weise der Beflug und der Samenertrag steigern läßt. Es wurden für jeden Versuch zwei Felder gewählt, die in ihrer Größe und Lage, in Bodenbeschaffenheit, Düngung und Saatgut einander nach Möglichkeit entsprachen. An jedem wurde die gleiche Zahl von Bienenvölkern aufgestellt. Der Abstand beider Felder war so groß gewählt, daß jede Bienengruppe nur *ihr* Rot-

kleefeld beflog und das andere ihrem Flugbereich entzogen war. Am *Versuchsfeld* wurde die Duftlenkung durchgeführt. Am *Kontrollfeld* erhielten die Bienen zu den gleichen Zeiten genau gleiche Mengen Zuckerlösung, aber ohne Beigabe von Rotkleeblüten. Aus dem Vergleich beider Felder war somit die Wirkung der *Duftlenkung* erkennbar.

In 12 solchen Feldversuchen wurde das duftbelenkte Rotkleeefeld ohne Ausnahme deutlich stärker beflogen, im Durchschnitt drei- bis viermal so stark als das Kontrollfeld. Der Samenertrag lag in neun zahlenmäßig kontrollierten Versuchen auf den belenkten Feldern im Durchschnitt um rund 40% höher als auf den zugehörigen Kontrollfeldern¹.

Dem Anwendungsbereich der Duftlenkung auf dem Gebiete der Landwirtschaft sind aber die Grenzen weiter gesteckt. Auch der Besuch von Blüten, die von den Bienen schon ohne künstlichen Anreiz gern beflogen werden, kann durch das Duftlenkungsverfahren einen gewaltigen zusätzlichen Antrieb erhalten. Die Sammlerinnen beginnen ihre Arbeit früher am Tage, sie setzen sie länger fort, sind eifriger am Werke und fliegen auch bei verhältnismäßig ungünstiger Witterung. In sechs Versuchen an *Raps* wurden die belenkten Felder stets stärker beflogen als die Kontrollfelder. Der Samenertrag war in vier verwertbaren Versuchen um 12–33% erhöht. In drei Versuchen am nahe verwandten *Rübsen*, der stärker als Raps auf Fremdbestäubung angewiesen ist, wurde auf den belenkten Feldern eine Steigerung des Samenertrags um 27%, 44% und 51% erzielt. Auch bei *Buchweizen* scheint ein Erfolg in Aussicht zu stehen, doch bleiben hier, wie bei anderen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen, erst weitere Versuche abzuwarten.

Wenn wir die Bienen auf Rotklee lenken und sie hierdurch von anderen, lohnenderen Trachtquellen abziehen, so kann es dem *Imker* zum Nachteil gereichen. Im Durchschnitt war allerdings bei unseren Versuchen der Verlust durch den gesteigerten Sammeleifer ausgeglichen, so daß der Bienenwirt nicht zu Schaden kam. Bei guten Trachtpflanzen kann eine sachgemäß durchgeführte Duftlenkung für den Imker von großem Vorteil sein. Im Vergleich mit einer entsprechenden Zahl duftlos gefütterter Kontrollvölker lieferten 71 auf *Schwedenklee* oder *Weißklee* gelenkte Völker durchschnittlich einen Mehrertrag von rund 25–50%, 77 auf *Raps* und *Rübsen* gelenkte Völker durchschnittlich Mehrerträge von rund 20–40%, 39 auf *Heidekraut* gelenkte Völker solche von 13–34%, 9 auf *Kohldisteln* gelenkte Völker Mehrerträge von 35–95% usw. Bei

richtiger Anwendung wird sich das Verfahren für den Imker um so mehr lohnen, als ja der aufgewandte Zucker nicht verlorengelht, sondern der Entwicklung und dem Ertrag der Völker zugute kommt, also in die Tasche des Imkers zurückkehrt.

Das neue Verfahren in die Praxis einzuführen wäre eine dankenswerte Aufgabe für die bienenkundlichen Versuchsanstalten. Dann werden, wie es schon so oft geschah, die Früchte einer theoretischen Arbeit der Praxis zugute kommen. Sosehr ich dies hoffe und erwarte, so gestatten Sie mir doch das Geständnis: die reinste Freude bleibt die der Erkenntnis, frei vom irdischen Hauch einer nutzbringenden Auswertung.

