

Ueber das Sehen bei den Insekten

Autor(en): **Steiner-Stoll, H**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Schule**

Band (Jahr): **34 (1947)**

Heft 9

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-530611>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

ausgeschaffene Fassung aufgewandt hat, verdient Anerkennung und Bewunderung..«

Die »Schusterwerkstatt«, die jetzt so selbstverständlich richtig vor uns liegt, in ihrer Wahrhaftigkeit förmlich nach Leder und Pech riecht und in der »genialen Unordnung« alle Werkzeuge handgreiflich getreu wiedergibt, ist die Frucht hingebender Arbeit des Künstlers. Aber

der vergleichenden Gegenüberstellung nicht selten auf die erste Fassung zurückgreift, weil die zweite — ganz naturgemäss — nicht mehr die Ursprünglichkeit und Frische der ersten hat. Das Original des Künstlers ist druckreif. Was es nun noch braucht, bis es technisch einwandfrei reproduziert und versandfertig in den Verlag Ernst Ingold & Co., Herzogenbuchsee, kommt,



Schusterwerkstatt
Von Theo Glinz, Horn

auch gewissenhafte Prüfung und bestgemeinte Anregungen haben das Bild bis zur endgültigen Fassung begleitet. Bestgemeinte Anregungen?

Ja, genau so; denn die Berücksichtigung von Abänderungsvorschlägen ist in der Regel ein gefährliches Unterfangen des Künstlers. Je besser das Bild ist, desto weniger verträgt es irgendwelche Aenderungen. Darum ziehen es die Maler oft vor, eine Neubearbeitung auf sich zu nehmen, statt einen Entwurf abzuändern und das mit dem Erfolge, dass die Kommission nach

das kann sich jeder Lehrer leicht selbst vorstellen. Einen kurzen Einblick in das Werden unserer Schulwandbilder wollte ich geben. Mögen meine Ausführungen dazu angetan sein, das Schweizerische Schulwandbilderwerk allen Lehrerinnen und Lehrern, die es bisher schon zu schätzen wussten, noch lieber zu machen; möchten sie aber auch alle jene, die ihm bisher noch fern standen, für die wahrhaft schöne und grosse Sache gewinnen.

Paul Pliffner.

Mittelschule

Ueber das Sehen bei den Insekten

1. Allgemeiner Bau des Fazettenauges.
2. Das Appositionsauge.
3. Das Superpositionsauge.
4. Die Leistungen des Fazettenauges.

Der Körper der fertigen Insekten ist sehr scharf in die feste Kopfkapsel, in den dreiteiligen Brustabschnitt mit seinen drei Beinpaaren und in den segmentierten Hinterleib gegliedert.

Abb. 1. Das Auge des Glaskrebses (*Leptodora Kindtii* F.) eines der interessantesten Tiere unserer Seen (Zugersee). Es kann gleichzeitig nach allen Seiten sehen. Das lichtempfindliche, schwarze Zentrum enthält viel Pigment. Der erste Nervenknoten hinter dem Auge enthält Sehzellen, der zweite Riechzellen.



Betrachtet man den Kopf einer Hummel, eines Glaskrebses (Abb. 1) od. einer Stubenfliege genauer, so erhält man den Eindruck, als bestände er nur aus Augen. Zunächst erblicken wir rechts und links des Kopfes zwei verhältnismässig gewaltige, halbkugelförmige Lappen, die sich in der Mittellinie des Kopfes beinahe berühren. Auf diesem kleinen Gebiete sind aber wiederum in vielen Fällen zwei bis drei Augen von kleinerer Grösse angeordnet. Wir müssen demnach unterscheiden:

1. Grosse **Fazetten-** (Komplex- oder Netz-) Augen, deren Oberflächen in runde oder sechseckige Felder gegliedert sind, und

2. kleine Stirnagen oder **Stirnozellen**.

