

mystischen Dunkel der vatikanischen Grotten gegenwärtig zu sehen. An die Erwähnung des Eusebius selbst, der von den „Petri Paulique nomine insignita monumenta“ spricht (den durch die Namen Petrus und Paulus ausgezeichneten Denkmälern), „quae in urbis Romae coemeteriis etiamnum visuntur“ (die noch heute in den Friedhöfen der Stadt Rom zu sehen sind), schließt sich die affektvolle Frage des Kirchenlehrers Hieronymus an den Presbyter Vigilantius an: „Male fecit ergo Romanus episcopus, qui super mortuorum hominum Petri et Pauli, secundum nos ossa veneranda, secundum te vilem pulvisculum, offert Domino sacrificia et tumulos eorum Christi arbitratum altaria?“ (Hat also der Römische Bischof Unrecht getan, wenn er über den Leichen von Petrus und Paulus — nach uns ehrwürdigen Gebeinen, nach dir einem elenden Häuflein Staub — dem Herrn Opfer darbringt und ihre Gräber als Christi Altäre betrachtet?) Ihr werdet sehen, wie diese und andere Zeugnisse neues Licht und neue Kraft aus den Funden und den bisher gewonnenen Ergebnissen schöpfen. Alle diese Elemente fügen sich zu harmonischer Einheit zusammen mit der Sprache der wiedergefundenen Denkmäler, in denen „saxa loquuntur — die Steine selbst ihre Stimme erheben.““ (Acta Apost. Sedis 1942, 163—164).

Die Sprache der Bienen

Forschungsbericht (II) von ADOLF HAAS S. J.

Wir haben in einem früheren Heft dieser Zeitschrift (März 1949) über die wunderbare und zugleich rätselhafte „Sprache der Bienen“ berichtet. Nun hat der geniale Erforscher der Bienensprache, Prof. Karl v. Frisch der wissenschaftlichen Welt weitere überraschende Ergebnisse vorgelegt¹, die wir dem interessierten Leser nicht vorenthalten möchten.

Wir wissen, daß eine in den heimatlichen Stock heimgekehrte Sammlerin ihren Stockgenossen durch den sogenannten Schwänzeltanz mit aller nur wünschenswerten Genauigkeit sowohl Entfernung wie Richtung der Nektarquelle angibt. Nun ergab sich aus vielen Experimenten während dreier Jahre, daß der Tanzrhythmus auch von der Windrichtung beeinflusst wird. Prof. v. Frisch hat drei Versuchsgruppen aufgestellt: 1. Versuche bei Windstille; 2. Versuche bei Gegenwind; 3. Versuche bei Mitwind (die Windrichtung wird dabei in Bezug auf die vom Heimatstock zur Nektarquelle fliegenden Sammlerinnen verstanden). Die Mittelwerte aus all diesen Beobachtungen haben ergeben, daß bei Mitwind der Tanzrhythmus schneller ist als bei Gegenwind, während bei Windstille etwa mittleres Tanztempo eingehalten wird. Langsameres Tanztempo bedeutet aber in der Bienensprache größere Entfernung zum Futterplatz. Der Gegenwind

¹ „Gelöste und ungelöste Rätsel der Bienensprache“, Die Naturwissenschaften, Heft 1 u. 2 (1948).

wirkt also beim Hinflug zur Nektarquelle wie eine Vergrößerung der Entfernung. Wir bewundern auch hier wieder, wie biologisch sinnvoll dieses Zeichen der Bienensprache ist, denn es gibt mit der Entfernung zugleich den zum Erreichen des Zieles nötigen Zeit- und Kraftaufwand an, der ja bei Gegenwind viel größer ist als bei Windstille oder Mitwind.

