

D I E N E U E B R E H M - B Ü C H E R E I

SINNESORGANE BEI TIEREN

VON

DR. LUDWIG SPANNHOF

mit 88 Abbildungen



A. ZIEMSEN VERLAG · WITTENBERG LUTHERSTADT · 1955

Brunhilde Grohmann
gewidmet

Inhaltsverzeichnis

I. Einleitung	3
1. Stellung und Bedeutung der Sinnesorgane	3
2. Allgemeines über Bau, Aufgabe und Funktionsweise	5
II. Spezielle Darstellung	9
A. Mechanische Sinnesorgane	9
a) Tastsinnesorgane	9
b) Der statische Sinn und die statischen Organe	15
1. Die statischen Organe der Wirbellosen	15
2. Der statotonische Apparat der Wirbeltiere	26
c) Gehörorgane	28
1. Chordotonalorgane der Insekten	29
2. Tympanalorgane der Insekten	30
3. Gehörorgane der Wirbeltiere	49
B. Der Temperatursinn	54
C. Chemische Sinnesorgane	55
a) Geruchs- und Geschmacksorgane der Wirbellosen	56
b) Geruchsorgane der Wirbeltiere	61
c) Geschmacksorgane der Wirbeltiere	64
D. Lichtsinnesorgane	64
1. Lichtsinneszellen und Grubenaugen	81
2. Blasenaugen der Wirbellosen	83
3. Blasenaugen der Wirbeltiere	87
4. Komplexaugen und Ocellen	94
5. Vergleichender Überblick über die Lichtsinnesorgane	100
III. Schlußbetrachtungen	102
Schrifttum	103
Sachverzeichnis	103

HEFT 146

Satz, Druck und Bindung: IV/2/14-VEB Werkdruck Gräfenhainichen 434
Veröffentlicht unter der Lizenz Nr. 251—510/51/54 des Amtes für Literatur und Verlagswesen
der Deutschen Demokratischen Republik

I. Einleitung

1. Stellung und Bedeutung der Sinnesorgane

Die „Neue Brehm-Bücherei“ sieht ihre Aufgabe darin, das Wissen um unsere Tier- und Pflanzenwelt detailliert darzustellen, um damit weiten Kreisen die Möglichkeit zu geben, sich über die allgemeiner gehaltenen Schilderungen in dem bekannten „Brehms Tierleben“ hinaus auch neuere Erkenntnisse auf kleinen Spezialgebieten der heimischen Fauna und Flora zu verschaffen. Dabei stößt der Naturfreund zwangsläufig auf Fragen des biologischen Geschehens, deren Erörterung den Rahmen der Einzeldarstellungen sprengen würde.

Da der Verlag von vornherein in großzügiger Weise darauf verzichtete, der „Neuen Brehm-Bücherei“ einen eng umgrenzten faunistisch-floristischen Themenbereich zu geben, soll im vorliegenden der Versuch unternommen werden, ein Gebiet der allgemeinen Zoologie im oben charakterisierten Sinne der „Brehm-Bücherei“ zu behandeln.

Schon mehrfach wurde in einzelnen Heften auf die Sinnesorgane der Tiere eingegangen; oft mußte es unterbleiben, um die Geschlossenheit der Darstellung nicht zu zerstören und damit das Verständnis zu erschweren. Daraus ergibt sich für das vorliegende Heft ein umgekehrtes Verhältnis, d. h. wir werden zugunsten der allgemeingültigen Erscheinungen weitestgehend auf Einzelheiten verzichten müssen.

Die Tiere und der Mensch wären unfähig, ihre Existenz zu behaupten, hätten sie nicht die Möglichkeit, sich ständig über die Beschaffenheit ihrer Umwelt zu orientieren. Diese Orientierung wird ihnen durch den Besitz einer Anzahl spezieller Organe ermöglicht, denen ausschließlich die Aufgabe zufällt, Umwelteindrücke oder Umweltgeschehnisse zu vermitteln. Täglich bieten sich uns dafür Beispiele: sitzt eine Fliege auf einer elektrischen Kochplatte, um dort an Speiseresten ihren Hunger zu stillen, und schalten wir den Strom ein, dann verläßt das Tier nach einiger Zeit die Nahrungsquelle und sucht einen Ruheplatz auf. Die langsam ansteigende Temperatur zwingt es zum Abflug. Diese Er-