Die Fazettenaugen, die uns in den folgenden Ausführungen einzig beschäftigen sollen, setzen sich aus einer grossen Zahl von Gebilden zusammen, die geometrisch gesehen abgestumpfte Kegel mit nach aussen gerichteter Grundfläche darstellen. Jedes dieser Gebilde ist ein als Ommatidium bezeichnetes Einzelauge von stets gleicher Zusammenordnung. Sein Aufbau stellt der schematisch gehaltene Längsschnitt in Abb. 2 dar. Er zeigt uns, wie jedes Auge vorne durch die kugelförmige Verdickung, die Korneallinse, begrenzt ist. Sie ist nichts anderes als eine gerade an dieser Stelle

Vergleich

| Menschliches Auge: | Appositionsauge: | Superpositionsauge: |
|---|---|--|
| <p>Eine Linse erzeugt ein gemeinsames Bild auf der Netzhaut. Diese löst das Bild für die Sehnervenendigungen in Punkte auf.</p> | <p>Jede Nervenendigung besitzt ihre eigene Optik. Diese bereits zerlegt das Bild für die zugehörigen Nervenendigungen in einen Punkt.</p> | <p>Mehrere Kristallkegel wirken auf die gleiche Nervenendigung (Rhabdom). Dadurch wird dort die Lichtstärke verstärkt.</p> |

Tabelle 1

durchsichtige Zelle des Chitinpanzers, der den ganzen Insektenkörper überzieht. Warum nur diese Zellen an der Stelle des Augenbereiches durchsichtig sind, wird eben durch das Schicksal der Zellen entschieden und kann wohl kaum weiter erklärt werden. Auf die Korneallinse folgen vier Kristallkegelzellen, die nach hinten einen kegelförmigen, glasklaren Kristallkegel abscheiden und diesen häufig noch etwas umgeben. Zellen mit vollgestopftem Pigment isolieren die Kristallkegel optisch voneinander, so dass ein Lichtstrahl nur in der Richtung der Augenachse auf das Rhabdom (gr. *rhabdos* Stab) fallen kann. Dieses ist das Aufnahmeorgan für den Lichtreiz. Es besteht in der Mitte aus einer Gruppe von acht nebeneinanderliegenden Retinulazellen. Auch diese sind durch selbst ausgeschiedenes Pigment optisch voneinander isoliert. Das Rhabdom setzt sich nach hinten in die Nervenfasern fort und übermittelt so die Lichtreize dem Gehirn.

Wir wollen hier gleich darauf hinweisen, dass bei den Fazettenaugen zwei in ihrer Wirkung verschiedene Typen vorkommen. Sie lassen sich leicht durch ihre Architektur voneinander unterscheiden.

a) Bei Tagesinsekten, etwa den Bienen oder Faltern, schliesst sich das Rhabdom unmittelbar an den Kristallkegel an.

b) Bei den Nachtinsekten (und den Dämmerungstieren) sind Rhabdom und Kristallkegel durch einen grösseren Zwischenraum voneinander getrennt.

Zu a): Wir denken uns vorerst einmal den gesamten Lichtbrechungsapparat, also die Kor-

neallinsen mit den Kristallkegeln bei einer Anzahl Ommatidien fort. Die Einzelaugen bestehen dann nur aus kleinen schwarzen Röhren, deren Mittelachsen sich unter verschiedenen Winkeln in einem Punkte schneiden mögen. Denken wir uns nun in diesem Punkte eine lichtempfindliche Netzhaut, so erhält sie durch jede der verschiedenen geneigten Röhren Licht von einem andern Punkte des abzubildenden Gesichtsfeldes.

Soll nun ein Fazettenauge von einem Gegenstand durch dessen Zerlegung in Punkte ein Bild erzeugen, so müssen sehr viel Ommatidien vorhanden sein. Bei bestimmten Käfern sollen in der Tat schon bis zu 30 000 gezählt worden sein. Der Raum im Insektenauge ist aber beschränkt, weshalb die Röhren nur sehr kleine Durchmesser haben dürfen. Die Korneallinsen mit den Kristallkegeln zusammen dienen aber zur Vergrösserung der Lichtstärke. Trotzdem wären sie für Nachttiere zu lichtschwach.

Bei dem eben beschriebenen Augentypus wird also ein Bild durch viele nebeneinanderliegende Punkte erzeugt. Deshalb heissen solche Augen **Appositionsaugen** (lat. *apponere* hinzufügen). (Abb. 3.)

Zu b): Dieser Typus besitzt Korneallinsen und Kristallkegel, die die doppelte Länge ihrer Brennweiten ausmachen. Dadurch wird der Bildstrahl nicht schon im Brennpunkte, sondern erst später zur Empfindung gebracht. Die Strahlen gehen dabei so von einem Punkte aus, dass sie auf einer Anzahl verschiedener Ommatidien gesammelt werden und alsdann auf das **gleiche** Rhabdom fallen. Es ist klar, dass dadurch die

Lichtintensität um ein Vielfaches vergrößert wird. Allerdings überdecken sich die Bilder teilweise. Man nennt daher solche Augen **Superpositionsaugen** (lat. *super* über, *positio* Lage). Abb. 4. Bestimmt ist die Sehschärfe dieses Auges der des menschlichen Auges unterlegen. Wohl ist der Strahlengang dieses Auges überraschend. Doch hat er sich bei den Leuchtkäfern durch den Versuch nachweisen lassen.