Besonders eindrucksvoll gestaltete sich die Lösung folgender Aufgabe, die der Experimentator seinen rätselhaften Nektarsammlerinnen stellte. Die Frage war: Wie wird Richtungs- und Entfernungsweisung im sog. Umwegversuch angegeben, d. h. wenn die Sammlerinnen, um zur Nektarquelle zu kommen, einen größeren Umweg machen müssen, z. B. um eine Bergnase herum. Die besondere Schwierigkeit der gestellten Aufgabe lag darin, daß die im Umweg-Experiment befindliche Biene ihr Ziel (Futterplatz) nicht mehr geradlinig erreichen kann; sie muß vielmehr in dem Augenblick, da sie um die spitze Kante der Bergnase herumfliegt und sich an der anderen Seite der Bergnase entlang bewegt, ihre Flugrichtung ändern. Dabei taucht natürlich sofort die Frage auf: Kann die heimgekehrte Sammlerin in ihrem Tanz die beiden verschiedenen Flugrichtungen angeben, die sie tatsächlich zum Ziel geflogen ist? Prof. v. Frisch brachte nun einen Bienenstock auf die eine Seite einer steilen Bergnase und errichtete an der vordersten Kante derselben (55 m vom Stock entfernt) einen Futterplatz. Der Futterplatz war in geradlinigem Flug vom Stock aus zu erreichen. Die Bienen hatten sich bald auf die neue Futterquelle eingeflogen und gaben sehr genaue Richtungsweisung. Nun wurde aber der Futterplatz um die Bergnase herum auf die andere Seite verlegt, so daß die Bienen an der Spitze der Bergnase ihre Flugrichtung ändern mußten, wenn sie den Futterplatz auf der anderen Bergflanke erreichen wollten. Der Flug um die Bergnase herum hatte also zwei Schenkel (1. Schenkel: Stock → Bergnasenspitze; 2. Schenkel: Bergnasenspitze → Futterplatz). Welche Richtung gibt nun die Sammlerin ihren Stockgenossen beim Tanze an? Es schien einleuchtend zu sein, daß die gerade Tanzstrecke des Schwänzeltanzes nur eine Richtung anzeigen konnte. Aber die Richtungsweisung sowohl nach dem einen wie nach dem anderen Flugschenkel allein mußte die alamierten Neulinge in ganz falsche Richtung führen. Es wurde von den Bienen auch tatsächlich keiner der Flugschenkel zur Richtungsweisung benützt, sondern sie setzten den Experimentator wieder einmal in Erstaunen durch ein neues wunderbares „Wort“ ihrer Bienensprache. Sie gaben nicht die Richtungsweisung nach dem zweiseitenigen Umweg, den sie tatsächlich fliegen mußten, sondern einfach nach der Luftlinie Stock → Futterplatz, einen Weg also, den sie nie geflogen waren. Der Versuch mit diesem erstaunlichen Resultat wurde zur Kontrolle an anderer Stelle wiederholt. Die Bienen hatten auf ihrem Weg zum Futterplatz einen weiten Bogen um einen Wald herum zu machen. Auch an diesem Experiment bestätigte sich, daß die Bienen tatsächlich den Umweg um den Wald flogen (der Flugweg war also wieder zwei-

schenkelig), aber die Richtung zum Futterplatz mit der Luftlinie angaben, die sie nie geflogen waren.

Um zu prüfen, ob beim Umwegversuch nicht nur die Richtungsweisung, sondern auch die Entfernungsangabe sich nach der Luftlinie (Stock → Futterplatz) richtet, wurde von Prof. v. Frisch ein Bienenvolk auf den Schafberg gebracht. Dort sollten die Bienen eine hohe Felskante umfliegen, um zum Futterplatz auf der anderen Bergflanke zu kommen. Die Bienen hatten aber entgegen allen Schätzungen des Experimentators bald heraus, daß der Umweg um die Felskante größer war, als der Weg direkt über den Grat. So durchkreuzten sie die Erwartungen des Beobachters und flogen nicht den gewünschten längeren Umweg um die Felskante, sondern den direkten Weg der Luftlinie über den Grat hinweg, d. h. sie hielten direkte Richtung zum Futterplatz. Der Umweg nach oben, den die Bienen beim Flug über den Grat einhalten mußten, genügte aber, um die Frage der Entfernungsangabe beim Umwegversuch zu lösen. Es ergab sich, daß bei der Entfernungsangabe der tatsächlich zurückgelegte Umweg angegeben wird, die Richtungsweisung aber nach der Luftlinie erfolgt. Damit hat die Natur die Frage des Naturforschers auf eine unerwartet wunderbare Weise gelöst, und wir wissen bei Vergegenwärtigung all dieser Tatsachen nicht, was wir mehr bewundern sollen, die tiefe biologische Weisheit des Bienenvolkes oder die geniale Experimentierkunst des Naturforschers.

