

Beiträge zur Frage nach einem Farbensinne bei Bienen.

Von

C. Hess.

(Mit 3 Textfiguren.)

Inhaltsübersicht.

	Seite
1. Theoretische Einwände gegen meine Befunde	338
2. Dressurversuche	347
a) Die Dressuren der Zoologen	347
b) Eigene Versuche	353
3. Messende Versuche über Entwicklung und Umfang der Dunkeladaptation bei den Bienen	362
4. Die Vorführung dressierter Bienen beim Freiburger Zoologentag . . .	364
5. Schluss	365

Die Zoologie steht noch ganz im Banne jenes alten, vor 100 Jahren wohl verzeihlichen, heute aber schwer verständlichen „Analogieschlusses“, da der Mensch Farbensinn habe, müssten auch die Bienen Farben sehen. Wenn jemand aus dem Vorhandensein farbiger Photographien schliessen wollte, alle photographischen Apparate müssten farbige Aufnahmen liefern, so erkennt man leicht das Unzulässige einer solchen Verallgemeinerung¹⁾; denn es ist auch dem Laien geläufig, dass die Farbigkeit oder Nichtfarbigkeit einer Photographie

1) Noch unverständlicher ist es, wenn Doi in Fische, Krebse und Korallen, die sich 15—50 m unter der Meeresoberfläche befinden, in roten und gelben Farben abbildet und dazu schreibt, dies sei „alles nach der Natur“, wodurch die Meinung entstehen muss, jene Farben seien in der Natur, d. i. unter den natürlichen Lebensbedingungen jener Tiere sichtbar. Traut er damit doch (um in dem eben gebrauchten Bilde zu bleiben) dem photographischen Apparate die Fähigkeit zu, auch in einem nur von blauen Strahlen erhellten Raume, in dem uns also alles nur mehr oder weniger blau, und insbesondere alles bei Tageslicht rot und gelb Gesehene schwarz oder grau erscheint, die Gegenstände doch in solchen Farben wiederzugeben, wie sie selbst ein normales Menschaugen nur bei Tageslicht und nur in Luft wahrnehmen kann.

nicht sowohl vom dioptrischen Apparate als von der besonderen Art der lichtempfindlichen Schicht abhängt. Aber ist es besser, wenn man aus dem Vorhandensein physikalisch-dioptrischer Vorrichtungen zur Bilderzeugung am Bienenauge schliesst, das innere Auge der Biene, Netzhaut und Sehzentrum, müsse, trotz so grosser Verschiedenheiten im Aufbau von Seh- und Zentralorgan, mit jenen beim Menschen identisch sein?

Zur Entscheidung der Frage, ob eine gegebene photographische Platte farbige oder farblose Bilder liefern kann, wird zurzeit im allgemeinen die mikroskopische oder chemische Untersuchung der Platte genügen. Die vielen Bemühungen, durch mikroskopische oder chemische Untersuchung der Netzhäute zu erfahren, in welcher Weise ein Tierauge die Welt der Farben sieht, sind bis jetzt ohne Erfolg geblieben. Dagegen gelang mir durch Entwicklung von Methoden, bei welchen ich die Helligkeitsempfindungen der Tiere unter verschiedenen Bedingungen messend bestimmte und mit jenen des unter gleichen Bedingungen sehenden Menschen verglich, auch die Lösung der Frage nach den Sehqualitäten der Bienen¹⁾.

1. Theoretische Einwände gegen meine Befunde.

Mit den von mir entwickelten Methoden lässt sich feststellen, dass für das Bienenauge die verschiedenen farbigen Lichter unter allen Versuchsbedingungen den gleichen Helligkeitswert haben wie für ein total farbenblindes Menschaugen; die Bienen verhalten sich in allen hier in Betracht kommenden Beziehungen so, wie ein unter entsprechenden Bedingungen sehender total farbenblinder Mensch.

Die Zoologie kann sich noch nicht entschliessen, aus diesen Feststellungen die notwendigen Folgerungen zu ziehen und die alten Sprengel'schen Anschauungen von der Bedeutung der Blumenfarben sowie Darwin's Lehre von den Schmuckfarben aufzugeben²⁾. Da man die Richtigkeit der von mir gefundenen Tatsachen nicht an-

1) C. Hess, Vergl. Physiologie des Gesichtssinnes. Fischer, Jena 1912. — C. Hess, Experimentelle Untersuchungen über den angeblichen Farbensinn der Bienen. Zool. Jahrb., Abt. f. Physiol., Bd. 34. 1913. — C. Hess, Messende Untersuchung des Lichtsinnes der Biene. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 163. 1916.

2) Genaueres hierüber siehe in meiner Arbeit über den Farbensinn der Vögel und die Lehre von den Schmuckfarben. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 166. 1917.

zuzweifeln vermag, versucht man die Zulässigkeit meiner Schlussfolgerungen zu bestreiten.

Nur, weil verschiedentlich der Wunsch geäußert wurde, meine Stellung zu diesen Einwänden kennen zu lernen, erörtere ich letztere im folgenden, soweit sie allgemeineres Interesse haben können.

v. Buttel-Reepen¹⁾ glaubt folgenden Einwand gegen meine Untersuchungen erheben zu können:

„Es hat sich herausgestellt, dass nur die Bienen sich gut — für die hier in Frage kommenden Experimente — eignen, die soeben im Begriffe waren, das dunkle Stockinnere zu verlassen. Diese aber sind dunkeladaptiert! Nun reagiert jedoch — nach E. Hering — auch das normale menschliche Auge, wenn es dunkeladaptiert ist, wie das Auge eines total farbenblind Geborenen, und auch der Helligkeitswert verschiebt sich wie bei einem total Farbenblinden (Purkinjesches Phänomen). Auch dieser Einwand müsste daher zuvor in wirklich überzeugender Weise beseitigt werden, bevor man sich der Ansicht von Hess anzuschließen vermöchte.“ In meinen Darstellungen ist aber klar gesagt, dass ich meine Versuche bei Helladaptation, einen grossen Teil sogar bei extremer Helladaptation angestellt habe: Die Bienen werden an sonnigen Tagen in Glasbehältern vom Stocke geholt, die messenden Versuche mit farbigen Papierflächen werden in hellen, von Tageslicht erhellten Räumen angestellt, die Bienenbehälter sind von dem hellen, von den farbigen Papierflächen zurückgeworfenen Lichte durchstrahlt. Andere messende Versuche habe ich am Pupilloskop und am Spektrum angestellt, unter Bedingungen, unter welchen unsere in gleichem Adaptationszustande wie die Bienen befindlichen Augen leuchtend helle Farben wahrnehmen usw. Alle diese Messungen lassen gerade das Fehlen des Purkinje'schen Phänomens auch bei den Bienen eindringlich erkennen. v. Buttel-Reepen hat offensichtlich unzureichende Vorstellungen von Dunkel- und Hell-Adaptation; eine erneute Erörterung dieser elementaren Tatsachen der Farbenlehre gehört nicht hierher²⁾.

1) v. Buttel-Reepen, Sind die Bienen wirklich farbenblind? „Die Naturwissenschaften“ 4. Jahrg. Nr. 22. 1916.

2) Seine Angabe, nur die Bienen hätten sich geeignet, die soeben im Begriffe waren, das dunkle Stockinnere zu verlassen, ist, wie man sieht, unrichtig. Ich habe an mehreren Stellen meiner Arbeiten wiederholt ausdrücklich erwähnt, dass die Tiere während der ersten 10—20 Minuten, ja bis zu $\frac{1}{2}$ Stunde nach der Entnahme gut reagierten, während doch die Dunkeladaptation nach Übergang ins

Der zweite Einwand v. Buttel-Reepen's gegen meine Untersuchungen über die Helligkeitsempfindungen der Bienen besteht in einem Hinweise auf Fröhlich's bekannte Messungen der Aktionsströme bei Belichtung der Cephalopoden-Netzhaut. Der Autor meint, diese Messungen Fröhlich's bedeuteten „eine vollkommene Widerlegung“ meiner „Schlüsse“, da dort „zwei verschiedene Farben bei gleicher Lichtintensität ganz verschiedenartige Erregungen (Aktionsströme) im Auge verursachen“. Er meint, hieraus könne nur der Schluss gezogen werden, „dass eine wirkliche Farbenempfindung und nicht nur eine Helligkeitsempfindung vorhanden sein muss“, und hält es für eine „berechtigte Forderung, zuerst diese bedeutsamen Experimente zu widerlegen“. Nun enthalten aber meine messenden Untersuchungen über die Sehqualitäten der Cephalopoden (die ihm unbekannt zu sein scheinen) hinreichend Tatsachen zur Widerlegung dieser Meinung; ich darf mich daher, unter Hinweis auf meine früheren Untersuchungen¹⁾, auf die folgenden kurzen Angaben beschränken.

Die Vorgänge, die unter dem Einflusse des Lichtes in der aus dem Auge ausgeschnittenen Netzhaut eintreten und in Änderung ihres elektromotorischen Verhaltens zum Ausdrucke kommen, können uns selbstverständlich keinen Aufschluss geben über die hier allein interessierenden physischen Regungen in der nervösen Substanz des lebenden Zentralorgans und deren psychische Korrelate, die als Helligkeit und Farbe ins Bewusstsein treten. Ich musste wiederholt darauf hinweisen, zu wie auffälligen Irrtümern die Autoren bei ihren Schlüssen von Aktionsströmen auf Helligkeitsempfindungen geführt

Helle, wie jeder weiss, schon in den ersten Sekunden schwindet. Seine Angabe, das dunkeladaptierte normale Menschaugenauge reagiere so, wie das eines total Farbenblinden, ist gleichfalls in einem wesentlichen Punkte unrichtig; denn es verhält sich so nur gegenüber sehr lichtschwachen Reizlichtern: Jeder weiss und kann es jeden Augenblick an sich selbst feststellen, dass wir auch nach ausgiebigster Dunkeladaptation bei Tageslicht nach Öffnen der Augen nicht farblos, sondern sofort farbig sehen. v. Buttel-Reepen wirft mir wiederholt vor, ich triebe „Physiologie ohne Biologie“, die habe „schon mehrfach auf Irrwege geführt“; vielleicht veranlassen seine Irrtümer ihn, dem Thema „Biologie ohne Physiologie“ näher zu treten; seine und v. Frisch's Arbeiten bieten dazu Stoff in Fülle.