Die Wirkungsweise der Fazettenaugen beschäftigte die Naturforscher schon seit bald hundert Jahren. Gottsche (1852) glaubte, dass dem Gehirn so viele Bilder mitgeteilt würden, als eben Einzelaugen vorhanden wären. (Tabelle 2.) Dieser Erklärungsversuch konnte aber nicht

schräg zur Mittelachse einfallen, verlassen die Linse auf der gleichen Seite. Auf diese Weise ist der Strahlengang in unseren Abbildungen 3 und 4 zu verstehen.

Die Leistungen des Fazettenauges sind vor allem für das Bienenauge von von Frisch in München in jahrelanger Forschung untersucht worden. Er entschied die Frage, ob die Bienen die Welt nur wie eine Photographie grau in grau empfinden oder farbig, zugunsten des **Farbensehens**.

Bekanntlich sind die Blüten Merkmale für die Insekten. Bei ihnen holen sie Nektar; dafür werden die Blüten bestäubt.

Blick durch das Fazettenauge

Material: Stubenfliege.

1. Töten, Kopfabschneiden, mit Insektennadel auf Kork aufspießen.
2. Abkappen der Augen mit einem feinen Messer.
3. Uebertragung derselben in reines Wasser.
4. Die Innenseite der Hornhaut in einem Wassertropfen auf ein glattes Papier bringen und mit mäßigem Druck der Fingerspitze in ihm hin- und herbewegen.
5. Die glasklare Hornhaut so auf einen Objektträger bringen, dass sich eine Luftblase unter ihr verfängt.
6. Kondensator des Mikroskopes entfernen, Planspiegel!
7. Beliebigen Gegenstand zwei bis drei Meter vor heller Lichtquelle aufstellen.
8. Mit starkem Objektiv scharf auf die Korneallinsen einstellen. Tubus dabei etwas heben.
9. Der Gegenstand erscheint in vielen winzigen Bildern.

Tabelle 2

befriedigen, weil er auf der Grundlage einer gewaltigen Verschwendung der Natur beruhte. Man verliess ihn daher wieder und kehrte zu der früheren Auffassung von J. Müller (1826—1827) zurück. Sie wurde durch die klassischen Untersuchungen von Exner (1891) gestärkt. Dieser Forscher konnte im Modellversuch nachweisen, dass der Kristallkegel mit ähnlicher Wirkung wie die Korneallinse an der Entstehung des Bildes beteiligt ist. Er konnte zeigen, dass die optische Dichte im Kristallkegel von dessen Mitte aus nach aussen abnimmt. Nach der Lehre der geometrischen Optik schneiden sich in solchen Zylinderlinsen parallele Strahlen im Brennpunkt. Strahlen, die

Der Nachweis des Farbensinns wird durch *Dressuren auf bestimmte Farben* geliefert. Zu diesem Zwecke wird ein Karton in quadratische Felder eingeteilt. (Abb. 5.) Jedes der Felder erhält einen helleren oder dunkleren Farbton (Pigmentfarben oder Ausschnitte aus einem Spektrum).

Wir möchten nun wissen, ob die Bienen blau sehen.

Auf das blaue Feld legen wir nun eine mit Zuckerwasser gefüllte Uhrglasschale und stellen den ganzen Versuchsapparat in die Nähe eines Bienenhauses. Bienen finden das Schälchen und fliegen wieder in den Stock zurück. Bald kom-

