Zeitschrift: Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft = Bulletin de la Société Entomologique Suisse = Journal of the Swiss Entomological Society

Herausgeber: Schweizerische Entomologische Gesellschaft

Band: 31 (1958)

Heft: 2: 1858-1958 : Festschrift zur Hundertjahrfeier der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft

Artikel: Die Erforschung der Sinnesleistungen bei Insekten

Autor: Frisch, K. v.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-401336

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

MITTEILUNGEN DER SCHWEIZERISCHEN ENTOMOLOGISCHEN GESELLSCHAFT
BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ ENTOMOLOGIQUE SUISSE
Band XXXI Heft 2 10. Oktober 1958

Die Erforschung der Sinnesleistungen bei Insekten[1]

von

K. v. FRISCH
München

Ein Überblick über das gesamte Gebiet der Sinnesphysiologie könnte im Rahmen einer Stunde nur oberflächlich sein. Ich möchte daher die Betrachtungen auf einen Ausschnitt beschränken, der für Entomologen besonders reizvoll ist : auf Sinnesleistungen, die mit dem Blumenbesuch in Beziehung stehen.

Als Neuling in den Gefilden der Wissenschaft erhielt ich einst entscheidende Anregungen durch Ihren Schweizer Landsmann, den grossen Ameisenforscher und Psychiater AUGUST FOREL. In seinem schönen Buch « Das Sinnesleben der Insekten » ist viel von der Bedeutung der Blumenfarben die Rede. FOREL wiederholte alte Versuche von J. LUBBOCK und HERMANN MÜLLER und fand — wie diese — dass Bienen oder Hummeln, die auf einem blauen Papier mit Honig gefüttert worden waren, hartnäckig weiter auf Blau nach Nahrung suchten und sich für rotes Papier nicht interessierten. An ihrem Farbenunterscheidungsvermögen sei also nicht zu zweifeln. Bald darauf wies aber der Ophthalmologe C. v. HESS darauf hin, dass ein « Farbenunterscheidungsvermögen » noch kein Beweis für « Farbensinn » sei. Auch ein total farbenblinder Mensch könne Rot und Blau unterscheiden, da ihm das Rot sehr dunkel, das Blau viel heller erscheine. Auf Grund eigener, umfangreicher Experimente erklärte v. HESS alle Insekten für total farbenblind.

Da die bunten Blumenfarben doch offensichtlich nur als Anpassung an die Blütengäste zu verstehen sind, schien die These von der Farbenblindheit der Insekten wenig einleuchtend. Darum wiederholte ich den Versuch von FOREL unter Bedingungen, die ein Erkennen der Farbe nur an der Helligkeit ausschlossen : Die Bienen mussten die blaue Farbe, auf die sie durch Fütterung mit Zuckerwasser dressiert waren, im Versuch unter farblos grauen Papieren aller Helligkeitsabstufungen herausfinden. Das gelang ihnen ohne Schwierigkeit.

---

[1] Vorgetragen anlässlich der Hundertjahrfeier der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft in Zürich am 12. April 1958.

Damit war gezeigt, dass sie Blau von Grau qualitativ verschieden sehen, also Farbensinn besitzen.

Der Versuch gelang auch mit anderen Farben, aber nicht mit Scharlachrot, das mit Schwarz verwechselt wurde und auch nicht mit blaugrünen Papieren, die von Grau nicht unterschieden wurden. Vor die Aufgabe gestellt, das farbige Dressurpapier zwischen verschiedenfarbigen Papieren herauszufinden, verwechselten sie Gelb mit Orange und Gelbgrün, und anderseits Blau mit Violett und Purpurrot. Sie benahmen sich wie rotgrünblinde (protanope) Wesen (5).