In unserem ersten Bericht über die v. Frischschen Forschungen über die Sprache der Bienen wurden kurz die Orientierungstänze auf horizontaler Unterlage erwähnt. Das vertikale Orientierungssystem mit Angabe des Winkels zum Sonnenstand in Bezug auf die Schwerkraft (siehe Abb. 2 im ersten Bericht) wird bei horizontaler Wabenfläche so geändert, daß der geradlinige Schwänzellauf des Tanzes unmittelbar die Richtung zum Futterplatz zeigt. Die Bezugnahme auf die Schwerkraft fällt also bei horizontalem Tanzboden weg. Wir machen nun einen einfachen Versuch, um zu erkennen, wie eindeutig und sicher diese direkte Richtungsweisung funktioniert. Ähnlich wie den Boden eines Karussells drehen wir langsam die horizontal liegende Bienenwabe, auf der sich gerade eine heimgekehrte Sammlerin in vollem Orientierungstanz befindet. Zu unserer nicht geringen Verwunderung sehen wir, wie die Tänzerin sich mit der drehenden Wabe mitdreht und so immer die gleiche Richtung anzeigt. Immer wieder spielt sie sich wie eine feine Kompaßnadel auf die alte Richtung ein und führt so unbestechlich genau ihre Stockgenossen zur verlockenden Nektarquelle.

So überraschend es auch klingen mag, daß die Bienen für einen horizontalen Tanzboden ein ganz neues Orientierungssystem bereit haben, so dürfen wir doch nicht vergessen, daß Tänze auf horizontaler Unterlage im gewöhnlichen Bienenleben öfter vorkommen. Prof. v. Frisch weist darauf hin, daß man an warmen und ertragreichen Tagen nicht selten die

heimgekehrten Sammlerinnen schon auf dem horizontalen Anflugbrettchen vor dem Flugloch tanzen sieht. So nehmen die flugeifrigen Neulinge schon außerhalb des Stockes vor dem Flugloch die verheißungsvolle Botschaft von den schwerbeladenen Heimkehrerinnen entgegen.

Um die rätselhafte Benachrichtigung im Bienenvolk irgendwie zu erklären, hat man daran gedacht, den Bienen einen freilich ebenso rätselvollen magnetischen Sinn zuzuschreiben, der ihnen auch im Innern des Stockes die Orientierung über die Himmelsrichtungen ermöglicht. Die Frage konnte natürlich nur durch das Experiment entschieden werden. Man hat zu diesem Zwecke aus den verschiedensten Richtungen starke Magneten an die Tänzerin herangeführt. Aber es war keine Spur von Ablenkung und Störung der Tanzrichtung zu merken. In dieser Richtung kann also des Rätsels Lösung nicht gesucht werden.

Eine andere Möglichkeit der Erklärung war darin zu sehen, daß die Tänzerinnen ein besonderes Sinnesorgan für langwellige Strahlen hätten; denn sie erkannten ja den Sonnenstand auch im Schatten des Daches, das den Beobachtungsstand bedeckte. Die langwelligen Strahlen konnten aber das Dach des Beobachtungsstandes leicht durchdringen. Wiederum wurden Versuche angestellt, um diese Möglichkeit zu überprüfen. Es wurden verschiedene Abschirmungen angebracht und es zeigte sich wider alles Erwarten, daß die Tänze sogar schon durch die einfache Abschirmung des einfallenden Lichtes mit einem Blatt Papier gestört werden können. Damit war die Theorie von der Wahrnehmung einer durchdringenden Strahlung ebenfalls erledigt. Mit diesen Versuchen tauchte aber eine weitere Frage auf, die tief in die Zusammenhänge des ganzen Problems hineinführte. Prof. v. Frisch hatte bisher immer angenommen, daß auch im vollkommen geschlossenen, finsternen Bienenstock bei horizontaler Lage der Wabe eine zutreffende Richtungsweisung erfolgte. Wie konnte man aber diese Annahme überprüfen, da man doch in einem vollkommen finsternen Stock die Tänze nicht kontrollieren kann?