scheinung ist so einfach, daß wir es kaum für wert erachten, uns Gedanken darüber zu machen. Dennoch ist sie nur zu verstehen, wenn wir uns vergegenwärtigen, daß die Fliege an den Beinen und über den Körper verstreut Organe besitzt, die die Temperatur wie ein Thermometer registrieren, das Ergebnis dem Gehirn melden und dieses zu weiteren Reaktionen veranlassen; in unserem Beispiel also zu dem Befehl: abfliegen. Besäße die Fliege keine temperaturempfindlichen Organe, dann würde sie sich die Füße verbrennen.

Ich habe absichtlich dieses einfache Beispiel gewählt, um damit zu zeigen, wie selbstverständlich uns die Leistung der Sinnesorgane erscheint, so selbstverständlich, daß wir kaum darüber nachdenken, geschweige denn ein Problem dahinter vermuten. Halten wir uns vor Augen, daß Tier und Mensch allein durch die Tätigkeit der Sinnesorgane über die Beschaffenheit der Umwelt unterrichtet werden und allein durch sie ständig mit der Umwelt in Verbindung stehen, dann taucht die Frage nach dem Zustandekommen dieser Leistung auf! Damit eröffnet sich uns das schwierige, aber biologisch außerordentlich interessante Gebiet der Sinnesphysiologie.

Nach der Aufgabe, die die einzelnen Sinnesorgane zu erfüllen haben, unterscheiden wir mehrere Gruppen:

1. Mechanische Sinnesorgane. Sie bestehen einmal aus reizempfindlichen Zellen, die über den ganzen Körper verstreut sind und ihm mechanische Reize der Außenwelt vermitteln (Berührung, Druck, Kitzel, Erschütterung). Weiterhin gehören hierzu Organe, die uns über Geräusche, Töne, passive Bewegungen und über die Lage im Raum unterrichten. Töne werden durch Luftschwingungen erzeugt, die mechanisch zu wirken vermögen. Sowohl passive Bewegungen als auch die Lage im Raum stehen ständig unter dem Einfluß der Erdschwere, auch sie wirkt mechanisch.
2. Temperatursinnesorgane. Die hierzu gehörenden Sinneskörper liegen über die ganze Körperoberfläche verstreut und sprechen auf thermische Reize, also auf Wärme und Kälte an.

3. Chemische Sinnesorgane. Es handelt sich dabei um Geruchs- und Geschmacksorgane, die uns speziell über die chemische Beschaffenheit unserer Umwelt unterrichten.
4. Lichtsinnesorgane. Diese ermöglichen es Tieren und Menschen Helligkeitsunterschiede, Bilder und Farben wahrzunehmen.

Voraussetzung für das Verständnis der Leistung der Sinnesorgane ist deren anatomisch-histologischer Aufbau. Bevor wir auf die einzelnen Vertreter der oben aufgeführten Gruppen näher eingehen, soll das Wesentliche über die allgemeine Anatomie und Physiologie der reizempfindlichen Organe gesagt werden, um damit einerseits das Verständnis der speziellen Darstellung zu erleichtern, andererseits aber die Stellung der Sinnesorgane innerhalb des Gesamtorganismus sowie die Wechselbeziehung zu anderen Organsystemen aufzuzeigen.

2. Allgemeines über Bau, Aufgabe und Funktionsweise

Der Körper baut sich aus einer Vielzahl einzelner Zellen auf, die in zahlreiche Gewebsarten differenziert sind. Dienen verschiedenartige Zellen einer Funktion, dann faßt man diese Zellen unter dem Begriff *Organ* zusammen. Die adäquate¹⁾ Aufgabe des betreffenden Organs wird durch spezifische Zellen, so z. B. von Leberzellen in der Leber, Nervenzellen im Gehirn erfüllt. Zwischen den spezifischen Organzellen finden sich Hilfszellen, die die verschiedensten Aufgaben zu erfüllen haben. Dadurch wird erst das Funktionieren des Organs im Körper gewährleistet. So sind es meist Bindegewebszellen, die es umhüllen und damit vom Gesamtorganismus abgrenzen, oder aber diese Zellen stellen die Verbindung zu anderen Organsystemen her.