Aber einige Jahre später entdeckten KÜHN und POHL, die solche Dressurversuche mit Spektralfarben wiederholten, dass die Bienen auch das für uns unsichtbare Ultraviolett sehen und als besondere

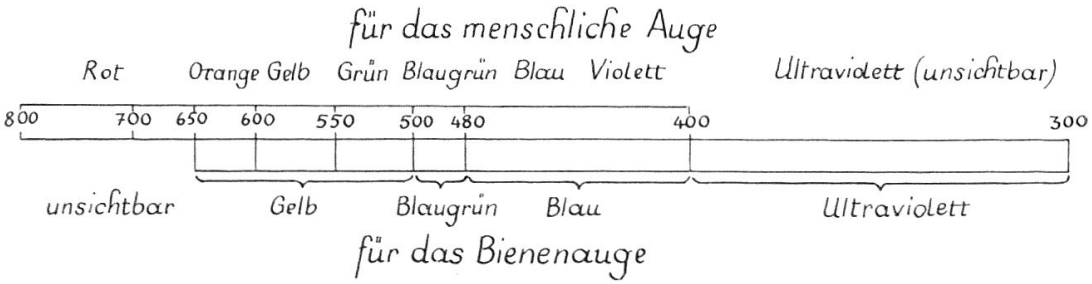

Abb. 1. — Das Spektrum und seine Farben, oben : für das menschliche Auge, unten : für das Bienenauge. Die Zahlen bedeuten die Wellenlänge der Lichtstrahlen in Millionstel mm an den angegebenen Orten des Spektrums.

Farbe von anderen Farbtönen unterscheiden ; ferner, dass sie auch spektrales Blaugrün als eigene Farbe erkennen (11). Meine blaugrünen Farbpapiere waren, wie sich später herausstellte, für eine erfolgreiche Dressur ungeeignet.[1] — Für das Auge der Bienen ist somit gegenüber dem menschlichen Auge das Spektrum am langwelligen Ende verkürzt, am kurzwelligen Ende verlängert, und es sind vier gut unterscheidbare Farbtöne nachgewiesen : « Gelb », « Blaugrün », « Blau » und « Ultraviolett » (Abb. 1), wobei *innerhalb* dieser Bereiche die für uns vielfältig abgestuften Farbtöne den Bienen zum Verwechseln ähnlich zu sein schienen. Wie sie das « Gelb » oder « Ultraviolett » wirklich empfinden, darüber lässt sich natürlich nichts aussagen.

Diese Lehre hatte drei Jahrzehnte Gültigkeit, bis kürzlich mein Schüler K. DAUMER durch Verbesserung der Methodik nachwies, dass der Farbensinn der Bienen doch vollkommener ist als wir dachten (1). Er baute einen für Bienendressuren geeigneten Apparat, der es möglich machte, auf lichtstarke, reine Spektralbezirke mit Einschluss des Ultraviolett zu dressieren und diese Spektralbereiche auch

[1] Der Grund ist, dass sie auch (für uns unsichtbares) Ultraviolett reflektieren, welches für die Biene die Komplementärfarbe von Blaugrün ist (vgl. später S. 142). Dadurch wird das Blaugrün für ihr Auge sehr ungesättigt, grau-ähnlich.

in quantitativ geregelter Weise nach Belieben miteinander zu mischen. Als Lichtquelle diente eine Lampe, die weisses Licht von der Zusammensetzung des Tageslichtes lieferte ; die Spektralbereiche wurden durch Interferenzfilter erzeugt.

Es stellte sich nun heraus, dass für Bienen innerhalb ihres « Gelb »-Bereiches die Farben Orange, Gelb und Grün zwar einander ähnlich, aber doch recht gut unterscheidbar sind. Entsprechendes gilt für den « Blau »-Bereich. Ein unerwarteter Reichtum an Farben ergab sich durch die Mitberücksichtigung des Ultraviolett. Dieses besitzt für das Bienenauge unter allen Spektralfarben die weitaus grösste Helligkeit

