

II.

Wirbellose Tiere

von

Albrecht Bethe in Straßburg.

(Mit 7 Figuren.)

Obwohl sich die Überzeugung immer mehr Bahn bricht, daß im Kreis der Wirbellosen für die Beantwortung mancher physiologischer Fragen günstigere Versuchsobjekte zu finden sind als unter den Wirbeltieren, so ist doch die Zahl der Autoren, welche sich mit wirbellosen Tieren eingehend beschäftigt hat, noch recht klein. Zum Teil mag dies daran liegen, daß die meisten der günstigeren Versuchstiere Bewohner des Seewassers sind, für die meisten Forscher also nicht an ihrem gewöhnlichen Wohnsitz zu haben sind. Wenn man aber bedenkt, daß manche guten Versuchstiere wie die Teichmuschel, der Flußkreb, der Blutegel und andre überall zu haben sind, aber doch nur selten zu Versuchen benutzt wurden, so muß die Ursache wohl noch in andern Umständen gesucht werden. Vor allem scheint mir hier in Betracht zu kommen, daß die meisten Physiologen eine ausschließlich medizinische Vorbildung genossen haben. Infolgedessen sind ihnen nur die anatomischen Verhältnisse des Wirbeltierkörpers geläufig, und bei den häufig sehr geringen Kenntnissen vom Aufbau der Wirbellosen fehlt es ihnen an Fragestellungen, welche auf diese Bezug haben. So sind denn auch die meisten Autoren, welche mit Erfolg an wirbellosen Tieren gearbeitet haben, von Hause aus Zoologen, weil sich in der Regel die Probleme aus dem Objekt ergeben und nicht umgekehrt.

Die Summe von zoologischen Kenntnissen, welche nun aber in Wirklichkeit notwendig ist, um physiologisch damit wirtschaften zu können, ist außerordentlich gering, und kann von jedem in wenigen Wochen erworben werden, wenn er statt ein Lehrbuch zur Hand zu nehmen, an eine zoologische Station geht und sich die lebenden Tiere mit Messer und Schere ansieht. Da wird schnell erkannt, welche Tiere physiologisch brauchbar sind und welchen Problemen sie dienen können.

Von der enormen Zahl Wirbelloser scheiden für den Physiologen diejenigen Formen von vornherein aus, welche selten sind oder nur schwer am Leben erhalten werden können. In der Regel werden sich auch kleine Formen zur physiologischen Analyse als ungeeignet erweisen, wenngleich man, seit der Ausbildung der optischen Hilfsmittel (binokuläre Lupe von Westien, Rostock, oder Zeiß, Jena) auch mit diesen bis zu einem gewissen

Grade fertig werden kann. Eine Anzahl von Tieren ist auch dadurch ungeeignet oder schlecht geeignet, daß trotz einer gewissen Größe die Präparation durch massenhaftes Bindegewebe Schwierigkeiten bereitet (z. B. Tethys). So hat sich schon jetzt durch die stetige Selektion der Forscher ein Stamm mustergültiger Experimentaltiere ausgesondert, in welchem Arten aus fast allen Klassen der wirbellosen Tiere vertreten sind*). Die Zahl der brauchbaren Formen ist aber sicher noch lange nicht erschöpft. Hier kann natürlich nur von diesen bisher brauchbar befundenen Formen die Rede sein.

Die technischen Hilfsmittel, welche zur physiologischen Analyse wirbelloser Tiere bisher in Anwendung gebracht wurden, sind fast ausnahmslos dem üblichen Instrumentarium physiologischer Institute entlehnt. Wo besondere Apparate benutzt wurden, sind diese im folgenden kurz beschrieben; es ist aber auch meist erwähnt, welche von den üblichen Apparaten die Autoren für die jeweiligen Zwecke brauchbar fanden. Die Besonderheiten der Methodik beschränken sich auf die Herstellung physiologischer Präparate und die Technik der Operationen. Für beide Zwecke ist die Kenntnis der topographischen Verhältnisse notwendig. Da in der sehr umfangreichen zoologischen Literatur verständlicher Weise auf die Bedürfnisse der Physiologen wenig Rücksicht genommen wird, so wäre es angebracht, an dieser Stelle die topographische Anatomie der Wirbellosen ausführlich zu behandeln. Bei der außerordentlichen Vielgestaltigkeit der in Betracht kommenden Tiere würde aber der mir zu Gebote stehende Raum bei weitem nicht genügen. Die vorliegenden Zeilen können daher nur zur allgemeinen Orientierung dienen und überheben niemanden der Mühe, selbst das Messer in die Hand zu nehmen und die Anatomie des gewählten Untersuchungsobjektes gründlich zu studieren.

Die Methodik der entwicklungsmechanischen Untersuchungen (welche ja vorwiegend von Zoologen betrieben werden) ist unberücksichtigt geblieben. Die Technik der Versuche über Tropismen und Taxien ist nur an wenigen Stellen erwähnt. Sie deckt sich im allgemeinen mit der von den Botanikern angewandten. Die Technik physiologisch-chemischer Untersuchungen an Wirbellosen ist in v. Fürth's Buch: Vergleichende chemische Physiologie der niederen Tiere, Jena 1903, besprochen.

Ausführlichere Angaben über die Anatomie der wirbellosten Tiere findet man außer in den bekannten kleineren Lehrbüchern der Zoologie in folgenden Werken:

Vogt, C. und Yung, E.: Lehrbuch der praktischen vergleichenden Anatomie. Braunschweig, 1888.

Lang: Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der wirbellosten Tiere. Jena 1894. (2. Auflage zum Teil erschienen.**)

Vayssière: Atlas d'anatomie comparée des Invertébrés. Paris 1890.
Bronn's Klassen und Ordnungen des Tierreichs.

*) Anmerkung: Brachiopoden und Bryozoen wurden bisher nicht auf ihre physiologische Brauchbarkeit untersucht. Es erscheint aber unwahrscheinlich, daß sich hier Objekte von allgemeinerer Bedeutung finden werden.

**) Anmerkung: Aus dem Lehrbuch von Lang ist die zoologische Spezialliteratur leicht zu finden.

Wertvolle Ratschläge für das physiologische Arbeiten mit Wassertieren finden sich in: Uexküll, J. v.: Leitfaden in das Studium der experimentellen Biologie der Wassertiere. 1905.

Die physiologische Literatur ist, soweit sie technisch wichtig erschien und mir zugänglich war, am Schluß zusammengestellt. Zahlen bei den Autornamen verweisen auf diese Zusammenstellung.

Material, Lebensbedingungen und allgemeine Ratschläge.

A. Landtiere.

Die für uns in Betracht kommenden Landtiere rekrutieren sich ausschließlich aus dem Stamm der Würmer (Regenwürmer), der Molusken (Gehäuseschnecken und Nacktschnecken) und Arthropoden (Asseln, Spinnentiere, Tausendfüßler und Insekten). Unter diesen befinden sich für manche Zwecke hervorragend geeignete Experimentaltiere. Fast ausnahmslos sind sie gut in der Gefangenschaft zu halten, da sich leicht die ihnen zusagenden Bedingungen erfüllen lassen. Die zu Versuchen am Nerven- und Muskelsystem und zu Experimenten über Schleimsekretion sehr geeigneten Nacktschnecken halten sich sehr gut, wenn man für genügende Feuchtigkeit sorgt und sie reichlich mit Salat füttert. Man soll nicht zu viele Tiere auf kleinem Raum zusammensperren. Kot, Schleim und verdorbene Nahrung müssen von Zeit zu Zeit entfernt werden; auch dürfen die Tiere nicht in Wasser sitzen, da sonst leicht Infektionen eintreten. Die großen Wegschnecken (*Arion*) sind im Sommer überall leicht zu sammeln, während man die für manche Zwecke geeigneteren *Limax*-Arten schon suchen muß (unter Steinen, in feuchten Kellern und Abfallgruben).

Bestimmungen des osmotischen Drucks des Blutes von Land-Wirbellosen sind mir nicht bekannt. Angaben über die Konzentration der zu benutzenden physiologischen Kochsalzlösung können daher nicht gemacht werden. Wahrscheinlich schwankt der osmotische Druck bei ein und derselben Art innerhalb weiter Grenzen. Nacktschnecken können z. B. nach Künkel⁵¹⁾ durch Verdunstung einen Wasserverlust bis zu $\frac{2}{3}$ ihres Maximalgewichts ertragen. Man wird daher gut tun, jede körperfremde Flüssigkeit nach Möglichkeit zu vermeiden.

B. Wassertiere.

a) des Süßwassers.

Wenngleich in unseren Seen und Flüssen Vertreter aller Stämme der Wirbellosen (mit Ausnahme der Echinodermen) vorkommen, so sind doch für physiologische Untersuchungen nur wenige Tiere geeignet; von den Würmern die größeren Plathelminthen und der Blut- und Pferdeegel, von Molusken die Teichmuscheln (*Anodonta* und *Unio*) und einige Schnecken (*Limnaeus*, *Planorbis* etc.) und von Krustazeen der Flußkrebs. Allen andern Tierarten des süßen Wassers kommt wohl eine allgemeinere Verwendbarkeit nicht zu. Die erstgenannten Tiere bedürfen weder besonderer Pflege, noch größerer Wassermengen; auch ist Durchlüftung des Wassers überflüssig. Blutegel halten sich auch in operiertem Zustand monate- und

jahrelang, wenn nur alle paar Wochen das Wasser gewechselt wird und allzu hohe Temperaturen (über 20° C.) vermieden werden. Teichmuscheln verlangen vor allem Sand zum eingraben. Flußkrebse sind nicht ganz leicht zu halten; langsam fließendes Wasser (Anschluß an die Wasserleitung), Gelegenheit zum Verkriechen (alte Tonröhren) und die Möglichkeit an Land zu gehen, gehören zu den wesentlichen Bedingungen des guten Gedeihens. Auch müssen sie öfter mit Fleisch gefüttert werden. Operierte Tiere halten sich auch bei bester Pflege selten länger als einige Tage oder Wochen.

Der osmotische Druck der Körpersäfte und der Organe ist bei den verschiedenen Invertebraten des Süßwassers sehr verschieden groß, so daß man dementsprechend die zur Benetzung physiologischer Präparate zu verwendenden Flüssigkeiten einstellen muß. Nach Frédéricq³⁰⁾ beträgt die Gefrierpunktserniedrigung (Δ) bei:

Hirudo	— 0,43°
Limnaea	— 0,22°
Anodonta	— 0,15° bis — 0,21°
Unio	— 0,13°
Astacus	— 0,8°

Bei Hirudo würde man also ungefähr dieselbe Kochsalz- resp. Ringerlösung benutzen können wie beim Frosch, bei Astacus eine etwas konzentriertere wie bei Säugetieren, während bei den Molusken des Süßwassers wesentlich verdünntere Lösungen anzuwenden wären.

b) des Meeres.

In der Regel wird man zu Versuchen an Seetieren eine zoologische Station aufsuchen, von denen in Europa wohl nur die in Neapel mit dem nötigen physiologischen Instrumentarium ausgerüstet ist. Da manche wichtigen Versuchstiere aber im Mittelmeer nicht vorkommen oder nur in kleinen Formen oder Exemplaren (*Mysis* und *Carcinus*), so wird man sie an andern Orten aufsuchen müssen. (Die größten Exemplare von *Mysis* bei Kopenhagen, Kiel und Helgoland, von *Carcinus* in Plymouth; an den beiden letzteren Orten gut eingerichtete zoologische Stationen, aber ohne physiologisches Instrumentarium).

Seetiere ins Inland kommen zu lassen, ist zwar möglich, aber bei den großen Mengen von Material, die man in der Regel nötig hat, kostspielig und undankbar. Selbst von den zählebigeren Tieren (Taschenkrebse, Aktinien und Muscheln) geht immer ein Teil während oder nach einem längeren Transport ein.

Am besten wird man die Seetiere im Inlande halten können, wenn man die Aquarien mit natürlichem Seewasser füllt, welches man sich in Glasballons von derselben Station schicken läßt, von der das Tiermaterial stammt. Wichtig ist Reinhaltung des Wassers und stetige Durchlüftung mit einem Wasserstrahlgebläse. Verschiedentlich hat man auch gute Erfolge mit künstlichem Seewasser erzielt. (Vor allem wird man künstliche Lösungen nicht entbehren können, wenn die Notwendigkeit resp. die physiologische Dignität der einzelnen Salze geprüft werden soll). Loeb⁵⁸⁾ wandte zur Herstellung künstlichen Seewassers die von van't Hoff angegebene Proportion der Mole-

larkonzentration der im Seewasser enthaltenen Salze an: NaCl 100; KCl 2,2; MgCl₂ 7,8; MgSO₄ 3,8. Hinzugefügt wurden 2 CaCl₂. Die Lösung wird in der Konzentration hergestellt, welche dem spezifischen Gewicht des Seewassers entspricht, aus dem die Tiere stammen. Herbst⁴²⁾ löst 3 gr. NaCl; 0,07 KCl; 0,26 MgSO₄; 0,32 MgCl₂ und 0,1 CaSO₄ in 100 cem dest. Wasser, läßt mit etwas phosphorsaurem Kalk stehen, filtriert ab, fügt CaCO₃ zu, leitet CO₂ ein, läßt an der Luft stehen (oder leitet Luft durch) und filtriert nochmals ab.

Physiologisch für die verschiedenartigsten Zwecke verwertbare Seetiere gibt es aus allen Stämmen und Klassen der Wirbellosen, mit Ausnahme des Unterstammes der Tracheaten, welche ja zum größten Teil Landtiere sind. Die wichtigsten Versuchstiere sind in den späteren Abschnitten aufgeführt und es sind stets die Monate mit römischen Zahlen angegeben, in denen die betreffenden Tiere nach den Tabellen von Lo Bianco⁵⁹⁾ auf der zoologischen Station zu Neapel in größeren Mengen zu haben sind.

Behandlung der Instrumente: Seewasser greift fast alle Metalle (mit Ausnahme reiner Edelmetalle und des Bleies) stark an. Besonders Stahl- und Eisenwerkzeuge sind bald durch Rost zerfressen, wenn sie nicht gut lackiert sind oder mit besonderer Vorsicht behandelt werden. v. Uexküll empfiehlt alle schneidenden Instrumente dauernd unter Öl aufzubewahren und beim Gebrauch nur oberflächlich abzuwischen. Diese Methode erfüllt zwar ihren Zweck, ist aber in der Praxis nicht sehr angenehm. Ich habe meine Instrumente (und Apparate) stets dadurch vor Rost schützen können, daß ich sie nach dem Gebrauch mit süßem Wasser gut wusch, abtrocknete und mit wenig Vaseline einrieb.

Bei der elektrischen Reizung von Seetieren muß man im Auge behalten, daß der Leitungswiderstand des Seewassers verhältnismäßig sehr gering ist. Man wird deshalb die zu reizenden Teile, wenn irgend möglich, während der Reizung der Luft aussetzen. Muß man unter Wasser reizen, so hat man die Elektroden bis zur Reizstelle gut zu isolieren. Am besten schmilzt man die Platindrähte (es wird sich ja fast nie um unpolarisierbare Elektroden handeln) in Glaskapillaren ein, aus denen das Reizende nur etwa einen halben Millimeter vorsteht.

Als physiologische Salzlösung kann man bei fast allen Meerestieren das Seewasser benutzen, in dem sie leben. Dies lehrt die bisherige Erfahrung, denn es halten sich ausgeschnittene Organe vieler Tiere stunden- und manchmal tagelang in Seewasser lebensfrisch, es wird aber auch gestützt durch die Theorie: Bottazzi¹¹⁾ fand die Gefrierpunkterniedrigung des Blutes von Coelenteraten, Echinodermen, Würmern, Krustazeen, Zephalopoden (und Selachiern) gleich dem des Seewassers (2,3°), nachdem Frédéricq²⁸⁾ bereits früher gezeigt hatte, daß die Proportion der löslichen Salze des Blutes von Seetieren annähernd gleich der des Meerwassers ist. (Nur bei den Teleostieren ist der osmotische Druck des Blutes geringer als der des umgebenden Wassers, $\Delta = -0,74^{\circ}$ bis $-1,04^{\circ}$). Trotzdem wird man bei den Tieren, welche viel und nur langsam gerinnendes Blut haben, z. B. bei *Aplysia* vorziehen, das eigne Blut der Tiere als Anfeuchtungsmittel zu benutzen, besonders da Frédéricq²⁹⁾ hervorgehoben hat, daß die Zusammensetzung der osmotischen wirksamen Substanzen im Blut und im Seewasser verschieden ist.

Asepsis, Wundverschluss und Narkose.

Im allgemeinen sind die Wirbellosen, wie auch schon die niederen Wirbeltiere, gegen die gewöhnlichen Infektionen nicht sehr empfindlich. An unbedeckten Wundrändern sieht man zwar besonders bei Molusken Verfärbungen auftreten, welche wohl auf bakterielle Einflüsse zurückzuführen sind, auch kann bei sehr geschwächten Tieren Fäulnis einzelner Teile des Körpers (meist von Wundstellen aus) eintreten, die dann bald zum Tode des ganzen Individuums führt. Derartige Infektionen lassen sich aber bei Wassertieren in der Regel durch genügenden Wechsel des Wassers und reichliche Durchlüftung desselben fernhalten. Am empfindlichsten gegen Infektionen scheinen mir die Arthropoden zu sein. Immerhin ist die Gefahr, operierte Tiere durch Infektionen zu verlieren, so gering, daß es sich nicht lohnt, eine strenge Asepsis durchzuführen. Die übliche Reinlichkeit des kultivierten Menschen, oberflächliche Säuberung des Operationsfeldes mit Alkohol oder Sublimatlösung und halbstündiges Einlegen der Instrumente in 60 % Alkohol oder 3 % Karbollösung genügen, um in den meisten Fällen gute Resultate zu erzielen. Antiseptika in die Wundhöhlen hineinzubringen, ist nach meinen Erfahrungen ganz unzweckmäßig; es sind daher auch die Operationsinstrumente vor dem Gebrauch mit steriler Watte zu trocknen oder mit gekochtem Seewasser (resp. physiologischer Kochsalz-Lösung) zu waschen.

Wundverschluß: Ein vollständiger Verschluß der Operationswunden ist unerlässlich, da ein Stehenbleiben der Blutung bei dem nicht geschlossenen Gefäßsystem, der mangelhaften oder fehlenden Gefäßmuskulatur und der fast immer geringen Gerinnungsfähigkeit des Blutes ausgeschlossen ist.

Bei allen Tieren mit weichem Integument können die Wunden in der üblichen Weise genäht werden. Der Wundverschluß wird bei allen Formen mit stark entwickelter subepithelialer Muskulatur (Hautmuskelschlauch; viele Mollusken und Würmer) unterstützt durch die starke, lokale Muskelkontraktur, welche sich um die Operationswunde einzustellen pflegt. Bei Landtieren kann man sich mit der einfachen Naht begnügen. Bei Wassertieren ist es aber zweckmäßig, die Wunde gegen das Eindringen von Wasser noch weiter zu schützen. Recht vorteilhaft erweist sich dazu eine Gelatinegallerte von hohem Verflüssigungspunkt (ca. 35—40°), welche man heiß auf die vorher abgetrockneten Wundränder aufträgt (Steiner⁷⁸). Steiner macht die Gelatineschicht noch wasserunlöslich durch Bestreichen mit konzentrierter Tanninlösung; da sich aber die Gelatineverbände infolge der Sekretion von seiten der Haut fast bei allen Tieren nach ein bis drei Tagen ablösen, ob sie mit Tannin behandelt sind oder nicht, so habe ich die Tanningebung ganz aufgegeben, weil sie häufig zu Reizerscheinungen und Nekrose der Haut Anlaß gibt. Nach ein bis zwei Tagen sind die Wundränder gewöhnlich gut verklebt, so daß eine Erneuerung des Verbandes unnötig ist. Bei Seetieren, die ja in einem fast physiologischen Medium leben, ist der Gelatineverband überhaupt nur nötig, wenn die Wunde durch die Naht nicht zu vollkommenem Verschluß gebracht werden kann.