Obgleich sich die einzelnen oben aufgeführten Gruppen der Sinnesorgane durch ihre Ansprechbarkeit verschiedenartigen Reizen gegenüber scharf voneinander unterscheiden, stellen sie alle typische Organe im oben dargetanen Sinne vor. Als spezifische Zellen fungieren die sog. Sinneszellen, deren Charakter dadurch bestimmt wird, daß sie mit dem Nervensystem in direkter Ver-

¹⁾ entsprechende.

bindung stehen. Dies geschieht auf verschiedene Art und Weise. Entweder endet die Sinneszelle selbst in einer Nervenfasern, die ihrerseits dann an diejenige einer Nervenzelle herantritt: primäre Sinneszelle (Abb. 1 a), oder sie wird von Ausläufern einer Nervenzelle umspinnen, wodurch ebenfalls eine Reizleitung ermöglicht wird: sekundäre Sinneszellen. In manchen Fällen können die Nervenenden auch frei zwischen Hilfszellen liegen: sekundäre Sinnesnervenzelle. Sie sind dann, wie z. B. im Auge, verdickt und nehmen den Reiz der Außenwelt direkt auf. Bei der Sinneszelle dagegen erfolgt die Reizaufnahme durch Reizempfänger in Gestalt von Sinnesstiftchen (Abb. 1 b), Cilien oder Tasthaaren. Sie liegen an der dem Reiz zugewandten Seite der Zelle, der Außenseite des Organs. Als einfache Hilfszellen finden sich Stützzellen, Isolierzellen usw. Bei kompliziert gebauten Sinnesorganen entwickeln sich vollständige Hilfsorgane, z. B. Trommelfell, Gehörknöchelchen, reizleitende Apparate, Verstärker u. a. m. Der Funktion entsprechend befinden sich die Sinnesorgane vorwiegend an der Oberfläche des Körpers. Bei einer Verlagerung nach innen, im Falle starker Komplizierung und damit erhöhter Empfindlichkeit des Organs, bleibt stets eine mittelbare Verbindung zur Außenwelt bestehen. So leitet der Gehörgang bei den Säugern die Außenreize dem tief im Schädel liegenden Gehörorgan zu. Einige wenige, meist mechanische Sinnesorgane treten in der Bauchhöhle auf. Von ihrer Existenz erfahren wir bei Leibschmerzen und Magendrücken.

Die Aufgabe der Sinneszelle besteht darin, einen ihr adäquaten Reiz (s. u.) aufzunehmen, ihn in entsprechender Weise so umzubilden, daß er als Erregung des Nervensystems zu einem entsprechenden Nervenzentrum weitergeleitet werden kann. Ein solches Zentrum kann der Körper einer Nervenzelle, ein Ganglion, das Rückenmark (Bauchmark bei Wirbellosen) oder das Gehirn sein. Von ihm aus laufen Nervenfasern in den Körper zurück, versorgen die Muskulatur und damit den ganzen Bewegungsapparat. Man hat demnach zwei große Gruppen von Nerven zu unterscheiden: sensible Nerven, die Reize von der Außenwelt und Körperoberfläche zum Gehirn leiten; motorische Nerven, die Reize des Gehirns zum Bewegungsapparat führen. Wird der Körper

an irgendeiner Stelle gereizt, nehmen dies die Sinnesorgane wahr, wandeln den Reiz in eine nervöse Erregung um und führen sie auf der sensiblen Bahn dem Zentrum zu. Hier wird die Erregung auf eine motorische Bahn umgeschaltet und eilt in den Körper zurück. Der Erfolg davon ist eine Abwehrbewegung gegen den auslösenden Reiz. Verdeutlichen wir das an einem Beispiel: Setzt sich uns eine Fliege auf die Nase, dann ruft dies einen Kitzel hervor. Daß wir dies spüren, verdanken wir Tastsinnesorganen der Haut. Sie geben den Reiz auf der entsprechenden sensiblen Nervenbahn weiter bis zum Gehirn. Hier erfolgt die Umschaltung der Erregung auf eine motorische Bahn, z. B. die Nerven, die den Arm und die Hand versorgen. Die Folge davon ist, wir schlagen nach der Fliege und verjagen sie. Man nennt eine solche Erscheinung Reflex, die zugehörigen Nervenbahnen Reflexbogen. Die große Mehrzahl aller Reaktionen der Tiere auf einen Reiz der Außenwelt erfolgt nach diesem Schema (Abb. 2).