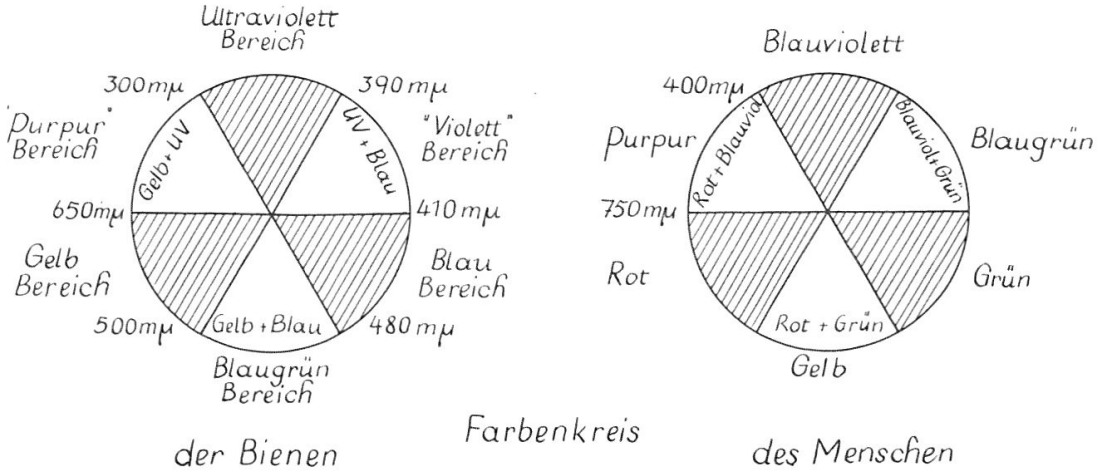

Abb. 2. — Farbenkreis der Biene und des Menschen. Schraffiert die drei Grundfarbbereiche. Gegenüberliegende Sektoren bezeichnen Komplementärfarbenpaare. Nach DAUMER.

und Sättigung. Wie für uns durch Mischung von langwelligem rotem und kurzwelligem violettem Licht die Purpurfarben entstehen und das farbige Band des Spektrums zu einem Farben*kreis* schliessen, so lässt sich für Bienen durch Mischung der Endbezirke des *für sie* wahrnehmbaren Spektrums, also durch Mischung von Gelb und Ultraviolett, eine neue, im Spektrum selbst nicht enthaltene Farbqualität, der « Bienenpurpur » erzeugen, der mehrere, gut unterscheidbare Töne enthält. Durch Mischung von Blau und Ultraviolett entstehen weitere, bisher unbekannt gewesene Farbqualitäten, die ausgezeichnet unterschieden werden. Man kann sie als « Bienenviolett » bezeichnen.

Im Ganzen enthüllt sich für das Farbensystem der Biene eine überraschende Ähnlichkeit mit dem des Menschen — nur ist der gesamte Empfindungsbereich nach der kurzwelligen Seite des Spektrums hin verschoben. Wie man für das menschliche Auge den Eindruck des farblosen « Weiss » erhalten kann, indem man die drei Grundfarben Rot, Grün und Blau im richtigen Verhältnis miteinander mischt, so lässt sich für die Bienen durch richtige Mischung ihrer drei Grundfarben Gelb, Blau und Ultraviolett farbloses « Weiss » herstellen. Auch durch Mischung je zweier Komplementärfarben

erhält man weisses Licht. Komplementärfarben für das Bienenauge sind : Gelb und « Bienenviolett », Blaugrün und Ultraviolett, Blau und « Purpur ». Abb. 2 zeigt dieses Verhältnis vergleichsweise für Biene und Mensch.

Die Blumenfarben sind Signale für die Blütengäste. Sie richten sich eindeutig an den Farbensinn ihrer Besucher. So kommt das « Kolibrirot » vieler tropischer ornithophiler Blüten dem Vogelauge entgegen, das für reines Rot besonders empfindlich ist. Für das rotblinde Insektenauge wären scharlachrote Wirtshausfahnen unzweckmässig — und tatsächlich ist diese Blütenfarbe bei insektenblütigen Pflanzen sehr selten. Leider ist das menschliche Auge nicht imstande,

Abb. 3. — Blüte von *Potentilla reptans*, links in gelbem rechts in ultraviolettem Licht photographiert. Die Blüte trägt ein für die Biene deutliches, für uns unsichtbares Saftmal. Nach DAUMER.

den ganzen Reichtum sinnvoller Anpassungen, den die Blumen bieten, zu sehen. Man muss sie sozusagen mit den Augen der Bienen betrachten. Zu diesem Zweck hat DAUMER an mehr als 200 Pflanzenarten untersucht, wie stark die einzelnen, *für Bienen* unterscheidbaren Farbbereiche an der Zusammensetzung der Blütenfarbe beteiligt sind. Was dabei herausgekommen ist, kann ich hier nur an wenigen Beispielen andeuten. Ältere Erkenntnisse oder Vermutungen wurden dabei bestätigt und viele neue Befunde erhoben (2).