Um der Lösung der letztgenannten Frage zu Leibe zu rücken, wurde aus Dämmplatten um den Bienenstock herum ein kleines Häuschen gebaut, in das der Beobachter gerade noch hineinpaßte. Außerdem ging man von der Tatsache aus, daß das Bienenauge rotes Licht nicht wahrnehmen kann. So konnte man also beim Lichte einer roten Dunkelkammerlampe die gewünschten Beobachtungen leicht machen. Das Ergebnis war wider alle Erwartungen. Die heimgekehrten Sammlerinnen führten zwar mit der gewohnten Intensität ihre Tänze aus — aber alle Tänze waren völlig desorientiert. „Manchmal trippelten die Tänzerinnen auch, wie unschlüssig, im Kreise und schwänzelten im Rundlauf oder gar nicht. Dies gilt aber nur für die Tänze auf horizontaler Wabenfläche. Stellt man den Stock, der horizontalen Lage entsprechend, vertikal, so weisen die Bienen auch im geschlossenen Dämmplattenzelt zutreffend durch ihre nach der

Schwerkraft orientierten Tänze die Richtung zum Futterplatz mit Bezug auf den Sonnenstand“ (a. a. O. Seite 39).

Waren die Tänze im obigen Fall desorientiert, so mußten auch die alarmierten Stockgenossen erwartungsgemäß desorientierte Sammelflüge ausführen. Durch eine besondere Versuchsanordnung konnte nun tatsächlich bestätigt werden, daß bei horizontaler Wabe und geschlossenem Stock die alarmierten Neulinge vollkommen ungerichtet umherschwärzten. Aus diesem ungerichteten Suchflug wird aber sofort ein zielstrebigere, gerichteter Sammelflug, sobald man Licht auf die horizontal liegende Wabe fallen läßt oder wenn man bei geschlossenem Stock die horizontale Wabe in die gewohnte vertikale Lage zurückbewegt. Prof. v. Frisch sieht in diesem Versuch bestätigt, „daß auch die horizontalen Tänze alarmieren, und daß die Richtungsweisung auch in dieser Art verstanden und befolgt wird; er bestätigt ferner, daß bei Lichtabschluß die Richtungsweisung auf der vertikalen Wabenfläche funktioniert, auf der horizontalen aber versagt“ (a. a. O. S. 40).

Alle bisher besprochenen Versuche weisen darauf hin, daß das Licht der ausschlaggebende Faktor ist, mit dessen Hilfe die tanzenden Sammlerinnen auf dem horizontalen Tanzboden der Wabe die Richtung zum Futterplatz angeben. Das brachte den Forscher auf den Gedanken, im Dunkelzelt einmal das Sonnenlicht durch eine künstliche Lichtquelle zu ersetzen. Es wurde also das Beobachtungzelt vollkommen geschlossen. Alle Tänze waren daraufhin desorientiert. Nun ließ der Versuchsleiter das Licht einer Taschenlampe aus der Richtung des damaligen Sonnenstandes auf seine vollkommen ungerichtet tanzenden Bienen leuchten. Sogleich ordneten sich die Tänze und gaben zutreffende Richtungsweisung. Kam das Taschenlampenlicht aus einer anderen Richtung, so richteten sich die Tänzerinnen nach der neuen Richtung der künstlichen Lichtquelle. Wurde das verhältnismäßig schwache Licht der Taschenlampe durch eine stärkere elektrische Lampe mit gutem gerichtetem Strahlenbündel (z. B. „Frisch-Lampe“ von Lautenschläger) ersetzt, so wurde die Richtungsänderung mit aller nur wünschenswerten Genauigkeit angegeben. Auf diese Weise konnte der Experimentator seine Bienen tanzen lassen, wohin er wollte. Die Richtungsweisung wurde nicht gestört, wenn man die ultravioletten Strahlen durch einen entsprechenden Glasfilter ausschaltete. Ebenso hatte die Ausschaltung der Wärmestrahlen keine störende Wirkung. Wir müssen daraus schließen, daß für die Bienen das für uns sichtbare Licht zur Orientierung genügt.