Die Tätigkeit der Sinnesorgane untersteht bestimmten allgemeingültigen Gesetzmäßigkeiten:

1. Das Gesetz von der oberen und unteren Empfindlichkeitsgrenze. Jedes Sinnesorgan reagiert auf Reize der Umwelt erst dann, wenn diese eine bestimmte Größe¹⁾ erreicht haben; es reagiert nicht mehr, wenn die Reize eine gewisse (maximale) Größe überschreiten. So spricht unser Auge z. B. nur auf Lichtwellen eines bestimmten Längenbereiches (von etwa 400 Millim, violett; bis zu 760 Millim, rot) an. Sowohl kürzere (Ultraviolett) als auch längere Wellen (Ultrarot) werden vom Auge nicht mehr wahrgenommen. Diese obere und untere Reizschwelle ist nicht bei allen Tierarten gleich. Sie kann sich nach der einen oder anderen Richtung hin verschieben. Bienen z. B. nehmen noch ultraviolettes Licht wahr. Alle anderen elektromagnetischen Wellen größerer (Radiowellen) und kleinerer (Röntgenwellen) Längen sind für uns nicht direkt wahrnehmbar. Die Tatsache, daß wir trotzdem von ihrer Existenz wissen, verdanken wir der Physik, die die Unvollkommenheit unseres Auges durch geeignete Apparaturen (Rundfunkempfänger und Röntgenschirm) zu kompensieren vermochte. Das

¹⁾ Qualität oder Quantität.

Auge ist wohl deshalb nicht auf andere Wellenlängen abgestimmt, weil diese in der belebten Natur eine Sonderstellung einnehmen, die für Tiere bedeutungslos ist.

2. Das Gesetz von der spezifischen Disposition der Sinnesorgane. Ein Sinnesorgan übermittelt dem Gehirn auf jeden Reiz von seiten der Umwelt, der überhaupt imstande ist, es in Erregung zu versetzen, den gleichen Eindruck. Das Auge kann also, wenn es gereizt wird, dem Gehirn stets nur einen Licht-eindruck übertragen. Wir empfinden ihn auch bei einem starken Schlag: es flimmert uns vor dem Auge, selbst dann, wenn wir es geschlossen halten. Der durch den Schlag verursachte Schmerz wird nicht vom Auge, sondern mit Hilfe druckempfindlicher Organe in dessen Umgebung übermittelt. Die spezifische Disposition der Sinnesorgane schließt ein, daß für jeden Reiz ein besonderes Organ vorhanden sein muß; d. h. in anderen Worten, die Sinnesorgane sprechen elektiv auf die ihnen zukommenden spezifischen Reize an.

3. Das Gesetz der Unempfindlichkeit gegen Dauerreize. Im allgemeinen reagieren Sinnesorgane nicht dauernd auf gleichbleibende Reize, sondern sprechen nur auf deren Änderung an. Das gleichmäßige Ticken einer Wanduhr hören wir meist nicht mehr, ebenso stört uns helles Sonnenlicht nur in der Zeit, die wir brauchen, um uns daran zu gewöhnen. Treten wir in ein geheiztes Zimmer, dann empfinden wir nur im Augenblick des Eintritts den Temperaturunterschied, da nach einiger Zeit eine gewisse Gewöhnung, d. h. Reizermüdung der thermischen Sinnesorgane eingetreten ist.