1) C. Hess, Neue Untersuchungen über den Lichtsinn bei wirbellosen Tieren. Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. 136. 1910. — C. Hess, Messende Untersuchungen zur vergleichenden Physiologie des Pupillenspieles. v. Gräfe's Arch. f. Ophthal. Bd. 90. 1915.

werden; ich brauche hier nur daran zu erinnern, dass zum Beispiel Hühner, mittels dieser Methode untersucht, einer durch Zunahme der Aktionsströme gekennzeichneten Lichtempfindlichkeitssteigerung durch Dunkelaufenthalt nur in minimalem Maasse fähig sein sollten, während doch mit den von mir entwickelten Methoden eine solche von sehr beträchtlichem Umfange nicht nur leicht nachzuweisen, sondern auch nach Art und Umfang messend zu verfolgen ist. Bei Schildkröten konnten selbst bei starker Belichtung nur äusserst schwache Aktionsströme wahrgenommen werden usw.

Schon aus diesem Grunde wäre eine eingehendere Analyse der Angaben über die Aktionsströme ausgeschnittener Kopffüssernetzhäute bei Untersuchungen über die Helligkeitsempfindungen lebender Bienen nicht erforderlich. Mit welcher Vorsicht aber Fröhlich's Meinungen¹⁾ auch aus anderen Gründen aufzunehmen sind, möge das Folgende zeigen:

Die Qualität der Cephalopodenempfindungen soll nach ihm „durch die Frequenz der Netzhauterregungen“ beherrscht sein, diese letzteren aber sind nach ihm in hohem Grade von der Temperatur abhängig. Nach seinen Tabellen soll zum Beispiel schon eine Temperaturänderung von weniger als 4° C. genügen, um die „Frequenz der Erregungen“ derart zu ändern, dass die zum Beispiel durch grünes Licht bedingte Frequenz der sonst durch blaues hervorgerufenen ähnlich oder gleich wird usw. Danach würde ein Tintenfisch, der aus einer schattigen, kühlen Stelle, etwa einer Grotte des Meeres, in den hellen Sonnenschein schwimmt, plötzlich eine wesentliche Änderung seiner farbigen Sehqualitäten erfahren. Das Meerwasser im Neapeler Golf hat im Februar eine durchschnittliche Temperatur von 15° C., im August eine solche von 24,5—25° C.; der Farbensinn der Cephalopoden wäre also nach diesen Angaben Fröhlich's im Sommer grundverschieden von jenem im Winter usw. Es ist nicht wahrscheinlich, dass die Physiologie sich zur Annahme eines solchen von der Temperatur abhängigen Farbensinnes entschliessen wird, um so weniger, als wiederum mit den von mir entwickelten Methoden leicht nachzuweisen ist, dass die Helligkeitsempfindungen der Cephalopoden von der Temperatur des Wassers selbstverständlich im wesentlichen unabhängig sind.

1) Friedr. W. Fröhlich, Beiträge zur allgemeinen Physiologie der Sinnesorgane. Zeitschr. f. Sinnesphysiol. Bd. 48. 1913.

Drittens endlich scheint die Heranziehung der Netzhautaktionsströme ausgeschnittener Augen bei Erörterung der Helligkeitsempfindungen der Kopffüsser um so weniger angezeigt, als wir gerade hier, bei den Cephalopoden, diese Helligkeitsempfindungen selbst auf verschiedenen von mir eingeschlagenen Wegen messend so genau verfolgen können, dass wir über sie heute kaum weniger genau unterrichtet sind, als über unsere eigenen:

Durch Untersuchung erwachsener Cephalopoden mit Hilfe des Pupilloskops konnte ich den Nachweis liefern, dass das Verhalten ihres lebhaften Pupillenspieles gegenüber den verschiedenen farbigen Lichtern bei sehr verschiedenen Lichtstärken und Adaptationszuständen durchaus mit jenem des total farbenblinden Menschauges übereinstimmt, dass also auch dort wie hier ein pupillomotorisches Purkinje'sches Phänomen fehlt. Durch Untersuchung junger Cephalopodenembryonen konnte ich nachweisen, dass diese, die stets lebhaft nach der jeweils hellsten Stelle ihres Behälters schwimmen, bei Einwirkung farbiger Lichter auch bei sehr verschiedenen Lichtstärken sich stets zu jener Farbe wenden, die dem total farbenblinden Menschauge am hellsten erscheint.

Hier ist also der Nachweis der totalen Farbenblindheit der Kopffüsser auf zwei ganz verschiedenen, voneinander unabhängigen Wegen möglich geworden.

Fröhlich's Versuche, weit entfernt, die Annahme eines Farbensinnes der Cephalopoden wahrscheinlich zu machen, bestätigen also nur aufs neue die bekannte Unzulässigkeit eines Schlusses von Aktionsströmen ausgeschnittener Augen auf Sehqualitäten lebender Tiere.

Ein dritter Einwand v. Buttel-Reepen's gilt meinen Versuchen an farbigen Fluglöchern. Er schreibt, nachdem ich farbiges Papier vor das Flugloch eines Stockes gebracht und die Bienen durch längeren Flug daran gewöhnt, hätte ich die Maske an eine unmittelbar anstossende grosse leere Kiste befestigt und eine andersfarbige Maske als Ersatz gegeben; er bemerkt dazu: „diese Bedingungen sind nicht einwandfrei; da die Bienen die Form beachten, mussten zwei ganz gleich aussehende Stöcke gewählt werden, da ferner der bewohnte Stock auf derselben Stelle stehen bleibt, kommen die Bienen ja nicht zu einer den Flug wesentlich beirrenden Unsicherheit, sie fliegen an der gewohnten Stelle, unbehindert durch alles, ein“. Diese Angaben des Autors kann ich nicht besser widerlegen als durch wörtliche Wiedergabe meiner

einschlägigen Versuche; solches erscheint um so mehr angezeigt, als sie die einzigen bisher bekannt gewordenen sind, bei welchen allen in Betracht kommenden Fehlerquellen Rechnung getragen und der Weg angegeben ist, auf dem auch solche Fluglochversuche zu wissenschaftlich verwertbaren Ergebnissen führen können.

Ich schrieb¹⁾: „Vor dem Flugloche eines Stockes waren durch drei Wochen zwei blaue Flanellstücke derart angebracht, dass das eine, vertikale, das Flugloch oben und seitlich umgab, das andere, horizontale, das vor dem Flugloch befindliche, zum Einflug dienende Holzbrettchen überdeckte ... Nun wurden, während die Bienen lebhaft flogen, rasch die beiden blauen Flanellstücke entfernt und an ihrer Stelle das eben geschilderte (im folgenden kurz als Glasvorsatz bezeichnete) Gestell vorgehängt, nachdem unter das Glas mattweisse Kartons gebracht waren. Dicht neben dem Flugloche wurde ein zweites angebracht, dessen Mitte nur 30 cm von der Mitte des ersten entfernt war und das nur den Eingang zu einer grossen leeren Kiste bildete. Vor diesem „blinden“ Flugloche wurde ein anderer, dem ersten völlig gleicher Glasvorsatz befestigt, unter dessen Glas blaues Papier von der gleichen Farbe wie der früher benützte Flanell lag. Das Anbringen der beiden Glasvorsätze erforderte nur wenige Sekunden Zeit. Die Bienen flogen sofort in dichten Schwärmen zu ihrem alten, früher von Blau, nun von Weiss umgebenen Flugloch, und nach wenigen Sekunden gingen sie dort ebenso ein und aus wie früher, als es noch mit blauem Flanell umgeben war. Zu dem daneben stehenden blauen Glasvorsatz flog nur ganz vereinzelt eine Biene, meist blieb dieses Flugloch leer. Legte ich nun aber auf die Glasplatte vor dem blinden Flugloche den blauen Flanell, der vorher vor dem wirklichen gelegen hatte, so waren bald zahlreiche Bienen auf diesem angesammelt und liefen in das blinde Flugloch. Legte ich aber über den Flanell eine Glasplatte, so blieben die Bienen wieder von dem blinden Flugloche weg. Diese Versuche wurden im Verlaufe der ersten halben Stunde nach Anbringen der Vorsätze mehrmals mit dem gleichen Erfolg wiederholt. Solange für die Bienen nur die blaue Farbe am blinden Flugloche wahrnehmbar war, wurden sie von ihr nicht im geringsten angezogen, obschon sie durch drei Wochen an das von Blau umgebene Flugloch gewöhnt worden waren. Dass aber nicht etwa nur die Gewöhnung an die den Tieren vertraute Stelle des Flugloches an der Nichtbeachtung des von Blau umgebenen blinden Flugloches schuld war, zeigt der Versuch, in welchem sie zu dem nicht von Glas bedeckten Flanell vor dem blinden Flugloche gingen. Da sie gleichzeitig am richtigen Flugloche in grossen Mengen anflogen, obschon dieses jetzt mit Weiss umgeben und die Anflugstelle mit Glas bedeckt war, so kann man ihr Verhalten zu dem blinden Flugloche nicht etwa allein dadurch erklären wollen, dass sie an letzteres nicht angeflogen seien, weil hier die Glasplatte ihnen ungewohnt und störend gewesen sei.“

1) Die für uns hier wichtigsten Stellen hebe ich im Drucke hervor.

Aus meiner Darstellung geht also erstens klar hervor, dass, was doch auch selbstverständlich war, die beiden Stöcke gleiches Aussehen hatten; hinter der für beide gleichen, gemeinsamen Vorderwand befand sich entsprechend dem „blinden“ Flugloche eine leere Kiste, von der von vorn selbstverständlich nichts zu sehen war. Ausserdem ist ja auch ausdrücklich erwähnt, dass bei gewissen Versuchen die Bienen zahlreich durch das „blinde“ Flugloch in die Kiste liefen.

Ferner hat v. Buttel-Reepen nicht erkannt, dass gerade die Hauptaufgabe meines Versuches die war, zu ermitteln, ob und inwieweit die Farbe den Anflug an die gewohnte Stelle beeinflussen kann. Das bei Imkern übliche Färben der Umgebung der Fluglöcher, „um das Erkennen des Flugloches zu erleichtern“, setzt doch die Annahme voraus, dass ausser der gewohnten Stelle auch die Farbe für die Flugrichtung der Bienen bestimmend sei. Denn welchen Sinn hätte, selbst wenn man an einen Farbensinn der Bienen glaubt, das Färben, wenn für die Flugrichtung nur die gewohnte Stelle in Betracht kommt? Aus diesem Grunde mussten ja gerade solche Versuchsanordnungen ausgearbeitet werden, bei welchen die gewohnte Farbe mit der gewohnten Stelle gewissermaassen konkurriert, was bisher noch nicht versucht worden war. So konnte ich zeigen, dass bei sorgfältigem Ausschalten aller Fehlerquellen, insbesondere auch der durch Geruchssinn bedingten, die Farbe der Umgebung des Flugloches ohne jeden Einfluss auf die Flugrichtung der Bienen ist. Dabei ist von grösster Wichtigkeit, was v. Buttel-Reepen ganz übergeht, dass, sobald der Geruchssinn mitspielen kann, die Bienen eben nicht an die gewohnte Stelle, sondern an das blinde Flugloch an ungewohnter Stelle anfliegen und in den leeren Kasten laufen. Damit erledigt sich auch dieser Einwand des Autors.