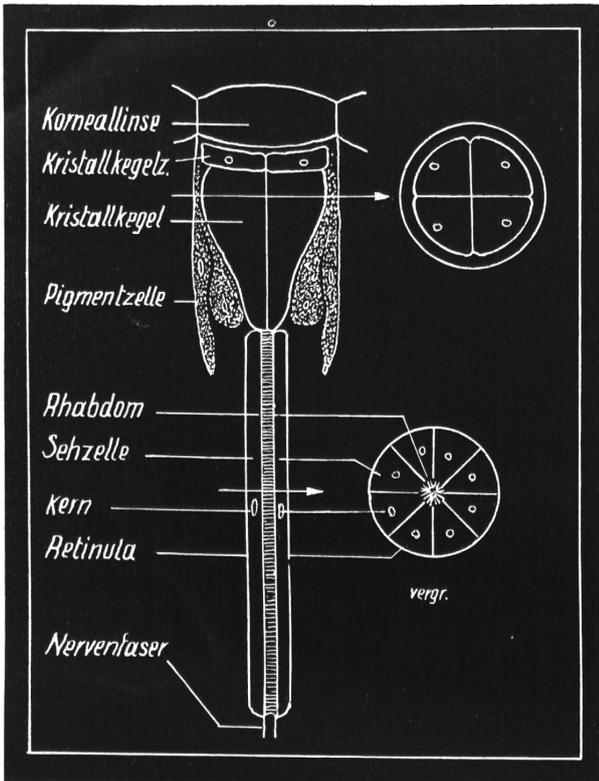


Abb. 2. Schematischer Längsschnitt durch das Einzelauge (Ommatidium) eines Fazettenauges.

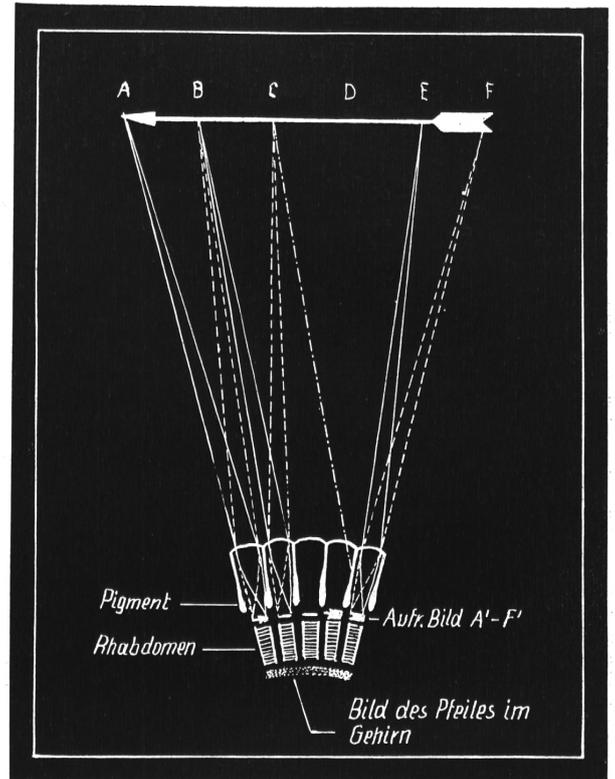
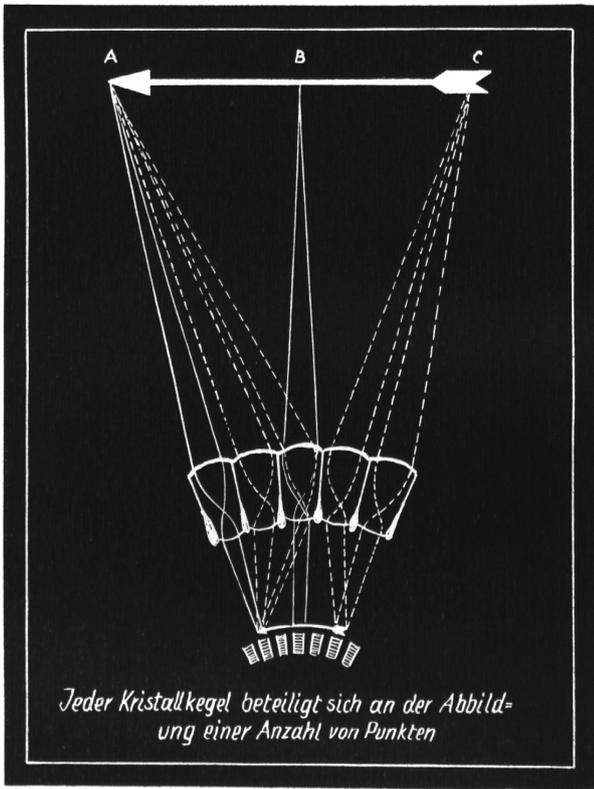


Abb. 3. Strahlengang im Appositionsaug.