Methodisch mit am bedeutungsvollsten für die Erforschung der lebendigen Natur, die sich oft in tausend Rätsel und Geheimnisse zu hüllen weiß, ist eine richtige Problemstellung. Gerade die unbestechliche, fast möchte man sagen „hellsichtige“, immer aber tatsachengebundene und tatsachengeleitete Fragestellung ist die große Kunst, die wir bei den Bienenforschungen von Prof. v. Frisch bewundern. So stellte der For-

scher auf Grund der oben berichteten Tatsachen eine weitere Frage, deren Beantwortung ihn fast unmittelbar an den Angelpunkt des ganzen Orientierungswesens bei den Bienen — ja vielleicht überhaupt bei den Insekten — führte. Die in sich recht einfach klingende Frage lautete: Wie können die Bienen unter dem schattenspendenden Schutzdach des Beobachtungsstandes den Sonnenstand erkennen? Zur Beantwortung dieser Frage nahm man zuerst an, daß die Bienen vielleicht am Himmel das Helligkeitsmaximum des jeweiligen Sonnenstandes erkennen können. Entsprechende Experimente zeigten aber, daß das nicht der Fall ist. Ließ man nämlich im sonst geschlossenen Beobachtungszelt das Licht von der Nordseite einfallen und erzeugte also ein nördliches Helligkeitsmaximum — wobei aber die Sonne in ganz anderer Richtung stand — so waren die Tänze trotzdem richtig nach dem Sonnenstand orientiert. Eine Orientierung nach der Einfallsrichtung des Lichtes fand also nicht statt. Dennoch konnte man daran denken, daß vielleicht eine gewisse Helligkeit nötig war, damit die Biene alle ihre Wendungen gut erkennt und auch vielleicht gedächtnismäßig behält. Um diese recht unwahrscheinlich klingende Vermutung experimentell zu prüfen, wurde der Beobachtungsstock statt mit den dunkel machenden Dämmplatten mit weißen Leintüchern bespannt, so daß es in dem von der Sonne beschienenen Tuchzelt sehr hell war. Da zeigte sich wiederum etwas sehr Überraschendes: Die Tänze waren trotz der Helligkeit im Zelt vollkommen desorientiert. Daraus schloß v. Frisch: „Es kam offenbar nicht auf Helligkeit an, sondern die Bienen mußten nach irgendeiner Seite freien Ausblick haben, wenn sie ihre Tänze richtig nach dem Sonnenstand einstellen sollten“ (a.a.O. S. 41). Wie klein ein solcher Ausblick sein kann, um trotzdem richtige Orientierungstänze hervorzurufen, zeigt die folgende Versuchsanordnung: In die nördliche Seitenwand des dunklen Beobachtungszeltes wurde ein Ofenrohr von 15 cm Durchmesser so eingefügt, daß die innere Öffnung des Rohres auf die tanzenden Bienen gerichtet war. Nur ein ganz kleines Stückchen blauen Himmels war durch das Ofenrohr zu sehen. Dies genügte aber vollständig zu einer genauen Orientierung. Verschloß man das Rohr durch einen Deckel, so waren alle Tänze wieder desorientiert, um sogleich nach erneutem Öffnen wieder in der alten Richtung zum Futterplatz zu weisen. Daraus zieht v. Frisch die Folgerung: „Ich schließe daraus, daß die Bienen an dem Ausschnitt blauen Himmels eine nach der Sonne ausgerichtete Erscheinung wahrnehmen, nach der sie sich zum Sonnenstand orientieren können. Vielleicht ist es die Polarisierung des Himmelslichtes, die ja sehr bestimmte Beziehungen zum Sonnenstand aufweist“ (a.a.O. S. 41). Weitere Beobachtungen zeigten in die gleiche Richtung. Die tanzenden Bienen wurden nämlich sehr unsicher, wenn der Himmelsausschnitt vor dem Ofenrohr verschleiert wurde; schließlich tanzten sie überhaupt nicht mehr in der Richtung zum Futterplatz, wenn der Himmelsausschnitt des Rohres von einer Wolke bedeckt wurde. Nun