Auf v. Frisch's „Widerlegung“ einzelner meiner Fluglochversuche, bei welcher er aber selbst zugibt, einen etwaigen Einfluss des Geruches der von ihm benutzten Farben vernachlässigt zu haben, brauchen wir nicht mehr einzugehen, nachdem er selbst den Nachweis erbracht hat, dass seine Bienen, die nach ihm die Fluglöcher an dem umgebenden Blau und Gelb unterscheiden sollen, tatsächlich Blau und Gelb nicht voneinander zu unterscheiden vermögen (siehe den folgenden Abschnitt).

Einen weiteren von v. Buttel-Reepen, Knoll und anderen

immer wieder vorgebrachten Einwand kleidet v. Frisch¹⁾ (1914) in die folgenden Worte: „Dass Tiere mit solchem Helligkeitssinn, wie ihn v. Hess bei Fischen und Wirbellosen gefunden hat, total farbenblind sein müssten, ist eine Verallgemeinerung eines am Menschen gewonnenen Erfahrungssatzes, eine Verallgemeinerung, deren Berechtigung durch nichts erwiesen ist“. Auch als unzulässigen „Analogieschluss“ hat er bezeichnet, dass ich ein Wesen, das die Merkmale der totalen Farbenblindheit zeigt, als total farbenblind betrachte. Im Hinblick auf die grosse Verbreitung, die er bei Zoologen gefunden hat, sei der diesem Einwande zugrunde liegende Irrtum etwas ausführlicher erörtert:

Die Helligkeit einer farbigen Empfindung wird, wie uns Hering gelehrt hat, bestimmt durch den farblosen sowie durch Art und Grösse des farbigen Empfindungsanteiles. Rot und Gelb wirken erhellend, Grün und Blau verdunkelnd auf die Helligkeit der Gesamtempfindung, um so mehr, je stärker der farbige gegenüber dem farblosen Empfindungsanteil hervortritt. Hiermit hängen unter anderm auch die Helligkeitsänderungen zusammen, die farbige Lichter mit der Änderung von Lichtstärke und Adaptationszustand erfahren, also auch die Erscheinungen des Purkinje'schen Phänomens. Dieses kann nach dem Gesagten nur bei solchen Menschen und Tieren vorkommen, die Farbenempfindung besitzen, während die totale Farbenblindheit unter anderem auch durch Fehlen des Purkinje'schen Phänomens gekennzeichnet ist.

Ich habe in früheren Untersuchungen zum Beispiel für Tagvögel ein ausgesprochenes Purkinje'sches Phänomen durch Spektrumversuche wie auch durch Beobachtung des Pupillenspieles bei farbiger Belichtung nachgewiesen. Andererseits zeigen meine ausgedehnten Messungen an einer grossen Zahl von Wirbellosen und insbesondere auch an Bienen, dass hier, wie beim total Farbenblinden, das Purkinje'sche Phänomen fehlt.

Die Helligkeiten, in welchen ein Lebewesen farbige Lichter sieht, sind sonach für die normale Farbentüchtigkeit, für gewisse Arten von partieller Farbenblindheit (rel. blausichtige Rot-Grünblinde) sowie für die totale Farbenblindheit in ganz charakteristischer Weise verschieden. Der Einfluss der verschiedenen farbigen

1) K. v. Frisch, Der Farbensinn und Formensinn der Biene. Zool. Jahrb., Abt. f. allg. Zool. u. Physiol. d. Tiere, Bd. 35 H. 1 und 2.

Empfindungsanteile auf die Helligkeit der Gesamt-empfindung ist selbstverständlich nur von der Art des farbigen Empfindungsanteils, nicht aber von der Art des eben untersuchten Sehorgans abhängig, also auch unabhängig davon, ob es sich um ein Menschen- oder Tierauge handelt.

Man pflegt, um einem Anfänger zu veranschaulichen, dass $2 \times 2 = 4$ ist, etwa je 2 Äpfel zweimal zusammenzulegen; wollte ein des Rechnens Unkundiger es als unzulässigen „Analogieschluss“ und als eine durch nichts berechtigte „Verallgemeinerung“ eines an Äpfeln gewonnenen Erfahrungssatzes bezeichnen, wenn ich statt der Äpfel etwa Birnen oder Nüsse benütze, so erkennt auch der Laie leicht das Ungereimte eines solchen Einwandes. Viel schlimmer noch ist der Verstoß gegen die Elemente der Logik, dessen v. Frisch sich schuldig macht: Er bestreitet nur mir die Berechtigung zu jenem „Analogieschluss“, bedient sich seiner aber selbst, wo es ihm nur immer passt; gründet er doch seine ganze Annahme einer Rot-Grünblindheit bei Bienen lediglich auf diesen von ihm selbst für unzulässig erklärten „Analogieschluss“. Bei der partiellen Farbenblindheit ist es für v. Frisch selbstverständlich, dass er aus den charakteristischen Merkmalen auf die Art der Farbensinnstörung schliesst; bei der totalen Farbenblindheit ist das gleiche nach ihm eine durch nichts gerechtfertigte Verallgemeinerung.

Er hat nicht bemerkt, dass alles, was er selbst über Farbensinn bei Tieren gefunden zu haben meint, hinfällig wird, sobald er sich auf den hier von ihm vertretenen Standpunkt stellt.

Die Helligkeiten, in welchen Bienen oder Menschen die verschiedenen farbigen Lichter wahrnehmen, sind für ihre Sehqualitäten ganz ebenso charakteristisch, wie zum Beispiel die chemischen Reaktionen für bestimmte Elemente. Die Meinung der Zoologen, ein Tier, das die für totale Farbenblindheit charakteristischen Reaktionen zeigt, könne doch „auch“ Farbensinn haben, wirkt auf den Physiologen nicht anders, als auf den Chemiker die Meinung wirken würde, eine Flüssigkeit, welche die für Wasser charakteristischen Reaktionen zeigt, könne doch „auch“ Öl oder Quecksilber sein.

2. Dressurversuche.

a) Die Dressuren der Zoologen.

Für den Laien haben, wie es scheint, die sogenannten Dressurversuche bei Bienen besonderen Reiz; man pflegt dabei so vorzugehen, dass man den Bienen eine Zeitlang Futter auf einer bestimmten Farbe bietet und danach beobachtet, welche unter verschiedenen Farben von ihnen am häufigsten besucht werden. Ich habe bereits 1912 bei Gelegenheit von Untersuchungen über die Sehqualitäten der Fische die Gesichtspunkte entwickelt, nach welchen derartige „Dressur“-Versuche angestellt werden müssen, um wissenschaftlich verwertbar zu werden, und wies insbesondere darauf hin, dass den Tieren dabei neben den farbigen Flächen solche farblos graue geboten werden müssen, die für ein total farbenblindes Auge gleichen Helligkeitswert haben.

v. Frisch hat später versucht, aus den von mir entwickelten Gesichtspunkten an die Frage nach einem Farbensinne der Bienen heranzutreten. Seinen ersten einschlägigen Versuchen nahm die Nichtberücksichtigung eines möglichen Einflusses des Geruches jede Beweiskraft; ich zeigte dann, wie dieser Fehlerquelle zu begegnen ist, indem ich Methoden entwickelte, bei welchen die benützten farbigen und farblos grauen Flächen unter grossen Glasplatten sichtbar gemacht werden. In seinen späteren Veröffentlichungen schloss v. Frisch sich nunmehr nicht nur in den Grundgedanken, sondern auch in den technischen Einzelheiten meinen Darstellungen an. Seine Protokolle zeigen nunmehr, durchaus in Übereinstimmung mit den von mir seit einer Reihe von Jahren mitgeteilten Befunden, dass die Bienen, für die er früher bereits Rot-Grünblindheit zugegeben hatte, auch sattes Blau und Gelb nicht von Grau, also auch Blau nicht von Gelb unterscheiden können.

Freilich hat er dies selbst nicht bemerkt, versucht er doch noch immer, an seiner Annahme einer wenn auch nur partiellen Farbensichtigkeit der Bienen festzuhalten und sogar die Richtigkeit meiner Befunde zu bestreiten. Aber ein Blick in seine Protokolle und Tabellen zeigt dem Physiologen leicht, dass seine Versuche gerade das Gegenteil von dem beweisen, was er mit ihnen beweisen möchte.

Ich fasse im folgenden das Wesentlichste aus seinen einschlägigen Beobachtungen zusammen, wobei zugleich an einem Beispiel erläutert werden möge, auf welchem Wege auch diese Fragen zahlenmässiger Behandlung zugänglich gemacht werden können.

v. Frisch schreibt auf Grund seiner Dressuren, die Bienen vermöchten ein gesättigtes Blau von Grau zu unterscheiden¹⁾, verwechselten aber dieses gesättigte Blau „völlig“ mit einem für unser Auge nur schwach bläulichen Rot, das ihnen blau, und zwar mit jenem gesättigten Blau „sehr ähnlich oder identisch“ erscheine; anderseits habe ein für uns viel ausgesprochener bläuliches Blaugrün für die Bienen „keine Ähnlichkeit mit Blau“ und werde von ihnen mit Grau verwechselt; dieses angebliche Verhalten der Bienen zeige, so meint er, in allen wesentlichen Punkten Übereinstimmung mit dem eines partiell farbenblinden, und zwar eines „rotblinden“ Menschen (sog. „Protanopen“). Der Physiologe erkennt, in wie schroffem Widerspruche diese Angaben untereinander, wie auch mit elementaren Tatsachen der Farbenlehre stehen; es ist daher auch leicht, zum Beispiel mit der Methode der Kreiselgleichungen, die Unrichtigkeit seiner Annahmen auch durch Messung darzutun.