249 Abb. 4. Strahlengang im Superpositionsauge.

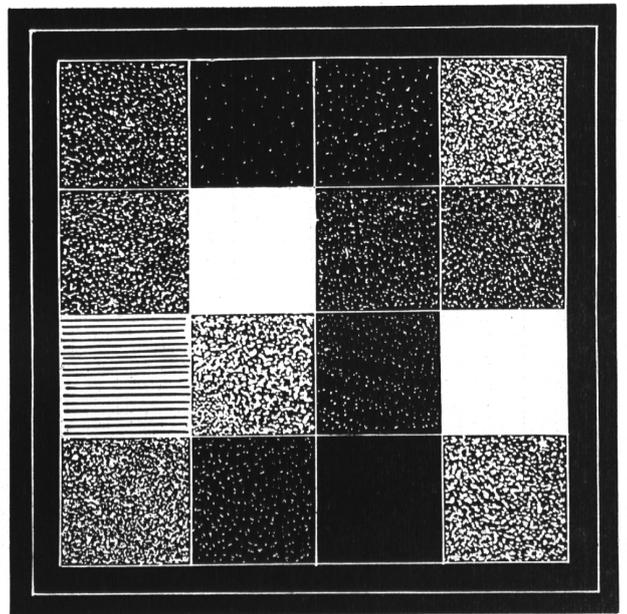


Abb. 5. Tafel mit Farbtafeln (resp. Grautönen) zur Blaudressur der Bienen. Das schraffierte Feld ist blau gefärbt.

(Alle Abbildungen vom Verfasser.)

Die Bienen

| sehen nicht: | sehen richtig: | verwechseln: |
|--|------------------------------|--|
| rot grün | gelb blau ultraviolett | orange purpurrot gelbgrün violett |
| Wellenbereiche: Mensch: 800 $\mu\mu$ — 400 $\mu\mu$ Biene: 650 $\mu\mu$ — 350 $\mu\mu$ | | mit den entsprechenden Grautönen. |

Tabelle 3

men wieder Bienen, interessanterweise aber umsomehr, je mehr Zuckerwasser sich im Schälchen befindet.

Um zu erfahren, ob sich die Bienen nach dem blauen Felde orientieren, machen wir die Probe, indem wir kein Zuckerwasser in die Schälchen geben. Trotzdem steuern die Bienen nach dem blauen Farbschildchen. Nach dieser Beobachtung könnte man aber annehmen, dass die Bienen nur den *Helligkeitswert* der blauen Farbe sehen, denn vollständig farbenblinde Menschen sehen ja nur diesen. Wir verwenden deshalb im nächsten Experiment nicht mehr einen Karton mit blauer und anderer Farbe, sondern verschiedene Graustufen mit einem blauen Feld. Trotzdem wir die Schälchen ohne Zuckerwasser lassen, wird wiederum das blaue Feld angefliegen. Daraus ergibt sich, dass die Bienen die blaue Farbe nicht mit einem Grau desselben Helligkeitswertes verwechseln, sondern sie wirklich blau als Farbe sehen.

Beschicken wir die Uhrglasschälchen über einer roten Unterlage mit Zuckerwasser, so befliegen die Bienen trotzdem das Schälchen über dem Grauton mit dem gleichen Helligkeitswert. Die Bienen sind also rotblind.

Auf diese Weise hat man alle möglichen Farben nachgeprüft und ist zu den in Tabelle 3 zusammengefassten Ergebnissen gekommen. Interessant ist dabei die Tatsache, dass sich

das Sehvermögen der Bienen bis weit in das *Ultraviolette* (bis etwa 300 $\mu\mu$) hinein erstreckt. Dies hat einen tiefen biologischen Sinn. Es gibt nämlich Pflanzen mit merkwürdigen Stellen, die solche Strahlen auszusenden vermögen. Das sind Orte mit Honig. So ist der Mohn eine honigende Pflanze und wird deshalb von den Insekten befliegen.

Weisse Blumen werden vom Bienenauge farbig gesehen.

Ausser den Farben unterscheidet die Biene aber auch *F o r m e n*. Wie die Farben, so können auch diese nach vorangegangenen Dressurversuchen unterschieden werden. Das Vermögen, Farben und Formen zu unterscheiden, erklärt die Tatsache, dass die Bienen bei einem Ausflug immer dieselbe Blütenart besuchen. Diese *Blütenstetigkeit* ist aber für die Blütenbefruchtung von ausserordentlicher Bedeutung, sind doch alle unsere selbststerilen und intersterilen Obstarten auf Fremdbestäubung angewiesen. Ihre Bedeutung wird uns noch bewusster, wenn wir bedenken, dass der reiche Segen der schweizerischen Obst- und Beerenemte mit einem jährlichen Werte von etwa hundert Millionen Franken zu mindestens vier Fünfteln der Bestäubung durch die Bienen zu verdanken ist.

Cham.

H. Steiner-Stoll, Sek.-Lehrer.