

der Eibildung, so werden die Glieder aus einander gedrängt, und das weiche, bisher verborgene Integument tritt an die Oberfläche heraus.

3. Ist der eingestülpte Trichter hinreichend resistent, so kommt eine Gelenkbildung à tête perforée zu Stande, die, wenn die sich berührenden Theile kugelig sind, das Glied in seinen extremen Excursionen als Radien eines Kegelmantels zu lagern gestatten, wie dies zwischen Kopf und Prothorax, manchmal auch zwischen Prothorax und Mesothorax, zwischen den Antennengliedern und theilweise (Fig. 38) zwischen den Tarsalgliedern der Fall ist.

Ellipsoidale Gestalt der Glieder weist der Bewegung schon bestimmte Axen an. Volle Strenge der Excursion ist aber mit dieser Art Charnieren noch nicht verbunden.

4. Erst wenn beide Glieder durch besondere Vorrichtungen an zwei Punkten fixirt, straff vereinigt sind, kömmt es zur Bildung eines strengen Charnieres mit grösserer Excursionsweite, nämlich zu jener, für die Arthrozoen so charakteristischen Gelenksform. Das Abdomen der langschwänzigen Krebse lässt sich nicht mehr verlängern, und der Bewegung ist eine unveränderliche Axe durch die straffe Fixirung der Ringe an ihren beiden Seiten angewiesen.

Die beiden fixen Punkte bezeichnen die Lage der Drehungsaxen. Die Faltung der Gelenkhäute ist ungleichförmig, an den beiden axialen, fixen Punkten sind sie straff, in der Excursionsrichtung dagegen beiderseits lang und nachgiebig.

Die Fixirung geschieht hier nur durch die axialen straffen Ansätze der Gelenkhaut.

5. Um diese axialen Fixirungspunkte zu vermehren, bildet das feste Integument beiderseits in der Axenrichtung nach aussen und ins Innere der Röhre vorspringende Falten. Die an den axial eingestellten Rändern der Falten kurz angeheftete Gelenkhaut, deren Spannung kaum verändert wird, sichert so in grösserem Umfange den festen Verband beider Glieder. Der Contact ist also nur axial, Gleitflächen sind keine wesentlichen Bestandtheile dieser Gelenksform (Fig. 1, 2), die am häufigsten bei Crustaceen und niederen Insecten vorkommt.

6. Bilden sich die axialen Falten des einen Gliedes zu geschlossenen Zapfen aus, so trägt das andere Glied axiale Gruben, in welchen die Zapfen lagern. So bei manchen Crustaceen (Fig. 3).

Mit dem Flächen-Contact treten hier schon Gleit- oder Gelenkflächen auf, die verschieden sich gestalten, stets aber in der Bewegungsebene kreisförmig contourirt sind. Es gibt Gleitflächen, die an den Axenenden vertheilt, bald als Zapfen und Gruben auftreten, bald strenge Falze vorstellen (Fig. 4, 5, bei Crustaceen, Fig. 10, 11, 12; Fig. 22). Bei Insecten ist in diesen Fällen die Fixirung der Glieder den in einander greifenden Fortsätzen des harten Integumentes selbst übertragen.

Gelenkswalzen mit theilweise geglätteten Flächen, finde ich nur an den Coxen der Käfer und vielleicht einiger Hymenopteren, wo diese Glieder in grubige Pfannen des Thorax eingesenkt sind und an deren Flächen und Rändern dicht vorbeistreichen (Fig. 15, 16, 21).

Auf das Schema der Zapfen- und Falzcharniere mit axialer Faltung und Buchtung des Integumentes lassen sich alle Gelenke der Arthrozoen zurückführen.

7. Wie bei den Knochen die Gelenksenden, so sind hier für die Formen der einzelnen Skeletstücke wesentlich bestimmend die Contouren der Endöffnungen, namentlich die bald symmetrisch bald asymmetrisch angebrachten Vorsprünge derselben, welche meistens die axialen Gleitflächen tragen und wahre Duplicaturen des harten Integumentes sind.

Lage und Formen der Berührungsflächen zweier gegen einander gebogener Glieder, und die Achselflächen modificiren durch Abflachung der Wände ihre cylindrische Grundform.

Die gegebenen Gestaltungen der Skeletstücke lassen sich bei den Arthrozoen leicht mit den Bewegungsverhältnissen der einzelnen Gelenke und der ganzen Beine in Causalnexus bringen, und damit könnte vielleicht an diesen einfacheren Formen brauchbares Materiale gewonnen werden für Versuche, die viel verwickelteren Knochenformen der höheren Thiere zu deuten.