Man befestige auf dem Farbenkreisel in der üblichen Weise eine kleinere Scheibe (von etwa 10 cm Durchmesser) von dem bläulich-roten²⁾ Papier, das den Bienen mit dem sattblauen „sehr ähnlich oder identisch“ erscheinen soll; hinter dieser kleineren Scheibe, ihr unmittelbar anliegend, mache man drei radiär aufgeschlitzte und ineinandergesteckte grössere Scheiben (von etwa 23 cm Durchmesser) sichtbar, von welchen die eine mattschwarz, die zweite mattweiss ist, die dritte dem zu den Dressurversuchen benützten satten Blau entspricht. Beim Rotieren des Kreisels zeigt also die innere Scheibe für uns die gesättigt bläulich-rote Farbe, der äussere Ring die Mischfarbe aus Schwarz, Weiss und Blau. Man variiere nun die Grösse der Sektoren der drei grösseren Scheiben so lange, bis für einen rotblinden Menschen eine genaue

1) Trotzdem haben Bienen, die nie auf Blau gefüttert worden waren, auch wenn er sie 8 Tage lang auf Grau dressiert hatte, blaue und purpurfarbige Papiere äusserst zahlreich und in viel grösseren Mengen aufgesucht als die grauen, auf die sie „dressiert“ waren! (Vgl. auch Abschnitt 4.)

2) v. Frisch, der bei seinen Tierversuchen anfänglich Glanzpapiere benutzt hatte, ging, nachdem ich die Unzulässigkeit eines solchen Vorgehens dargetan, zum Gebrauche der von mir seit vielen Jahren auch zu meinen vergleichenden Untersuchungen benutzten Hering'schen Farbenpapiere über. Dadurch ist es nunmehr möglich geworden, seine Angaben an den von ihm selbst benutzten Farben mit den Methoden der wissenschaftlichen Farbenlehre zu prüfen und zu widerlegen.

Gleichung zwischen dem bläulichen Rot der inneren Scheibe und dem weisslichen Blau des äusseren Ringes hergestellt ist.

Bei mehreren solchen Versuchen erhielt ich die Gleichung:

$$360^{\circ} \text{ Bläulichrot} = 27^{\circ} \text{ Blau} + 28^{\circ} \text{ Weiss} + 305^{\circ} \text{ Schwarz}^1).$$

Dem normalen farbentüchtigen Auge erscheint diese Mischfarbe fast farblos grau mit einem nur eben merklichen Stich ins Bläuliche. Auch der Rotblinde gibt an, sie erscheine ihm, ebenso wie die innere, für uns satt purpurfarbige Scheibe, nur sehr schwach bläulich.

Nun verfähre man in der gleichen Weise mit dem blaugrünen Papier, für das der Autor, wiederum im Anschlusse an meine früheren Untersuchungen, nunmehr gleichfalls zugibt, dass die Bienen es nicht von Grau unterscheiden können. Ich erhielt für den „Rotblinden“ folgende Gleichung:

$$360^{\circ} \text{ Blaugrün} = 82^{\circ} \text{ Blau} + 89^{\circ} \text{ Weiss} + 189^{\circ} \text{ Schwarz}.$$

Unserem normalen Auge erscheint, ebenso wie dem Rotblinden, diese Mischfarbe ausgesprochen bläulich, das Blau tritt hier merklich deutlicher hervor als in der vorherigen Mischfarbe, die dem Rotblinden mit dem bläulichen Rot gleich erschienen war; mit anderen Worten: der Rotblinde sieht das zu v. Frisch's Dressurversuchen benützte blaugrüne Papier gesättigter blau als das von ihm nahezu farblos grau gesehene bläulich-rote Papier.

Somit hätten seine auf ein gesättigtes Blau dressierten, angeblich „rotblinden“ Bienen in einem für sie nahezu farblosen Grau einen äusserst schwachen bläulichen Ton erkannt, nicht aber das viel stärker ausgesprochene, „gesättigtere“ Blau, obschon dieses dem Dressurblau für den Rotblinden viel ähnlicher ist als das nur eben merklich blauen Ton zeigende bläuliche Rot²⁾.

Die Bienen sollen also ein sehr ungesättigtes, weissliches bzw. grauliches Blau von Grau scharf unterscheiden, während sie es mit einem sehr gesättigten Blau „völlig verwechseln“; dagegen soll ein gesättigteres, schöneres Blau für sie mit diesem Blau keine Ähnlichkeit haben, obschon sie es mit dem ihm viel weniger ähnlichen Grau verwechseln. Das ist natürlich ein Unding.

1) Bei einem zweiten Rotblinden erhielt ich nahezu genau die gleichen Zahlen.

2) Auf Grau dressierte Bienen gehen nach v. Frisch in grossen Mengen auf Blau und Purpur, während Bienen, die er auf das dem Rotblinden deutlich blau erscheinende Blaugrün dressiert hatte, das Blau nicht aufsuchten.

Ganz Entsprechendes konnte ich auch für Gelb nachweisen: Für ein als reines bezeichnetes, in Wirklichkeit aber sehr deutlich ins Gelbe gehendes Rot (s. u.) wird mir wiederum zugegeben, dass die Bienen es nicht von Grau unterscheiden können. Andererseits aber sollen sie ein als Grasgrün bezeichnetes, viel weniger ins Gelbe gehendes Graugrün mit Sicherheit von Grau unterscheiden. Lege ich einem „Rotblinden“ das gelblichrote und das grasgrüne Papier nebeneinander vor, so erklärt er ersteres für deutlich gelber als das Grün. Die in der gleichen Weise wie mit Blau für einen Rotblinden hergestellten Kreiselgleichungen ergaben:

$$360^{\circ} \text{ Rot} = 24^{\circ} \text{ Gelb} + 4^{\circ} \text{ Weiss} + 332^{\circ} \text{ Schwarz.}$$

Der Rotblinde sieht also das von den Bienen mit Grau verwechselte Rot nicht farblos, sondern gelb.

Ersetzte ich nun die kleine rote Kreiselscheibe durch die grasgrüne, liess aber an den grossen Kreiselscheiben die für den Rotblinden dem gelblichen Rot gleiche Mischfarbe, so gab der Rotblinde wiederum an, dass diese letztere für ihn viel deutlicher gelb ist als das Grasgrün.

Wie der Rotblinde die fraglichen beiden Farben sieht, führt sich der Farbentüchtige am eindringlichsten vor Augen, indem er zum Beispiel auf den drei grossen Scheiben die für den partiell Farbenblinden dem Rot entsprechende, auf drei kleinen Scheiben die dem Grasgrün entsprechende Mischung aus Gelb, Weiss und Schwarz herstellt: beim Rotieren sind dann die beiden Gelb unmittelbar aneinandergrenzend sichtbar. Es ergab sich bei zahlreichen solchen Versuchen, dass die für den Rotblinden dem Rot entsprechende Mischung dem Normalen als dunkles Gelb, die dem Grasgrün entsprechende dagegen uns als ein beträchtlich weniger gesättigtes (mehr mit Grau verhülltes), etwas helleres Gelb erscheint. Der Sättigungsunterschied zwischen den beiden Gelb ist für ihn wie für uns sehr deutlich.

Auch hier haben also in v. Frisch's „Dressur“versuchen die Bienen ein sehr ungesättigtes Gelb mit sattem Gelb, dagegen ein beträchtlich gesättigteres Gelb mit Grau verwechselt¹⁾.

1) Eine Zeitlang gab der Autor, im Anschlusse an meine Darstellung, zu, dass die Bienen das Rot des Mohns dunkelgrau oder schwarz sehen; nachdem ich darauf hingewiesen hatte, dass dieses Zugeständnis in Widerspruch mit seiner Annahme einer Rotblindheit der Bienen steht, setzte er an Stelle seiner früheren Angabe eine ganz andere und schrieb, die Bienen sähen den Mohn nicht farblos,

Wenn aber die Bienen einerseits ein weissliches Blau und Gelb mit Grau und anderseits ein noch weisslicheres Blau bzw. Gelb mit gesättigtem Blau bzw. Gelb verwechseln, so ist damit der Beweis erbracht, dass sie auch sattes Blau und Gelb mit Grau und somit auch sattes Blau mit sattem Gelb verwechseln.

In einer früheren Untersuchung habe ich auf Grund meiner eigenen ausgedehnten Beobachtungen an lange Zeit hindurch dressierten Bienen die bis dahin bekannten Angaben über „Bienenendressur“ widerlegen können.

Mit seinen neuen, hier besprochenen Versuchen liefert v. Frisch, ohne es zu bemerken, eine erfreuliche Bestätigung meiner Beobachtungen und bringt nunmehr selbst den Nachweis, dass seine Angaben über Farbensinn der Bienen sämtlich unrichtig sind. Seine eigenen Protokolle lassen ihm nur die Wahl zwischen dem Zugeständnis, dass seine Bienen überhaupt nicht dressiert, oder aber, dass sie total farbenblind waren.

Für die Beantwortung der Frage, was die „Bienenendressuren“ des Autors etwa zu leisten vermögen, sind auch folgende Tatsachen von Interesse.

Wenn man Bienen zwei beliebige farbige oder farblose Flächen sichtbar macht, so lässt sich, sobald der Helligkeitswert der Flächen für das total farbenblinde Menschenauge bekannt ist, nach den von

sondern als sehr dunkles Gelb. Während er früher meinte, es möge sein, dass beim Mohn die Farbe keine Bedeutung habe (und doch vertritt er gleichzeitig die Behauptung, die Blumenfarben seien um der Insekten willen da), meint er jetzt, der Farbe dürfte hier keine „grosse“ Bedeutung zukommen, auch als dunkle Blüte sei die Mohnblüte noch auffallend genug. Das Mohnrot sollen die Bienen in der Mehrzahl der Versuche richtig aus einer Reihe grauer Papiere herausgefunden haben, doch kam es auch noch mehrmals auf Dunkelgrau und Schwarz zur Klumpenbildung. Das von ihm benutzte „grasgrüne“ Papier enthält viel weniger Gelb als das mohnrote, und doch sollen die Bienen dieses Grasgrün nach kurzer Dressur mit Sicherheit aus den grauen Papieren herausgefunden haben. Also auch hier, wie beim Blau, wird zugegeben, dass die Bienen ein verhältnismässig gesättigtes Gelb mit Grau verwechseln, obschon sie viel weniger gesättigtes Gelb von Grau sicher unterscheiden sollen, und sie sollen einerseits das ungesättigte Gelb im Grasgrün mit gesättigtem Gelb verwechseln, andererseits das viel gesättigtere Gelb in einem leicht gelblichen Rot, ja zum Teile sogar im Mohnrot mit Grau verwechseln!

mir entwickelten Methoden mit mathematischer Bestimmtheit voraussagen, wie die (dressierten oder nicht dressierten) Tiere sich zu diesen farbigen Flächen verhalten werden. Dagegen ist das Verhalten der „dressierten“ Bienen gegenüber diesen Flächen nach v. Frisch's Dressurprotokollen unberechenbar: auf Hellgrau dressierte Bienen gingen stark auf Dunkelgrau, blaue und purpurfarbige Flächen wurden nicht nur von blaudressierten, sondern auch von graudressierten Bienen in sehr grossen Mengen besucht; auf Blau dressierte Tiere gingen besonders zahlreich auf Purpur, besuchten aber gelegentlich auch sehr dunkles Grau, sehr helles Grau und Gelb, „offenbar zufällig“ auch Grün in grossen Mengen; auf Grasgrün dressierte Bienen gingen „aus unbekanntem Grunde“ in grossen Mengen auf Blau usw.