In diesem Zusammenhang ist noch die Tatsache zu erwähnen, daß jedes Individuum im allgemeinen nur auf solche Reize antwortet, die in seine Lebenssphäre gehören, für den Organismus biologische Bedeutung haben. Ein Raubvogel z. B. wird nie auf eine ihm vorgeworfene Kartoffel reagieren, wohingegen er sich sofort auf eine Maus oder einen Spatzen stürzen würde. Im allgemeinen sprechen Tiere, die selbst keine Tonerzeuger besitzen, auch nicht auf Töne an. Die Tiere nehmen also durchaus nicht alle Reize auf, die von

der Außenwelt auf sie einwirken. Die Umwelt vermag in vieler Hinsicht überhaupt keine Reaktion des Organismus auszulösen. Mithin bleibt das „Weltbild“ der Tiere immer nur auf ihre Lebenssphäre beschränkt. Alles, was nicht dazugehört, ist ihnen unbekannt, soweit wir das beurteilen können. Das gilt auch für den Menschen. Nur auf Grund seines hochentwickelten Intellekts hat er die Möglichkeit auf indirektem Wege über Dinge Aufschluß zu bekommen, die ihm die direkte Sinneswahrnehmung verschließt. Das Beispiel der Röntgenstrahlen wurde bereits erwähnt. Wie groß der Mangel an der Fähigkeit direkter Wahrnehmung ist, zeigt sich in besonders krasser Weise in der modernen Physik. Es sei hier nur an die Relativitätstheorie, Quantentheorie und die sich daraus ergebenden Konsequenzen über den Bau des Weltalls erinnert, den unmittelbar zu begreifen uns ja völlig unmöglich ist. Ein Weg zu dessen Verständnis führt nur über unseren Verstand, bei dessen derzeitiger Konstitution es nur wenigen vorbehalten bleibt, die Zusammenhänge klar und logisch zu erfassen. Dieser allgemeine Überblick mag zur Einführung genügen. Wir wollen uns nun der rein morphologischen Beschreibung und Betrachtung der reizempfindlichen Organe zuwenden.

II. Spezielle Darstellung der Sinnesorgane

A. Mechanische Sinnesorgane

a) Tastsinnesorgane

Die einfachsten mechanischen Sinnesorgane sind die sog. Tangeptoren, Tastorgane, die der Berührungs- und Druckwahrnehmung dienen und als diffus verteilte Tastsinneszellen in der Haut aller Tiere auftreten. Sie können durch Wimpern oder feine Stiften, die der Reizaufnahme dienen, mit der Außenwelt in Verbindung stehen oder unter der Haut verborgen liegen.

Die Tätigkeit dieser einfach gebauten Tastsinneszellen bestimmt in erster Linie den Tastsinn aller weichhäutigen Tiere. Vielfach jedoch, z.B. beim Regenwurm, kann die Wahrnehmung mechanischer Reize (Druck oder Reibung) auch ohne besonders differenzierte Sinneszellen erfolgen. Deren Funktion übernehmen in diesem Falle freie Nervenendigungen (Sinnesnervenzellen), die zwischen

den Hautzellen ein reich verzweigtes Netzwerk bilden (Abb. 3). In der Kopfgegend des Blutegels sind Tangorezeptoren mit ihren feinen Stiftchen in kleinen Gruppen angeordnet. Sie stellen Sinnesknospen dar (Abb. 4). Bewegt sich das Tier, dann wirken Partikelchen auf die Sinnesstifte ein und üben damit einen Reiz auf sie aus, der je nach der Intensität verschiedenartig beantwortet wird. Stößt der Wurm bei seiner Wanderung gegen einen für ihn unüberwindlichen Gegenstand, so wird ihm das durch die Tätigkeit der Tastorgane übermittelt, und er ändert seine Richtung. Bei anderen freilebenden Würmern zeigt sich in manchen Fällen schon eine schärfere Abgrenzung der Tastorgane gegenüber den anderen Zellen. So springen sie beim Blutegel als leichte Erhebung über die Haut vor (Abb. 4: Sinneskegel). Andere Formen besitzen lange, bewegliche Tasthaare. Besonders eigenartig sind die mechanischen Sinnesorgane bei den Spulwürmern gebaut, da letztere eine außergewöhnlich stark ausgebildete Haut haben. Unter ihr treten die freien Enden mehrerer Nervenfasern zu einem Bündel zusammen und gehen nach vorn in feine Härchen oder Borsten über. Diese wiederum enden in einem Bläschen, das entweder durch einen dünnen Kanal direkt mit der Außenwelt in Verbindung steht (Abb. 5), oder völlig abgeschlossen unter einer verdünnten Stelle der Haut liegt, die die Reizaufnahme erleichtert.