---

Die anatomische Beschreibung hat ergeben, dass es bei den Arthrozoen zwar stellenweise, namentlich in der Symmetrieebene und an den Antennen Gelenke gäbe, welche freie Gelenke genannt werden können, weil sie wirkliche Kugelgelenke sind, doch ist ihre Excursionsweite nur gering, und gerade sie sind gänzlich von den Locomotions-Organen ausgeschlossen, welche durchgehends nur einaxige Gelenke haben. Trotzdem ist aber doch an den Beinen die Richtung und der Umfang der Bewegungen häufig von der Art, wie sie bei den Wirbelthieren nur durch Kugelgelenke erzielt werden.

In diesem Falle ist der gleiche Erfolg in der Gelenkigkeit offenbar nur der Combination der einaxigen Gelenke zuzuschreiben.

In wieferne bei den Arthrozoen die Combination der Gelenke auf Umfang und Richtung speciell der Beinbewegungen Einfluss nimmt, soll nun untersucht werden.

Vorerst dürfte eine Verständigung nothwendig sein über den Massstab, nach dem man die Beweglichkeit eines Gliedes oder Leibestheiles, insbesondere eines Beines zu bemessen habe. Ich glaube, dass in dieser Beziehung für das einzelne Gelenk die Excursionen des Endpunktes des mobilen Gliedes und für die Beweglichkeit eines Beines die Excursionen seines Endgliedes (eigentlich eines bestimmten Punktes desselben) massgebend sein dürften. Mag ein Bein welche Bestimmung immer haben, der Erfolg der Bewegung hängt zunächst von der Situation des Endgliedes ab. Den besten Massstab für die Beweglichkeit werden also abgeben: Die Wege, welche der Endpunkt eines beweglichen Gliedes, oder der Flächenraum, den dieser Endpunkt, oder das Endglied eines Beines durchschreitet, oder endlich der Raum, welchen das Endglied eines Beines nach allen Richtungen des Raumes beherrschen, und in welchem es in beliebigen continuirlichen Linearcomplexionen verkehren kann.

Es müssen also vorerst die Verkehrslinien, die Verkehrsflächen und der Verkehrsraum bestimmt werden, wenn über die Beweglichkeit eines Gliedes oder Beines geurtheilt werden soll.

Die Excursion eines einaxigen Gelenkes ergibt (abgesehen von der Schraube) für die Bewegung des Gliedendes den Kreis, der im Hin und Her durchschritten werden kann.

Die Excursion eines Kugelgelenkes, die Kugelfläche, welche das Gliedende in beliebigen sphärischen Linien und continuirlichen Linearcomplexionen und in beliebiger Richtung hin und her durchschreiten kann. Die Länge des Gliedes bedingt den Radius des Kreises oder der Kugel, der Excursionswinkel, die Länge des Bogens oder die Contouren der Fläche. Liegt auch ein solches Kugelgelenk an der Wurzel eines Beines, so hat dieses doch erst dann eine vollkommen freie Beweglichkeit, wenn sein Endglied an jeden Punkt des abgegrenzten Kugelraumes gebracht werden, und darin auf jedem beliebigen

Wege verkehren kann. Dies ist offenbar erst dann der Fall, wenn das Bein in sich zusammengebogen werden kann, also selbst durch eine Zahl Gelenke in einzelne Abtheilungen Glieder zerfällt.

Die menschliche Hand als Endglied der Extremität, kann wirklich in jeden Punkt des Raumes gebracht werden, den die sphärische Excursionsfläche des Schultergelenkes mit der ganzen Länge der Extremität als Radius begrenzt; sie erreicht dies schon durch die Gliederung im Ellbogengelenke. Das Centrum der Excursionskugel, das Schultergelenk, wäre für die Hand nur erreichbar bei einer Excursion des Ellenbogengelenkes um 180 Grad, und gleichem Abstände desselben von dem Schulter- und Handgelenke. Beiläufig bemerkt, bringt die weitere Gliederung der oberen Extremität im Radialgelenke und den Handgelenken den Vortheil, dass die Hand jeden Punkt des Raumes allseitig zu umfassen vermag.

Die Abschnitte der Excursionscurven, Flächen und Räume werden bei der symmetrischen Anordnung der Beine von rechts und links, vorne und hinten symmetrisch zu einander gestaltet sein, nur unter bestimmten Bedingungen wird Congruenz derselben eintreten.