Schwieriger ist der Wundverschluß bei Tieren mit Schale oder hartem Panzer (Arthropoden, Muscheln, Schnecken). Da man zur Operation gezwungen ist, ein größeres Stück des Panzers zu entfernen, muß eine Pro-

these angelegt werden, damit sich die Tiere nicht verbluten. Der auch für diese Tiere von Steiner empfohlene Verschluss mit Gelatine ist natürlich ganz ungenügend, da er nur kurze Zeit hält.

Die einzig brauchbare Methode besteht in dem Verschluss mit Wachs und wurde von Lemoine zuerst angegeben und von mir (Bethe³⁾ S. 538) weiter ausgebildet. Die Ränder der Öffnung im Chitinpanzer resp. in der Kalkschale werden nach beendeter Operation (Eröffnung siehe unten bei Arthropoden) mit trockenem Fließpapier von Blut vollständig befreit. Darauf wird aus Modellierwachs (am besten geeignet das blaue englische) eine Platte geformt, welche etwas größer ist als die Wundöffnung und diese vorsichtig auf die Öffnung gelegt und zwar so, daß kein Blut unter der Wachsplatte hervortritt. (Wenn an mehreren Stellen Blut ausgetreten ist, so muß die Platte nochmal entfernt werden; ist nur an einer Stelle etwas übergetreten, so wird es vorsichtig mit Fließpapier abgesaugt.) Darauf wird ein Spatel oder Draht soweit erwärmt, daß es zischt, wenn er aufs Wachs kommt, und mit diesem der Rand der Wachsplatte unter gleichzeitiger Berührung des Panzers umfahren. Es ist zweckmäßig, an jedem Punkt mit dem heißen Instrument einige Zeit zu verweilen, damit nicht nur das Wachs schmilzt, sondern auch das Chitin resp. die Kalkschale sich genügend erwärmt. Gut angelegte Wachsplatten halten Wochen und Monate, auch bei Tieren, die sich viel bewegen und herum wälzen.

Narkose: Für alle die Tiere, welche man gut fesseln kann, ist die Narkose überflüssig, wenigstens bei Operationen. Außerdem sind die meisten wirbellosen Tiere gegenüber den wirksamen Dosen sehr empfindlich, so daß sie leicht nachträglich eingehen. Bei manchen Tieren aber, die sich nicht oder nur schlecht fesseln lassen, z. B. Aktinien, Würmern, Nacktschnecken usw. sind feinere Operationen ohne Lähmungsmittel schwer auszuführen. Äther und Chloroform geben ganz schlechte Resultate, besonders das Chloroform, das einmal einen starken Hautreiz setzt und zweitens die glatte Muskulatur in einen sich nicht oder nur sehr langsam lösenden Kontraktionszustand versetzt. Für Würmer empfiehlt Fürst⁴⁰⁾ 5—7 Proz. Alkohol (Einwirkungsdauer 5—6 Stunden). v. Uexküll⁹⁰⁾ empfiehlt die Kombination von Wärmelähmung und Alkohol-Narkose (4 0/0 Alkohol bei 32—34° C). Bei Aktinien gibt Chloralhydrat leidliche Erfolge; häufig tritt allerdings der Tod ein. Bei *Aplysia* wird nach dem Vorgang von Schönlein⁷⁶⁾ Pelletierin mit sehr gutem Erfolg angewandt. Auch Cocain leistet hier (Jordan) und an anderen Objekten gute Dienste. Häufig kann auch Kohlensäure (bei Wassertieren Einleitung ins umgebende Wasser) eine brauchbare, weil vorübergehende Lähmung herbeiführen (v. Uexküll⁹³⁾).

Coelenteraten.

A. Spongien.

Bei den außerordentlich schwach entwickelten animalen Funktionen der Spongien können dieselben wohl nur für physiologisch-chemische Fragen in Betracht kommen (siehe v. Fürth).

B. Cnidarier.

Zoologisch werden die Cnidarier eingeteilt in Hydrozoen (Hydromedusen), Scyphozoen (Scyphomedusen) und Anthozoen. Die Hydrozoen und Scyphozoen treten meist in zwei morphologisch und physiologisch ganz verschiedenen Formen auf: als (in der Regel) festsitzende, häufig kolonienbildende, ungeschlechtliche Polypen (Hydroidpolypen und Scyphopolypen) und als freischwebende Medusen (craspedote Medusen der Hydrozoen und acraspede Medusen der Scyphozoen). Bei der großen physiologischen und auch morphologischen Ähnlichkeit der Hydroidpolypen und Scyphopolypen einerseits und der craspedoten und acraspeden Medusen andererseits ist es zweckmäßig, sich hier nicht an die ja zweifellos richtige zoologische Einteilung zu halten, sondern die Polypen (mit Einschluß der Anthozoenpolypen) zusammen und die Medusen zusammen zu betrachten.

Polypen.

Abgesehen von den großen morphologischen Verschiedenheiten ist allen nicht degenerierten oder reduzierten Polypen folgendes gemeinsam: Der Körper besteht aus einem muskulären Blindsack, dessen Innenraum den Magen bildet. Die einzige Öffnung ist Mund und After zugleich, wird aber als Mund bezeichnet. Um den Mund stehen in radiärer Anordnung eine größere oder kleinere Anzahl beweglicher Tentakel. Mit dem aboralen Pol sind die Tiere entweder festgewachsen (die Oktokorallien, die meisten Hydroidpolypen und ein Teil der Hexakorallien) oder er ist zu einer Fußplatte umgebildet, mit der sie in nicht genauer untersuchter Weise Kriechbewegungen ausführen können (Hydra des süßen Wassers und alle Aktinien mit Ausnahme der Zoanthen). Das Nervensystem ist subepithelial und diffus im ganzen Körper verbreitet; nur bei wenigen Formen existieren Andeutungen von Zentralisation.

Zu physiologischen Untersuchungen haben sich wegen ihrer Größe hauptsächlich die Aktinien (Seerosen) als brauchbar erwiesen. Verdauungsversuche sind leicht ausführbar (siehe v. Fürth). Nervenpräparate können wegen der diffusen Verbreitung der Nerven nicht angefertigt werden; auch keine Muskelpräparate, da es nicht gelingt, die Muskelzüge rein zu erhalten. Dagegen eignen sich die Tiere sehr gut zum Studium der Funktion einfacher Nervenetze und undifferenzierter rezeptorischer Endorgane. Das Studium der Reflexe ganzer und zerteilter Tiere hat schon zu einer Menge interessanter Resultate (Loeb⁵⁶), Parker⁶⁷), Nagel⁶⁵) geführt.

Versuche über die Umkehr der Cilienbewegung unter dem Einfluß von Ionen machte Parker⁶⁸).

Sehr geeignet sind Polypen (nicht nur Aktinien) auch zu Untersuchungen über Regeneration und Tropismen (Loeb⁵⁴).

Bei vielen Hydroidpolypenkolonien (Tubularien, Pennarien, vor allem den Siphonophoren) besteht ein nervöser (und auch nutritiver) Zusammenhang zwischen den einzelnen Individuen. Bis jetzt existiert nur eine kurze Untersuchung über diese Verhältnisse, welche nach eignen Orientierungsversuchen recht interessant zu sein scheinen (Zoja.⁹⁹)

Material: Aktinien und festsitzende Hydroidpolypenkolonien in Neapel das ganze Jahr zu haben; die pelagischen Siphonophoren hauptsächlich im Winter und Frühjahr.

Medusen.

Diese frei im Wasser schwebenden Glocken sind zu physiologischen Versuchen wegen ihrer Durchsichtigkeit, ihrer Zählebigkeit und ihres schematisch klaren Körperaufbaues besonders geeignet. Bei craspedoten wie acraspeden Medusen bildet die Hauptmasse des Körpers die radiäre Schirmglocke, von deren Konkavität (Subumbrella) der vielgestaltige Magenstiel (Manubrium) in der Mitte herabhängt. Bei den craspedoten Medusen setzt sich der Schirmrand unter Verdünnung nach innen zu einem muskulösen Ringbande fort, dem Velum oder Craspedon. Den Acraspeden fehlt das Velum. (Ihr Rand ist stets gelappt). Am Schirmrand interessieren ferner die in verschiedner Zahl und Länge herabhängenden, mit Längsmuskulatur versehenen (bei manchen Acraspeden fehlenden) Tentakeln und die „Randkörper“, welche stets Statozysten, bei manchen Hydromedusen daneben auch einfache Ozellen enthalten.

Die Glocke besteht zum größten Teil aus Gallerte und ist auf der Exumbrella (Konvexität) mit einem einfachen, muskel- und nervenlosen Epithel überzogen, während sich auf der Subumbrella unter dem Epithel eine dünne Schicht quergestreifter Muskulatur ausgebreitet; zwischen dieser und dem Epithel, bei manchen Arten z. T. noch im Epithel, liegt der Nervenplexus, ein diffuses Nervenetz. Bei den Craspedoten ist das Nervenetz am Schirmrand zum Randring verdichtet, von welchem an den Radien die mit Ganglienzellen untermischten Randnerven gegen das Zentrum ziehen. Bei den Acraspeden sind diese Verdichtungen des Nervenetzes nur angedeutet; die Hauptverdichtungen liegen hier an den Randkörpern.

Brauchbarste Versuchstiere: 1. Craspedote: *Carmarina hastata* (Winter und Frühjahr) [*Gonionemus Murbachii*, in Amerika sehr beliebt. Nur in Woods Holl häufig VI—X]. 2. Acraspede: *Aurelia aurita* (Ostsee und Nordsee VII—IX im Mittelmeer selten); *Rhizostoma pulmo* (große Exemplare I—XII, kleine IV—V); *Cotylorhiza tuberculata* (VII—XII—I).

Muskelpräparate frei vom Nervenetz sind nicht herstellbar. Die Medusen sind vor allem geeignet zur Erforschung einfacher Reflexe vermittelt durch typische Nervenetze, ferner zur Untersuchung der Statozystenfunktionen und der Ursachen rhythmischer, nervös vermittelter Bewegungen. (Romanes^{73, 74}) Nagel⁶⁶), Loeb⁵⁷), v. Uexküll⁸⁹), Yerkes⁹⁸), Bethe⁵) p. 106 u. 408.)

Operationen: Sehr angenehm für die Untersuchung ist, daß sich Teilstücke der Tiere, auch sehr kleine, bei guten Wasserverhältnissen (gute Durchlüftung, Fernhalten von Schmutz, niedrige Temperatur) tagelang lebend erhalten lassen. Zu Zerstückelungsversuchen und Operationen ist eine Immobilisierung unnötig (wenn nötig, am besten mit Kohlensäure). Man legt die Tiere einfach in eine mit Wachs ausgegossene Präparierschale, die Subumbrella nach oben und bedeckt sie mit ganz wenig Wasser; eventuell kann man sie mit einigen Nadeln ohne Schaden feststecken. — Die Exstirpation der Randkörper ist ganz leicht; vollständige Entfernung derselben hebt die rhythmischen Bewe-

gungen ganz auf, während sie bei Gegenwart eines noch fortdauern. Um in exakter Weise kombinierte kreisförmige Schnitte bei lebenden Medusen anzulegen, benutzt A. G. Mayer⁶⁴⁾ Systeme von scharfen an einer Seite offenen Blechringen, welche durch den Medusenkörper hindurchgedrückt werden.

Registrierung der Bewegungen: Das Gewebe ist genügend resistent, um die Bewegungen der Glocke (auch der Tentakeln) auf einen Hebel zu übertragen. Romanes⁷⁴⁾ brachte direkt an der Glocke einen Strohhalm an. Zweckmäßiger ist es Fadenübertragung zu benutzen, indem man in den Schirmrand einen Draht- oder Glashaken einsetzt. Von intakten Cotylorhizen und randkörperlosen Tieren anderer Arten (zur Bestimmung der Leitungsgeschwindigkeit) bekommt man gute Kurven, wenn man die Tiere mit der Exumbrella nach unten in eine Präparierschale legt, einige Stecknadeln durch das nervenfreie Zentrum spießt (nach Entfernung des unnötigen Magelstiels) und die Schale bis zum freien Flottieren des Schirmrandes mit Wasser füllt. *Carmarina* und *Rhizostoma* schreiben, wenn un-

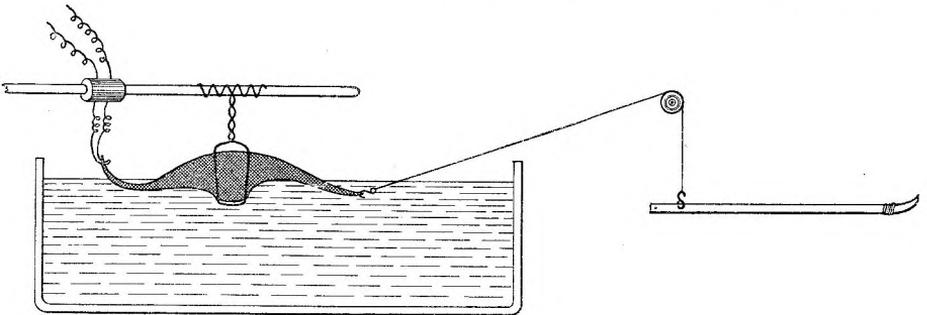


Fig. 1.

verletzt, in dieser anomalen Lage keine regelmäßigen Kurven, weil sie dauernd bestrebt sind, die Normallage wieder zu gewinnen. Hier wird ein ruhiges Arbeiten erreicht, wenn man folgendermaßen verfährt: Nachdem das Manubrium abgeschnitten ist, werden zwei U-förmig gebogene starke aber weiche Kupferdrähte (Abstand der Schenkel von einander ca. 2 cm) von der Subumbrella aus nach oben durch das nervenlose Glockenzentrum so hindurch gestochen, daß die Stichöffnungen ungefähr ein Quadrat bilden. Auf der Glockenoberseite werden je zwei Drähte zusammengedreht. Das Tier wird jetzt in ein größeres Gefäß mit Seewasser gebracht, über dessen Oberfläche zwei Glasstäbe horizontal (mittels eines daneben stehenden Statifs) befestigt sind. Um diese Glasstäbe werden die freien Enden der Drähte fest herumgewickelt (Fig. 1). Das Tier schwebt dann in normaler Lage im Wasser, kann aber nicht seinen Platz verändern. Darauf wird an einer (oder mehreren Stellen) des Schirmrandes ein Haken eingesetzt, von dem aus die Übertragung zum Schreibhebel durch einen Faden, der über Rollen läuft, bewerkstelligt wird. Um gleichmäßige Kontraktionen zu erzielen ist es zweckmäßig den Hebel nur schwach zu belasten und es zu vermeiden, daß der Schirmrand bei der Diastole über die Wasseroberfläche kommt. Sollen Extrasystolen erzeugt oder zu andern Zwecken Reize angesetzt werden,

so befestigt man am besten zwei leicht bewegliche, mit der sekundären Spirale des Induktionsapparates verbundene Hakenelektroden an einem Glasstab über dem Bassin und legt eine Stelle des Schirmrandes so über die Haken, daß sie dauernd über der Wasseroberfläche bleibt (Fig. 1).

Bei Studien über den Einfluß der Temperatur kann man entweder das Bassin, in dem sich das Versuchstier befindet, direkt mit Hilfe eines untergesetzten Wasserbades anheizen oder unter Benutzung eines Überlaufhebers aus einem zweiten Gefäß langsam warmes Seewasser zulaufen lassen.

Bei Anstellung der Versuche (besonders an Teilstücken) ist darauf zu achten, daß die Muskulatur nicht bei allen Formen eine zirkuläre Anordnung hat. Bei *Carnarina* und *Rhizostoma* gibt es nur zirkuläre Muskulatur, bei *Cotylorhiza* neben der nahe am Schirmrand gelegenen zirkulären Muskulatur

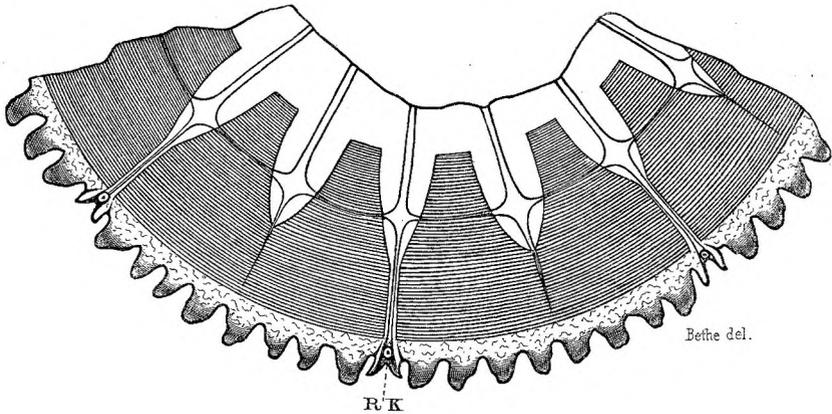


Fig. 2.

Anderthalb Quadranten vom Schirm einer *Rhizostoma* von der Unterseite gesehen. RK—Randkörper. Die muskelfreien Felder sind weiß gehalten, die Muskelfelder sind dem Verlauf der Fasern entsprechend zirkulär schraffiert.

eine mehr dem Zentrum zu gelegene in der Hauptanordnung radiäre Muskulatur. Die Latenz der radiären Muskulatur ist weit geringer als die der zirkulären.

Für den Nachweis der neurogenen Natur der Leitung und zu vielen damit zusammenhängenden Versuchen ist *Rhizostoma* besonders geeignet, weil sich hier die Muskulatur nicht gleichmäßig auf der Subumbrella ausbreitet, sondern in flaschenförmigen Sektoren angeordnet ist, zwischen denen breite nur Nerven enthaltende Flächen freibleiben (Fig. 2).

C. Ctenophoren (Rippenquallen).

Bei diesen Tieren wird, wie bei den Medusen, wohl in erster Linie der Bewegungsapparat interessieren. Das — von manchen Autoren bis in die neueste Zeit geleugnete — Nervensystem besteht in einem diffusen Nervennetz subepithelialer Natur, das nur am aboral gelegenen „Sinnespol“ Andeutungen von Verdichtung zeigt. Der ganze Gallertkörper enthält kon-

traktile Elemente. Die zwei langen, in Taschen zurückziehbaren Tentakel zeigen ähnliche Reaktionen wie die der Medusen und können wie diese ihre Bewegungen auch noch nach Abtrennung vom Körper ausführen. Die eigentlichen Bewegungsorgane sind die Geißelplättchen, welche zu radiären Reihen angeordnet sind. Die Plättchen einer Reihe schlagen stets rhythmisch und koordiniert, auch zeigen die einzelnen Reihen untereinander bei intaktem Sinnespol, wenn nicht infolge eines Reizes gesteuert wird, synchrone Bewegungen. Die Ursachen dieser rhythmischen Bewegung sind noch gänzlich unaufgeklärt. Über die Koordination sind einige Aufschlüsse durch Zerstückelungsversuche (Eimer²⁴) erzielt. Technisch haben dieselben keine Schwierigkeit.

Material: *Beroe ovata* (Winter und Frühjahr), *Bolina hydatina* (Herbst), *Eucharis multicornis* (ganze Jahr), *Callianira bialata*.