Macht man nach der von mir früher geschilderten Methode der gleichzeitigen Belichtung von zwei einander gegenüberliegenden Seiten her frisch vom Stocke geholten Bienen einerseits eine frei blaue, anderseits eine purpurfarbige Fläche sichtbar, wie sie bei v. Frisch's Dressuren benützt und nach ihm von den dressierten Bienen „völlig verwechselt“ wurden, so zeigt sich, dass nichtdressierte Bienen diese Flächen niemals verwechseln, sondern stets lebhaft nach der blauen Fläche eilen, die für den total Farbenblinden einen wesentlich grösseren Helligkeitswert hat als die purpurfarbige. Meine früher mitgeteilten Messungen lehren, wie kleine Lichtstärken- bzw. Helligkeitsunterschiede farblos grauer Flächen von nichtdressierten Bienen mit Sicherheit wahrgenommen werden. Dagegen zeigen zahlreiche Dressurversuche v. Frisch's übereinstimmend, dass seine dressierten Bienen auch bei viel grösseren Helligkeitsunterschieden grauer Papiere vollständig versagen. Schon diese wenigen Beispiele, die leicht beliebig vermehrt werden können, lehren, dass bei Benutzung farbiger wie farbloser Reizlichter dressierte Bienen nicht imstande sind, auf Helligkeits- bzw. Farbenunterschiede zu reagieren, die von nichtdressierten Tieren augenblicklich mit voller Sicherheit wahrgenommen werden¹⁾.

1) Ein Münchener Zoologe schreibt über meine Untersuchungen unter anderem, sie litten „an dem grossen Mangel, dass sie aus der Studierstube eines Gelehrten stammen und nicht aus der Werkstätte der Natur. Wo Hess gezwungen ist, Nachprüfungen durch freie Dressurexperimente zu machen, gelingen sie ihm nach seinem eigenen Eingeständnis nicht, obwohl er das Misslingen anderen Ursachen zuschreibt“.

b) Eigene Dressurversuche.

Da v. Frisch, wie wir sahen, auch neuerdings wieder mit den von mir entwickelten Methoden, deren auch er sich nunmehr bedient, Ergebnisse erzielt zu haben meint, aus welchen er auf Farbensinn bei Bienen schliessen möchte, und da nicht nur Laien in seinen Angaben noch eine Stütze für diese übliche Annahme sehen, so sei im folgenden zur Beurteilung der Dressurfrage etwas ausführlicher ein besonders einfaches Verfahren geschildert, das jeder Bienenliebhaber unschwer üben kann, und das leicht zu eindringlichen Ergebnissen führt:

Eine quadratische Glasplatte von 24 cm Seitenlänge wird mit blauen und gelben quadratischen Tuchstücken von 6 cm Seitenlänge so beklebt, dass ein Schachbrettmuster von sechzehn unmittelbar aneinander grenzenden Feldern entsteht¹⁾. Diese Platte wird unter einer etwas grösseren Glasscheibe sichtbar gemacht, die an den vier Ecken mit etwa $\frac{1}{2}$ cm hohen Füsschen versehen ist, so dass das Schachbrett an einem passend angebrachten Griffe bequem unter der Glasplatte verschoben werden kann (s. Fig. 1 u. 2). Die kleine Vorrichtung wird auf ein passendes Brett am Fenster des Arbeitszimmers, etwa 100 m vom Bienenstocke entfernt, aufgestellt. Man beginnt nun mit der „Dressur“, zum Beispiel auf Gelb, indem man die Bienen genügend lange Zeit — ich „dressierte“ meine Tiere zum Teil 6 Wochen lang auf eine bestimmte Farbe — von kleinen und grossen gelben Feldern füttert, über welchen Zuckerwasser²⁾

1) Das farbige Tuch ziehe ich hier vor, weil seine sehr lebhaften, satten Farben viel lichtbeständiger sind als die der farbigen Papiere; selbst bei wochenlangen Versuchen im Sonnenschein bleichen sie kaum nennenswert aus und sind auch gegen Schmutz und Feuchtigkeit viel weniger empfindlich als die Papiere.

2) Schon in meinem ersten Berichte über Dressurversuche hob ich ausdrücklich hervor, dass ich meine Fütterungen „ausser mit Honig auch mit Zuckerwasser“ mit gleichen Ergebnissen vorgenommen habe. Auch hier wird meine Darstellung von v. Frisch fortgesetzt unrichtig wiedergegeben, was um so bedenklicher ist, als gerade ich zuerst auf die Notwendigkeit hingewiesen hatte, bei den Dressurversuchen dem Geruchssinne der Bienen Rechnung zu tragen, was v. Frisch bis dahin versäumt hatte (s. o.). War doch auch die Methode der Versuche unter Glas von mir eben im Hinblick auf diesen Fehler des Autors entwickelt worden. Trotzdem er meinen Arbeiten auch dieses Verfahren entlehnt und nunmehr, wiederum in Anlehnung an meine Darstellung, zugibt, dass bei Versuchen, die nicht unter Glas angestellt werden, der Geruchssinn entscheidend mitspielen kann, veröffentlicht er doch wieder lange Versuchsreihen, die ohne diese Vorsichtsmaassregel angestellt und also schon deshalb für die Farbensinnfrage zugestandenermaassen wertlos sind.

in passenden Schälchen oder in Form kleinerer und grösserer Tropfen auf der Glasplatte sichtbar ist. Ist längere Zeit ausschliesslich auf Gelb gefüttert und Sorge getragen, dass die Tiere dort beständig Nahrung finden, also nach der üblichen Ansicht auf Gelb „dressiert“ sind, so beginnen die Versuche.

Die Bienen kommen in grossen Scharen zu den Schälchen bzw. Tropfen und sammeln sich auch hier wieder, wie ich dies schon früher beschrieb, in der Weise, dass sie zunächst eine Zeitlang suchend hin und her fliegen, bis sich eine an eine Stelle des Schälchenrandes setzt; nun dauert es nicht lange, bis eine zweite und dritte herankommt, und diese neuen Bienen fliegen, was von früheren Beobachtern nicht erwähnt, aber nicht unwesentlich ist, fast immer direkt auf die erste zu und setzen sich neben, oft auf diese. So sieht man nicht selten einen Klumpen von 10—12 Stück aufeinander sitzender Bienen, während der ganze übrige Rand des Schälchens bzw. Tropfens frei ist. Hat man nun auf einige gelbe Quadrate Nahrung gegeben, auf andere dagegen nur leere Schälchen, so gehen die Bienen nur zu den gefüllten bzw. mit Tropfen versehenen Flächen. Wird eine reine Platte ohne Zuckerwasser aufgelegt, so gehen die Bienen niemals auf gelbe Flächen usw., was insbesondere im Hinblick auf die Angabe v. Frisch's erwähnt sei, 1—2 Tage von einem blauen bzw. gelben Papier gefütterte Bienen flögen sogar auf blaue Jacken und gelbe Bleistifte¹⁾. In anderen Versuchsreihen ging ich so vor, dass ich

1) Ich hatte bemerkt, man könne dem an biologisches Beobachten und Denken Gewöhnten „doch unmöglich zumuten, zu glauben, bei so hoch entwickelten und sonst so zweckmässig organisierten Wesen, wie es die Bienen sind, hätte sich die so unzweckmässige, ja schädliche Eigentümlichkeit entwickelt, dass die Tiere, wenn sie einmal einen oder zwei Tage auf einem vorwiegend blauen oder gelben Blütenfelde Nahrung gefunden haben, nunmehr auf alle vorwiegend blauen oder gelben Gegenstände fliegen, auch wenn diese ihnen keinerlei Nahrung bieten und mit ihren natürlichen Honigspendern, den Blüten, so wenig Ähnlichkeit haben wie Jacken und Bleistifte“. Dazu schreibt nun v. Frisch: „ich habe diese absurde Behauptung nicht aufgestellt“. Es genüge demgegenüber die Feststellung, dass er auch heute noch ausdrücklich die Behauptung vertritt, seine 1—2 Tage auf ein gelbes bzw. blaues Stück Papier „dressierten“ Bienen seien nachher, lediglich der Farbe wegen, auf gelbe Bleistifte und blaue Jacken geflogen und hätten, wenn sie auf dem Dressurtisch keine Nahrung fanden, in auffallender Weise blaue Kleider, Krawatten und Hutbänder der Zuschauer umschwärmt! Auf Grund seiner Beobachtungen an Jacken und Bleistiften betonte er 1913, es gehe daraus hervor, „dass die dressierten Bienen der Farbe nachgingen unabhängig

nach einer durch viele Tage fortgesetzten Dressur durch leichtes Klopfen auf die Unterlage die Bienen zum Aufschwärmen brachte, sie flogen dabei meist nur 1—2 cm hoch über der Fläche hin und her; nun änderte ich rasch die Unterlage durch Verschieben des Schachbrettes, so dass das Zuckerwasser, das bis dahin über gelben Feldern sichtbar war, über blaue zu liegen kam, oder ich brachte neue Schälchen auf blaue Felder oder schob eine neue, ganz reine Glasplatte über das Muster usw. Ich machte das Zuckerwasser bald in gleicher Weise auf allen blauen und gelben Feldern, bald nur auf einem Teile derselben sichtbar, während andere leer blieben, usw. Die Bienen, die noch bis vor wenigen Sekunden seit vielen Tagen dauernd von Gelb gefüttert, also viel ausgiebiger auf Gelb dressiert waren, als es je bei v. Frisch's Versuchen der Fall war, flogen nun sofort, ohne zu zögern, auf die blauen Flächen, ganz so, wie sie vorher auf die gelben gegangen waren. Bei genügend lange fortgesetzter Wiederholung solcher immer aufs neue abgeänderter Versuche überzeugt man sich leicht, dass die Bienen, auch wenn sie wochenlang ausschliesslich auf Gelb Nahrung bekommen hatten, nicht die geringste Neigung zeigen, die gelben Felder mehr aufzusuchen als die blauen, oder gar sich, wie behauptet wird, auf leeren gelben Feldern zu sammeln und die benachbarten blauen, auch wenn auf ihnen Zuckerwasser geboten wird, zunächst ganz unbeachtet zu lassen.