Da alle Gelenke an den Beinen der Arthrozoen Charniere sind, so kann nur die Beweglichkeit der ganzen Beine, nicht die der einzelnen Gelenke fraglich sein, und die Aufgabe der Untersuchung ist: die Fläche oder den Raum zu bestimmen, in welchem das Endglied verkehren kann. Selbstverständlich wäre sie nur speciell nach der Art, wie die Thiere ihre Beine verwerthen, nach Bau und Lebensweise zu behandeln. Ich beabsichtige aber nur im Allgemeinen auf die Beantwortung dieser Fragen einzugehen, die bestimmenden Momente zu würdigen und nur an einzelnen Beispielen zu erläutern.

Offenbar werden auf die Beweglichkeit eines Beines (oder gegliederten Leibestheiles) Einfluss nehmen:

1. Bei gegebener Länge desselben die Zahl der Charniere und Länge der einzelnen Glieder.
2. Die Situation der Drehungsaxen.
3. Die Richtung und Grösse der Excursionsfähigkeit.

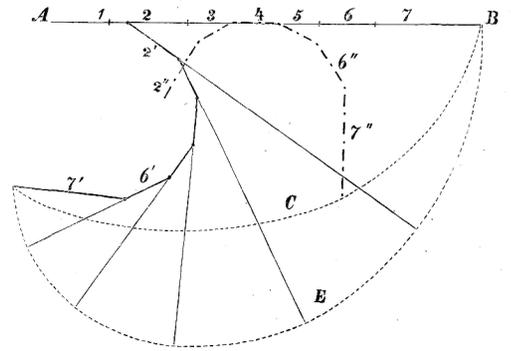
Der einfachste Fall von Combination der Charniere, bei gegebener Länge und gegebener Anzahl der Gelenke, blos rücksichtlich der Situation der Axen ist der, wenn alle Axen unter sich parallel und rechtwinkelig zur Richtungslinie der Glieder gestellt sind. In diesem Falle werden auch die Bewegungsebenen aller Gelenke parallel sein oder in eine Ebene zusammenfallen; mag dabei die Excursionsrichtung und Weite der einzelnen Gelenke wie immer sein. Das Endglied wird nur in der Fläche herum geführt werden können.

Die Art der Excursion, als: ihre Richtung, Weite, so wie auch die Aufeinanderfolge der einzelnen Excursionen werden die Form der äussersten Curven, also die Contouren des Verkehrsterrains für das Endglied bestimmen.

Je mehr das Bein der extremen Streck- oder Beugelage aller Gelenke sich nähert, desto mehr nimmt der Umfang der Gesamtextursionen ab. Das Verkehrsterrain wird beiderseits in einen mehr oder weniger spitzigen Winkel endigen, welcher durch die beiden äussersten Verkehrslinien erzeugt wird, die sich in den Punkten der extremen Stellung des Endgliedes schneiden.

Denkt man sich zunächst das Bein in Maximo eingebogen, alle Streckexcursionen gleich gerichtet, und das Bein so entfaltet, gestreckt, dass die volle Excursion vom Gelenke des Endgliedes durch alle, bis zum Basalgelenke fortschreitet, so wird das Endglied eine

continuirliche Curve beschreiben, die mit wachsendem Radius ihrer Theilchen zur Streckseite sich bewegt, einerseits im Punkte der grössten Flexion ihren Ausgangspunkt, im Punkte der grössten Extension ihren Endpunkt hat. Offenbar wird sich diese Curve als eine Abwicklungslinie herausstellen, u. z. jener Curve, welche die Drehungspunkte der einzelnen zusammengebogenen Glieder (Durchschnittspunkte der Axen) verbindet, wie dies beiliegende Figur versinnlicht, wo  $AB$  die Richtungslinie des gegliederten gestreckten Leibestheiles vorstellt, in den Gliedern 1 . . . . . 7, welche in gebogener Lage mit  $2' . . . . . 7'$  bezeichnet sind.  $E$  ist die Evolvente für den Endpunkt des letzten Gliedes.



Denkt man sich dagegen die Streck-Excursionen vom Basalgelenke gegen das Endgelenk fortschreiten, so wird eine Curve zu Stande kommen, die in der Figur mit  $C$  bezeichnet ist; denselben Ausgangs- und Endpunkt hat, und vom Endpunkte 7 nach Art einer Cycloide beschrieben wird, deren Wälzungcurve durch die Verbindungcurve dargestellt wird, welche die Axenpunkte des eingebogenen Leibestheiles vereinigt, also 1 . 2' . . . . . 7' und bei fortschreitender Bewegung in die Lage 2'' . . . . . 7'' kommt. Die Abrollung geschieht von  $AB$  der Richtungslinie des gestreckten Leibestheiles.

Der Zwischenraum der beiden Curven  $E$  und  $C$  ist das Verkehrsterrain für den Endpunkt des letzten Gliedes. In diesem kann er jede Position annehmen, aber die beiden Contouren kann er nie überschreiten. In diesem Raume kann er in jeder Linie und jeder continuirlichen Linearcomplexion verkehren, die in der Ebene ausführbar ist.