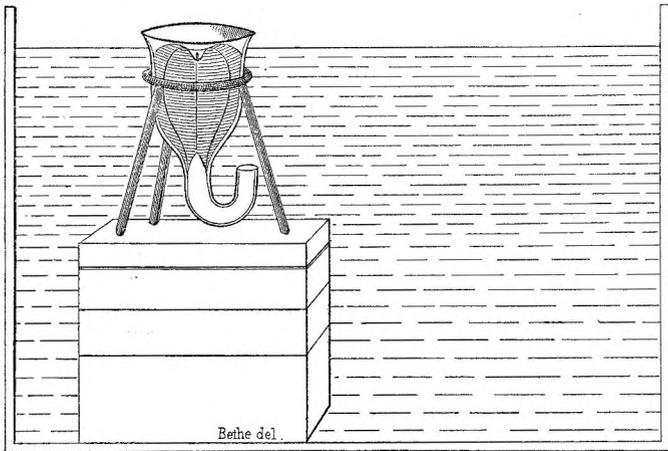


Fig. 3.

Der Sinnespol besteht in der Hauptsache aus einem auf elastischen Federn ruhenden Stein. Dies Gebilde ist etwas versenkt und durch Haare gegen das Wasser hin geschützt. Es wird als Statozyste angesprochen, wofür auch von Verworn⁹⁵) ausgeführte Experimente sprechen. Weitere Untersuchungen dürften aber noch zu interessanten Ergebnissen führen können. Die Fortnahme des Statolithen ist eine sehr delikate Operation. Verworn empfiehlt folgende Methoden: Bei *Eucharis* wurde eine lange fein ausgezogene Glasröhre mit der Spitze bis dicht an den Statolithen geführt und dann das Wasser mit dem Munde angesaugt. Der Stein reißt dabei ohne größere Verletzungen los. Bei *Beroe* gelingt es nicht auf diese Weise den Stein zu entfernen. Hier wurde das Tier mit der Hand gehalten und der Sinnespol mit einem heißen Draht ausgebrannt.

Da, wie mir scheint, die Bedeutung des Sinnespols mit der Gegenwart des Statolithen nicht erschöpft ist, an dieser Stelle vielmehr auch die Leitungsbahnen der Plättchenreihen in Beziehungen zueinander treten, so ist bei der Operation vor allem darauf zu sehen, daß wirklich nichts weiter ge-

schiebt, als die Fortnahme des Steines selber. Beim Ausbrennen wird natürlich auch das umgebende Gewebe zerstört und auch das Aussaugen scheint nach meinen eignen Versuchen nicht ganz unverfänglich. Bei meinen eigenen (bisher nicht veröffentlichten) Untersuchungen (1899) schien mir *Callianira* trotz ihrer Kleinheit durch die günstige Lage des Organs besonders geeignet. Als „Operationstisch“ wurde eine trichterförmig sich verengende, U-förmig abgebogene Glasröhre verwendet, welche auf einem beschwerten kleinen Stativ befestigt war (Fig. 3). Mit diesem Rohr ging ich unter das freischwimmende Tier und ließ es, mit dem Pol nach oben, in den Trichter hineinschlüpfen. Das erfordert einige Geduld. Anfassen des Tieres ist bei der Zartheit ausgeschlossen. Das Stativ wird jetzt so hoch gestellt, daß der Pol grade eben die Wasseroberfläche berührt. Auf die Weise keilt sich das Tier durch seine eigene Schwere so fest ein, daß es sich nicht rühren kann, aber trotzdem nicht im geringsten leidet. Unter der Westienschen Lupe kann jetzt das Operationsfeld bei geeigneter seitlicher Beleuchtung gut übersehen und der Stein mit einer ganz feinen Ewaldschen Scherenpinzette entfernt werden. Ich glaube mich überzeugt zu haben, daß bei den so operierten Tieren die von Verworn beschriebene, vollkommene Aufhebung der Plättchen-Koordination fehlt, daß aber trotzdem das Gleichgewicht stark geschädigt ist. Eine weitere Untersuchung wäre am Platze.

Echinodermen.

Zoologisch würden sich an die Coelenteraten zunächst die Würmer anreihen; physiologisch haben aber die Echinodermen mit den Coelenteraten mehr gemein, so daß sie hier zuerst besprochen werden sollen. Von den fünf Klassen der Echinodermen sind Vertreter der Crinoiden (Haarsterne) und der Asteroiden (Seesterne) bisher noch nicht zu eingehenden physiologischen Versuchen benutzt worden, trotzdem auch sie eine Menge interessanter Ergebnisse erwarten lassen.

A. Echinoideen (Seeigel).

Bei diesen Tieren tritt uns zum erstenmal eine große Leibeshöhle entgegen, welche sie zu manchen Experimenten geeignet macht, die an den bisher betrachteten Wirbellosen unausführbar sind. In der nach außen von der harten Kalkschale umgrenzten Höhle flottiert an den Mesenterien aufgehängt der Darm. Außerdem beherbergt sie die Geschlechtsorgane, das Wassergefäßsystem (Ambulacralsystem), einen Teil des Nervensystems (Nervenring und Radialnerven) und den Kauapparat (Laterne des Aristoteles) mit seinen ziemlich langen glatten Muskeln. Die ganze Bewegungsmuskulatur besteht aus sehr kleinen Muskelchen und liegt auf der Schalenoberfläche, zwischen dieser und dem sie überziehenden Epithel. Hier findet sich auch der Hauptteil des Nervensystems, der subepitheliale Plexus.

Material: Seeigel sind im Mittelmeer das ganze Jahr durch zu haben; *Sphaerechinus granularis* ist sehr häufig und wird am meisten benutzt; für einige Fragen sind aber andere Arten (*Arbacia* und *Centrostephanus* [selten]) geeigneter.

Resorptionsversuche: Um den Stofftransport aus dem Darm in die Leibeshöhle zu untersuchen, steckt Cohnheim²⁰⁾ ein Glasröhrchen in die Mundöffnung und läßt 10—12 cm der zu untersuchenden Lösung in den Darm laufen, wobei die Laterne rythmisch gehoben und gesenkt wird. Wenn man nach einigen Minuten die Röhre herauszieht, so fließt auch beim Umdrehen nichts von der eingebrachten Flüssigkeit aus. — Sollte umgekehrt der Stofftransport aus der Leibeshöhle in den Darm untersucht werden, so wurde am aboralen (bei natürlicher Lage nach oben gerichteten) Pol neben dem After ein kleines Loch in die Schale gebohrt, durch welches die zu untersuchende Lösung in die Leibeshöhle eingeführt wurde. Um Auslaufen von Leibesflüssigkeit zu verhindern, wurden die Tiere nur so weit ins Seewasser gesetzt, daß die oberste Kuppe noch herausragte. (Mit Hilfe eines Wachsverbandes [siehe oben S. 75] dürfte es aber auch hier gelingen das Loch wieder vollkommen zu verschließen). Vor Beendigung des Versuches muß man sich davon überzeugen, daß die Tiere noch ganz lebensfrisch sind, am besten durch Prüfung der Stachelreflexe.

Muskelpreparat: Biedermann⁸⁾ benutzte die Laternenmuskeln zu Untersuchungen über die polare Erregung glatter Muskulatur durch den konstanten Strom. Die Seeigel wurden in der Mitte durchgeschnitten und von der unteren Schalenhälfte soviel abgebrochen, als zum Anbringen der Elektrode nötig ist. Die Kauzähne wurden herausgezogen und die Muskeln von anhaftenden Membranen befreit. Darauf wurde die Schale so in Wasser gestellt, daß die Laterne herausragt, und die eine Elektrode ins Seewasser getaucht, die andere an einen Muskel angelegt.

Nervensystem: Die Seeigel sind die besten Repräsentanten der Reflexrepubliken. Die Schale ist auf der Oberfläche mit einer großen Anzahl verschiedenartiger effektorischer Organe besetzt (Stacheln, mehrere Arten von Pedzellarien — kleiner Zangen verschiedenartiger Funktion — und Saugfüße), welche eine mehr oder weniger große physiologische Selbständigkeit besitzen. Die Pedzellarien können z. B. wie Blumen abgepflückt und auf ihre Reflexe untersucht werden. Alle Reflexe dieser einzelnen Organe sowie die Art und das Zustandekommen ihres Zusammenarbeitens sind durch v. Uexküll⁸⁸⁾ aufs eingehendste untersucht, so daß dieses Kapitel vorläufig als abgeschlossen gelten kann. Die angewandte Technik ist im ganzen ziemlich einfach, kann aber ohne genaueres Eingehen auf die einzelnen Probleme nicht besprochen werden.

Fesselung: Zum Fesseln unverletzter Tiere fand v. Uexküll⁹³⁾ [p. 84] nur ein Mittel geeignet: Ein Ring aus Hartgummi (12—15 cm Durchmesser) hat einen rechtwinklig gebogenen Ansatz, mit Hilfe dessen er so in ein Stativ eingespannt werden kann, daß der Ring in das Wasser eines untergestellten Seewasserbassins horizontal eintaucht. Durch den Ring sind drei, vorn zugespitzte Schrauben radiär so durchgeschraubt, daß sie untereinander Winkel von je 120° bilden. Der Seeigel wird in den Ring gebracht und die Schrauben werden in den Panzer eingebohrt.

Um das innere Nervensystem (den Nervenring und die der Schale von innen dicht anliegenden ganglienzellreichen Radialnerven) auszuschalten, verwandte v. Uexküll Schalenbruchstücke, deren Innenseite mit Sandpapier gut abgerieben wurde. Solche Schalenstücke halten sich längere Zeit in

Seewasser sehr gut; Pedzellarien und Stacheln zeigen noch schöne Reflexe. Für die Bewegungen der Saugfüße ist die Erhaltung des Innenteils des Ambulakralsystems notwendig, da es sonst an dem nötigen Schwellwasser fehlt.

Zur graphischen Darstellung der Stachelbewegung auf Schattenreiz (Centrostephanus logispinus) hat sich v. Uexküll⁸⁶⁾ mit Erfolg der photographischen Schattenschreibung bedient.

B. Ophiuroideen (Schlangensterne).

Von dem stets fünfeckigen Körper gehen fünf bewegliche Arme aus, die bei manchen Arten sich vielfach verästeln. Die Tiere zeigen in hohem Grade Autotomie, so daß das Experimentieren Schwierigkeiten hat. Am geeignetsten scheint nach v. Uexkülls Versuchen *Ophyoglypha lacertosa* zu sein. Bei guter Reinhaltung des Wassers und häufiger Fütterung hält sich diese das ganze Jahr häufige Form gut.

Für Verdauungs- und Resorptionsversuche sind die Tiere wegen der relativen Kleinheit wohl nicht geeignet. Brauchbare Muskelpräparate lassen sich nicht gewinnen. Physiologisch wichtig sind die Schlangensterne wegen der außerordentlichen Klarheit einer Anzahl von Reflex- und Tonusphänomenen (v. Uexküll⁸⁷⁾. Eine ausgedehnte und erfolgreiche Anwendung zum Studium der Bewegungskoordination fand die kinematographische Aufnahme auf fortlaufendem Film und die Serienaufnahme auf feststehender Platte. Zur Demonstration des Phänomens, daß die Erregung den gedehnteren Muskeln zufließt, dient folgendes Präparat: Einer *Ophyoglypha* wird das ganze Rückenschild durch einen Kreisschnitt entfernt und der Magen durch sanftes Streichen mit einem Pinsel herausgeholt. Es bleiben übrig die Arme und der sie verbindende „Knochenring“ und der in letzterem gelegene Nervenring. (Solch Präparat läuft, frißt usw. wie ein normales Tier.) Es werden nun alle Arme bis auf den längsten und kräftigsten abgeschnitten; außerdem wird der Nervenring gegenüber diesem Arm (mitsamt dem Knochenring) durchgeschnitten. Dieses Präparat wird mit Nadeln auf eine senkrecht stehende Korkplatte so aufgespießt, daß der Mund gegen die Platte sieht und die Armwurzel horizontal steht (Fig. 4). Die Armspitze sinkt dann der Schwere nach schlaff herab, wenn nicht Starre eintritt, durch die das Präparat unbrauchbar wird. Wird jetzt der Ringnerv oberhalb des Armes (R₁) faradisch gereizt, so schlägt der Arm naturgemäß nach oben; reizt man aber auf der anderen Seite des Armes (R₂), so schlägt der Arm ebenfalls nach oben.

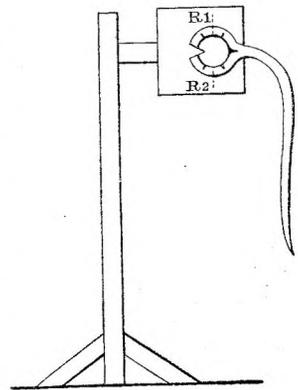


Fig. 4.

C. Holothurien (Seewalzen).

Das bei den übrigen Echinodermen so stark entwickelte Kalkskelett ist bei den Holothurien bis auf mikroskopische Reste zurückgebildet, wodurch

operative Eingriffe sehr erleichtert werden. Physiologische Eigentümlichkeiten heben diesen Vorteil aber wieder auf; sie bestehen in der Hauptsache darin, daß die meisten Arten (besonders die *Aspidochiroten*) schon bei relativ geringen Reizen ihren Darm ausspeien und hinter dem Gefäßring automieren (er kann sich allerdings regenerieren) oder in mehrere Stücke zerfallen (*Apoden*, *Synapten*).

Der Körper ist walzenförmig gestreckt. Am einen Ende liegt der Mund, von Tentakeln umgeben, am anderen der After. Sie kriechen in der Richtung dieser Hauptachse, während sich alle andern Echinodermen senkrecht zu derselben fortbewegen. Die mit *Ambulakralfüßen* (*Saugfüßen*) ausgestatteten *Pédaten* (*Holothuria*, *Cucumaria*, beide das ganze Jahr häufig) bewegen sich, wenn sie nicht, wie gewöhnlich, stillliegen, hauptsächlich mit diesen; die *Apoden* (*Synapta*), welche der *Saugfüße* entbehren, bewegen sich durch wurmartige, peristaltische Bewegungen. Die *Holothurien* sind nicht streng radiär gebaut; sie zeigen vielmehr eine mehr oder weniger ausgeprägte bilaterale Symetrie, nicht nur in der Anordnung der inneren Organe, sondern auch in der Existenz einer prädestinierten Unterseite (*Kriechfläche* oder *Sohle*), welche meist heller gefärbt ist.

Über die Lage der wichtigsten inneren Organe kann man sich leicht am aufgeschnittenen Tier orientieren; eine weitere Präparation ist kaum nötig.

Resorptionsversuche: Um den Durchtritt gelöster Stoffe durch die Darmwand zu untersuchen, öffnet *Cohnheim*²¹⁾ *Holothuria tubulosa* von der Sohle her und zieht den Darm vorsichtig heraus, der am Schlundring und After abreißt. Der Darm wird dann von anhaftenden Organen befreit, entleert, mit der Bürette gefüllt und an beiden Enden abgebunden in Seewasser aufgehängt. Das Seewasser wird mit Sauerstoff durchlüftet und nach 24 resp. 48 Stunden ebenso wie der Rest des Darminhalts untersucht.

Muskelpräparat: Die *Holothurien* besitzen fünf lange, durch den ganzen Körper von dem um den Ösophagus liegenden Kalkring bis zum Anus sich hinziehende, glatte Muskeln, welche ein sehr günstiges Objekt wären, wenn ein Mittel bekannt wäre, sie tonusfrei zu isolieren. Schon bei der Eröffnung des Tieres geraten sie in Kontraktur, die bei der Präparation noch zunimmt und nicht mehr verschwindet. *Biedermann*⁸⁾ zog es daher vor, die Tiere nur aufzuschneiden, die unnötigen Organe herauszunehmen, die Muskeln aber in Situ zu lassen. Das Fließ wird mittelst Nadeln in einer Präparierschale ausgespannt und mit der Reizung gewartet, bis die Kontraktur etwas zurückgegangen ist.

Blutbewegung: Ein eigentlicher Kreislauf findet in dem vielverzweigten, zwischen den Darmschlingen ausgespannten Gefäßsystem nicht statt; wohl aber existieren pulsatorische Bewegungen der Gefäße, welche den Inhalt derselben hin und her bewegen. Diese Pulsationen konnten von *Enriques*²⁵⁾ in der Weise aufgeschrieben werden, daß ein mit Seewasser gefülltes, durch ein Quecksilberkügelchen abgeschlossenes Röhrchen in ein Gefäß eingebunden wurde und die Bewegungen der Quecksilberoberfläche (mit dem Mikroskop durch einen engen Spalt auf langsam bewegten Film projiziert) photographiert wurden.

Eine Analyse der Reflexe fehlt.

Vermes (Würmer).

Erst in wenigen der vielen Klassen und Ordnungen der Würmer haben sich für experimentelle Arbeiten geeignete Vertreter finden lassen. Für alle Untersuchungen, bei denen man isolierbarer Organe bedarf (Resorptionsversuche, Versuche an Nerven, Muskeln und Drüsen usw.), kommt der große Unterstamm der parenchymatösen Würmer überhaupt nicht in Betracht, weil eine Leibeshöhle nicht existiert und alle Organe durch Parenchym mehr oder weniger fest miteinander verklebt sind. Die Vertreter vieler Ordnungen bestehen auch nur aus kleinen oder aus parasitisch lebenden Formen. Bei letzteren treten die animalischen Funktionen ganz in den Hintergrund, so daß vorwiegend die manchmal recht interessanten nutritiven Anpassungen einer Bearbeitung wert sind.

Die freilebenden Formen der Plathelminthen (Turbellarien oder Strudelwürmer [brauchbare Versuchstiere, die größeren Planarien und Dendrocoelum lacteum des Süßenwassers und Thysanozoon des Mittelmeeres] und Nemerthinen oder Schnurwürmer [fadenförmige Meeresbewohner, Arten bis zu 1 m Länge]) haben schon mehrfach zu interessanten physiologischen Versuchen gedient, welche sich hauptsächlich auf die Regeneration verlorener Teile und auf die Reaktionen gegenüber einfachen Reizen beziehen. Auch über die Bedeutung des am Vorderende gelegenen Gehirns ist mehrfach gearbeitet worden. Die Technik ist sehr einfach, da man den Tieren nur das Vorderende abzuschneiden braucht. Das Hinterstück — und auch Bruchstücke desselben — zeigen noch eine Menge interessanter Reflexe, (Loeb⁵⁵) welche sich auf die Existenz eines diffusen Nervennetzes beziehen lassen.

Von den Coelhelminthen (Würmer mit Leibeshöhle) kommen die Chaetognathen (Sagitta, häufig) wegen ihrer Kleinheit, die Nematelminthen (Spulwürmer usw.) wegen ihres Parasitismus, die Enteropneusten (Balanoglossus) wegen ihrer Seltenheit wohl kaum in Betracht. Es bleiben also nur die Anneliden zu besprechen.

Anneliden.

Bei allen Anneliden liegt die Mundöffnung am einen, die Afteröffnung am andern Ende des meist langgestreckten Körpers. Der Darm ist meist grade gestreckt, zeigt häufig seitliche Divertikel und läßt sich außer bei den Hirudineen unschwer isolieren.

Das strickleiterförmige Nervensystem liegt ventral (die Bauchseite ist fast immer an der helleren Färbung zu erkennen) und besteht aus einzelnen wohl abgegrenzten Ganglien, welche untereinander durch Längskommissuren verbunden sind, nach den Seiten kurze Nerven für die Muskulatur und Haut des zugehörigen Segments abgeben und in der Regel die einzigen Reflexzentren des innervierten Bezirks sind. Nur das vorderste Ganglion, Gehirn oder Oberschlundganglien genannt, liegt dorsal und ist mit dem ersten ventralen Ganglion (Unterschlundganglion, gewöhnlich aus mehreren verschmolzenen Ganglien bestehend) durch die den Ösophagus umfassenden Schlundkommissuren verbunden (Operationen siehe unten).