Nach v. Frisch sollen die Bienen die blauen und gelben Felder an der Farbe erkennen, und doch hat er selbst den Nachweis erbracht, dass sie Gelb und Blau weder voneinander noch von Grau unterscheiden können (s. o.).

Wie ausschlaggebenden Einfluss v. Frisch der „Dressur“-farbe zuschreibt, geht auch aus folgender Angabe hervor: Wenn sich ein Bienenknäuel über dem Dressurblau gebildet hatte, verschob er die Glasplatte samt den Bienen vorsichtig so, dass der Bienen-

von den Geruchsqualitäten und auch von der Form der Gegenstände“. In dem gleichen Jahre vertritt er aber auch die Meinung, „dass für die Bienen beim Blumenbesuch auch die Anordnung der Farben in den Blumen (bei mehrfarbigen Blüten), vor allem aber auch die Form der Blüte eine wesentliche Rolle spielt“. Er glaubt den Widerspruch mit seinen Angaben über Besuch von Jacken und Bleistiften verkleinern zu können, indem er nachträglich (1914) die Angabe macht, „dass dies nur dann geschah, wenn sie auf dem Dressurtisch kein Futter vorfanden, und dass sich auch dann nur die Minderzahl der Bienen so benahm“.

knäuel auf ein graues Papier kam. Binnen $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Minute habe sich dann der Knäuel aufgelöst, und auf dem Blau sei ein neuer entstanden, obschon auf ihm keine Nahrung zu holen war. Im Hinblick darauf stellte ich unter anderem folgende Versuche an, bei welchen selbstverständlich jede Erschütterung der Bienen, wie sie bei v. Frisch's Anordnung unvermeidlich ist, auszuschliessen war.

Hat sich einmal über einem gelben Felde eine grössere Zahl „auf Gelb dressierter“ Bienen gesammelt, und verschiebt man das Schachbrett unter der unberührt gelassenen Platte so, dass nunmehr ein blaues Feld unter den Bienenhaufen zu liegen kommt, so stört das die Tiere nicht im geringsten, sofern die Verschiebung unter Vermeidung jeder Erschütterung der Glasplatte erfolgt.

Besonders eindringlich erscheint auch die folgende, von mir oft gemachte Beobachtung. Auf der Glasplatte ist über der gelben Fläche an einer grossen Lache Zuckerwasser eine dicht gedrängte Bienenschar versammelt; die Tiere saugen unermüdlich, so dass die Lache allmählich kleiner wird; in dem Augenblicke, in dem der letzte Rest aufgesogen ist, fliegt die ganze Schar, die hier schon tagelang und bis zum letzten Augenblicke so reichlich Nahrung gefunden hatte, auf, und es kehrt keine zu dieser gelben Fläche zurück, wohl aber zu anderen, auch andersfarbigen, sofern sie hier Zuckerwasser finden. Einmal glaubte ich wahrzunehmen, eine grössere Zahl auf Gelb dressierter Bienen sei auf eine leere gelbe Fläche geflogen, was also bei oberflächlicher Betrachtung etwas wie Dressur hätte vortäuschen können; bei genauerem Hinsehen zeigte sich, dass die Platte an einer Stelle mit einer Spur Zuckerwasser beschmutzt war; die Bienen waren damit in wenigen Sekunden fertig, flogen dann sofort auf und kehrten nicht mehr zu dieser ihrer „Dressurfarbe“ zurück. Derartige Befunde, deren Zahl ich leicht vermehren könnte, zeigen, dass es eben auch hier nicht genügt, ab und zu einmal eine Zeitlang den Bienen zuzuschauen, sondern dass man sich die Mühe nicht verdriessen lassen darf, wochenlang immer und immer wieder lange Zeit ununterbrochen die Tiere sorgfältig zu beobachten, wenn man ihr Verhalten gegenüber farbigen und farblosen Lichtern gründlich kennen lernen will.

Ähnliche Versuche wie die oben für Blau und Gelb geschilderten habe ich häufig auch mit einem grösseren Schachbrettmuster aus 36 weissen und schwarzen Feldern von je 6 cm Seitenlänge vorgenommen. Ich fand nach lange fortgesetzter Fütterung von Weiss

nicht, dass die „auf Weiss dressierten“ Bienen weisse Felder vor den schwarzen bevorzugten. Nachstehende Photographien (Fig. 1 und 2),

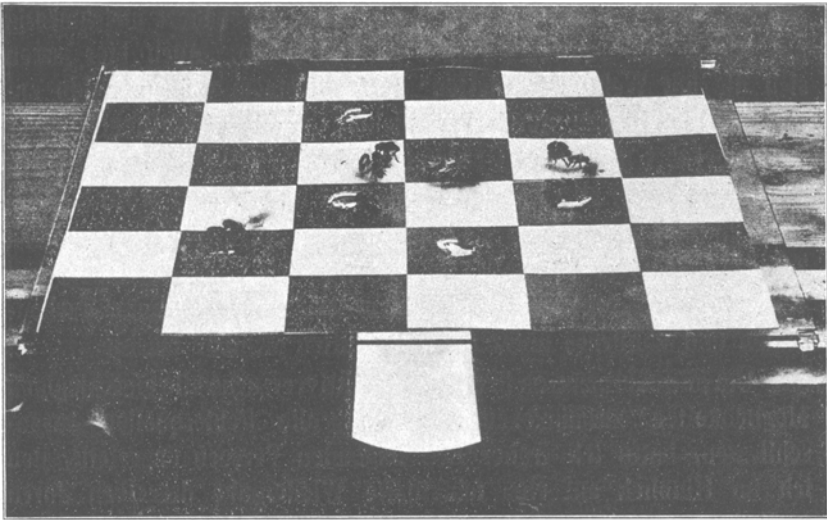


Fig. 1.

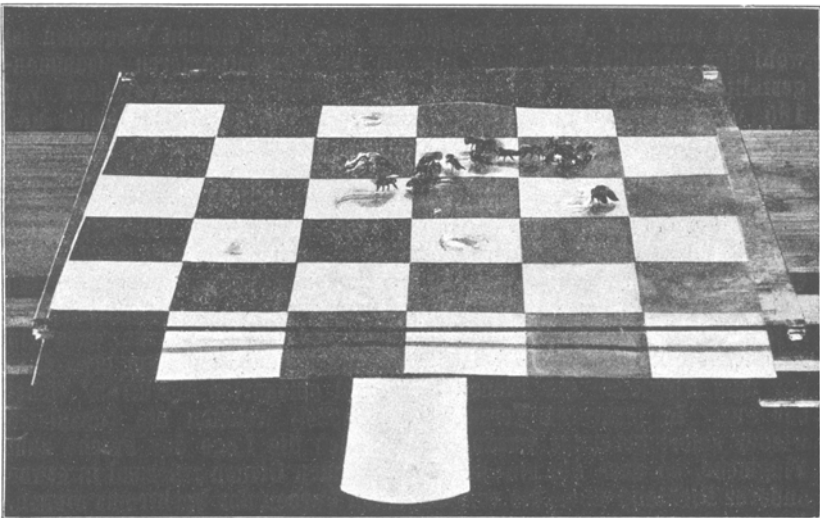


Fig. 2.

die kurz nacheinander (in Zwischenräumen von 1—2 Minuten) an dem gleichen Schachbrettmuster bei verschiedener Stellung desselben zu der darüber liegenden Glasplatte aufgenommen sind, mögen zur

Veranschaulichung der Methode dienen. Man sieht auf der Glastafel Zuckerwassertropfen auf weissen und schwarzen Feldern; die Bienen waren eine Reihe von Tagen hindurch auf Weiss „dressiert“ worden, haben sich aber, wie man sieht, angenähert gleichmässig auf weisse und schwarze Felder niedergelassen. Auch hier lassen sich die auf Weiss „dressierten“ und auf einem weissen Felde angesammelten Bienen durch Verschieben der Schachbrettfelder unter der unberührt gelassenen Glastafel nicht im geringsten stören, sie bleiben ruhig sitzen, wenn der Grund unter ihnen schwarz wird.

Die hier mitgeteilten sind nur einige wenige aus einer grossen Zahl einschlägiger Versuche, bei welchen ich statt des blaugelben Schachbrettes gelegentlich auch andere farbige Gegenstände, Farbenskalen und ähnliches unter den Glasplatten sichtbar machte.

Um gewissermaassen in einem Kollektivversuche alle einschlägigen Möglichkeiten zusammenzufassen und alle Fehlerquellen auszuschliessen, hatte ich früher den folgenden Versuch angestellt, den ich im Hinblick auf eine fehlerhafte Wiedergabe desselben durch v. Frisch, sowie auf unzulässige Folgerungen, die er daraus zog, hier kurz besprechen muss.

Ich schrieb: „Der eindringlichste von allen meinen Versuchen ist wohl der folgende: Ich hatte mir ein aus Pigmentpapieren zusammengestelltes ‚Spektrum‘ verschafft, das durch Aneinanderreihen von 185 verschiedenen farbigen Papierstreifen von je 1 cm Breite und 30 cm Höhe gebildet war und in fast kontinuierlichem Übergang alle Farben vom äussersten Rot bis zum äussersten Violett in solcher Ausdehnung zeigte, dass zum Beispiel die vorwiegend blauen Streifen eine etwa 40 cm breite Partie bildeten. Das Ganze war auf schwarzem Grunde sichtbar und, von einem breiten weissen Rande eingefasst, unter einer über 2 m breiten und 50 cm hohen Glasplatte gerahmt. Ich zog nun mit einer honiggefüllten Pipette einen langen Strich entsprechend der Mitte der Farben über die Glasplatte, so dass ein langer, überall gleichmässig breiter Streifen Honig auf dem etwa 2 m vor dem Flugloche der Bienen horizontal gelagerten ‚Spektrum‘ sichtbar war. In mehreren Versuchen, zwischen welchen die Glasplatte wieder sofort gereinigt wurde, änderte ich die Lage der Fläche zum Flugloche, so dass die ein- und ausfliegenden Bienen jedesmal in etwas anderer Richtung über die verschiedenen Farben des Spektrums gingen. Hätten die durch 3 Tage auf Blau dressierten Bienen nur die geringste Neigung gehabt, das Blau irgend zu bevorzugen, so hätte dies bei der hier gewählten Versuchsanordnung notwendig zum Ausdruck kommen müssen. Nichts davon war der Fall; die gezeichneten Bienen flogen regellos bald zu dieser, bald zu jener Farbe des Spektrums“ usw.