Summary

If honey-bees find a feeding place, after return they report the discovery by dancing. The species of flowers from which they are coming is indicated by means of the flower-scent adhering to their bodies, and also by the scent of nectar brought into the hive within the honey-stomach. By a long flight the scent adhering to the outer surface is diminished. But the scent within the honey-stomach is still the same. Therefore the scent of nectar (that is the specific flower-scent absorbed by nectar) is especially important if the feeding place is far away from the hive.

Bees dance only in case there is plenty of food. Then the informed bees fly out and look for the flowers having the scent indicated by the dancing bees. In this way the number of visiting bees increases, and the nectar becomes scarce. Then honey collecting is still continued, but there is no more dancing in the bee-hive and the number of bees does not increase, so that there always is the correct relation between the amount of nectar and the number of collecting bees.

If the feeding place is at a distance of some hundred meters, there are many bees seeking for food at that distance but only a few seeking near the hive. By using an observation-hive the matter could be cleared up. Bees collecting at a feeding place nearer than 50 to 100 m make round-dances (Fig. 4, p. 400). Bees coming from a feeding place more distant make tail-wagging dances (Fig. 5, p. 400). The tail-wagging dance not only indicates that the food has been found at a distance of more than 50–100 m, but it also gives a very exact knowledge of the distance by the number of turnings (Fig. 6, p. 400). Moreover the way to the feeding place is indicated by the direction of the straight run. Running upwards means that the feeding place is situated in the same direction as the sun. Running downwards means that the opposite direction has to be taken for finding the feeding place. Running to the left in a certain angle to the direction upwards indicates that in the same angle left of the sun the food can be found (Fig. 8, p. 401).

Our knowledge about the "language" of bees can be used for leading bees to certain flowers for which it is desirable to be more visited. In this way the pollination and therefore the crop of red clover and other plants has been improved (on average about 40%) and the honey-production has been increased.

Literatur

- ANDRIJUK, Deutscher Imkerführer 12, 11 (1939); 14, 125 (1940).
K. von FRISCH, Über den Geruchssinn der Bienen und seine blütenbiologische Bedeutung, Zoolog. Jahrb. (Abt. Physiol.) 37, 1–238 (1919), als Buch: G. Fischer, Jena 1919; Über die «Sprache»

¹ Bei einem Zuckerverbrauch von 3,5 kg pro Volk für eine fünf-wöchige Lenkung erfordert 1 Hektar Feldfläche 14 kg Zucker, oder, bei einem Preis von 1,10 Fr., einen Kostenaufwand von 15,40 Fr. Bei einem Durchschnittsertrag von 100 kg pro Hektar würde ein Mehrertrag von 40 kg (bei einem Preis von 6,60 Fr. für 1 kg Rotkleeamen) einen Mehrertrag von rund 250 Fr. pro Hektar bedeuten.

che» der Bienen, Zoolog. Jb. (Abt. Physiol.) 40, 1-186 (1923), als Buch: G. Fischer, Jena 1923; Ein Vorschlag für den Wanderimker, in: Bienenzucht und Bienenforschung in Bayern, Festschr. Münchn. Bezirks-Bienenzuchtver. z. 50. Gründungsjahr, S. 77-79, Neumünster 1927; Über den Geschmacksinn der Biene, Z. vergl. Physiol. 21, 1-156 (1934); Die Tänze der Bienen, Österr. Zoolog. Z. 1, 1; Duftgelenkte Bienen im Dienste der Landwirtschaft und Imkerei, im Druck, Springer-Verlag, Wien.

GUBIN, Pschelovodstvo 6 (1936); 5, (1938); 7 (1938); 6 (1939) (russisch).

CHR. HENKEL, Unterscheiden die Bienen Tänze? Diss., Bonn 1938.

KAPUSTIN, Pschelovodstvo 3/9, 37, 38 (1938) (russisch).

KOMAROW, Pschelovodstvo 5 (1939) (russisch).

PAPARIA, Kolgosuje Buhilnizstvo 4, 16 (1940) (ukrainisch).

SOROKIN, Pschelovodstvo 8/9, 38 (1938) (russisch).

TITOW und KOWALJEW, Pschelovodstvo 6, 15 (1939) (russisch).

P. N. WEPRIKOW, Die Bestäubung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, Selchosgis-Verlag Moskau 1936, ins Deutsche übertragen durch die Fachgruppe Imker, Berlin.