Das Scharlachrot von Mohnblumen oder Bohnenblüten scheint sinnlos für rotblinde Augen. Diese Blüten reflektieren aber neben Rot auch so viel Ultraviolett, dass sie für die Bienen « ultraviolette » Blumen sind. Wir sehen an ihnen diese Farbe nicht, so wie die Bienen das Rot an ihnen nicht erkennen. Die Blüten des kaukasischen Vergissmeinnichts (*Brunnera macrophylla*) und des Waldvergissmeinnichts (*Myosotis silvatica*) sehen für uns ausserordentlich ähnlich aus ; für Bienen sind sie leicht unterscheidbar, weil nur das kaukasische Vergissmeinnicht neben Blau auch Ultraviolett zurückwirft, wodurch sein

Blau in « Bienenviolett » abgeändert wird. Viele gelbe Blumen reflektieren auch Ultraviolett und unterscheiden sich so für das Bienenauge durch ihre « Purpurfarbe » von anderen, uns gleich erscheinenden gelben Blüten ohne Ultraviolett-Reflexion. Gelbe Potentilla-Blüten tragen ein für uns unsichtbares « Saftmal », da ihre Blütenblätter an ihren inneren Teilen das Ultraviolett verschlucken, während sie es in ihren äusseren Bezirken zurückwerfen. Das wird für uns deutlich, wenn man die Blüte einmal in rein gelbem Licht und ein zweites mal in reinem Ultraviolett photographiert (Abb. 3). In gelbem Licht ist sie einheitlich gefärbt, so wie wir sie sehen — da sie ja Gelb überall gleichmässig zurückwirft ; in der Ultraviolettphotographie springt aber das Saftmal in die Augen : nur die basalen, hier schwarzen Teile der Blumenblätter sind für Bienen « gelb », weil sie nur Gelb zurückwerfen ; die äusseren Teile sind für sie « purpurfarbig », durch die Mischung von Gelb und Ultraviolett. Ähnliche, für uns unsichtbare Saftmale und andere Blütenzeichnungen, die sich nur an das Insektenauge richten, gibt es in ausserordentlicher Verbreitung. Die Bedeutung der Saftmale für das rasche Auffinden des Nektars liess sich überzeugend nachweisen.

Kein anderes Insekt wurde bisher so eingehend untersucht wie die Biene. Doch wissen wir aus vielen Arbeiten vom Farbensehen der Insekten genug, um sagen zu können, dass die hier vorgetragenen Erkenntnisse wahrscheinlich für das Insektenreich allgemeine Gültigkeit besitzen.

Mit weithin leuchtender Farbe zeigen die Blumen ihren Standort an und locken so ihre Bestäuner herbei ; durch den erst jetzt erkannten Reichtum an Farbnuancen unterscheiden sich viele Blütensorten auffällig auch für Insekten, wodurch diesen der Flug von Blüte zu Blüte der gleichen Art erleichtert wird ; bei der Landung aber finden sie noch häufiger, als es für uns den Anschein hat, den Weg zur Nahrung durch Saftmale markiert, und sie wissen es zu nützen.