Die Muskulatur liegt der Haut dicht an und bildet mit ihr den Hautmuskelschlauch. Sie besteht in einer äußeren Ringmuskel- und einer mehr

nach innen gelegenen Längsmuskelschicht. Dazu kommt bei den Hirudineen (und einigen Chaetopoden) noch eine transversal (vom Rücken zum Bauch) ziehende Muskulatur. Weder gelingt es die Ringmuskeln von den Längsmuskeln zu trennen, noch die Haut ohne Verletzung der Muskeln abzuziehen. In der Regel lassen die Muskeln eine segmentale Abgrenzung erkennen; auch dort wo diese Grenzen nicht oder nur undeutlich zu sehen sind, lassen sie sich mit physiologischen Methoden leicht nachweisen. (Nach Ausschneiden eines Ganglions zeigt sich eine scharf abgesetzte Lähmung; wird ein Ganglion nach Durchtrennung der Verbindung mit den Nachbarganglien gereizt, so reagiert nur die Muskulatur des zugehörigen Segmentes). Es ist daher von vornherein ausgeschlossen, aus dem Hautmuskelschlauch einheitliche Muskelpräparate von mehr als Segmentlänge zu erhalten. Bei der geringen Entfernung zwischen innervierendem Ganglion und der Muskulatur sind die motorischen Nerven auch bei großen Arten sehr kurz; meist sind sie auch noch in einem beträchtlichen Teil ihres Verlaufs mit der Muskulatur verwachsen. Es ist daher schwierig sie direkt und isoliert zu reizen. Reizt man aber den freipräparierten Bauchstrang, so hat der Reiz immer mindestens ein Ganglion zu passieren, d. h. wir bekommen keine indirekte Muskelreizung, sondern eine reflektorische. Nur bei den Gephyreen (*Sipunculus*) finden sich neben der Muskulatur des Hautmuskelschlauchs Muskeln, welche auch ziemlich hochgeschraubten Anforderungen genügen können. Es sind die zuerst von v. Uexküll benutzten, durch eine größere Anzahl von Segmenten sich hinziehenden und fast frei in der Leibeshöhle aufgehängten Retraktormuskeln des Rüssels.

Neben Fragen der Resorption, Verdauung und allgemeinen Muskelphysiologie werden sich die Anneliden vor allem zu Untersuchungen über das Nervensystem eignen, da wir bei diesen Tieren zuerst in der Tierreihe einem Zentralnervensystem im Sinne der Wirbeltierphysiologie begegnen. Die Operations- resp. Präparationstechnik ist im folgenden für die einzelnen typischen Experimentaltiere getrennt behandelt.

A. Chaetopoden.

a) Polychäten.

Die charakteristische Eigentümlichkeit der Polychäten besteht in den paarigen Fußstummeln (Parapodien), welche freibeweglich und mit Haftborsten ausgestattet sind und je ein eignes mit dem zugehörigen Bauchganglion verbundenes Reflexganglion besitzen (Maxwell). Viele Arten haben hochentwickelte Tentakeln am Vorderende; auch Augen, seltener Statozysten kommen vor.

Material: Von den freischwimmenden oder kriechenden Errantien werden sich *Nereis* und *Aphrodite* wegen Größe und Häufigkeit am meisten eignen; von den Sedentarien scheint die im Sande wühlende *Arenicola* ein günstiges Objekt, während die eigentlichen Röhrenwürmer wegen der starken Rückbildung einzelner Teile weniger in Betracht kommen können. Die genannten Arten sind in Neapel das ganze Jahr häufig.

Leitungsgeschwindigkeit des Bauchmarks: Jenkins und Carlson⁴⁶⁾ schnitten die Tiere von der Rückenseite auf, steckten sie mit Nadeln fest und befreiten das Bauchmark, wenn möglich, ganz vom Hautmuskelschlauch

außer an dem kleinen Stück, welches zum Schreiben diene. Dieses wurde am einen Ende festgesteckt; am andern wurde mit einem Haken ein Faden befestigt und dieser über eine Rolle zum Hebel geführt. Die Reizung des Bauchmarks mit faradischen Strömen geschah einmal dicht am schreibenden Muskelstück, das anderemal weit davon entfernt. (In der gleichen Weise wurden auch Nemertinen, Hirudineen usw. untersucht).

Operationen am Nervensystem: Maxwell⁶³⁾ operierte an Nereis. Zur Narkose wurden die Tiere in eine 5% Lösung von Alkohol (siehe Fürst⁴⁰⁾ in Seewasser gesetzt. Als Operationstisch diene eine mit feuchtem Fließpapier belegte Glasplatte. Die Operationen fanden unter dem Präpariermikroskop statt. Zur Herausnahme eines Ganglions oder der Durchschneidung von Kommissuren zwischen zwei Ganglien wird auf der Bauchseite der Hautmuskelschlauch vorsichtig aufgeschnitten, möglichst ohne das ventrale Hauptblutgefäß zu verletzen; das Ganglion wird dann mit einem feinen Haken von der Unterlage abgehoben, die Kommissur beiderseits durchschnitten und herausgenommen. (Naht?). Bei gut gelungener Operation zeigen die Segmente hinter der Operationsstelle einen veränderten Tonus; sie sind gegenüber den ziemlich runden Vordersegmenten stark abgeflacht. — Die Entfernung des Unterschlundganglions geschieht in derselben Weise; es liegt im ersten Segment hinter dem Kopf. — Die Exstirpation des Oberschlundganglions geschieht von der Dorsalseite; sie ist schwieriger als die vorhergehenden Operationen. — Die isolierte Durchtrennung einer einzelnen Schlundkommissur ist meines Wissens bisher nicht ausgeführt worden, obwohl die Operation den anatomischen Bedingungen nach technisch ausführbar wäre.

b) Oligochaeten.

Material: Die verschiedenen Arten von Regenwürmern. Ihre Lebensweise ist bekannt. Statt in Erde kann man sie häufig mit Vorteil in feuchtem Fließpapier halten, durch welches sie sich ebenfalls hindurchfressen (Friedländer).

An und für sich sind die Regenwürmer wohl kein besonders günstiges Objekt, aber wegen der Leichtigkeit, mit der sie zu beschaffen sind, erfreuen sie sich schon seit längerer Zeit der Aufmerksamkeit der Physiologen. Die Unterseite wird leicht an der helleren Färbung erkannt; auch sieht man gewöhnlich das große ventrale Blutgefäß durch den Hautmuskelschlauch hindurch schimmern. Das Vorderende wird am leichtesten (außer an der Bewegungsrichtung) an der Lage des Clitellums (verdickter und anders gefärbter Ring, welcher das 33—37. Segment umfaßt) erkannt.

Narkose: Zur Narkose wurde zuerst von Fürst⁴⁰⁾ eine 5—7% Lösung von Alkohol angewandt, in welcher die Tiere nach 5—6 Stunden vollkommen gelähmt sind. Nach Friedländer³²⁾ sind sie schon nach $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Stunden soweit bewegungslos, daß man operieren kann.

Das Fließpräparat: In der Narkose wird das Tier vom Rücken her in der Medianlinie eröffnet, mit Stecknadeln ausgebreitet auf einer Korkplatte fixiert und der Darm etc. ausgeräumt, bis das Präparat nur noch aus dem Hautmuskelschlauch und dem Nervensystem besteht. Das Präparat ist während der Dauer der Narkose brauchbar zur Demonstration des polaren

Erregungsgesetzes (Fürst), nach dem Vorübergehen der Narkose zu verschiedenen Reflexexperimenten (Biedermann⁹⁾. Um zu zeigen, daß die Reizübertragung von Segment zu Segment nur durch das Nervensystem geht, schneidet Biedermann den Hautmuskelschlauch im Bereich mehrerer Segmente heraus, so daß die Brücke zwischen Vorder- und Hintertier nur noch durch die Ganglienkeette gebildet wird.

Muskelpräparat: Straub⁷⁹⁾ verfährt, um ein von zentralem Nervensystem freies Präparat glatter Muskulatur zu haben, folgendermaßen: Der nicht narkotisierte Wurm wird auf der Bauchseite aufgeschnitten und mit Hilfe feiner Nadeln und Pinzetten des Bauchstrangs beraubt. Zum Schreiben werden die nächsten hinter dem Clitellum gelegenen dreißig Segmente benutzt. Das Präparat wird vorne und hinten mit Metallklammern gefaßt, die zur Aufhängung, zur Befestigung am Hebel und zur Zuleitung des Stromes dienen. Dadurch, daß der elektrische Strom bei reiner Querdurchströmung nicht wirksam ist, wird es belanglos, daß neben der Längsmuskulatur auch noch die Ringmuskulatur im Präparat vorhanden ist.

Herausnahme einzelner Ganglien: Das mit Alkohol narkotisierte Tier wird mit der Bauchseite nach oben auf feuchtes Fließpapier gelegt und der Hautmuskelschlauch vorsichtig unterhalb des Clitellums gespalten. Das an der roten Farbe erkenntliche Blutgefäß darf nicht verletzt werden, noch weniger der Darm. Neben dem geschlängelten Gefäß erkennt man beim Auseinanderziehen der Wundränder den weißlichen Bauchstrang. Zwei dünne Sonden werden dann unter das Bauchmark geschoben und langsam auseinandergezogen, bis sich die gewünschte Zahl von Ganglien von der Unterlage abgelöst hat. Diese werden dann ausgeschnitten. — In der gleichen Weise wird bei der Exstirpation des Unterschlundganglions verfahren: das Gehirn wird von der Dorsalseite aus aufgesucht. Die Wunden werden genäht (Friedländer³²⁾.

B. Hirudineen (Blutegel).

Am leichtesten zu bekommen ist der offizinelle Blutegel (*Hirudo medicinalis*); ebenso brauchbar sind aber der Pferdeegel (*Haemopsis vorax*) und *Aulostomum gulo*.

Die Bauchseite ist leicht zu erkennen, da sie hell erscheint und außerdem beim Kriechen stets der Unterlage zugewandt wird. Der kleine Saugnapf ist der vordere (Mundsaugnapf). Die das Gerinnungshemmende Sekret liefernden Drüsen reichen nach Apáthy¹⁾ viel weiter nach hinten, als gewöhnlich angenommen wird und fehlen im vordersten Kopfteil. (Um das Material ganz auszunützen, soll man das vordere Sechstel des gestreckten Tieres extrahieren).

Narkose kann mit 5—7 % Alkohol erzielt werden (Fürst). v. Uexküll⁹⁰⁾ legt die Tiere in 4 % Alkohol, der auf 32—34° gehalten wird, bis sie vollständig erschlaft sind. Maxwell empfiehlt 10 % Alkohol. Mir scheint für viele Zwecke ein mehrstündiger Aufenthalt in 4—5 % Alkohol zu genügen. Häufig kann aber selbst bei subtilen Operationen die Narkose ganz entbehrt werden. Wenn man nämlich die Tiere mit dem Rücken auf eine Korkplatte legt und sie mit je einer Stecknadel am vorderen und hinteren

Körperende (unter Vermeidung der Ganglienkettengegend, also neben der Mittellinie) in mäßig gestrecktem Zustande feststeckt, so verhalten sie sich nach kurzer Zeit vollkommen ruhig.

Zur Herstellung des Fließpräparats verfährt man wie beim Regenwurm. Da die Körperhöhle stark mit Parenchym durchwuchert ist, so ist die Freilegung des Bauchstrangs nicht ohne Zerrung (und damit verbundene Reizung) möglich. Fürst⁴⁰⁾ benutzte derartige (narkotisierte) Präparate zur Untersuchung der polaren Erregung der Muskulatur.

Durchschneidung des Bauchstrangs: v. Uexküll⁹⁰⁾ schneidet zu diesem Zweck den Kopf resp. das Hinterende ab (narkotisierten Tieren) und stülpt das Tier über einem Stäbchen wie einen Handschuhfinger um, wäscht den nach außen zu liegenden Darm gut ab und durchschneidet den nun durchschimmernden Bauchstrang oder schneidet mehrere Ganglien heraus. Nach meinen eigenen Erfahrungen scheint mir der natürliche, auch von Maxwell angewandte Weg zweckmäßiger, weil er nicht den Verlust eines Körperendes erfordert: In der Mittellinie der Bauchseite wird der Hautmuskelschlauch vorsichtig und unvollständig gespalten. Mit feiner Nadel und Pinzette wird dann der Rest der Längsmuskulatur auseinander gezupft, bis der große, schwarzpigmentierte, ventrale Blutsinus, der das Bauchmark umschließt, deutlich vor einem liegt. Eine Verletzung des darunterliegenden, durch seinen Blutinhalte meist ebenfalls dunkel gefärbten Darmes läßt sich bei einiger Vorsicht leicht vermeiden. Durch sanfte Kompression wird der Blutsinus butleer gemacht und mit scharfer Nadel der Länge nach gespalten. Die Spuren von Blut, welche austreten, werden mit physiologischer Kochsalzlösung abgewaschen und nun liegt der weißliche Bauchstrang frei. Je nach Bedarf kann nun ein Ganglion (oder mehrere) herausgenommen werden, oder man kann die Kommissuren zwischen zwei Ganglien durchschneiden, oder die von einem oder mehreren Ganglien entspringenden peripheren Nerven durchschneiden (letzteres ist auch ohne Eröffnung des Sinus möglich). Hat die Kompression des Sinus längere Zeit angedauert, so tritt nach ihrer Aufhebung gewöhnlich keine Blutung ein. Die Wunde wird durch Naht geschlossen und kann innerhalb einiger Wochen so fest vernarben, daß die Fäden entfernt werden können. Übrigens gelingt es auch, wenn man in der angegebenen Weise freilegt, beide Kommissuren zwischen zwei Ganglien mit Nadeln auseinander zu ziehen, so daß die Durchschneidung einer einzelnen ermöglicht wird; jedoch erfordert diese Operation viel Geduld. Nach vollkommener Durchtrennung der Ganglienkette ist das Hinter-tier stets stark abgeflacht.

Die Exstirpation des Unterschlundganglions und auch die des Oberschlundganglions ist schwierig ohne Nebenverletzungen auszuführen.

C. Gephyreen.

Von den nicht sehr zahlreichen Vertretern der Gephyreen ist bis jetzt nur *Sipunculus nudus* zu physiologischen Versuchen benutzt worden, eignet sich aber zu solchen in hervorragender Weise. Das Tier ist im Mittelmeer recht häufig und in Neapel meist in größeren Mengen zu haben. Geeignete Exemplare von 7—12 cm Länge sind nicht selten. Der *Sipunculus* lebt fast ausschließlich im Sande. Es ist deshalb nötig, in das Aufent-

haltsbassin eine mehrere Zentimeter hohe Sandschicht hinein zu geben, damit er seinem Bohrgeschäft nachgehen kann und Nahrung findet (der Sand wird gefressen). Im freien Wasser kann S. sich durch Schwimmbewegungen fortbewegen, sucht aber immer bald den Boden wieder auf.

Anatomie: Am ausgestreckten Wurm erkennt man das Vorderende sofort an dem den Mund umgebenden Tentakelkranz. Dieser sitzt dem Rüssel auf, welcher von dem zylindrischen Körper ziemlich deutlich abgesetzt ist. Der Körper zeigt häufig etwas hinter der Mitte eine flache Einschnürung, den „Griff.“ Wenn man die Tiere aus dem Sande nimmt, zeigen sie aber in der Regel nicht diese Form, sondern sind zu einer kurzen Wurst zusammengezogen. Dabei ist der Rüssel wie ein umgestülpter Handschuhfinger nach innen umgeschlagen; das Vorderende ist infolgedessen durch eine trichterförmige Grube charakterisiert. Die Lage der Bauchseite wird einem von dem Tier selber angegeben, wenn man es sich selbst überläßt: Die Seite, auf welche es sich legt, ist die Bauchseite. Auch durch Aufsuchung des Anus kann man sich leicht über die Lage von Bauch- und Rückenseite orientieren. Der Anus liegt dicht hinter der Grenze zwischen Rüssel und Körper (beim kontrahierten Tier also nahe dem Vorderende) und zwar genau dorsal auf einer kleinen Papille. (Rechts und links vor dem Anus finden sich die sehr kleinen Öffnungen der Segmentalorgane).

Man öffnet die Tiere durch einen langen Schnitt auf der rechten Seite des Anus. Dabei entleert sich das schwach rosa gefärbte Blut (anfänglich in starkem Strahl). Die Wundränder werden auseinander gezogen und mit Stecknadeln auf dem Boden der Präparierschale festgesteckt. Die Lage der Organe ist jetzt ohne weitere Präparation zu erkennen. Von dem umgestülpten Rüssel zieht der meist mit Sand gefüllte Darm nach hinten und kehrt nach vielen spiraligen Windungen nach vorn zurück, um durch den dorsal gelegenen After nach außen zu münden. Vom vordersten Teil des Rüssels (bei eingezogenem Rüssel am weitesten nach hinten gelegen) ziehen vier ca. 3—5 cm lange Muskeln fast frei durch die Leibeshöhle nach hinten, um sich seitlich an der Körperwand zu inserieren. Es sind die Retraktoren des Rüssels, welche ihn bei der Kontraktion nach innen umstülpen. Nur bei geschlossenem Körper kann der Rüssel vorgestreckt werden; dies geschieht unter Kontraktion der Körpermuskulatur durch den hydrostatischen Druck.

Der rosa gefärbte Bauchstrang durchzieht auf der ventralen — dem After gegenüberliegenden — Seite den Körper. Er teilt sich vorne, und umgreift den Vorderdarm mit den zwei Schlundkommissuren, die sich auf der Dorsalseite des Mundes vereinigen und in das Gehirn, zwei rötliche Kügelchen, übergehen. Am Bauchstrang sind zwei Teile unterscheidbar, ein vorderer, von einem dünnen Muskel begleiteter, aber sonst freier Teil (freier Bauchstrang, v. Uexküll) und ein hinterer, auf dem Hautmuskelschlauch festsitzender Teil (verwachsener Bauchstrang). — Innervierung: Die Tentakeln erhalten ihre Nerven vom Gehirn. Die Muskeln des Rüssels sind mit dem freien Bauchstrang durch lange, freiflottierende, von je einem dünnen Muskel begleitete Nerven verbunden. Der Hautmuskelschlauch des Körpers wird vom verwachsenen Bauchstrang durch kurze, schwer zu isolierende Nerven versorgt. Die Nerven der Retraktoren entspringen von den Schlundkommissuren.

Im Vorderteil des Körpers sind noch zu erwähnen die grünlichen bis bräunlichen Segmentalorgane und die dem Darm aufliegende Polische Blase (Abbildungen vom Situs bei Metalnikoff, Zeitschrift f. wiss. Zool. Bd. 68.)

Präparat zum Studium des Bohraktes (v. Uexküll⁹¹): Ein lebenskräftiges Exemplar wird unter Wasser in der Dorsallinie von hinten nach vorn aufgeschnitten, der Darm wird herausgerissen und vorn abgeschnitten. Das Präparat wird dann in der Präparierschale mit fünf Nadeln festgesteckt, von denen eine in der Mittellinie durch den basalen Rand des Rüssels, je eine rechts und links durch die Retraktorenbasis und das Hinterende gesteckt wird. An diesem Präparat kann der ganze Ablauf des Bohraktes studiert werden; nur wird der Rüssel aus Mangel an Innendruck nicht mehr vorgestreckt. — Zur Untersuchung des Innendrucks kann eine Glaskantile in das Hinterende des normalen oder des Bauchstrangs beraubten (siehe unten) Tieres eingebunden werden.