Der Endpunkt kann eben so gut eine, wie immer gerichtete gerade Linie, und wo immer in diesem Raume auch einen Kreis beschreiben, nur werden die Radien des letztern da um so grösser sein können, wo die Contourcurven grösseren Abstand haben, beide sind nur ausführbar, wenn mehrere Gelenke an der Bewegung Antheil nehmen, und einige positiv andere negativ, hin und her gleichzeitig excurriren. Die Geraden und die Theilchen des Kreises sind die Diagonalen zweier oder mehrerer winklich gegen einander gestellter Glieder, welche die Hälften eines oder mehrerer Parallelogramme vorstellen; und daher nur möglich bei gleichzeitigen entgegengesetzten Excursionen mindestens dreier Gelenke, wo die Excursion des mittleren die Summe ist der Excursionen der beiden andern. Je freier die Excursion im Kreise sein soll, je grösser nämlich sein Radius, desto mehr muss der Leibestheil vorbereitend schon gebogen sein. Es sind also die Mittellagen, die die freieste Bewegung gestatten; je mehr das Bein gebogen oder gestreckt ist, desto kleinere Kreise kann das Endglied beschreiben.

Die übrigen Verhältnisse der Gelenkscombination, wie Länge der Glieder, Excursionsweite der einzelnen Gelenke, werden die Form der Grenzlinien des Verkehrsterrains bestimmen. Die Linie  $C$  kann selbst mehrfach geknickt sein.

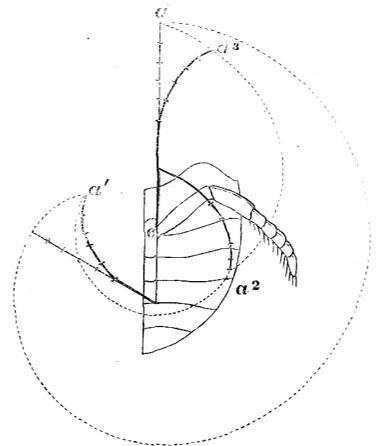
Beispiele dieser Gelenkscombination sind nicht selten. Eines der einfachsten bietet das Abdomen der langschwänzigen Krebse. In Fig. 44, Taf. III, sind auf der Richtungslinie des Leibes  $AB$  die Durchschnittspunkte der sechs Drehungsaxen zwischen den mit 1 . . . . . 6 bezeichneten Abdomialringen und der Endflosse markirt. Jedes Glied ist gegen das andere in einem Winkel von 30 bis 35 Grad in gleicher Richtung zu beugen, und die Flosse

hat eine Excursion von etwa einem rechten Winkel. Das fünfte Glied ist an dem mir vorliegenden Exemplare am kürzesten, die andern so ziemlich an Länge gleich. Jedes der Gelenke, um 30 bis 35 Grad gebogen, ergibt die in die Contouren des gebogenen Leibes eingezeichnete, ihre Drehungspunkte verbindende Curve (eigentlich Polygon). *E* ist die Abwicklungslinie, in der sich das Flossenende zur Streckung bewegt, wenn die Streckung vom Flossengelenke aus auf die übrigen fortschreitet. *C* ist die cycloidartige Curve, welche das Flossenende beschreibt, wenn die Extension des Abdomens zwischen dem ersten und zweiten Gliede beginnt und gegen das Flossengelenk fortschreitet. Natürlich werden dieselben Wege beschrieben, wenn die Beugung in umgekehrter Reihenfolge der Gelenke eingeleitet wird.

Schnellt ein Krebs seinen Schweif, so beschreibt das Flossenende stets die Abwicklungslinie. Hemmt man die Bewegung, so werden die Streckbewegungen zuerst zwischen den ersten Ringen eingeleitet; die erstere Bewegungsform dürfte wohl die sein, welche das Thier für die Mechanik seiner Locomotion, theils in der Beugerichtung beim Schwimmen, theils in der Streckrichtung beim Sprunge ausbeutet.

Ähnliche Anordnungen zeigen die Axen an den Fingern und Zehen der Wirbelthiere. An den Zehen der Vogelbeine lässt sich die Abwicklungslinie als äusserste Verkehrslinie des letzten Gliedes direct erzeugen durch Zug an den Streck- und Beugesehen.