Bienen sind gute Botaniker. Sie unterscheiden die verschiedenen Blütensorten genau und bleiben bei ihren Sammelflügen einer bestimmten Pflanzenart treu. Das bezeichnen die Biologen als Blütenstetigkeit. Sie ist für die Insekten rationell, weil sie überall auf den gleichen, ihnen schon bekannten Blütenmechanismus treffen, und ist erst recht wichtig für die Pflanze, weil dadurch ihre wirksame Bestäubung gesichert wird. Aber woran erkennt das Insekt so sicher die richtige Blüte zwischen den vielen anderen ? Als ich noch glaubte, die Bienen könnten nur wenige Farben unterscheiden, dachte ich an den Blütenduft als wirksames Kennzeichen und wurde so zur Untersuchung des Geruchsinnes der Bienen geführt. Dressurversuche lehrten, dass sie die schier unbegrenzte Mannigfaltigkeit der Blütendüfte ebenso bestimmt unterscheiden wie wir selbst. Das bedeutet eine grosse Hilfe für das Auffinden zusammengehöriger Blüten. Ihre Riechschärfe übertrifft die unsere nicht wesentlich (6, 3, 16).

Überlegen sind sie uns dadurch, dass sie ihre Riechwerkzeuge an den beweglichen Fühlern tragen. So können sie Gegenstände mit ihren Geruchswerkzeugen abtasten, sie können gleichsam plastisch riechen, was schon A. FOREL erkannt hat (4). Beim Blütenbesuch ist ihnen diese Fähigkeit nützlich. Denn viele Saftmale heben sich nicht nur durch ihre Farbe, sondern auch geruchlich von den anderen Blütenteilen ab, ja manche Blumen bieten ihren Besuchern eine wahre Symphonie verschiedenartiger, bestimmt gruppierter Düfte zur Erleichterung ihrer Orientierung bei der Suche nach der süssen Saftquelle (12).

Nicht minder wichtig ist die Rolle des Blütenduftes bei der Verständigung im Bienenvolk. Wenn eine Sammlerin ihren Fund auf der Wabe durch Tänze bekannt gibt, erfahren die Stockgenossen durch den der Tänzerin anhaftenden spezifischen Blütenduft eindeutig, nach welchen Blumen sie draussen zu suchen haben. Das ist ein ganz elementarer Bestandteil der « Tanzsprache ». Er spielt schon bei primitiven stachellosen Bienen (*Trigona iridipennis*) eine Rolle. Solche können noch nicht, wie unsere Bienen, durch die Form des Tanzes den Kameraden die Richtung und Entfernung des Zieles angeben. Sie zeigen ihnen nur durch aufgeregtes Herumrennen an, dass etwas los ist, und tragen doch den Duft der von ihnen besuchten Blüten am Körper. Bei ihrem Ausflug machen die Kameraden erfolgreich Gebrauch von diesem Hinweis auf die Quelle des Fundes (13).

Bienen sind genäschig. Der Zuckersaft der Blüten ist ja ihr wichtigstes Nahrungsmittel. Man könnte erwarten, dass ihr Geschmackssinn auf Süsstoffe besonders fein anspricht. Das Gegenteil ist der Fall. Um eine Rohrzuckerlösung zu erhalten, die eben wahrnehmbar süss schmeckt, muss man für die Biene etwa 8 mal so viel Zucker nehmen wie für den Menschen. Das ist biologisch sinnvoll. Denn auf diese Weise ist das Bienenvolk davor gesichert, dass die Haltbarkeit des Honigs durch Eintragen zu dünnen Nektars gefährdet wird (7). Im Gegensatz zu Bienen können andere Insekten, die Zuckersäfte nur zum sofortigen Genuss suchen und nicht zur Konserve verarbeiten, Verdünnungen noch wahrnehmen, die weit unter unserem Schwellenwert liegen. So fand D. E. MINNICH, dass der Admiral (*Pyrameis atalanta*) an seinen Fusspitzen Geschmacksorgane trägt, die für Rohrzucker mehr als 200 mal empfindlicher sind als die menschliche Zunge (14). Durch seinen Sitz an den Fusspitzen und durch seine Schärfe wird der Geschmackssinn bei Schmetterlingen, Fliegen und bei manchen anderen Insekten auch für das *Finden* der Nahrungsstoffe von Bedeutung, während er meist nur dazu dient, sie bei der Aufnahme zu prüfen.