Entsprechende Versuche stellte ich mit Bienen an, die ich 3 Tage auf Gelb dressiert hatte; auch sie zeigten nicht die geringste Neigung, sich auf der Dressurfarbe in grösserer Zahl niederzulassen als auf einer anderen.

Der Versuch verfolgt, wie man sieht, die Aufgabe, den auf eine bestimmte Farbe dressierten Bienen alle möglichen Farben unter ganz gleichen äusseren Bedingungen sichtbar zu machen, damit eine etwaige Verschiedenheit der Anziehungskraft der verschiedenen Farben, wie sie nach Meinung der Zoologen durch die Dressur herbeigeführt werden soll, klar zum Ausdruck komme.

v. Frisch versucht zunächst die Verwendung von Honig als einen „Fehler“ bei meinen Versuchen hinzustellen; aber erstens erwähnt er nicht, dass ich alle meine Versuche, wie in meiner Arbeit ausdrücklich hervorgehoben ist, nicht nur mit Honig, sondern mit dem gleichen Ergebnisse auch mit dem von ihm benutzten Zuckerwasser angestellt habe (s. o.), wodurch allein schon sein Einwand hinfällig ist; zweitens scheint er ganz übersehen zu haben, dass es gerade bei meiner Versuchsanordnung gleichgültig ist, welches Lockmittel auf die verschiedenen Farben gebracht wird, falls nur überall das gleiche in gleicher Form und gleicher Menge sich befindet, weshalb ich dieses ja eben in Form einer gleichmässigen Linie über alle Farben ausstrich; endlich nimmt er ohne genügenden Grund an, dass das Zuckerwasser, weil es uns geruchlos erscheint, auch für die Bienen keinen Geruch habe.

Er selbst gibt an, wenn er blauredressierten Bienen eine Fläche geboten habe, auf der ein blaues Quadrat mit leerem Uhrgläschen und in nächster Nähe auf zahlreichen grauen Quadraten zuckerwasserhaltige Gläschen sichtbar waren, hätten sich die Bienen „scharenweise“ auf das leere Schälchen auf dem Blau gestürzt und die gefüllten in nächster Nähe auf dem Grau „zunächst ganz unbeachtet“ gelassen. Um so mehr hätten dann bei meinem Versuche die blauredressierten Bienen sich auf dem Blau sammeln müssen, da sie doch auch hier reichlich Zuckerwasser fanden; man überzeugt sich aber leicht, so oft man den Versuch auch wiederholen mag, dass die Bienen sich niemals auf Blau früher oder in grösserer Zahl niederlassen als auf den anderen, unter gleichen Bedingungen gebotenen Farben.

Einen zweiten „Fehler“ meiner Versuchsanordnung sucht der Autor darin, dass ich „den Bienen stets bei den Versuchen andere Gegenstände vorgesetzt“ haben soll als bei der Dressur. Hier scheint

er erstens zu übersehen, dass dies ja gerade im Sinne seiner Anschauung geschehen ist und um von seinem Standpunkte die Bedingungen für ein Gelingen der Dressur auf die betreffende Farbe möglichst günstig zu gestalten: wenn ich tagelang die Nahrung nur auf blauen Papieren, blauem Enzian, künstlichen blauen Kornblumen und blauem Flanell biete, so muss, von seinem Standpunkte, für die Bienen doch erst recht eindringlich werden, dass Nahrung nur auf blauen Gegenständen zu finden ist. Sollen doch die Bienen, wie er selbst uns versichert, wenn sie auf dem Dressurtische kein Futter fanden, lediglich um der Dressurfarbe willen sogar von ähnlich gefärbten Krawatten, Bleistiften, Jacken, Hutbändern und Kleidern angelockt worden sein, auch wenn sie nur auf ein Stück farbiges Papier dressiert worden waren. Nun schreibt er aber: „Die lange schwarze Tafel mit dem Spektrum, die den Bienen in dem oben besprochenen Versuche vorgesetzt wurde, ist ihnen gänzlich fremd, was ein Stutzen und Zögern zur Folge haben musste und so die Entdeckung des überall gebotenen Honigs begünstigte.“ (Von dem vom Autor hier angenommenen „Stutzen und Zögern“ liessen meine Bienen nichts erkennen.)

Er scheint zu übersehen, dass meine Dressur ja auch auf blaue Papiere und Flanellstücke, also doch sehr ähnliche Gegenstände erfolgte, wie jene, die dann zum Versuche dienten; seine Angabe, ich hätte „stets andere Gegenstände“ zum Versuche benutzt als zur Dressur, ist also unrichtig. Und ist denn der Unterschied zwischen dem Stück Papier und der Dame mit Hutband oder dem Herrn mit Krawatte bei seinen Versuchen so viel kleiner als der zwischen Papier und Papier oder zwischen dem Stück Flanell und dem Papier bei den meinen? Dort umschwärmten die Bienen, wenn sie auf dem Dressurtische kein Futter fanden, die Damen und Herren mit blauen Krawatten und Hutbändern trotz der grossen Verschiedenheit dieser Gegenstände vom Dressurobjekt, und trotzdem sie auf ihnen kein Futter fanden, nach v. Frisch lediglich der Farbendressur wegen; hier, bei meinem Versuche, hätten sie sich auf dem blauen Papiere nicht gesammelt trotz der grossen Ähnlichkeit mit den Dressurobjekten, trotz der gleichen Farbe und trotzdem sie auf ihr reichlich Nahrung fanden! Dabei hat er selbst den Nachweis erbracht, dass seine Bienen die Krawatten und Hutbänder sicher nicht um ihrer Farbe willen umschwärmten, da sie dieses Blau, wie er zeigt, weder von Grau noch von Gelb unterscheiden können.

Somit ist auch die von mir vorgeschlagene Methode am „Spektrum“ gut geeignet, zu zeigen, dass v. Frisch's Angaben über Farbensinn der Bienen sämtlich unrichtig sind.

Die oben nur kurz geschilderte „Schachbrettmethode“ hat neben ihrer Einfachheit und leichten Anwendbarkeit auch den Vorzug, dass sie ermöglicht, die Beobachtungen unter mannigfachsten Abänderungen der Versuchsanordnung vorzunehmen, von welchen ich im vorstehenden nur einige wenige kurz angedeutet habe.

Ich hätte meine Beobachtungen über das Verhalten der Bienen bei Änderung der Farbe des Grundes nicht so ausführlich geschildert, wenn nicht auch Doflein die Angaben v. Frisch's ausdrücklich als richtig bezeichnet hätte. Das Vorkommnis ist ein lehrreiches Beispiel dafür, in wie hohem Grade althergebrachte Vorstellungen die Beobachtung auch verhältnismässig einfacher und leicht zu überblickender Vorgänge erschweren können¹⁾. In welchem Umfange solches nicht nur bei Einzelnen, sondern selbst bei einer grossen Versammlung ausgezeichneter Forscher der Fall sein kann, lehren die im vierten Abschnitte dieses Aufsatzes besprochenen Versuche.

Auch die Lehre von „Lieblingsfarben“ der Bienen gehört zu diesen Beispielen. Trotz meiner eingehenden Widerlegungen dieser früher verbreiteten Annahme vertritt Doflein noch immer die Meinung, die Bienen hätten eine „Vorliebe“ für Rot; nun haben aber selbst meine hartnäckigsten Gegner mir bereits zugegeben, dass die Bienen Rot nicht wahrnehmen, es vielmehr mit Dunkelgrau bzw. Schwarz verwechseln. Somit hätten die Bienen eine

1) Ein weiteres interessantes Beispiel hierfür bietet die Lehre vom Lichtsinne der Fische. Die übliche Annahme eines Farbensinnes der Fische sucht v. Frisch unter anderem durch die Angabe zu stützen, alle Ellritzen färbten sich auf gelbem Grunde gelb, diese Gelbfärbung gehe auf farblosem Grunde wieder zurück. Ich habe früher eingehend gezeigt, in welcher Weise solche Versuche angestellt werden müssen, um wissenschaftlich verwertbar zu sein und, insbesondere unter Hinweis auf die grossen individuellen Verschiedenheiten der Färbungen und Färbungsänderungen der Ellritze, betont, dass man nur durch eine grosse Anzahl von lange fortgesetzten Beobachtungsreihen ein klares Bild bekommen und durch Zufälligkeiten bedingte Täuschungen vermeiden könne. Trotzdem hat R. v. Hertwig auf Grund der Teilnahme an einem einzigen (!) verwertbaren und an zwei weiteren, infolge zugestandener Versuchsfehler wertlosen Versuchen v. Frisch's die Richtigkeit jener Angaben bestätigt, deren Unrichtigkeit für den aufmerksamen Beobachter so leicht und eindringlich festzustellen ist.

Vorliebe für eine von ihnen gar nicht wahrgenommene Farbe, und die bunten Farben der Blüten hätten sich entwickelt, obschon die Bienen eine Vorliebe für farbloses Grau haben sollen! Von anderer Seite wird im Gegensatz zu Doflein die Meinung vertreten, „die schwarze Farbe erzürne die Bienen, weil instinktive Erinnerungen auftauchen an den Feind von jeher, nämlich den (schwarzen) Bären“. Ich würde auch dies nicht erwähnen, wenn nicht ein so geschätzter Bienenbiologe, wie v. Buttel-Reepen, meinte, diesen „Erfahrungen“ sei nach seinen eigenen Erlebnissen „eine Berechtigung nicht abzusprechen“. Dass von einem „Erzürnen“ der Bienen durch schwarze Farbe ebensowenig die Rede sein kann wie von einer „Vorliebe“ für sie, bedarf heute wohl keines besonderen Nachweises mehr.