Das Fließpräparat (v. Uexküll⁹¹): Der Wurm wird in der Dorsallinie aufgeschnitten, der Darm entfernt und das Blut abgespült. Unterhalb des Ansatzes der Retraktoren wird dann der Körper durchschnitten und entweder in einer Präparierschale mit Nadeln ausgebreitet, oder senkrecht an einem Korkplättchen mit Nadeln aufgehängt. Um Reizung durch die Nadeln auszuschalten, empfiehlt es sich, den Bauchstrang in den obersten Segmenten abzutrennen. Das Präparat ist zu vielen physiologischen und pharmakologischen Versuchen geeignet und hält sich, gut mit Seewasser befeuchtet, stundenlang, in Seewasser aufgehoben tagelang. — Will man ohne Bauchstrang arbeiten, so braucht man denselben nur an einer Stelle zu fassen und mit einem Ruck anzuziehen. Er reißt dann auf der ganzen Länge heraus. — Mit Hilfe einer gebogenen Nadel kann man auch am unaufgeschnittenen Tier den ganzen verwachsenen Bauchstrang von der Bauchseite aus herausreißen, wodurch ein für manche Zwecke sehr geeignetes Präparat entsteht.

Retraktorenpräparat (v. Uexküll⁹²): Nach Eröffnung von der Rückenseite und Herausnahme des Darmes muß man warten, bis die anfangs ad maximum kontrahierten Retraktoren wieder ganz erschlafft sind; schneidet man sie in kontrahiertem Zustande heraus, so bleiben sie in der Regel dauernd zusammengezogen. Es können Präparate mit und ohne Nervensystem hergestellt werden; im ersteren Fall läßt man das Gehirn und das Bauchmark am Präparat und hat so die Möglichkeit, von beiden aus zu reizen. (Die zentrale Station [Repräsentanten] der Retraktoren liegt im Bauchstrang; die Retraktoren sind aber leichter vom Gehirn aus zu reizen, wenn die Verbindung mit demselben erhalten ist. Das Gehirn ist sehr leicht und auch mechanisch zu erregen, der Bauchstrang schwerer und nur elektrisch und chemisch.) Für manche Zwecke, z. B. gleichzeitiges Schreiben isotonomischer und isometrischer Kurven ist es zweckmäßig, zwei der Retraktormuskeln zusammen zu präparieren, um sie gemeinsam vom Hirn resp. Bauchmark erregen zu können. — Die Präparation geschieht folgendermaßen: Die Ansatzstelle des Muskels am Hautmuskelschlauch wird umschneiden, das am Muskel verbleibende Hautmuskelsstück mit der Pinzette gefaßt und der Muskel unter Durchtrennung der bindegewebigen Verbindungen zwischen Muskel und Darm bis zur vorderen Ansatzstelle freipräpariert. Darauf werden die

überflüssigen Retraktoren dicht am Rüssel durchschnitten und der Rüssel selber wird einen halben Zentimeter von der Insertionsstelle der Retraktoren durchtrennt. Das Rüsselstück dient später zur Aufhängung. Es bleibt nun nur noch übrig die Seitennerven des freien Bauchstrangs und diesen selber zu durchtrennen.

Direkte Erregung einer begrenzten Muskelstelle führt nicht zur Kontraktion des ganzen Muskels, sondern nur zur Kontraktion einer begrenzten Stelle, welche sich deutlich durch ihr weißes Aussehen von den durchsichtigen, nicht kontrahierte Partien abhebt! (v. Uexküll).

Zu Versuchen am peripheren Nerven eignen sich die ziemlich langen Nerven, welche vom freien Bauchstrang zum Rüssel führen (Magnus⁶²). —

Mollusken.

Im Tierstamm der Mollusken finden sich Tiere von sehr hoher und relativ sehr niederer Organisation vereinigt. Organe, die in manchen Klassen und Ordnungen fehlen oder kaum angedeutet sind, finden sich in anderen hoch entwickelt. Manche Formen schließen sich in der nervösen Organisation nahe an die Coelenteraten und niederen Würmer an; andere zeigen hier Verhältnisse, die denen der höheren Würmer und der Wirbeltiere näher kommen. Die Differenzen in fast jeder Beziehung sind so groß, daß man kein Tier als physiologisches Prototyp des ganzen Stammes aufstellen kann, wie das zur Not bei den Arthropoden und Wirbeltieren möglich ist.

Für die verschiedenartigsten physiologischen Bedürfnisse können bei dieser Sachlage Experimentaltiere unter den Mollusken gefunden werden; aber man kann nicht alle Bedürfnisse an einem Tier befriedigen. Nur mit einem reinen Muskel- und Nervmuskelpräparat sieht es bei den Mollusken schlecht aus. Selbst bei den Cephalopoden ist es zweifelhaft, ob nicht der Verlauf der peripheren Nerven noch an der Peripherie durch Ganglienzellen unterbrochen wird. Bei den Cephalophoren ist sicher ein zentrenfreies Muskelpräparat nicht zu erhalten; auch bei den Lamellibranchiaten ist die Existenz eines solchen recht zweifelhaft. Da die Mollusken auf Curare nicht reagieren, so ist es auch auf diesem Wege nicht möglich, die Einmischung nervöser Einflüsse zu verhindern.

Störend sind die bei vielen Mollusken vorhandenen festen Hüllen (Kalkschalen, Kalkgehäuse und manchmal auch Chitinhüllen). Bei den Lamellibranchiaten muß man sich mit dieser Tatsache abfinden, wenn man nicht gerade an dem zwar schalenlosen, aber in anderen Beziehungen wenig geeigneten Schiffsbohrwurm (*Teredo fatalis*) arbeiten will. Bei den Cephalophoren (Gastropoden) finden sich aber in fast allen Ordnungen nackte Formen. Natürlich wird man diese in erster Linie zu Versuchen heranziehen und die gehäusetragenden nur dann benutzen, wenn es das Problem erfordert.

A. Lamellibranchiaten (Acephalen, Muscheln*).

Am meisten bisher benutzt sind die Süßwassermuscheln Anodonta und Unio, welche in verschiedenen Spezies vorkommen. Von den zahlreichen

*) Anmerkung: Die erste Klasse der Mollusken, die Amphineuren, dürfte für physiologische Zwecke kaum in Betracht kommen.

und z. T. gewiß sehr brauchbaren Meeresformen hat bisher nur die Bohrmuschel (*Pholas dactylus*) eingehendere Beachtung gefunden.

Anodonta: Die Präparation einzelner Organe bereitet wegen der vielseitigen Verwachsungen und Durchwachsungen einige Schwierigkeiten. Das Hinterende ist an den Öffnungen des After- und Branchialsiphon leicht zu erkennen. Man legt die Tiere am besten auf die linke Schale und bricht die rechte Schale mit einer Knochenzange stückweise fort. Das dorsal am elastischen Schalenband gelegene Herz sieht man nach Fortnahme des Mantels durchschimmern und pulsieren; ventralwärts schimmert das dunkel pigmentierte Bojanussche Organ durch.

Nervenpräparat: Als solches benutzt Biedermann⁶⁾ die Kommissuren zwischen Cerebral- und Visceralganglion. Nach Entfernung einer Schalenhälfte, des gleichseitigen Mantels und Kiemenblattes und des Herzens wird der Rest des Tieres nach Durchschneidung beider Schließmuskeln an ihrer unteren Insertion aus der unteren Schale entfernt und mit Nadeln auf einer Korkplatte aufgespannt. Im Bojanusschen Organ, durch das die Kommissuren hindurchlaufen, werden die beiden weißlichen Fäden aufgesucht und nach vorne bis zum Cerebralganglion, nach hinten bis zum Visceralganglion freipräpariert und abgeschnitten. Reste des Bojanusschen Organs sind bei der Untersuchung der elektrischen Eigenschaften des Präparates nach Biedermanns Angaben nicht störend. — Die Präparate halten sich lange Zeit, doch darf man sie nicht mit physiologischer Kochsalzlösung*) befeuchten, sondern muß statt dessen Blutflüssigkeit des Tieres benutzen, die beim Präparieren in hinreichender Menge gewonnen wird.

Nerv-Ganglion-Muskelpräparat: Zur Anfertigung dieses, zuerst von Pawlow⁶⁹⁾ benutzten Präparats eignet sich der hintere Schließmuskel besser als der vordere. Die Muschel wird auf die linke Schale gelegt und der ganze vordere Teil der rechten Schale mit der Knochenzange abgetragen. Darauf werden Mantel, Kieme und Herz exstirpiert, die Cerebro-Visceralkommissuren im Bojanusschen Organ aufgesucht, nach vorn bis zum Cerebralganglion, nach hinten bis zum Visceralganglion freipräpariert und an ersterem durchschnitten. Nachdem der „Nerv“ nach hinten geklappt ist, können nun alle überflüssigen Organe, vor allem Fuß, Darm, vorderer Schließmuskel und Leber ausgeräumt werden, so daß das Präparat nur noch aus der unteren und dem Rest der oberen Schale, dem Schalenband, dem hinteren Schließmuskel, dem Visceralganglion und den Kommissuren besteht. Da durch die Operation in der Regel Dauerkontraktion des Muskels hervorgerufen wird, so empfiehlt Pawlow vor der Operation 4–6 ccm 2% Morphiumchloridlösung in den Fuß zu injizieren, wonach in 10–20 Minuten Erschlaffung eintritt.

Die linke intakte Schale wird mit rechtwinklig gebogenen, über den Schalenrand greifenden Haken an einem Brett befestigt, der Schalenrand der rechten Schale wird durchbohrt, ein Faden durch das Loch gezogen und durch diesen die Verbindung mit dem kurzen Arm eines doppelarmigen Hebels hergestellt (ähnlich wie in Fig. 5).

*) Siehe oben S. 72.

Auch vom intakten Tier lassen sich bei der gleichen Fesselung und Kraftübertragung (das Tier befindet sich dauernd unter Wasser) interessante Kurven schreiben, welche über vielerlei Auskunft geben (Fig. 5). Wenn man die Muschel ein großes, am Hebel hängendes Gewicht (entsprechend dem einfachen bis doppelten Körpergewicht) tragen und auf sehr langsam bewegter Trommel durch Wochen hindurch schreiben läßt, so überzeugt man sich leicht, wie anders geartet die Arbeitsverhältnisse dieser glatten Muskeln sind. Wochenlang wird das große Gewicht von den Schließmuskeln bei wechselndem Kontraktionszustand getragen, aber niemals (außer beim Tode oder in der Äthernarkose) erschlaffen sie vollkommen.

Herzkurven: Um die Bewegungen des Herzens zu registrieren, stechen Willem und Minne⁹⁷⁾ eine starke Nadelkanüle (einer Pravazspritze) hinter dem Schalenbände sehr großer Exemplare von *Anodonta cellensis* schräg bis ins Herz hinein. Das Ansatzstück der Kanüle wird durch einen Schlauch

mit einer sehr empfindlichen Mareyschen Trommel verbunden. Die Autoren erhielten so recht schöne Kurven von intakten Tieren. Die richtige Einführung der Kanüle scheint aber nicht ganz leicht zu sein.

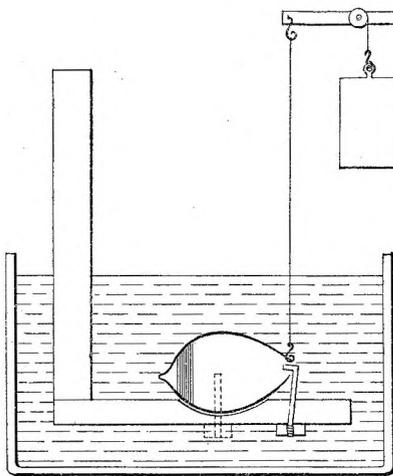


Fig. 5.

Teichmuschel (intakt) unter Wasser montiert zum Aufschreiben der Schalenbewegungen bei grosser Belastung. (Die Muschel ist im Querschnitt gedacht; von den inneren Organen ist nur ein Schließmuskel gezeichnet).

Pholas dactylus: Bei seinen ausgedehnten Versuchen über die Reaktionen von *Pholas* benutzte Dubois²³⁾ vorwiegend die langen Siphonen als schreibenden Indicator. An dem Siphon der senkrecht in einem Gefäß aufgestellten Muschel wurde mittels eines Hakens ein Faden angebracht, dessen anderes Ende an dem Hebel einer Mareyschen Trommel befestigt wurde. Diese war mit einer zweiten (schreibenden) Trommel durch einen Gummischlauch verbunden. Wegen der Technik der Anbringung chemischer und photischer Reize muß auf das Original verwiesen werden.

— Der sehr muskulöse, bei wenigen festsitzenden Arten zurückgebildete Fuß wird vom Pedalganglion innerviert und dient den meisten Muscheln zum Kriechen im Sande. Wie dies zustande kommt, ist nicht genügend aufgeklärt. Bei einigen Arten (*Cardium*) ist der Fuß in die Länge gezogen und knieförmig geknickt. Er dient hier zum Springen (nicht analysiert). Die Pectenarten zeichnen sich durch den Besitz einer großen Zahl am Mantelrande verteilter, recht hoch entwickelter Augen und durch die Fähigkeit zu schwimmen aus, wobei die Schalen durch rhythmische Tätigkeit der Schließmuskeln in schnellem Tempo geöffnet und geschlossen werden (auch hier fehlen genauere Untersuchungen).

B. Cephalophoren (Gastropoden, Schnecken).

Opistbranchier*).

Wegen der Häufigkeit, Größe und Lebenszähigkeit haben sich bisher aus dieser Ordnung die Aplysien am besten zu Versuchen geeignet (Unterordnung der Tectibranchien). Von den drei in Neapel vorkommenden Arten ist *A. punctata* die kleinste, aber im Winter und Frühjahr am häufigsten. *A. depilans* und *limacina* sind am häufigsten im Sommer. Die morphologischen Unterschiede sind nicht groß, die physiologischen, soweit bis jetzt bekannt, unwesentlich. (Nur in bezug auf den Tonus der Muskulatur gibt Botazzi an, daß er bei *depilans* größer gefunden wird als bei *limacina*, was ich im allgemeinen bestätigen kann).

Die äußere Körperform ist je nach dem Kontraktionszustand sehr verschieden. Bei vollkommener Erschlaffung, welche im Bassin häufig zur Beobachtung kommt und durch leises Schlänkern des Tieres im Wasser (ohne das Tier zu drücken) oder durch Injektion von Pelletierin künstlich hervorgerufen werden kann, ist der Körper langgestreckt und läßt einen Kopf, Hals, Rumpf und Schwanz erkennen. Der Kopf trägt vorn ein Paar große, weiter hinten ein Paar kleine Tentakeln. An den Seiten des Rumpfes, mehr dorsal als ventral, bemerkt man die großen Parapodien, welche wie Flügel bewegt das Schwimmen ermöglichen. Zwischen ihnen liegt dorsal der Mantel mit nach hinten gerichtetem Atemsiphon, im Mantel der Schalenrest und unter ihm die Kieme. (Der Mantelraum ist rechts offen). Die Ventralseite des Tieres ist stets nur schwach pigmentiert oder ganz hell und dient als Kriechsohle.

Innere Anatomie*): Um eine Übersicht zu bekommen, ist es zweckmäßig ein Exemplar vom Rücken her, indem man die Kieme rechts umgeht, ein anderes von der Bauchseite (Medianschnitt) zu öffnen, nachdem man sie vorher mit Pelletierin injiziert hat (siehe unten). Im Kopf liegt die muskulöse, rötliche Bucca, an die sich die verschiedenen Teile des Magens und der Darm anschließen (siehe auch Botazzi¹²), letzterer zum größten Teil mit der „Leber“ fest verwachsen. Hinter der Bucca wird der Darmtraktus vom Nervenring umschlossen. Er besteht aus orangefarbenen Ganglien und grauweißen Kommissuren; dorsal das Cerebralganglion, ventral (paarig) die kaum trennbaren Pleural- und Pedalganglien. Von letzteren ziehen zwei Kommissuren nach hinten zu den Viszeralganglien. Außerdem treten von ihnen eine Menge längerer und kürzerer Nerven zur Muskulatur des Fußes und der Flügel (es sind dies aber keine reinen Nerven; sie enthalten besonders nach der Peripherie zu viele Ganglienzellen). Vom Gehirn werden die Tentakeln, die Bucca, die vor den hinteren Tentakeln gelegenen kleinen Augen und die auf den Pedalganglien liegenden sehr kleinen Statozysten mit Nerven versorgt. Kiemen, Kiemendeckel, Herz und Darm erhalten Nerven von den Visceralganglien, welche, wie die Nerven der Bucca, z. T. neben einzelnen

*) Anmerkung: Vergleichende Anatomie der Opistbranchier bei Guiart⁴¹).

**) An der Hand von Abbildungen und für physiol. Zwecke genauer dargestellt bei Straub⁸²). Die Figur 1 vom uneröffneten Tier gibt wegen der starken Kontraktur eine falsche Vorstellung.

eingestreuten Ganglienzellen, wie sie bei allen Nerven vorkommen, wohl abgegrenzte makroskopisch sichtbare Ganglien tragen.

Das durch seine Pulsationen sich leicht verratende Herz liegt unter und vor der Kieme, so daß es bei der Eröffnung von oben gleich sichtbar wird. Da es hierbei aber leicht verletzt wird, so empfiehlt sich zu seiner Freilegung mehr die von Straub angewandte Eröffnung des Leibes von unten. Es ist dann vom Darmtraktus und den Geschlechtsorganen verdeckt, welche fortgeräumt werden müssen. Es besteht aus Vorhof und Kammer und ist von einem Beutel umgeben. Die dünnwandige auf der Dorsalseite längs der Pedovisceralkommissuren hinziehende Aorta ist leicht zu finden.

Lähmung: Da sich die Tiere bei jeder heftigeren Berührung stark kontrahieren, so sind Operationen am ungelähmten Tier nur schwer auszuführen. Das Mittel, welches sich bisher am brauchbarsten erwiesen hat, ist das zuerst von Schoenlein⁷⁶⁾ für diesen Zweck benutzte Pelletierin. Ich benutze das Pelletierinsulphat von Merck in $\frac{1}{2}$ ‰ (bei großen Tieren 1 ‰) Lösung. Wenn man keine Verluste haben will, so muß das Gift gut dosiert werden, wozu wohl stets einige Probeversuche nötig sind, da die Wirksamkeit nicht bei allen Präparaten ganz gleich ist. Vor der Injektion wird das Tier gewogen und danach die Giftmenge berechnet. Ich rechne in der Regel auf 100 gr. Tier 0,3—0,35 ccm einer $\frac{1}{2}$ ‰ Lösung. Die Lösung wird mit einer Pravazspritze vor dem vorderen Flügelrand von oben her in die Körperhöhle injiziert und das Tier darauf kurz massiert. Nach der Injektion lassen die Tiere gewöhnlich reichliche Mengen ihres bei *Aplysia limacina* blauen bis roten, bei *A. depilans* weißen Hautsekrets und erschlaffen in wenigen Sekunden vollkommen. Bei stärkerem Kneifen der Haut soll aber noch eine deutliche lokale Zusammenziehung eintreten. Ist das Gift richtig dosiert, so kehrt der normale Tonus und das Reaktionsvermögen nach $\frac{1}{2}$ bis 3 Stunden wieder. Dauert die Lähmung länger, so tritt häufig der Tod ein; die Giftmenge war also zu groß. — Bei Versuchen am Herzen, an ausgeschnittenen Nerven usw. wird man natürlich die vorherige Vergiftung nach Möglichkeit vermeiden. Bei komplizierteren Operationen am Nervensystem aber, nach denen die Tiere tagelang beobachtet werden können, ist das Pelletierin bequem und nahezu unentbehrlich und kann nach meinen Erfahrungen nur unvollkommen durch die von Jordan⁴⁷⁾ empfohlene Kokaininjektion ersetzt werden.

Nervenpräparate: Zur Untersuchung der elektrischen Eigenschaften benutzte Boruttau sowohl die Pedovisceralkommissuren, welche 10—15 cm lang, aber recht dünn sind, als auch die langen Flügelnerven. Die Ausschläge sind recht klein.