Für die Orientierung an der Blüte sind Gesicht und Geruch gleich wichtige Sinne. Aber für die Orientierung auf dem Wege zu den Nahrungsquellen, die oft in kilometerweiter Entfernung vom Heimatstock liegen, hat das Auge dominierende Bedeutung. Die Bienen richten sich dabei nicht nur nach Landmarken, sondern sie benützen

auch die Sonne als Kompass. Sie sind dazu imstande, da sie an einer inneren Uhr von erstaunlicher Zuverlässigkeit die Zeit ablesen können (15) und da sie wissen, wo zu jeder Stunde des Tages die Sonne am Himmel hingehört. Auf diese Weise finden sie jede Kompassrichtung nach dem Stand der Sonne trotz ihrer Wanderung über das Himmelszelt (8). Wenn die Sonne verdeckt ist, kommt ihnen eine Fähigkeit zustatten, durch die sie uns überlegen sind : sie können die Schwingungsrichtung polarisierten Lichtes erkennen, und da das blaue Himmelslicht zum grossen Teil polarisiert und seine Schwingungsrichtung in bestimmter Weise nach der Sonne ausgerichtet ist, genügt schon ein kleiner Fleck blauen Himmels, um danach so sicher zu navigieren, wie ein Hochseekapitän nach seinem Kompass.

Das ist keineswegs ein Kunststück, das nur die Biene fertig bringt. Auch bei vielen anderen Insekten, sogar bei Spinnen und bei Krebsen hat man die gleiche Fähigkeit entdeckt. Die Grenzen ihrer Bedeutung für die Orientierung dieser Tiere lassen sich noch gar nicht abstecken.

Fesselnde Einzelheiten gäbe es da noch in Fülle zu berichten. Wir mussten uns hier mit Wenigem bescheiden. Und wenn ich bei dieser Betrachtung die Biene in den Vordergrund gestellt habe, so geschah es, weil dieses ideale Versuchstier unsere Kenntnisse von der Sinnesphysiologie der Insekten am meisten gefördert hat.

LITERATUR

1. DAUMER, K., 1956. *Reizmetrische Untersuchung des Farbensehens der Bienen.* Z. vergl. Physiol. 38, 413–478.
2. — 1958. *Blumenfarben, wie sie die Bienen sehen.* Z. vergl. Physiol. 41, 49–110.
3. FISCHER, W., 1957. *Untersuchungen über die Riechschärfe der Honigbienen.* Z. vergl. Physiol. 39, 634–659.
4. FOREL, A., 1910. *Das Sinnesleben der Insekten.* München.
5. FRISCH, K. v., 1915. *Der Farbensinn und Formensinn der Biene.* Zoolog. Jahrb. (Physiol.). 35, 1–188.
6. — 1919. *Über den Geruchssinn der Biene und seine blütenbiologische Bedeutung.* Zoolog. Jahrb. (Physiol.) 37, 1–238.
7. — 1934. *Der Geschmackssinn der Biene,* Z. vergl. Physiol. 21, 1–156.
8. — 1958. *Die Bienen und ihr Himmelskompass.* Orden pour le mérite, Reden und Gedenkworte. Bd. 2, 135–161.
9. HESS, C. v., 1912. *Gesichtssinn,* in : *Winterstein.* Handbuch d. vergl. Physiol. Bd. 4, Jena.
10. — 1913. *Experimentelle Untersuchungen über den angeblichen Farbensinn der Bienen.* Zoolog. Jahrb. (Physiol.) 34, 81–106.
11. KÜHN, A. und POHL, R., 1921. *Dressurfähigkeit der Bienen auf Spektrallinien.* Die Naturwissenschaften, 738–740.
12. LEX, TH., 1954. *Duftmale an Blüten,* Z. vergl. Physiol. 36, 212–234.
13. LINDAUER, M., 1956. *Über die Verständigung bei indischen Bienen.* Z. vergl. Physiol. 38, 521–557.
14. MINNICH, D. E., 1929. *The chemical senses of insects.* Quarterly Review of Biology, 4, 100–112.
15. RENNER, M., 1957. *Neue Versuche über den Zeitsinn der Honigbiene.* Z. vergl. Physiol. 40, 85–118.
16. SCHWARZ, R., 1955. *Über die Riechschärfe der Honigbiene.* Z. vergl. Physiol. 37, 180–210.