Die Tendenz zu einer Komplizierung der Tastsinnesorgane bei zunehmender Verstärkung der Cutikula tritt bei den mit einem starken Außenskelett umhüllten Gliedertieren noch stärker hervor. Die Chitinhülle ist bei ihnen meist so mächtig ausgebildet, daß mechanische Reize durch sie nicht mehr in ausreichendem Maße übertragen werden können. Daher müssen Hilfsapparate entwickelt werden, die den Reiz außerhalb aufnehmen und ihn nach dem Inneren weitergeben. Am häufigsten finden wir solche Hilfsapparate in Form von Haaren, die bei diesen Tieren vorwiegend an Fühlern und Beinen liegen. Hier treten sie meist sehr zahlreich als größere und kleinere Chitinfortsätze auf, die oft hohl sind und in einer Vertiefung der Chitinhülle mit feinen Gelenkhäutchen festgehalten werden (Abb. 6). Am Grunde jedes Haares enden außer dem Fortsatz der eigentlichen Sinneszelle noch eine Anzahl von Hilfszellen, die eine Blase umgeben. Wird das Haar durch irgend-

- a Sinnesstiftchen
- b Haut
- c Sinneszelle
- d Verbindung zwischen Sinneszelle und 2. Nervenzelle (Synapse)
- e 2. Nervenzelle
- f Tasthaar mit Sinneszelle
- g Nervenfasergeflecht um die Sinneszelle
- h Nervenzelle

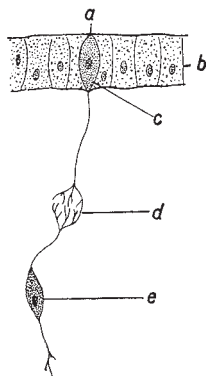


Abb. 1 A.
Schema einer primären
Sinneszelle

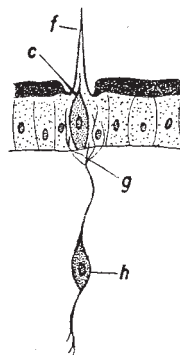


Abb. 1 B.
Sekundäre Sinneszelle,
Tasthaar eines Insekts
(schematisch)

- a Sensible Nervenzelle
- b motorische Nervenzelle
- c Empfangsorgan (Sinneszelle)
- d Erfolgsorgan (Muskel)
- e Schaltzentrum (Gehirn)

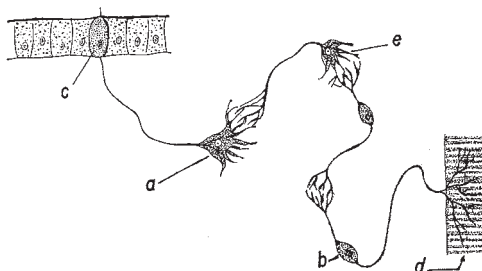


Abb. 2. Schema eines Reflexbogens
(nach Harms, modifiziert)

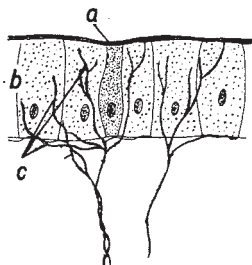


Abb. 3 Freie Nervenendigungen aus der Haut des
Regenwurms (nach Retzius)

- a Schleimzelle
- b Haut mit Cuticula
- c Freie Nervenendigungen

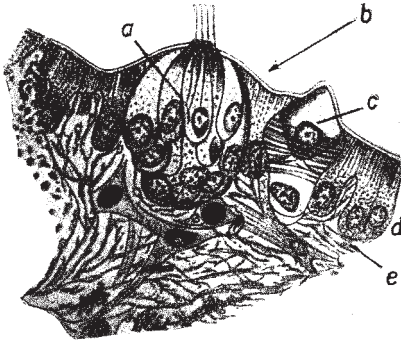


Abb. 4. Sinnesknospe vom Kopf des
Rüsselegels (*Glossosiphonia*)
(nach Bayer aus Plate)

- a Sinneszelle
- b Sinnesknospe mit Sinnes-
stiftchen
- c Sinneskegel
- d Haut mit Cuticula
- e Bindegewebe

Abb. 5. Tastorgan von der Lippe des
Spulwurms (*Ascaris*)
(nach Goldschmidt)