Communications provisoires - Vorläufige Mitteilungen Comunicazioni preliminari - Preliminary reports

Les auteurs sont seuls responsables des opinions exprimées dans ces communications. - Für die vorläufigen Mitteilungen ist ausschließlich der Autor verantwortlich. - Per le comunicazioni preliminari è responsabile solo l'autore. - The Editors do not hold themselves responsible for the opinions expressed by their correspondents.

Latin squares of the sixth order

The properties of a square array of n letters, each repeated n times, and such that each letter occurs once in each row and once in each column of the n^2 cells, were first discussed by EULER¹ (1782); since then the enumeration and the investigation of other properties of these *Latin Squares* have interested many mathematicians. Some aspects of the problem assumed practical importance about twenty years ago, when Latin square arrangements began to be used extensively in the design of agricultural and other scientific experiments.

One problem to which EULER gave particular attention was that of finding a Græco-Latin square, or as he termed it *un quarré magique complet*, namely two superposed squares, one in Roman and one in Greek letters, with the additional restriction that each of the n^2 pairs of one Roman and one Greek letter should occur once and once only. On evidence that was scarcely adequate, he concluded that for 6×6 squares no such arrangement existed; his conclusion was finally confirmed by FISHER and YATES² (1934) after a systematic enumeration of Latin squares of this order.

A Græco-Latin square of order n may be looked upon as a (1^n) partition of an $n \times n$ Latin square, since it entails the subdivision of the n^2 cells into n sets such that each contains one cell from each row, one from each column, and one of each letter; to each of these sets of n cells, usually termed *directrices* and possessing the property of being orthogonal with rows, columns, and Roman letters, a different Greek letter is then assigned. Certain agricultural problems recently caused the writer to investigate the existence of less complete partitions of a 6×6 Latin square, and in particular of (3^2) and (2^3) partitions, these requiring the subdivision of the 36 cells into either two sets of eighteen or three sets of twelve such that each set contains three or two from each row, column, and letter. He demonstrated the existence of (2^3) partitions for every 6×6 square and of (3^2) partitions for most squares (FINNEY³, 1945).

¹ L. EULER, "Recherches sur une nouvelle espèce de quarrés magiques", Verhandeligen uitgegeven door het Zeeuwsch Genootschap der Wetenschappen te Vlissingen 9, 85-239 (1782).

² R. A. FISHER and F. YATES, "The 6×6 Latin squares", Proc. Cambridge Philos. Soc. 30, 492-507 (1934).

³ D. J. FINNEY, "Some orthogonal properties of the 4×4 and 6×6 Latin squares", Ann. Eugenics 12, 213-219 (1945).

This study suggested the further problem of discovering other orthogonal partitions of the 6×6 squares and of enumerating them. FISHER and YATES have classified the squares into twelve adjugate sets, such that any orthogonal property of the kind under discussion is common to all squares of the same set; consequently only a detailed examination of one square from each set was necessary. The procedure followed was essentially the same as that used by EULER in his search for Græco-Latin squares, namely the exhaustive ascertainment of directrices followed by the listing of sets of directrices having no cells in common. EULER found one square to have a set of four directrices giving a $(1^4, 2)$ partition, and from this can be formed, by combination of parts, every other type of partition except the (1^6) ; the existence of $(1^4, 2)$ partitions has been demonstrated for four of the twelve adjugate sets.

As an illustration of the results obtained, the properties of one square will be discussed in some detail. The square chosen is:

A	B	C	D	E	F
B	A	F	E	D	C
C	D	A	B	F	E
D	F	E	A	C	B
E	C	B	F	A	D
F	E	D	C	B	A

which is a representative of an adjugate set (FISHER and YATES' XV, XVI) having a remarkably high degree of symmetry in its orthogonal partitions. There are 24 directrices, and each cell of the square lies on four of these; for example, the first cell of the first row has passing through it the directrices AFBCDE, AEFBCD, ADEFBC, ACDEFB, the six letters being taken from the six rows of the square in the order specified. Sets of four directrices leading to $(1^4, 2)$ partitions can be chosen in thirty different ways, and these use every directrix five times. A typical one of these partitions, the nearest approach possible to a 6×6 Græco-Latin square, is:

A α	B β	C γ	D δ	E ϵ	F ζ
B ϵ	A ϵ	F α	E γ	D β	C δ
C β	D γ	A δ	B α	F ϵ	E ζ
D ϵ	F δ	E β	A ϵ	C α	B γ
E δ	C ϵ	B ϵ	F β	A γ	D α
F γ	E α	D ϵ	C ϵ	B δ	A β