wissen wir aber, daß Wolken das Licht depolarisieren. Sobald wieder blauer Himmel durch das Rohr schien, wiesen die Tänze wieder direkt zum Futterplatz.

Der Leser wird sich aus dem ersten Bericht über die Sprache der Bienen erinnern, daß die Bienen auch bei vollkommen geschlossener Wolkendecke den Sonnenstand wahrnehmen können. Wie soll man das aber zusammenbringen mit den obigen, ebenso eindeutigen Tatsachen, wonach die Bientänzerinnen wohl aus einem kleinen, blauen Stück Himmel den Stand der Sonne erkennen können, aus einem davorgeschobenen Wolkenfleck aber nicht? Prof. v. Frisch glaubt, daß man wohl eine Orientierung nach verschiedenen optischen Methoden annehmen muß. Freilich bleibt die eben gestellte Frage auch unter dieser Annahme noch eines der vielen ungeklärten Rätsel der Bienensprache.

Wir möchten zum Schluß noch einmal darauf hinweisen, daß die Erforschung des Orientierungsproblems durch die zuletzt genannten Experimente und die Hypothese der Wahrnehmung der Polarisation des Himmelslichtes durch das Bienenauge in eine entscheidende Phase getreten ist, die uns Einblicke eröffnet nicht nur in die geheimnisvolle Welt der Bienen, sondern vielleicht der Insekten überhaupt. Freilich dürfen wir keine voreiligen Schlüsse ziehen und müssen die Ergebnisse weiterer Beobachtungen und Experimente abwarten. Dennoch kann heute schon ausgesprochen werden, daß der Genius des Forschers unmittelbar vor der Lösung eines der ältesten und wichtigsten Probleme der biologischen Forschung steht. „Das starr befestigte Facettenauge mit seinen nach allen Seiten gerichteten Ommatidien könnte, bei entsprechenden optischen Eigenschaften der Kristallkegel, einen geradezu idealen Apparat darstellen, um die Stärke und Richtung der Polarisation am ganzen Himmelsgewölbe gleichzeitig zu überblicken und dauernd im Auge zu behalten. Aber es wäre verfrüht, dem Leser einen duftigen Strauß aus verlockenden Blüten der Phantasie zu binden. Man muß warten, bis das herbe Kraut der Tatsachen herangewachsen ist“ (a.a.O. S. 42).

Umschau

Pius XII. als Anwalt geistiger Freiheit

Wie Christus Wahrheit und Leben ist, so muß auch die Kirche als der fortlebende und fortwirkende Christus zugleich Hüterin der Glaubenswahrheit und Trägerin lebendigen Fortschritts sein. In stürmischen Zeiten mag mehr das Hütende, das Abwehrende und Si-

chernde im Vordergrund stehen. Bei unserem gegenwärtigen Papste offenbart sich wie ein Gefühl der persönlichen Sendung der Wille, zur Freiheit im Leben der Kirche ganz allgemein und besonders auf dem Gebiete der theologischen und sonstigen wissenschaftlichen Forschung aufzumuntern. Gerade weil diese Seite im Wirken des Papstes von weiteren Kreisen wenig be-