Nerv-Nervennetz-Muskelpräparat (Bethe⁵⁾ p. 113 u. f.): Da die Muskeln nur erschlaffen können, wenn ihnen Körperflüssigkeit unter einem gewissen Druck zu Gebote steht (Jordan), so ist es ausgeschlossen, die Muskulatur ganz frei zu legen. Vor allem ist es unmöglich die Haut abzukratzen. Die Muskeln geraten durch die damit verbundene Reizung und den Flüssigkeitsverlust in maximale nie zurückgehende Verkürzung. Man bindet mit einem dicken Bindfaden einen Flügel ab, schneidet das Tier vom Rücken aus auf, legt die Flügelnerven frei, durchschneidet sie am Pedalganglion und schneidet den Flügel unterhalb der Ligatur ab. Auf Reiz der Nerven können sowohl Kontraktionen wie Erschlaffungen eintreten. — Für manche

Versuche ist es auch zweckmäßig, beide Flügel abzubinden, Zentralnervensystem und Eingeweide auszuräumen und die Körpermuskulatur nebst Haut zwischen den Flügeln zu belassen. Bei Reiz eines Flügelnerven dehnt sich der Reizeffekt mit zunehmender Stärke des Reizes auf immer größere Gebiete und schließlich auf den anderen Flügel aus.

Herzpräparat (Schoenlein, Straub): Das Tier wird von der Sohle eröffnet, wobei sich reichlich Blut ergießt, das möglichst frei von Hautsekret gesammelt wird. Nachdem der Hautmuskelschlauch ausgebreitet und mit Nadeln in der Präparierschale festgesteckt ist, wird der Darmtraktus unter Schonung der großen Arterien herausgenommen. Nach Eröffnung des Herzbeutels wird der Ventrikel gegen den Vorhof abgebunden, am andern Ende wird eine Glaskanüle eingebunden und mit Blut gefüllt. Die Kanüle dient zur Befestigung, außerdem kann der Innendruck durch verschiedene Neigung reguliert werden (ohne Wandspannung pulsiert das Herz nicht (Schoenlein)). Vom abgebundenen Herzende kann mittels eines Fadens zum Hebel übertragen werden, es können aber auch Druckkurven dadurch aufgezeichnet werden, daß man die Kanüle durch einen Schlauch mit einem Manometer verbindet (Straub^{80, 81, 82}). Vom Visceralganglion aus (resp. seinem Ramus cardiacus) kann der Herzschlag beschleunigt werden (Schoenlein) oder bei stillstehendem (leeren) Herzen eine Reihe von Pulsen angeregt werden (Carlson). — Carlson¹⁵) befestigt beim aufgeschnittenen Tier einen Glashaken am Ventrikel und überträgt mit einem Seidenfaden auf einen sehr leichten Hebel.

Buccapräparat: Der Kropf, die Bucca, führt rhythmische Bewegungen aus. Um dieselben aufzuschreiben, bindet v. Brücke¹⁴) in den aufgeschnittenen Kropf vom Ösophagus her eine Kanüle ein, entfernt die Kauzähne, welche im ersten Kaumagen auf der Innenseite angebracht sind und legt am Übergang zwischen Bucca und Kaumagen eine Ligatur an. Die Kanüle wird mit Seewasser gefüllt (sonst kommen keine regelmäßigen Bewegungen zustande) und an eine Mareysche Trommel angeschlossen. (Ein reines Muskelpräparat hat man hier aber nicht vor sich; die Bucca enthält außer makroskopisch sichtbaren Ganglien massenhaft zerstreute Ganglienzellen wie der ganze übrige Darmtraktus.)

Operationen am Zentralnervensystem (Bethé): Das mit Pelletierin gelähmte Tier wird in eine flache mit Seewasser gefüllte Schale gelegt. Etwa 1 cm vor den hinteren Tentakeln und 2 cm hinter denselben wird rechts und links von der dorsalen Mittellinie je ein Faden mit krummer Nadel durch die Haut gezogen. Über die Schale werden zwei Glasstäbe parallel zur Längsachse des Tieres gelegt, mit Modellerwachs im Abstände von 1—2 cm an der Wand festgeklebt und die beiden rechten Fäden an dem einen, die linken an dem andern Stab so festgebunden, daß der Hals des Tieres möglichst hochgehoben wird und gerade über den Wasserspiegel vorragt. Wenn jetzt in der Medianlinie zwischen den Fäden der Hautmuskelschlauch gespalten wird (möglichst kurzer Schnitt!), so fließt gar kein Blut aus. In der Wundhöhle orientiert man sich nach der Bucca, deren hinterer Rand gewöhnlich zwischen den Tentakeln sichtbar wird; wenig dahinter liegen um das Magenrohr herum die Ganglien, die bisweilen stark verlagert sind, so daß man nicht ohne weiteres das oberste für das Cerebralganglion nehmen darf. (Zur Identifizierung dient die Form der Ganglien und vor allem die

Zahl und Richtung der abgehenden Nerven und Kommissuren.) Je nach Bedürfnis kann der ganze Schlundring, ein einzelnes Ganglion oder ein Teil eines Ganglions entfernt oder eine Kommissur resp. ein bestimmter Nerv durchschnitten werden. Wenn das Tier still liegt — und das tut es dank dem Pelletierin, — so haben alle diese Operationen keine Schwierigkeit, nachdem man sich einmal genau über die Lage orientiert hat. — Die Wunde wird durch nicht zu feste Naht verschlossen und hält stets wegen der bald eintretenden lokalen Kontraktur sehr dicht. — Jordan⁴⁷⁾ empfiehlt die Operation nicht von der dorsalen Seite, sondern vom Fuß aus vorzunehmen, weil nach seinen Beobachtungen die Wunden dort besser heilen. Ich habe mich hiervon bisher nicht überzeugen können und ziehe den andern Weg aus verschiedenen Gründen vor. Will man ans Visceralganglion, so ist allerdings der Zugang von der Sohle der einzig gangbare.

Druckmessungen: Zur Untersuchung des Innendrucks (Schwankungen im Tonus' der Gesamtmuskulatur) kann man eine spitze, mit mehreren Seitenöffnungen versehene Glaskanüle von hinten in die Leibeshöhle einstecken und mit einer Ligatur befestigen. Die Kanüle wird mittels eines Schlauches mit einem Manometer verbunden, dessen Nullpunkt in dasselbe Niveau mit dem Wasserspiegel des Bassins zu bringen ist (Bethe⁵⁾ S. 369).

Von den Nudibranchiern ist *Tethys lepornia* wegen ihrer Größe, *Phyllirrhoe bucephalum* wegen ihrer Durchsichtigkeit erwähnenswert. In ihren Lebensäußerungen sehr interessant, für Organuntersuchungen aber schlecht geeignet wegen starker Verwachsungen.

Pteropoden und Heteropoden.

Diese pelagisch lebenden Tiere sind fast vollkommen durchsichtig, so daß ihre innere Organisation ohne Eröffnung ganz überblickt werden kann. Trotzdem sind sie wegen der Zartheit ihrer Gewebe für viele Zwecke, für welche man sie tauglich halten könnte, unbrauchbar. Der Hauptreiz liegt für mich bei diesen Tieren in der außerordentlichen Verschiedenheit ihrer Bewegungsapparate (Flügel und Flossen verschiedenartiger Konstruktion, Steuerapparate, Segel usw.) und der Art und Weise, wie sie dieselben benutzen. Von allgemeineren Problemen ist es hauptsächlich das der Gleichgewichtserhaltung, welches an diesen Tieren, die fast alle mit Statozysten ausgerüstet sind, mit Erfolg bearbeitet werden kann. Leider ist sowohl den Statozysten wie auch den Ganglien (außer in der rohen und fast unbrauchbaren Weise, die Tiere zu durchschneiden) nur schlecht beizukommen und bei der Unmöglichkeit, die Wunden zu nähen (die Wunden klaffen stark und die Haut entbehrt fast vollkommen der Dehnbarkeit), gehen die operierten Tiere schnell zugrunde.

Material: Pteropoden: *Tidemania neapolitana*, *Cymbulia Peroni* (Winter und Frühjahr). Heteropoden: *Carinaria mediterranea* (III—V), *Pterotrachea mutica* (I—XII).

Prosobranchier.

Hierher gehören die meisten gehäusetragenden Schnecken des salzigen und einige des süßen Wassers z. B. *Paludina* (*Limnaeus* und *Planorbis* des süßen Wassers gehören zu den Pulmonaten!). Das Gehäuse erschwert das Ar-

beiten mit diesen Tieren außerordentlich, so daß außer über die Säureproduktion (siehe v. Fürth³⁸) keine eingehenderen Untersuchungen an ihnen angestellt worden sind.

Pulmonaten.

Sehr gute Versuchstiere für die Physiologie des Nervensystems sind die nackten Formen (*Arion*, *Limax*); auch die großen *Helix*-arten haben sich für manche Zwecke, trotzdem sie ein Gehäuse haben, geeignet gezeigt. Biedermann¹⁰) verwandelt *Helix pomatia* in eine künstliche Nacktschnecke auf folgende Weise: Wie bekannt, kommen sie ganz aus ihrem Gehäuse heraus (soweit das überhaupt möglich ist), wenn man sie für einige Zeit unter Wasser bringt (Folge der Erstickung und Quellung). Dies wird beschleunigt, wenn das Wasser warm ist (36°). Sind sie total erschlaft, so wird unterhalb des Gehäuses eine feste Ligatur angelegt und über derselben der im Gehäuse bleibende Teil abgeschnitten. Die reduzierten Tiere halten sich gut, kriechen und fressen sogar.

Das eigentliche Zentralnervensystem ist im Vorderkörper um die Bucca vereinigt; von dort aus gehen Nerven in den Fuß und die Körperwand. Diese Nerven sind aber nicht ganglienzellfrei und gehen nach der Peripherie zu in einen zellreichen Plexus über. Man kann also kein Nervmuskelpräparat erhalten, sondern nur ein Nerv-Nervennetz-Muskelpräparat. Am besten benutzt man als reagierenden Teil das aborale Körperende großer Nacktschnecken (*Arion*, *Limax* [Bethe⁵] p. 119, Biedermann¹⁰); *Ariolimax* [Jenkins und Carlson]⁴⁵). Die Tiere werden von vorne nach hinten aufgeschnitten (das letzte Ende bleibt geschlossen), alle überflüssigen Organe werden herausgenommen, die zwei langen Fußnerven am Schlundring durchgeschnitten und nach hinten präpariert. Der Schwanz wird proximal festgesteckt, und von seinem distalen Ende wird zum Hebel übertragen. Bei schwacher Reizung tritt nicht Kontraktion, sondern Erschlaffung der Muskulatur ein, erst bei stärkerem Reiz Kontraktion (Bethe, Biedermann). Durch die Präparation bildet sich leider ein ziemlich starker Tonus aus, bei *Limax* am wenigsten, mehr bei *Arion*, am meisten bei *Helix*, der sehr lästig ist.

Zur Beobachtung der Wellenbewegung der Fußsohle sind *Limax*-arten am geeignetsten, besonders zur Demonstration der Unabhängigkeit dieser Bewegungen vom Zentralnervensystem (Künkel⁵²). Die Operation ist sehr einfach; man schneidet mit scharfem Messer den Kopf ab.

Jordan⁴⁸) hat einen eignen, wie es scheint, sehr zweckmäßigen Apparat konstruiert, um die Tonuschwankungen der *Helix*-muskulatur zu studieren. Die Beschreibung desselben läßt sich nicht kurz wiedergeben, weswegen auf die Originalarbeit verwiesen werden muß.

C. Cephalopoden.

Die vierkiemigen Cephalopoden (*Nautilus*) kommen wegen ihrer Seltenheit und geringen Lebensfähigkeit nicht in Betracht. Von den zweikiemigen Formen sind sowohl Dekapoden (*Loligo*, *Sepia*) als auch Oktopoden (*Octopus vulgaris* und *macropus*, *Eledone moschata*) im Mittelmeer häufig und stets zu haben. Wegen ihrer Größe und sonstiger guter Eigenschaften haben sich die Oktopoden am brauchbarsten gezeigt.

Die Anatomie von Eledone und Loligo ist bei Vayssière⁹⁴⁾ (Tafel 1—4), die von Sepia in Vogt und Yung⁹⁶⁾ (p. 853) ausführlich behandelt. In Kürze kann dieselbe kaum behandelt werden. Es sei nur zur Verständigung über Bauchseite und Rückenseite folgendes gesagt: Vergleichend anatomisch ist die dem Boden zugewandte Seite des Rumpfes als hinterer Abfall des Rückens, die hintere Spitze des Rumpfes als Gipfel des Rückens anzusehen, so daß sich die Bauchseite des Tieres nur vom Kopf bis zur Einmündung des Afters erstreckt (Leuckart). Diese Auffassung ist von einigen Physiologen bei der Bezeichnung von vorne und hinten benutzt worden, wie mir scheint, zum Nachteil der Klarheit. Auch die Zoologen behalten da, wo es sich nicht um prinzipielle Stellungnahme zu dieser Frage handelt, die natürliche Bezeichnung bei und nennen im gewöhnlichen Gebrauch die helle, dem Boden zugewandte Seite in ihrer Totalität Bauchseite, wodurch die Verständigung sehr vereinfacht wird.

Töten: Zu Präparationszwecken tötet man die Tiere in 1% Chloralhydratlösung, zur Herstellung physiologischer Präparate dadurch, daß man durch einen Medianschnitt zwischen den Augen die Knorpelkapsel der Ganglien eröffnet, letztere ausbohrt und die Arme, welche sich noch lange bewegen, vor dem Kopfe abscheidet. Man hüte sich besonders bei Sepia vor dem Biß der Kiefer!

Fesselung: Für alle Operationen, nach denen das Tier noch längere Zeit am Leben bleiben soll, hat sich das Fesselungsverfahren v. Uexkülls (Leitfaden S. 85) aufs beste bewährt. Es gilt vor allen Dingen, die Tiere daran zu verhindern, sich mit den Saugnäpfen irgendwo festzusetzen. Dies wird dadurch erreicht, daß die Arme in einen Leinwandschlauch eingebunden werden. Der Schlauch aus grober Leinwand (30 cm lang und 22 cm im Umfang) ist am einen Ende umgenäht und mit einem Zug versehen. Er wird von hinten über das Tier gestreift, der Zug hinter den Armen und vor den Augen fest zugezogen und gebunden und der Schlauch umgekrempt, so daß er die (gestreckten) Arme umschließt. Während der Schlauch mit samt den Armen von einem Assistenten stark gespannt wird, wird noch an zwei Stellen ein dünner Bindefaden fest um den Schlauch herumgebunden. Nach dieser Vorbereitung kommt das Tier auf den Halter, einen auf einem Stativ befestigten länglichen Drahtkorb, der sich am einen Ende in eine feste Eisenstange fortsetzt. Auf dieser Stange werden die Arme noch einmal festgebunden oder mit einer Spangenvorrichtung fixiert. — In eine der beiden Mantelspalten wird ein mit der Seewasserleitung verbundener Gummischlauch eingeführt und eventuell mit einer Nadel am Mantelrand festgenäht. Bei richtiger Regulierung des Zufusses stellt sich bald wieder regelmäßige Atmung ein. — Für Blutdruckversuche und zur Blutgewinnung hat sich das alte Verfahren von Fredericq, die Tiere mit Nägeln auf ein Brett festzunageln, als praktischer erwiesen, weil durch die starke Ligatur ein großer Teil des Blutes außer Zirkulation gesetzt wird.

Gewinnung des Sekrets der Speicheldrüsen (Giftdrüsen) [Krause⁴⁹⁾ Hyde⁴⁴⁾]: Die Speicheldrüsen von Octopus macropus werden mit dem in den Ösophagus mündenden gemeinsamen Ausführungsgang ausgeschnitten, letzterer in ein Uhrschildchen gehängt und mit faradischen Strömen gereizt. Es fließt ein anfangs klares, später getrübbtes Sekret aus. Bei Reizung des Ganges

in situ nach Einbindung einer Kanüle wird nicht wesentlich mehr Sekret gewonnen (Eröffnung vom Rücken, wie bei der Blutgewinnung, siehe unten).

Harngewinnung: Da für gewöhnlich nur wenig Harn in den Harnblasen gefunden wird, unterband v. Fürth³⁷⁾ die Ureteren und ließ den Harn sich 1—3 Tage ansammeln. Das Tier wird zu diesem Zweck in Rückenlage auf den Halter aufgebunden und gut respiriert. Der Mantelschnitt beginnt 2 cm von der Mittellinie und 3 cm vom Mantelrand und geht 2—3 cm nach außen hinten. Die Schnittländer werden auseinander gehalten, die Ureterpapille aufgesucht, vorgezogen und unterbunden. Tiefe Mantelnaht mit krummer Nadel über dem durch die Mantelspalte eingeführten Finger, außerdem Hautnaht. Zum Entleeren des Harns wird der Mantel ganz geöffnet, das Tier mit dem Bauch nach unten gehalten und die abhängigste Stelle des Harnsacks angeschnitten.

Einfacher dürfte sich die Operation gestalten bei Anwendung des neuerdings beschriebenen Umkrepelungsverfahrens von Magnus⁶¹⁾: Ein Assistent hält das Tier an den Armen. Man zieht den Mantel etwas vom Rumpf ab, durchschneidet die Muskelbrücke zwischen Mantel und Bauch und klappt den Mantel nach hinten, wodurch der in ihm verborgene Hinterkörper frei wird, so daß man direkt an Kiemen, Ureterenpapillen, After usw. heran kann. Nachher wird der Mantel wieder in die alte Lage gebracht. Die Tiere leben gut weiter.

Gewinnung von Lebersekret [Cohnheim²²⁾]: Tötung der Tiere bald nach der Fütterung (mit lebenden *Carcinus*), Einbinden von Glaskanülen in die Ausführungsgänge der Leber und gelindes Drücken.

Blutgewinnung [Fredericq²⁷⁾]: Aufnagelung auf ein Brett in Bauchlage, Spalten des Mantels in der dorsalen Mittellinie, wodurch man in die Mantelhöhle kommt. Aufschneiden des Eingeweidesacks über dem durchschimmernden Ösophagus, längs dessen die große Arterie verläuft. Diese wird frei präpariert, peripher unterbunden, zentral abgeklemmt und nach Spaltung in dieselbe eine Kanüle eingebunden, aus der das Blut nach Abnehmen der Klemme in das vorgehaltene Gefäß läuft. — Cohnheim bindet eine zweite Kanüle in den peripheren Teil und spült mit Seewasser nach.

Resorptionsversuche [Cohnheim²²⁾]: Der Darm wird am Anus unterbunden und hier und am Ösophagusende (eventuell nach Unterbindung der Speicheldrüesengänge) durchschnitten und herausgenommen. Vom Ösophagus aus wird die zu resorbierende Lösung mittels Bürette eingefüllt und dann auch hier abgebunden. Der Darm kommt in ein Schälchen mit Blut desselben Tieres, welches mit Sauerstoff durchlüftet wird.

Herzbewegungen und Blutdruck [Fredericq²⁷⁾, Fuchs³⁹⁾, Ransom⁷²⁾]: Zur Beobachtung der Herzbewegungen wird der Pulp in Rückenlage auf ein Brett genagelt, dieses in eine Schale mit Seewasser gelegt und beschwert, und über dem Herzen ein Fenster in den Mantel geschnitten (eventuell noch weiter freigelegt). In dieser Lage können mit der Suspensionsmethode Kurven von den verschiedenen Herzabteilungen aufgenommen werden. Zu Blutdruckversuchen wird wie oben bei der Blutgewinnung vom Rücken her die Aorta freigelegt und eine Kanüle eingebunden. (Fuchs benutzt eine T-Kanüle, deren beide kurzen Enden in die geschlitzte Aorta eingebunden werden.) Der Herznerv geht vom Ganglion viscerales (in der Knorpelkapsel gelegen)

aus und wird am besten im Kopf am Austritt aus der Schädelkapsel aufgesucht und gereizt. (Näheres über die Präparation bei Fuchs.)