Die Schwimmbeine der Ditisciden und, wenn man von der Beweglichkeit des Hüftgelenkes absieht, auch die Schwimmbeine der Hydrophilen sind weitere Beispiele dieser Gelenkscombination. Die grosse Excursionsfähigkeit der Schenkelgelenke gestattet dem gestreckten Beine dieses Gelenk in viel grösserem Umfange, im Umfange eines Halbkreises, bald in positiver, bald in negativer Excursionsrichtung zu benützen und bald mit bald gegen die Excursionsrichtung des Femorotibial- und der Tarsalgelenke zu verwenden. Die Contouren des Verkehrsterrains lassen sich, wie die beistehende Figur zeigt, so wie früher bezeichnen, nur hat die äusserste Verkehrscurve eine eigene Form dadurch angenommen, dass wegen der grossen Excursionsgrösse des Basalgelenkes mehr als die Hälfte von ihr ein Kreis von demselben Radius ist. In  $ca^1$  ist das im Maximo gebogene Bein mit nach vorne und in  $ca^2$  mit nach hinten gerichteten Oberschenkeln eingestellt gezeichnet. In  $ca^3$  ist auch das Femorotibialgelenk gestreckt;  $ca$  gibt die Richtung des ganz gestreckten, nach vorne eingestellten Beines. Das contourirte Bein bezeichnet die Mittelstellung, von der aus dasselbe als Ruder für die Vorbewegung des Thieres wirksam eingreift. Bei allen diesen Formen konnte sämtlichen Gelenken die Excursion nach gleicher Richtung gegeben werden; die äusserste Verkehrslinie hatte sich desshalb immer nur nach einer Seite, zur Streckung nämlich, mit wachsendem Radius bewegt.



Bei der am häufigsten vorkommenden Form der Beine mit parallel gelagerten Charnieraxen lässt sich aber das möglichst verlängerte, gestreckte Bein nicht so einstellen, dass die Excursionsrichtung aller Gelenke gleich wäre; die Beuge-Excursionen haben typisch eine entgegengesetzte Richtung. Um aus der Reihe der Insecten nur ein Beispiel dafür anzugeben, am Grabfusse von *Gryllotalpa*; selbst die nur als Stützen des Leibes verwendeten Vorderbeine mancher Säugethiere, wie der Einhufer, deren Schultergelenke ja auch vorzugsweise nur als Ginglymi in Gang gesetzt werden, gehören hieher.

Durch diese Anordnung wird die Contour des Verkehrsterrains geändert. Da eine Reihe der Gelenke nach dieser, eine andere nach der entgegengesetzten Richtung zur Beugung excurriert, so wird die äusserste Verkehrslinie beiderseits mit abnehmendem Radius gegen die extremen Lagen des Endpunktes verlaufen. Bei gleichgerichteten Excursionen musste das Bein vorbereitend in mehreren Gelenken etwas eingebogen werden, um den breiten Theil des Excursionsterrains für sein Endglied zu gewinnen; in diesem Falle ist es aber im Maximo der Streckung schon mit seinem Endpunkte am breiten Theil des Excursionsterrains gelagert, und kann ohne vorbereitende Lage- und Formänderung alsogleich die weitesten und verschiedensten Excursionen seinem Endglied geben, weil es durch das Hin und Her der einzelnen Excursionen von Anfang an schon geeignet ist diagonale Verkehrswege mit dem Endgliede einzuschlagen.

Gegengerichtete Excursionen der einzelnen Gelenke gestalten daher die Bewegungsverhältnisse eines Beines günstiger, wesshalb auch selbst am Schwimmbeine der Ditisciden der gestreckte Schenkel im Schenkelgelenke nicht extrem eingestellt wird, sondern nur so, dass noch Spielraum auch für die, den Excursionen des Femorotibialgelenkes und der Tarsalgelenke gegengerichtete Excursion bleibt; wodurch das Bein in grossem Umfange diagonale Verkehrslinien mit dem Endgliede einschlagen kann.

Grosse Excursionsfähigkeit, namentlich des Basalgelenkes, gestaltet daher ebenfalls die sonst gleichen Bewegungsverhältnisse eines Beines günstiger.

In keinem dieser Fälle aber kann das Endglied den centralen Theil selbst des grössten kreisförmigen Excursionsterrains erreichen, welches das Endglied durch die Excursion eines Gelenkes umschreibt.

Unter allen bisher besprochenen Verhältnissen werden die Excursionsterrains der Beine rechts die der Beine links decken, also congruent sein, und entweder parallel eingestellt sein, oder wenn sie in eine Ebene zu liegen kommen, wie nahezu an den Schwimmbeinen der Käfer mit ihren Contouren symmetrisch sich lagern.