3. Messende Versuche über Entwicklung und Umfang der Dunkeladaptation bei den Bienen.

Von befreundeter Seite wurde gesprächsweise die Frage an mich gerichtet, ob es nicht möglich sei, etwas über die Adaptationsvorgänge im Bienenauge zu erfahren. Ich schildere daher im Folgenden ein

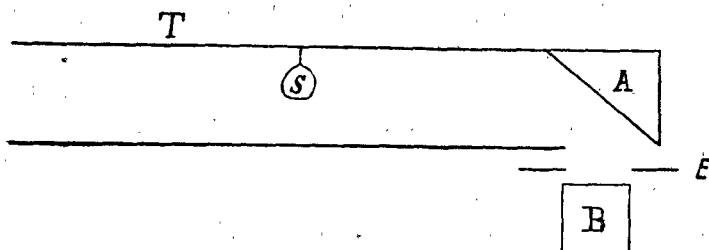


Fig. 3.

einfaches Verfahren, mit dessen Hilfe die einschlägigen Fragen auch messend verfolgt werden können; ich habe es in ähnlicher Weise zur Untersuchung des Lichtsinnes bei Wirbellosen mehrfach herangezogen.

Im Innern eines 3 m langen, innen mattschwarzen, in einem Dunkelmzimmer mit schwarzen Wänden aufgestellten Tunnels *T* ist eine fünfkerzige Mattglasbirne *S* messbar verschieblich, welche die am einen Tunnelende unter einem Winkel von 45° aufgestellte mattweisse Fläche *A* beleuchtet (Fig. 3). Dieser Fläche gegenüber befindet sich in der Tunnelwand ein quadratischer Ausschnitt, das durch ihn austretende, von der weissen Fläche zurückgeworfene Licht trifft

den Glasbehälter *B* mit den Bienen. Es werden nun in vielen verschiedenen Versuchsreihen mit verschieden lange hell bzw. dunkel gehaltenen Tieren durch Verschieben der Lampe jeweils die kleinsten Lichtstärken aufgesucht, die noch eben merkliche Ansammlung der Tiere auf der dem Lichte zugekehrten Seite ihres Behälters herbeiführen. Wenn zum Beispiel bei Bienen, die einige Zeit an der Sonne gestanden hatten und dann möglichst rasch vor den Behälter gebracht werden, also nur momentan bzw. möglichst kurz dunkeladaptiert sind, die Lampe auf 30 cm herangeschoben werden muss, um merkliche Ansammlung der Tiere herbeizuführen, während nach Dunkelaufenthalt von einigen Minuten auch bei einem Lampenabstande von 3 m noch deutliche Ansammlung erfolgt, so hat die Lichtempfindlichkeit der Bienen in dieser Zeit um etwa das 100fache zugenommen. Um die Lichtstärken noch weiter herabzusetzen, stellte ich vor dem Tunnelausschnitte bei *E* einen elektrisch betriebenen Episkotister mit messbar veränderlichem Ausschnitte auf. In einer grösseren Reihe solcher Versuche konnte ich feststellen, dass die Lichtempfindlichkeit meiner Bienen beim Übergange aus dem Hellen ins Dunkle zunächst verhältnismässig rasch, weiterhin langsamer zunimmt und schon nach Dunkelaufenthalt von 15—20 Minuten um mehr als das 500fache bis zum 1000fachen grösser ist als unmittelbar nach dem Eintritte aus dem Hellen ins Dunkle.

Zur Ansammlung auf der dem Lichte zugekehrten Behälterseite genügen bei länger dunkel gehaltenen Bienen überraschend kleine Lichtstärken, so dass die Beobachtung der Tiere ohne besondere Hilfsmittel schwer ist; damit ihre Dunkeladaptation durch die Beobachtung möglichst wenig gestört wurde, bediente ich mich (da das Rot für die Bienen nur äusserst geringen Helligkeitswert hat) eines kleinen mit rubinrotem Glase versehenen Taschenlämpchens und brachte dieses jeweils nur für Bruchteile einer Sekunde zum Glühen, wobei ich es so weit entfernt von den Bienen hielt, dass ich die Tiere eben noch genügend beobachten konnte. Um anderseits möglichst ausgiebige Helladaptation herbeizuführen, stellte ich in einem Teile meiner Versuche den Glasbehälter mit den Bienen an die Sonne, in anderen liess ich ihn an Ort und Stelle vor dem Tunnel und brachte einen Nernst-Faden unmittelbar an der Glaswand zum Glühen. Es ist von biologischem Interesse, dass selbst lange dunkeladaptierte und entsprechend lichtempfindliche Bienen sofort auf diese enorm helle Lichtquelle zulaufen, so dass sie schon nach wenigen Sekunden sich

in Scharen kaum 1 cm von dem glühenden Faden entfernt tummeln; sie laufen dann in nächster Nähe des Fadens hin und her, oft eine kleine Strecke weit weg ins Dunkle, kehren dann wieder um und eilen aufs neue dem weissglühenden Faden zu. Bei Benützung grosser Glasbehälter ($20 \times 10 \times 10$ cm) konnte ich solche Versuche oft $\frac{1}{2}$ Stunde und noch länger nach Entnahme aus dem Stock durchführen, danach erfolgte wieder das früher von mir beschriebene Festsetzen der Tiere an einer Stelle (oft mit heftigem Flügelschwirren). Sie reagierten dann überhaupt nicht mehr auf Lichtstärkenunterschiede und waren also für weitere Beobachtungen unbrauchbar.

4. Die Vorführung dressierter Bienen beim Freiburger Zoologentag.

Besonderen Eindruck scheinen in weiteren Kreisen die „Dressur“-versuche gemacht zu haben, die v. Frisch 1914 dem Freiburger Zoologentage vorführte¹⁾. Doflein schreibt²⁾, v. Frisch habe „die sämtlichen bei Gelegenheit des Kongresses versammelten Zoologen und Physiologen von der Richtigkeit seiner Annahme zu überzeugen vermocht“, und Stellwaag³⁾ meint, die Auffassung von K. v. Frisch werde von namhaften Zoologen geteilt, und „der Zoologenkongress 1914, auf dem v. Frisch seine Experimente vorführte, drückte seine Befriedigung aus, dass die alte Lehre von den Wechselbeziehungen der Blumenfarben und Insekten, die durch K. v. Hess ins Wanken zu kommen schien, eine neue Stütze erhalten hatte“.

Es erscheint also wünschenswert, auch diese Vorführungen auf ihre Beweiskraft zu prüfen.

Auf einer Tischplatte waren verschieden hell- und dunkelgraue Papiere und zwischen ihnen ein blaues Papier sichtbar gemacht. Bienen liessen sich alsbald in Scharen auf dem blauen Papier nieder und umschwärmten in auffallender Weise „die mit blauen Krawatten versehenen Zuschauer und die mit blauen Kleidern und Hutbändern

1) K. v. Frisch, Demonstration von Versuchen zum Nachweis des Farbensinnes bei angeblich total farbenblinden Tieren. Verhandl. d. Deutschen zool. Gesellsch. a. d. 24. Jahresvers. zu Freiburg i. B. 1914.

2) Doflein, Der angebliche Farbensinn der Insekten. „Die Naturwissenschaften“ 1914 S. 708.

3) Stellwaag, Über die Beziehungen des Lebens zum Licht. Münchener med. Wochenschr. 1915 Nr. 48.

versehenen Zuschauerinnen“. v. Frisch teilte den Zuschauern nur mit, dass er diesen Bienen an den beiden der Vorführung vorausgehenden Tagen auf blauem Papier Nahrung geboten habe. Die Zuschauer zogen daraus den Schluss, der Besuch der blauen Fläche, Krawatten und Hutbänder sei Folge jener „Blaudressur“. Ohne Kenntnis des Kontrollversuches mit Bienen, die auf Grau dressiert waren, fehlt dem von dem Autor vorgeführten Blaubesuche natürlich jede Beweiskraft, und der von den Teilnehmern gezogene Schluss auf „Blaudressur“ war voreilig. Überraschenderweise kam keiner der Zuschauer auf die naheliegende und für die Beurteilung unerlässliche Frage nach jenem Gegenversuche. v. Frisch hatte ihn angestellt und schon 1912 ermittelt, dass Bienen, selbst wenn sie niemals auf Blau gefüttert waren, sogar nach 8 Tage langer Dressur auf graue Papiere trotzdem vorwiegend blaue und purpurfarbige Papiere beflogen und sich hier in viel grösseren Mengen sammeln als auf den grauen, auf die sie dressiert waren; auf dem Purpur liessen sie sich gar in so grossen Mengen nieder, dass sie nicht mehr gezählt werden konnten. Er hatte also selbst festgestellt, dass die Auffassung des Blaubesuches als Folge der Blaudressur ausgeschlossen ist¹⁾. Wäre in Freiburg die Frage nach dem Gegenversuche mit Graudressur gestellt und gemäss v. Frisch's eigenen Befunden beantwortet worden, so würde niemand mehr an eine Farbendressur der Bienen glauben.

Das Vorkommnis zeigt, zu welchen Trugschlüssen selbst in einem grossen Kreise ausgezeichneten Forscher „Dressurversuche“ bei so unzulänglicher Vorführung Anlass geben können.

5. Schluss.

Es wird der Nachweis erbracht, dass auch jene „Dressurversuche“ der Zoologen, die einen Farbensinn der Bienen dartun sollen, eine volle Bestätigung meiner die totale Farbenblindheit der Bienen beweisenden Untersuchungen erbringen. Denn auch v. Frisch's Protokolle lehren, ganz in Übereinstimmung mit den meinen, dass

1) Aus meinen eigenen einschlägigen Versuchen, die ich in grösserem Umfange durch viele Monate fortführte (s. o.), sei hier nur erwähnt, dass Bienen, die ich 6 Wochen lang täglich ununterbrochen auf Gelb „dressiert“ hatte, als ich ihnen unter einer reinen Glasplatte farbige Flächen sichtbar machte, in grossen Scharen auf Blau, Purpur und Schwarz flogen, während dicht daneben liegende gelbe Felder nicht besucht wurden.

die angeblich auf Blau bzw. Gelb dressierten Bienen tatsächlich nicht imstande waren, beide Farben zu unterscheiden, sie vielmehr untereinander und mit Grau verwechselten.

Die Unzulänglichkeit der in der Zoologie üblichen Bienen-dressuren lässt sich an Hand der neuen Beobachtungen und Messungen eindringlich dartun.

Für die adaptativen Änderungen im Bienenauge lässt sich durch Messung zeigen, dass sie sowohl hinsichtlich des zeitlichen Verlaufes wie hinsichtlich ihres Umfanges weitgehende Ähnlichkeit mit jenen bei den anderen von mir untersuchten Wirbellosen wie auch im Menschenauge zeigen.

Auch die neuerdings von zoologischer Seite gegen meine Untersuchungen erhobenen Einwände erledigen sich durch die hier mitgeteilten neuen Befunde.

Mit seinen Dressuren und den Freiburger Vorführungen hat v. Frisch selbst der Annahme eines Farbensinnes bei Bienen die letzte Stütze genommen.