Atmung: Fröhlich³⁴) bindet zum Aufschreiben der Atembewegungen ein T-Rohr in den Trichter ein. Das eine freie Ende wird mit einer Marey'schen Trommel verbunden, das andere, mit Gummischlauch und Klemme armiert, dient zum Abfluß des Atemwassers, das ein Schlauch in einen Mantelspalt einführt, außerdem zum zeitweisen Verschuß. Neben den Schwankungen des Innendrucks der Atemhöhle können die Bewegungen der Ringmuskulatur des Mantels aufgeschrieben werden, indem mittels eines Hakens ein Faden an der Seite des Mantels befestigt wird, welcher die Bewegungen über eine Rolle auf den Hebel überträgt.

Nervenpräparat (v. Uexküll⁸³): Als solches kann nur die Kommissur zwischen Visceralganglion und Mantelganglion (Ganglion stellatum) in Betracht kommen. Man öffnet durch einen Medianschnitt die Mantelhöhle von unten, klappt nach Durchschneidung der Muskelbrücke den Mantel auseinander und heftet ihn am Boden der Präparierschale mit Nadeln fest. Die Kommissur verläuft z. T. innerhalb eines den Mantelraum frei durchziehenden Muskelbandes, z. T. in der Halsmuskulatur. Man nimmt das Muskelband auf den Finger und spaltet es; da der Nerv in einem präformierten Kanal liegt, ist er leicht zu isolieren. Er wird von da aus weiter nach vorne bis zur Knorpelkapsel präpariert und hier abgeschnitten (nach Boruttau mit einem Teil des Ganglions); am andern Ende läßt man mit Vorteil auch das Ganglion stellatum dran, das leicht in Zusammenhang mit dem Nerven exziiert werden kann (zu Galvanometerversuchen sehr geeignet).

Nerv-Ganglion-Muskelpräparat (v. Uexküll⁸⁴): Die Präparation des Nerven geschieht wie vorher. Mit dem Ganglion stellatum wird ein 2 cm langes und $\frac{3}{4}$ cm breites Mantelstück ausgeschnitten, dessen Bewegungen auf einen Schreibhebel übertragen werden. (Benutzbar zur Messung der Leitungsgeschwindigkeit des Nerven; die Nerven haben keine konstante Länge, sondern variieren dieselbe auch unter physiologischen Verhältnissen in ziemlich hohem Maße.) Man kann auch lateral vom Ganglion einen der von ihm ausgehenden Nerven präparieren und unter Ausschaltung des Ganglions direkt reizen, um von einem daranhängenden Mantelstück Kurven zu schreiben. Lange Nerven sind so nicht zu erhalten, auch ist es nicht ganz sicher gestellt, daß ihre Fasern direkt in die Muskulatur übergehen und nicht etwa unter Vermittelung von Ganglienzellen. Immerhin spricht mancherlei dafür, daß wir es hier mit einem wirklichen Nerv-Muskelpräparat zu tun haben.

Operationen am Zentralnervensystem (v. Uexküll⁸⁵): Fesselung auf dem Halter in Bauchlage, künstliche Respiration. Man orientiert sich mit dem Finger über die Lage der Schädelkapsel, spaltet die Haut über derselben, schiebt sie und die Muskeln zur Seite, bis man auf die Verbindungssehne der Augen trifft, die zur Orientierung dient, und spaltet die Knorpelkapsel in der Mitte. Die oberen Partien der Ganglien liegen jetzt operierbar vor einem. Die klebrige Umhüllungsmasse ist nur schwer zu entfernen. Um die tieferen Ganglien zu erreichen, muß ein Auge geopfert werden, wodurch die Reaktionen des Tieres an sich nicht geändert werden, aber eine nicht stillbare, langsame Blutung bewirkt wird. Hautnaht.

Entfernung der Statozysten (Fröhlich³⁴): Nach Fesselung auf dem Halter in Rückenlage wird der Trichter nach der Seite gezogen und rechts von ihm (vom Beschauer gesehen) ein Hautschnitt parallel zur Medianlinie (3—4 cm lang) gemacht. Unter Vermeidung der bläulichen Blutgefäße arbeitet man sich in die Tiefe bis zur Knorpelkapsel, in der man den Statolithen durchschimmern sieht. Der Knorpel wird über demselben eröffnet, der Stein mit spitzer Pinzette entfernt und ausgekratzt. Um den Stein der rechten (vom Beschauer aus linken) Statozyste auch noch zu entfernen, wird die knorpelige Scheidewand zwischen beiden Höhlen durchstoßen und die Höhle von hieraus ausgeräumt. Hautnaht.

Augen: Die Akkommodation des hochentwickelten Cephalopodenauges hat durch Beer²) eine eingehende Bearbeitung gefunden. Zur Bestimmung der Refraktion wurde hauptsächlich die Skiaskopie angewendet. Wegen der Ausführung derselben an diesem Objekt und wegen der anderen angewandten Methoden muß aufs Original verwiesen werden. (Siehe auch Hess^{42b}). — Die Pupillenreaktion ist von Magnus⁶⁰) physiologisch und pharmakologisch untersucht worden. Die Operationen am Zentralnervensystem wurden auf dem oben beschriebenen Wege ausgeführt. Die Giftapplikation geschah durch Zusatz der Gifte zum Seewasser oder durch intravenöse Injektion ins Kiemenherz nach Umkrepelung des Mantels (siehe oben).

Arthropoden.

Trotz des enormen Formenreichtums zeigt dieser Tierstamm physiologisch ziemlich gleichartige Verhältnisse. Überall (außer bei parasitisch zurückgebildeten Arten) finden wir ein äußeres Skelett segmentalen Aufbaus und paarige Gliedmaßen, deren Glieder wie die Segmente des Körpers durch weiche, chitinige Häute miteinander verbunden sind. Die Muskeln verbinden in der Regel zwei benachbarte Segmente (resp. Glieder), sind quergestreift und erhalten ihre Innervierung, soweit bis jetzt bekannt ist, ausschließlich vom Zentralnervensystem, das aus einer Kette mehr oder weniger verschmolzener, ventralgelegener Ganglien und dem dorsalen Oberschlundganglion besteht. Dementsprechend zeigen die Muskeln funktionell nur geringe Unterschiede und der allgemeine Bewegungsmodus dieser Tiere ist höchst gleichförmig. Auch in Aufbau, Innervation und Tätigkeit des Herzens zeigen sich nur unwesentliche Differenzen. Schließlich haben wir überall nach gleichem Typus ausgebildete Rezeptionsorgane. Wesentlichere Unterschiede treten nur im Gebiet des Atemapparats zutage, je nachdem wir es mit Land- oder Wassertieren zu tun haben. Wenn es sich also nicht um das Studium der speziellen Anpassungen an die Lebensbedingungen handelt, so kann man in dieser Tiergruppe mit einigen wenigen Versuchstieren auskommen. Daß es allerdings auch hier manchmal von dem größten Wert ist, bisher noch nicht oder nur in geringem Grade physiologisch bearbeitete Arten zu Versuchen heranzuziehen, haben erst kürzlich die Arbeiten von Carlson gezeigt, der im Limulusherzen ein Objekt entdeckte, bei dem im Gegensatz zu allen bekannten Tierherzen die nervösen Zentren und die Muskulatur anatomisch vollkommen voneinander getrennt sind.

Fesselung: Die zu feineren Operationen nötige Bewegungslosigkeit des Versuchstiers verschafft man sich bei den Arthropoden am besten durch Fesselung und nicht durch Narkose oder andere Vergiftung, da alle bislier versuchten chemischen Mittel sehr leicht dauernde Schädigungen oder den Tod herbeiführen, während andererseits eine vollständige Fesselung bei dem harten Panzer leicht bewerkstelligt werden kann. Für Krebse (Macruren und Brachyuren) benutzt man Bretter, in welche entsprechend der Körperform des Versuchstiers Löcher gebohrt sind. Durch diese werden Fäden gezogen und über dem Tier (resp. auf der Unterseite des Brettes) gebunden. Die Beine werden zweckmäßiger Weise auf beiden Seiten mit je einem Faden zusammengebunden und dieser um einen seitlich am Brett angebrachten Nagel geschlungen. (Bei Einzelfesselung der Beine tritt leicht Autotomie ein.) Für manche Zwecke genügt es auch den Carapax mit einer großen Kühlerklemme zu fassen und diesen mit einem Kreuzkopf an einem Stativ zu befestigen. (Bethe³) p. 534 u. ⁴) p. 459). — Neuerdings empfiehlt v. Uexküll (Leitfaden p. 81) weitmaschige, in Rahmen gespannte und auf einem Stativ befestigte Drahtnetze. Auf diese werden die Krebse usw. gelegt und mit Gummibändern, die an den Enden Haken tragen, festgehakt.

Kleinere Crustaceen und viele Tracheaten kann man in genügender Weise auf Korkplatten durch eingesteckte Drahtklammern oder kreuzweis gesteckte Stecknadeln fixieren. Für Heuschrecken, Bienen und Wasserkäfer habe ich eigne kleine Operationstische (Bethe⁴) p. 494, p. 503 u. p. 518) für nötig befunden.

A. Crustaceen.

Wegen ihrer Größe werden zu operativen Zwecken und für Organuntersuchungen fast nur Dekapoden benutzt.

Material: Macruren = langschwänzige Krebse: Flußkrebse, *Astacus fluviatilis*; Hummer, *Homarus vulgaris*; Languste, *Palinurus elephas*; Palaemon- und Penaeus-Arten [besonders für Statozysten-Operationen: *Penaeus membranaceus*]. Brachyuren: *Carcinus Maenas*, *Maja spinado*. Alle das ganze Jahr zu haben. Gute Objekte sind aber auch: für Untersuchungen am Nervensystem der Stomatopode *Squilla Mantis* (stets von hinten über den Rücken anzufassen, da die plötzlich vorgeschleuderten Raubbeine schwere Verletzungen anrichten können!); für Statozysten-Versuche die Mysiden.

Wegen der Anatomie siehe Huxley^{43b}) und Lang⁵³).

Verdauungsversuche: Zur Gewinnung von Magensaft ohne Schädigung des Versuchstiers (Flußkrebse, Hummer) führt man eine Pipette durch den Mund in den Magen und saugt stark an (Bethe). Die Pipette muß vorne etwa 2 cm lang auf 3–4 mm Durchmesser (starke Wandung!) ausgezogen und im Winkel von 140–150° abgelenkt sein. (Es ist zweckmäßig, in das spitze Ende der Pipette seitliche Öffnungen einzublasen. Fig. 6a.) Um den Widerstand der die Mundöffnung bedeckenden Mandibeln zu überwinden, führt man die Spitze von vorne, wo man vor dem Mund ein weichhäutiges Feld sieht, unter die Mandibeln. Wenn die Spitze die Mundöffnung berührt, werden die Mandibeln reflektorisch geöffnet. — Auf dem gleichen Wege können Substanzen zu Resorptionsversuchen in den Magen gebracht werden

(Jordan); auch durch Injektion ins Rektum ist dies möglich (St. Hilaire) jedoch nach Jordan nicht zweckmäßig.

Herz: Zur Freilegung des Herzens schneidet man über dem Herzen auf der dorsalen Seite des Tieres ein Fenster in den Panzer (die Stelle, wo das Herz liegt, ist bei vielen Arten durch eine Depression des Panzers markiert). Dies geschieht am schonendsten in folgender Weise: Die vier Ecken des gewünschten, rechtwinkligen Fensters mögen A, B, C und D heißen. Man setzt in A und B die scharfen Spitzen einer Knochenzange fest ein und schließt langsam die Zange. Man wiederholt dies bis sich eine tiefe Rille ins Chitin gegraben hat, hört aber auf, so wie sich stellenweise das dünne Epithel unter dem Panzer zeigt. Dann verfähre man ebenso zwischen B—C und A—D, zuletzt zwischen D—C, wobei man sich vorzusehen hat, daß man nicht durchbricht. An einer Stelle, wo Epithel freiliegt, wird ein Excavator zwischen Chitin und Epithel eingeschoben und das Chitinstück in die Höhe gehebelt. Das bei einiger Geschicklichkeit unverletzt gebliebene Epithel-

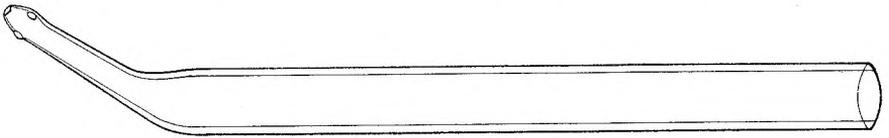


Fig. 6a.



Fig. 6b.

häutchen wird dann mit der Pinzette gefaßt, mit spitzer Schere an den Rändern umschnitten und abgezogen [Bethe³) S. 536]. — Statt der Zange kann man sich bei kleineren Tieren mit Vorteil eines „Reißzahnes“ (kleinsten Formats) bedienen, wie ihn die Mechaniker zum Schneiden dicker Blechplatten benutzen (Fig. 6b) [Bethe⁴) S. 519].

Das Herz liegt dann umgeben vom Herzbeutel frei vor einem. Um sich zu überzeugen, daß die Gefäßbahn nicht geschlossen ist, öffne man den Herzbeutel und bringe einen Tropfen Berlinerblau oder Karminaufschwemmung auf das Herz. Bei der ersten Diastole sieht man, wie der Farbstoff in die venösen Ostien hineingesogen wird. (Man bekommt so ganz hübsche Injektionspräparate.)

Zum Aufschreiben der Herzbewegungen bedient man sich am besten des Suspensionsverfahrens innerhalb des Tierkörpers selber und auch am ausgeschrittenen Organ (Bottazzi, Carlson). Plateau⁷⁰) wandte Fühlheber an. Es gibt Beschleunigungsnerven und Hemmungsnerven; über ihren Verlauf herrscht noch keine Übereinstimmung. Nach Plateau verläuft ein Beschleunigungsnerv in der Wand der Arteria cephalica (von späteren Autoren gelegnet). Nach Carlson¹⁸) gehen bei *Palinurus* Äste der beiden ersten rückläufigen Hautnerven, welche aus dem Vorderteil der Bauchkette ent-

springen, zum Herzen. Das erste Paar hemmt, das zweite beschleunigt die Herzbewegungen.

Muskelpräparate und Nervmuskelpräparate (Fredericq und Vandevelde³¹): Infolge der Ausbildung eines äußeren Skeletts sind die meisten Muskeln nicht ohne Verletzung präparierbar. Bei der großen Einfachheit der Muskelverteilung in den Gliedmaßen (in jedem Glied existiert in der Regel nur je ein Beuger und ein Strecker) verzichtet man daher am besten auf die Freilegung des zu untersuchenden Muskels und macht den einen Muskel (Beuger oder Strecker) dadurch unschädlich, daß man die Endsehne (stets distal gelegen) dicht an der Artikulation mit dem nächsten Glied durchschneidet. Am meisten benutzt ist das Scherenpräparat (*Astacus* oder *Homarus*): Der Scherenfuß wird dicht am Körper abgeschnitten, die Sehne des Öffnungsmuskels (resp. Schließmuskels) durchtrennt, das Endglied in ein Stativ gespannt und an der beweglichen Branche (Daumen) ein Schreiberhebel befestigt. Zur direkten Reizung werden zwei Löcher an geeigneten Stellen durch das Endglied gebohrt und Platindrähte eingeführt. Zur indirekten Reizung ist es nicht ratsam den Nerven freizulegen, da er sehr schnell abstirbt. Man sticht vielmehr zwei Platindrähte im Abstand von circa 1 cm durch das zweite oder dritte Fußglied. Ist die Freilegung des Nerven unbedingt erforderlich (Messung der Leitungsgeschwindigkeit), so führe man dies nur auf kurze Strecken aus. — In derselben Weise kann man auch jedes Gangbein zum Schreiben herrichten. — Zur Untersuchung nackter Muskeln (ohne umgebenden Panzer) eignen sich die langen Streck- und Beugemuskeln des Abdomens der *Macruren*, welche einerseits am Thorax, andererseits am Abdomen inserieren. Am leichtesten zu isolieren ist der am ersten Segment des Abdomens inserierende Extensor. — Zu mikroskopischen Beobachtungen an lebenden Muskelfasern eignen sich die Antennenmuskeln vieler Copepoden.

Operationen am Zentralnervensystem (Bethe³ p. 535): Da in dem festen Kasten des Carapax ein gelinder Überdruck herrscht, so fließt bei der Eröffnung eine nicht unbedeutende Blutmenge aus. Zu diesem Blutverlust käme noch der Verlust einer zweiten Blutportion während der Operation selbst. Um den Blutverlust auf ein Minimum zu reduzieren, wird der Innendruck durch Auspumpen des Magens verringert. Zu diesem Zweck führt man nach dem Aufbinden des Tieres ein Glasrohr in den Magen ein (Fig. 7), welches am freien Ende mit einem Schlauch und Schlauchklemme versehen ist (Beschreibung des Rohres [Fig. 6a] und Technik der Einführung siehe S. 104 unter „Verdauungsversuche“). Bereits bei der Einführung des Rohres tritt Magensaft in dasselbe ein; dann wird durch Saugen am Schlauch der Druck in der Kanüle vermindert, wobei noch mehr Flüssigkeit austritt, und der Schlauch abgeklemmt. Wird jetzt in der auf S. 105 unter „Herz“ beschriebenen Weise der Chitinpanzer eröffnet, so sinkt das Epithelhäutchen nach Fortnahme der Chitinplatte tief ein und ein großer Teil des noch im Magen befindlichen Saftes tritt in das Glasrohr. (Damit sich das Rohr nicht durch unverdaute Nahrungsreste verstopft, ist es gut, die Tiere 1—2 Tage vor der Operation hungern zu lassen). Nach beendeter Operation wird die Schlauchklemme geöffnet und so viel von dem Magensaft durch Blasen in den Schlauch hineinbefördert (bei unzureichender Menge auch noch

etwas Luft), daß das Blut eben über die Wundränder zu treten droht. Dann wird der Schlauch wieder abgeklemmt und die Wunde in der oben (p. 74) beschriebenen Weise mit Wachs verschlossen. Luft darf auf keinen Fall in der Körperhöhle zurückbleiben, da sonst Embolien entstehen. Den Teil, an dem operiert wird, lagere man möglichst hoch, um den Blutzufuß zu vermindern. Zur Entfernung überflüssigen Blutes verwende man weder Watte noch Fließpapier, sondern sauge es mit dünnen Glaspipetten ab. Da das Blut sehr leicht gerinnt und die Pipetten verstopft, halte man mehrere bereit. Alle feineren Operationen können nur unter der Lupe (Westiensche oder Braus-Drünorsche Doppellupe) ausgeführt werden. Um in die oft sehr tiefen Operationshöhlen mit kleiner oberer Öffnung Licht zu bekommen, läßt man von einer dicht über dem Tischblatt angebrachten Lampe Licht auf einen hinten an der Lupe angebrachten Hohlspiegel fallen, welcher das Licht entweder direkt in die Wundhöhle wirft oder (bei sehr tiefen Löchern) dies unter Vermittlung eines kleinen, mit einem langen Bleidraht vorne an der Lupe angebrachten Planspiegels tut (Fig. 7).

Operationen am Gehirn werden von der Dorsalseite ausgeführt. Nach Eröffnung des Panzers werden die vorderen Magenmuskeln durchschnitten und der Magen selbst, der das Gehirn überdeckt, wird nach hinten geschoben und durch einen Haken (K in Fig. 7) zurückgehalten.