---

Wenn in der Combination, wie sie am Abdomen der langschwänzigen Krebse vorkommt, also bei ziemlich gleicher Excursionsgrösse, gleicher Excursionsrichtung und ziemlich gleichem Abstände der Axen der Charniere in der Situation der Axen die Veränderung vorgenommen wird, dass sie sich überkreuzen, ohne aber ihre parallele Lagerung zum Horizonte zu ändern, so wird der Endpunkt eines Beines, wohl auch eine Art Abwicklungslinie, mit wachsendem Radius zur Streckform (Lage) beschreiben, wenn die einzelnen Excursionen fortschreitend gegen das Endglied vorgenommen werden, aber die Curve wird keine ebene, sondern eine räumliche Curve sein.

Die entsprechenden Axenenden mit einander verbunden, werden je nach den Überkreuzungswinkeln im Verhältniss zu den Abständen der Axen in einer mehr weniger regelmässigen Schraubenlinie liegen, die Excursionsebenen werden sich (die gleiche Excursionsrichtung vorausgesetzt) zu einer Wendelfläche vereinigen, die zusammengebogenen Glieder schraubenförmig anordnen und die äusserste Verkehrslinie des Endgliedes wird eine im Trichter schraubig gewundene Abwicklungslinie sein. Das beherrschte Terrain ist daher ebenfalls ein räumliches.

Dieser Verkehrsraum (Verkehrskörper) des Endgliedes wird natürlich für rechts und links und auch bei topisch verwendeter Anordnung der Axen für vorne und hinten symmetrisch gestaltet sein. Er erlaubt dem Endgliede nach vorbereitender halber Beugung des Beines mittelst des diagonalen Verkehrs und der gegengerichteten Excursionen in jeder Richtung und Ebene die gerade Linie einzuschlagen und selbst Kreise und Kugeln von solchen Radien zu umgehen, welche sich in den Verkehrsraum einzeichnen lassen. Man kann also in diesem Falle schon von freier Bewegung sprechen, doch ist der Raum der freien Bewegung verglichen mit dem Raume jener Kugel, die das ganze Bein als Radius beschreiben würde, ein kleinerer, die äussersten Verkehrslinien fallen immer innerhalb jener, die als Kreise von Radien, gleich der Beinlänge, beschrieben werden; und die innerste Verkehrslinie ist immer in einem gewissen Abstände vom Basalgelenke des Beines, grenzt daher einen centralen Raum ab, in den das Endglied nie eindringen kann. Es wiederholen sich hier dieselben Verhältnisse, nur im Raume, die früher bei parallelen Axen in der Ebene gegeben waren.

Bekommen nun auch die Axen eine Neigung gegen den Horizont, ist dabei die Excursionsrichtung aus der Strecklage schon nach beiden Seiten durch einzelne Gelenke gegeben, dabei auch noch die wendelförmige Anordnung der Axen in einem Theile links-, im anderen Theile des Beines rechtswendig, also schon am gestreckten Beine eine Umkehr der Axensituation und der Excursion vorhanden, so ist, wie früher in der Ebene, hier im Raume eine einleitende Beugung des Beines nicht nothwendig, um in dem abgegrenzten Verkehrsraume jeden diagonalen Verkehrsweg einzuschlagen. Durch die positive und negative Excursion, dann die positive und negative Windung der Axenwendel ist die gerade Linie und der ebene Kreis in jeder Richtung und jedem Niveau und damit auch jede continuirliche Linear-Complexion für das Endglied zugänglich, so weit sie nicht durch die Grenzen des Verkehrsraumes beschränkt werden. Selbst die Bewegung, welche die Anatomen Rotation nennen, ist manchmal rein ausführbar, da bei schief gestellten Axen, wenn das Bein mit seinen Gliedern schraubig sich zusammen legt, die Axen sich in der Längsrichtung leichter einstellen können, um welche die Glieder sich schraubig angeordnet haben. Vollkommen frei wird aber die Bewegung doch noch nicht genannt werden können, nachdem sie nicht den ganzen Raum beherrscht, der der Beinlänge entspricht, d. h. der Verkehrskörper füllt nicht vollkommen den Kugelraum aus, dessen Radius die Gesamtlänge des Beines ist.

Bei positiver und negativer Excursion, positiver und negativer Windung der Axen wird die Beweglichkeit eines Beines noch vergrössert durch grössere Zahl der Gelenke (kurze Glieder) und dadurch, dass die Axenlagerungen möglichst vielen Raumrichtungen entsprechen.

Als Beispiel dieser Gelenkscombination kann das Scherenbein von *Astacus* und *Hommarus* dienen.