- a Nervenfasern mit Endfäden
- b Bläschen
- c Kanal zur Oberfläche
- d Haut mit Cuticula
- e Hilfs- und Stützzellen

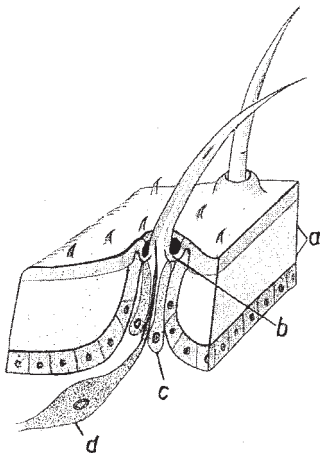
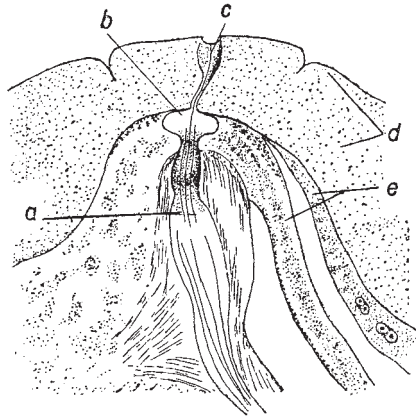


Abb. 6. Tasthaar eines Insekts (modifiziert
aus Weber)

- a Chitinpanzer
- b Gelenkhäutchen
- c Hilfszellen
- d Sinneszelle

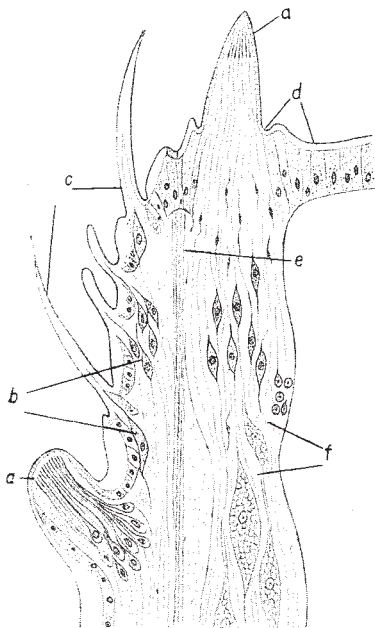


Abb. 7. Längsschnitt durch die Haut des Fühlers eines Tausendfüßlers (*Lithobius forficatus*) (nach Fuhrmann aus Plate)

- a Sinneskegel
- b Sinneszellen
- c Sinneshaare
- d Chitin
- e Muskel
- f Bindegewebe

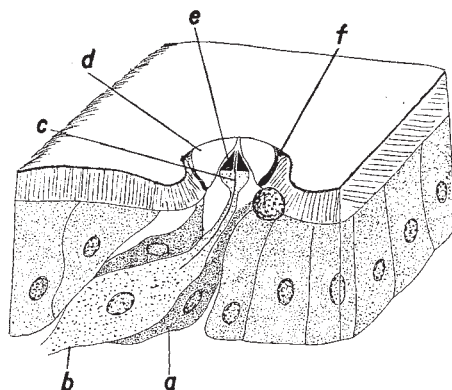


Abb. 8. Sinneskuppel vom Flügel eines Schmetterlings (modifiziert nach Vogel)

- a Hüllzellen
- b Sinneszelle
- c Endfaden
- d Chitinkuppel
- e Kappe der Sinneszelle
- f Gelenkhäutchen

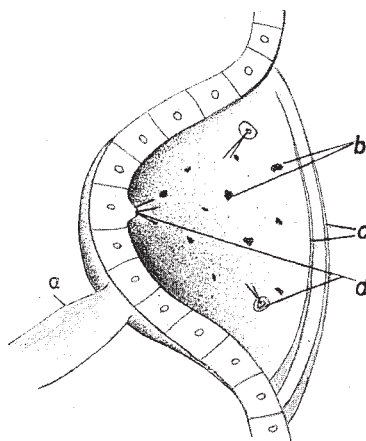


Abb. 9. Schlamm sinnesorgan vom Hinterende der Mückenlarve, *Ephelia marmorata* (nach Wolff, modifiziert)

- a Muskel
- b Sandkörnchen
- c Borste
- d Sinnesborsten