Operationen am Bauchmark werden von der ventralen Seite ausgeführt. Sie werden durch zwei Umstände sehr erschwert. Erstens zieht unter dem Bauchmark das sehr dünnwandige ventrale Blutgefäß entlang, dessen Verletzung nur bei wenigen Operationen vermieden werden kann, zweitens muß man sich den Eingang zwischen den meist sehr nahe aneinandergelegenen Beinen erzwingen. Die Wundöffnung kann daher nur sehr klein gemacht werden.

Die Durchschneidung einer oder beider Schlundkommissuren kann von oben her vorgenommen werden. Bei manchen Tieren, z. B. bei *Carzinus*, gelingt sie aber auch mit Sicherheit auf folgendem Wege: Wenn man die Maxillarfüße auseinanderklappt, so bemerkt man vor den Mandibeln ein kleines weichhäutiges Feld, den vorderen Teil des Mundfeldes. Dieses wird mit einem feinen Messer durchstoßen. Durch den so entstandenen Schlitz wird ein auf der Innenseite geschärfter Haken eingeführt, mit welchem die Kommissur erfaßt und durchschnitten wird. Ein Verschuß ist nicht nötig. (Wegen der Ausführung der einzelnen Operationen am Gehirn und Bauchmarke siehe *Bethe*^{3 u. 4}.)

Statozysten: Statozysten sind bisher nur bei den Schizopoden (*Mysis*) und den Decapoden bekannt. Bei ersteren liegen sie in den inneren Schwanzanhängen, bei letzteren im Basalglied der ersten (inneren und kleineren) Antennen. Die Entfernung dieser Organe bereitet meist keine Schwierigkeiten. Am einfachsten ist es, die erste Antenne resp. den inneren Schwanzanhang ganz abzuschneiden. Bei *Mysis* gelingt es, die Statozyste auszustechen (man lege dazu die Tiere auf feuchtes Fließpapier, stütze sie von den Seiten durch Fließpapierbäusche und drücke den Thorax mit einem Bleidraht herab, damit sie nicht fortspringen). Bei *Penaeus*, *Palaemon* und *Astacus* kann man die Statozysten eröffnen und auskratzen (Fesselung in Rückenlage und Seitwärtsziehen des Augenstiels und der zweiten Antenne). —

Um statolithenlose Tiere zu erhalten, kann man die Häutung abwarten, wobei die Steine mit abgeworfen werden. Man setze die Tiere sofort in filtriertes Seewasser, da sie gleich nach der Häutung Sand usw. in die Zysten hineinstopfen. Um Tiere mit eisernen Statolithen zu bekommen, gibt man ihnen nach

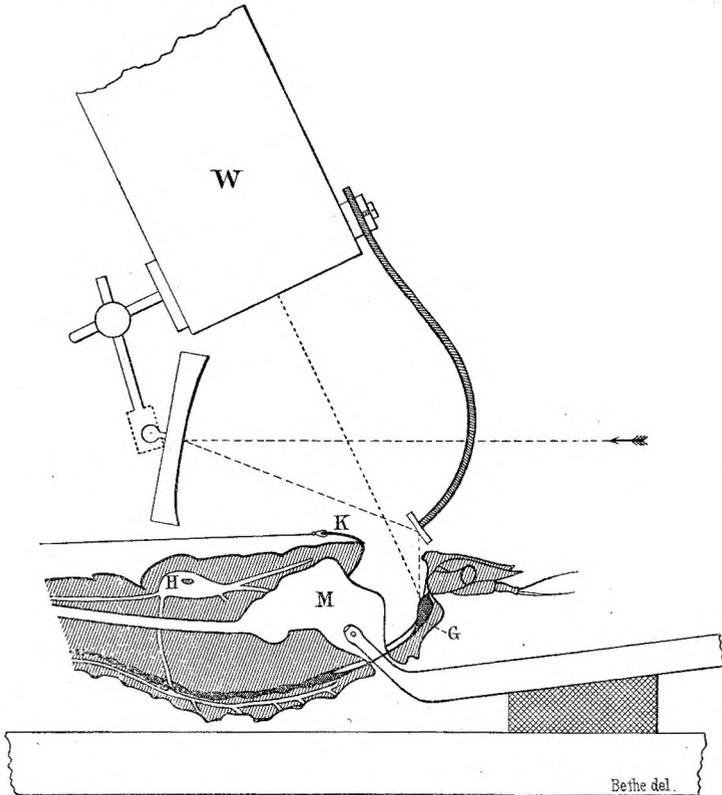


Fig. 7.

Idealer Längsschnitt durch den vorderen Teil eines zu einer Operation am Gehirn G aufgebundenen Flußkrebse. In den Magen (M) ist die Kanüle eingeführt; sie ruht auf einem Korkkeil. Ein breiter Blechhaken (K) hält den Magen nach hinten. W = Westinsche Lupe. Das Licht kommt in der Richtung des —→ von einer Lampe. (Die optischen Teile sind auf die Hälfte verkleinert, ebenso die Entfernungen derselben voneinander und vom Objekt). H = Herz, davon ausgehend die großen Arterien. Schwarz das zentrale Nervensystem. (Der Längsschnitt unter Benutzung einer Figur aus Huxley: Der Krebs (Leipzig 1881) gezeichnet.)

der Häutung Eisenfeile ins Bassin (Kreidl⁵⁰) und Prentiss⁷¹). Man kann die Statolithen auch künstlich entfernen, indem man die die Zyste schließende Klappe hochhebt und den Sand mit starkem dünnen Wasserstrahl ausspült (Prentiss bei Palaemonetes, Fröhlich³⁵ bei Penaeus). Auch diese Tiere füllen Eisenfeile in die Zysten und können mit dem Elektromagneten untersucht werden (Prentiss). — Zur Untersuchung der Bewegungsstörungen leistet ein rotierendes Bassin gute Dienste. Zur Untersuchung der kompen-

satorischen Augenbewegungen sind besondere Vorrichtungen nicht nötig, wenn es sich nicht um eine genauere Messung der Ausschläge handelt. Hierzu wandte Clark¹⁹⁾ eine vertikal stehende um ihre Achse drehbare Scheibe an, welche eine vom Zentrum ausstrahlende Winkeleinteilung trug. Auf diese wurden die Krabben mit Gummibändern so befestigt, daß der Schnittpunkt der Augenstielachsen ins Zentrum der Winkelteilung fiel.

Augen: Um optische Reize fernzuhalten, empfiehlt es sich nicht, die Augen zu zerstören; viel zweckmäßiger ist es, die Cornea mit einer Lösung von schwarzem Asphalt in Chloroform oder von Schellack und Kienruß in Alkohol zu bestreichen. — Über die Technik der Untersuchung der zusammengesetzten Augen siehe Exner²⁶⁾.

B. Tracheaten.

Die meisten bisher angestellten Experimentaluntersuchungen beziehen sich auf die Physiologie des Zentralnervensystems und der Muskeln.

Muskelpräparat: Schoenlein⁷⁵⁾ benutzte die Schwimmbeine von *Dytiscus*. Ein Scherenschnitt durch die Coxa löst das Bein vom Körper; darauf werden der Tarsus und die Haare und Stacheln der Tibia abgeschnitten. Durch das durchbohrte untere Ende der Tibia wird ein Faden gezogen. Das Femur wird mit Insektennadeln, die zu gleicher Zeit den Strom zuführen, an beiden Enden (auf der Beugeseite) auf ein Korkprisma festgesteckt. Das Femur muß senkrecht nach unten stehen, die Tibia herabhängen und ihre Bewegungsebene parallel zu dem sehr leichten Hebel stehen, an dem der Faden befestigt wird. — Zu mikroskopischen Beobachtungen an lebenden Muskeln sind die durchsichtigen Larven mancher Dipteren, besonders von *Corethra*, sehr geeignet.

Zur Feststellung der Leitungsgeschwindigkeit im Bauchmark benutzt Carlson¹⁷⁾ Myriapoden. Das Verfahren ist dem bei Würmern angewandten sehr ähnlich (siehe S. 86).

Operationen am Zentralnervensystem werden in derselben Weise wie bei Crustaceen ausgeführt. Über technische Einzelheiten siehe Bethe⁴⁾. Fesselung siehe oben unter Arthropoden (S. 104).

Herz: Die Herzen der echten Tracheaten sind wegen ihrer Zartheit und Kleinheit für physiologische Zwecke nicht besonders geeignet. Ein vorzügliches Objekt ist aber das Herz des Xiphosuren*) *Limulus* (Carlson¹⁶⁾), welches eine Länge von 15–20 cm bei einer Breite von 2,5 cm erreicht. Die Hauptvorteile dieses Objektes liegen aber nicht in seiner Größe und relativen Lebensfähigkeit, sondern in folgenden von Carlson entdeckten Eigenschaften: Auf dem Herzen liegt ein System von Nervenfasern und Ganglienzellen, welches ohne Verletzung der Muskulatur abpräpariert werden kann; das Herz steht danach still und verhält sich jetzt wie ein Skelettmuskel. Die Anordnung dieses Herznervensystems läßt noch eine Menge anderer Experimente zu, welches sich an keinem andern Herzen bisher haben aus-

*) Anmerkung: Die Xiphosuren wurden früher zu den Crustaceen gerechnet. Sie besitzen keine Tracheen, sondern atmen mit Kiemenfüßen. Ihr Vorkommen ist auf bestimmte Stellen des indischen und großen Ozeans beschränkt.

führen lassen. Leider ist dieses wunderbare Versuchsobjekt für europäische Forscher fast unerreichbar. Um die Bewegungen des Herzens und seiner Teile zu registrieren, bediente sich Carlson des Suspensionsverfahrens.

Tunikaten.

Besondere Aufmerksamkeit ist dem Herz der Salpen und Ascidien geschenkt worden, welches die Eigentümlichkeit hat, bald in der einen, bald in der andern Richtung mit wechselndem Rhythmus zu schlagen. Vollständige Isolation ist bei Salpen nicht möglich, wohl aber bei Ascidien. Die Lage des Herzens ist leicht zu erkennen, da man es durch die Körperwand hindurchsieht. Die Durchschneidungs- und Reizungsversuche bieten technisch nichts besonderes (Schultze⁷⁷).

Die Herausnahme des Ganglions ist bei Salpen und Ascidien (man benutze von letzteren junge noch durchsichtige Tiere) leicht auszuführen (Fröhlich³³). Hunter⁴³) brennt das Ganglion mit dem Galvanokauter aus, um Blutverlust zu vermeiden.

Die Salpen bieten ein großes Interesse für das Studium der rhythmischen Bewegungen und ihrer Ursachen. Der Rhythmus der Schwimm-Atembewegungen ist abhängig vom Ganglion. Die Bewegungen lassen sich registrieren durch Einführung einer Kanüle in die Ausströmungsöffnung. — Interessant sind auch die Steuerbewegungen und die Gleichgewichtserhaltung.

Material: Ascidien (hauptsächlich die große *Cione intestinalis*) das ganze Jahr in großen Massen. Salpen in verschiedenen Arten im Winter und Frühjahr häufig.

Literatur.

- 1) Apáthy, Orvos-természettudományi értesítő. Kolozsvár. 1897.
- 2) Beer, Pflügers Arch. Bd. 67. 1897. p. 541.
- 3) Bethe, Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 50. 1897. p. 460 u. 589.
- 4) Bethe, Pflügers Arch. Bd. 68. 1897. p. 449—545.
- 5) Bethe, Allgem. Anat. u. Physiol. des Nervensystems. Leipzig, 1903.
- 6) Biedermann, Sitzungsber. Akad. Wien. Bd. 93. III. 1886. p. 58.
- 7) Biedermann, Sitzber. Akademie Wien. Bd. 93. III. 1886. p. 91 und Bd. 95. III. 1887. p. 7.
- 8) Biedermann, Pflügers Arch. Bd. 46. 1890. p. 399.
- 9) Biedermann, Pflügers Arch. Bd. 102. 1904. p. 475.
- 10) Biedermann, Pflügers Arch. Bd. 107. 1905. p. 1.
- 11) Bottazzi, Arch. ital. Biologie. 28. 1897. p. 61.
- 12) Bottazzi, Rivista di scienze biol. Bd. 1. 1899.
- 13) Bronns Klassen und Ordnungen des Tierreichs.
- 14) v. Brücke, Pflügers Arch. Bd. 108. 1905. p. 192.
- 15) Carlson, American. Journ. of physiol. Bd. 12. 1904. p. 64.
- 16) Carlson, American Journ. of physiol. Vol. 13. 1905. p. 351.
- 17) Carlson, Journ. of exper. Zool. Bd. 1. 1904. p. 270.
- 18) Carlson, Comparative physiology of the invertebrate Heart, Biological Bulletin Bd. 8. 1905. p. 125.

- 19) Clark, Journ. of physiology. Bd. 19. p. 330.
- 20) Cohnheim, Zeitschr. f. physiolog. Chemie, 33. 1901. p. 32.
- 21) Cohnheim, Zeitschr. f. physiol. Chem. Bd. 33. 1901. p. 23.
- 22) Cohnheim, Zeitschr. f. physiol. Chemie. 35. 1902. p. 403.
- 23) Dubois, Anal. Univers. Lyon. Bd. 2. H. 1. 1892.
- 24) Eimer, Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. 17 1880.
- 25) Enriques, Archivio zoologico. Bd. 1. 1903. p. 1.
- 26) Exner, Physiologie der facettierten Augen von Krebsen und Insekten. Leipzig-Wien 1891.
- 27) Fredericq, Arch. de Zool. experim. Bd. 7. 1878. p. 539.
- 28) Fredericq, Arch. zool. exper. 1884.
- 29) Fredericq, Arch. de Biol. T. 20. 1904. p. 709.
- 30) Fredericq, Arch. internat. d. Physiol. Vol. 2. 1905. p. 127.
- 31) Fredericq und Vandevelde, Arch. de Biologie. Bd. 1. 1880. p. 1.
- 32) Friedländer, Pflügers Arch. Bd. 58. 1894. p. 168.
- 33) Fröhlich, Pflügers Arch. Bd. 95. 1903. p. 609.
- 34) Fröhlich, Pflügers Arch. Bd. 102. 1904. 415.
- 35) Fröhlich, Pflügers Arch. 103.
- 36) v. Fürth, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 30. 1894. p. 187.
- 37) v. Fürth, Zeitschr. physiol. Chemie. Bd. 31. 1900. p. 361.
- 38) v. Fürth, Vergleichende chemische Physiologie der niederen Tiere. Jena 1903.
- 39) Fuchs, Pflügers Arch. Bd. 60. 1895. p. 173.
- 40) Fürst, Pflügers Arch. Bd. 46. 1890. p. 369.
- 41) Guiart, Memoires société zool. France. Bd. 14. 1901. p. 1.
- 42) Herbst, Arch. f. Entwicklungsmechanik. Bd. 5. 1897. p. 651.
- 42b) Hess, C., Pflügers Arch. Bd. 109. p. 393.
- 43) Hunter, Amer. journ. of physiol. Bd. 10. 1904. p. 1.
- 43b) Huxley, Der Krebs. Leipzig, 1881.
- 44) Hyde, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 35. 1897. p. 459.
- 45) Jenkins und Carlson, American. journ. of physiol. Bd. 8. 1903. p. 251 und Journ. comp. Neurol. Bd. 14. 1904. p. 85.
- 46) Jenkins und Carlson, Journ. of compar. Neurol. Bd. 13. 1903. p. 259.
- 47) Jordan, Zeitschr. f. Biol. Bd. 41. p. 196.
- 48) Jordan, Pflügers Arch. Bd. 106. 1905. p. 189 u. Bd. 121. 1908. p. 221.
- 49) Krause, Zentralbl. f. Physiol. 1895. p. 273.
- 50) Kreidl, Sitzber. Akad. Wien. 102. III. 1893. p. 149.
- 51) Künkel, Verhand. deutsch. zoolog. Gesell. 1900. p. 22—31.
- 52) Künkel, Zool. Anz. 1903. p. 560.
- 53) Lang, Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der wirbellosen Tiere. Jena 1894. (2. Auflage zum Teil erschienen.)
- 54) Loeb, Untersuchungen zur physiol. Morphologie der Tiere. Würzburg 1891.
- 55) Loeb, Pflügers Archiv. Bd. 56. 1894. p. 247.
- 56) Loeb, Pflügers Arch. 59. 1895. p. 415.
- 57) Loeb, Americ. journ. of physiol. 3. 1900. 383.
- 58) Loeb, University of California publications, Physiology. Bd. 1. 1903.
- 59) Lo Bianco, Mitteil. d. zoolog. Station. Neapel. Bd. 13. 1899. p. 448—573.
- 60) Magnus, Pflügers Arch. Bd. 92. 1902. p. 623.
- 61) Magnus, Pflügers Arch. Bd. 92. 1902. p. 640.
- 62) Magnus, Arch. f. experim. Pathol. und Pharm. Bd. 50. 1903. p. 86.
- 63) Maxwell, Pflügers Arch. Bd. 67. 1897. p. 263.
- 64) Mayer, Rhythmical pulsation in Scyphomedusae. Carnegie institution publ. No. 47. Washington 1906.
- 65) Nagel, Bibliotheca zoologica, H. 18.
- 66) Nagel, Pflügers Arch. 57. 1897. p. 495.
- 67) Parker, Bull. Museum comp. Zool. at Harvard. 29. 1896. p. 107.
- 68) Parker, Amer. journ. of physiol. 13. 1905. p. 1.
- 69) Pawlow, Pflügers Arch. Bd. 37. 1885. p. 6—31.

- 70) Plateau, Arch. de Biolog. Bd. 1880. p. 565.
 71) Prentiss, Bullet. Mus. comp. zool. Harvard. Bd. 36. 1901. p. 239.
 72) Ransom, Journ. of physiol. Bd. 5. 1885. p. 261.
 73) Romanes, Jelly Fish, Star-Fish and Sea-Urchins. London 1885.
 74) Romanes, Philosoph. Transact. Bd. 166. 1876. p. 269 u. Bd. 167. 1877. p. 659.
 75) Schoenlein, Arch. f. Anat. u. Physiol. 1882. p. 369.
 76) Schoenlein, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 30. p. 187.
 77) Schultze, Jenaische Zeitschr. f. Naturw. Bd. 35. 1901. p. 221.
 78) Steiner, Die Funktionen des Nervensystems und ihre Phylogenese. II. Braunschweig 1888. p. 17.
 79) Straub, Pflügers Arch. Bd. 79. 1900. p. 379.
 80) Straub, Pflügers Arch. Bd. 103. 1904. p. 429.
 81) Straub, Archivio di Fisiologia. Bd. 1. 1903. p. 53.
 82) Straub, Mitteil. zool. Station zu Neapel. Bd. 16. 1903. p. 456.
 83) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 28. 1891. p. 550.
 84) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 30. 1894. p. 317.
 85) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 31. p. 584.
 86) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 34. p. 321.
 87) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 46. p. 1—37.
 88) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 34. p. 298 u. 319; Bd. 37. p. 334; Bd. 39. p. 73; Bd. 40. p. 447.
 89) v. Uexküll, Mitteil. zool. Stat. Neapel. 14. 1901. 620.
 90) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 46. p. 378.
 91) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 44. p. 273.
 92) v. Uexküll, Zeitschr. f. Biologie. Bd. 33. 1896. p. 11.
 93) v. Uexküll, Leitfaden in das Studium der experimentellen Biologie der Wassertiere. 1905.
 94) Vayssière, Atlas d'anatomie comparée des Invertébrés. Paris 1890.
 95) Verworn, Pflügers Arch. 50. 1891. p. 423.
 96) Vogt, C. und Yung, E.: Lehrbuch der praktischen vergleichenden Anatomie. Braunschweig 1888.
 97) Willem und Minne, Mémoires cour. Acad. royale de Belgique. Bd. 57. 1899.
 98) Yerkes, Americ. Journ. of physiol. Vol. 6. u. 7. 1902.
 99) Zoja, Rendiconti R. Istituto Lombardo, Ser. II. Vol. 24. 1891.