Markirt man mit Nadeln die Axen der einzelnen Gelenke, so findet man, dass sie bei verschiedenen Abständen räumlich gegen einander geneigt sind, und wenn man mit Rücksicht auf den gewundenen Verlauf der Flächen des Beines die einander entsprechenden Axenden durch einen Faden verbindet, dass diese in einer, wie es scheint regelmässigen Schraubenlinie liegen, welche, nachdem sie eine beinahe ganze Windung gemacht, zwischen *P 4* und *P 5* in die entgegengesetzte Richtung ablenkt. Am linken, Fig. 9 abgebildeten Beine läuft sie über die vier ersten Axen linkswendig, von da an zur fünften rechtswendig. Die Glieder

*P 3* und *P 4* sind länger als *P 1*, dagegen ist der Winkel, unter welchem die Axen des dritten und vierten Gelenkes gegen die vorhergehenden gedreht sind, auch viel grösser als der Winkel, unter dem die zweite Axe gegen die Axe des Basalgelenkes gestellt ist. Wie im Gelenke *P 4* und *P 5* die Schraube sich wendet, so hat auch dieses Gelenk eine dem Gelenke *P 1—P 3* schon am gestreckten Beine gegengerichtete Excursion. Dem gegenwendigen Verlaufe der Schraube und der gegengerichteten Excursion verdankt das Bein die Freiheit in allen diagonalen Richtungen sein Endglied zu bewegen.

Das gebogene Bein legt seine Glieder in zwei Schraubenwindungen zusammen; von der Basis gehen die Glieder nach aussen hinten und aufwärts, mit dem Gliede *P 5* biegen sie dann wieder gegen den Mund nach innen, vorne und unten ab. Das möglichst gestreckte Bein ist im Horizonte nach vorne, parallel der Symmetrieebene, gestellt. Wird das eingebogene Bein durch Bewegungen, die vom Endgelenke zum Basalgelenke fortschreiten, entfaltet, so beschreibt das Endglied einen Weg im Raume, der mit immer grösser werdendem Radius anfangs z. B. am rechten Beine linkswendig ansteigt, dann in einer schiefen Wendung umkehrend die Ascension linkswendig fortsetzt.

Das Thier horizontal befestigt, lässt mit seinem Beine in den extremsten Verkehrslinien über dem Horizonte bis zur Symmetrie-Ebene des Leibes für das Endglied einen Verkehrskörper umschreiben von tetraëdrischer Gestalt, dessen Basis der Horizont ist. Die innere Seite der Basis wird durch eine gerade Verkehrslinie erzeugt, in welcher das Endglied aus der extremen Beugung vom Munde gerade aus zur grössten Extensionslage des Beines geführt wird; die vordere Seite der Basis beschreibt das Endglied, wenn das Bein aus dieser gestreckten Lage bei abnehmendem Radius gerade nach aussen geführt wird, und die hintere Seite ist der Weg des Endgliedes, den es beschreibt, wenn das Bein aus dieser Lage, bereits etwas verkürzt, zur grössten Beugung direct gegen den Mund wieder zurückkehrt. Das Bein, die Schere möglichst nach hinten gehoben, ist bereits gegen die horizontale Strecklage etwas verkürzt, weil es sich über den hinten schon breiteren Cephalothorax quer herüber legen muss; es wird daher aus dieser Lage, aus der oberen Ecke des Tetraëders, in den vorderen Winkel der Basis mit etwas wachsendem Radius in einer auch einwärts concaven, also räumlich gebogenen Curve mit dem Endgliede einfallen; die hintere Ecke, gegen den Mund, wird das Endglied mit abnehmendem Radius erreichen. Die Bewegung aber, welche das Endglied zur äusseren Ecke der Basis führt, lässt die Länge des Beines ziemlich ungeändert.

Dieser so abgegrenzte Raum ist für das Endglied in jedem Punkte zugänglich, und so weit Kugeln vom grösseren und kleineren Radius sich in den Raum einzeichnen lassen, sind auch diese mit dem Ende der Schere in jeder sphärischen Curve zu umgehen.

Schlägt man zu diesen Raum noch den, welchen das Bein unter den Horizont und über die Leibesmitte herüber erreichen kann, so ergibt sich, dass die Bewegungen des Scherengliedes in grossem Umfange frei, d. h. nach allen Dimensionen des Raumes ausführbar sind; da aber der Verkehrsraum die Kugel nicht vollkommen ausfüllt, welche mit der Länge des gestreckten Beines als Radius beschrieben werden kann, so ist diese Beweglichkeit dennoch nicht vollkommen frei. Die äusserste Verkehrsfläche, vordere Fläche des Tetraëders, deren Seiten das möglichst gestreckte Bein construirt, ist einer Kugelfläche dieses Radius schon ziemlich nahe, weil die Unterschiede in der Länge des gestreckten Beines, wie es im vorderen und äusseren Winkel der Basis und in der Spitze, oberen Ecke des Tetraëders, sich

einstellt, nicht mehr gross sind, das Centrum aber derselben, das Basalglied ist für die Schere ganz unerreichbar. Der Grund, warum die äussersten Verkehrslinien des gestreckten Scherenbeines keine Kreise und die äusserste Verkehrsfläche keine Kugelfläche ist, liegt darin, dass die einzelnen Curventheilchen, wie sie durch die Excursionen in mehreren Gelenken zu Stande kommen, verschiedene Radien haben; und dieses Verhältniss wird in so lange bestehen, als die Axen der einzelnen Gelenke, namentlich der basalen Gelenke in Abständen angebracht sind. Die äussersten Verkehrslinien des Krebsbeines nähern sich desshalb schon Kreisen, weil das Coxopoditeglied nur klein ist, die beiden ersten Axen also einander sehr nahe gerückt sind und das Gelenk  $P1 - P3$  weiters noch durch eine grosse Excursion, sie beträgt mehr als einen rechten Winkel, sich auszeichnet. Der Excursionsbogen, den also das möglichst gestreckte Bein ausführt, ist daher zum grössten Theil schon ein Kreis, und der Radius des noch sich anreihenden zweiten kleinen Bogenstückes ist von dem des ersteren Kreises nur wenig verschieden.

Die freie Beweglichkeit, die die Beine vieler Arthrozoen auszeichnet, verdanken sie eben dem Umstande, dass ein oder zwei Basalglieder klein sind, und dadurch die Axen möglichst nahe rücken. Bei Krebsen ist durchgehends das Coxopodite und Basipodite klein, letzteres oft nur ein kleiner Keil, so dass, wie am Scherenbein von *Astacus* und *Hommarus*, das  $P1$  gleich mit  $P3$  articulirt. Die Coxa bei vielen Orthopteren (z. B. den Schrecken) und bei Neuropteren ist ebenfalls klein und bringt dadurch die Axen der Charniere des Coxa- und Schenkelgelenkes einander nahe. Bei den sogenannten zapfenförmigen Coxen, wie sie auch häufig bei den Hymenopteren, selbst bei Käfern vorkommen, sind diese Axen wieder in grösseren Abständen von einander angebracht.

Es bleibt nur noch der Fall zu besprechen, in dem die äussersten Verkehrslinien des gestreckten Beines wirklich zu Kreisen werden und die äusserste Verkehrsfläche zu einem Segmente der Kugelfläche wird. Diese Grundbedingung des vollkommen freien Verkehrs wird zunächst dadurch erzielt, dass die Abstände der Charnieraxen an der Basis des Beines gänzlich schwinden, die Axen in eine Ebene fallen, sich daher nicht mehr überkreuzen, sondern wirklich durchkreuzen.

Bei der gegebenen Anordnungsweise und dem Baue der Glieder ist es wohl kaum möglich, dass mehr als zwei Axen zusammenfallen; zwei Axen genügen aber auch vollkommen, um dem Gliedende den Verkehr an der Oberfläche einer Kugel vorzuzeichnen, und bei weiterer Gliederung des Beines mit dessen Endgliede den ganzen Kugelraum zu beherrschen. Diese Axencombination zeigen die höheren Käferformen an der Wurzel der Beine, namentlich der beiden ersten; unter den Hymenopteren fand ich sie auch am zweiten Fusspaare der Bienengattungen.

Der Gelenksapparat selbst, die Weise, in welcher die beiden Glieder, die Coxa und das Femur zusammengefügt sind, wurde oben bereits beschrieben; es sind daher nur die Bewegungsverhältnisse dieser Beine speciell zu besprechen. Strauss-Durkheim (l. c. pag. 87) bemerkt, dass der Schenkel bei Käfern, deren Coxa und Femuraxe sich sehr nähern und rechtwinklig kreuzen, im Kreise herumgeführt werden können (*peut exécuter un mouvement en circumduction*), beinahe so vollkommen, als ob die Bewegung mittelst eines Gelenkkopfes ausgeführt würde.

Die Axe der Coxa horizontal und quer angenommen, so steht die rechtwinklig mit ihr sich kreuzende Axe des Schenkelgelenkes bei angezogenem Beine senkrecht auf dem Horizont. Letztere kann um die Coxaaxe eine Excursion von  $90^\circ$  machen, so dass die Excursions-ebene des Femur bald horizontal, bald vertical eingestellt werden kann. Die Excursionsgrösse des Femur ist verschieden, je nachdem die Schenkelaxe gestellt ist; sie beträgt bis  $135^\circ$  im Horizonte, wenn die Schenkelaxe vertical steht, wird aber die Axe durch Drehung der Coxa horizontal und die Excursionsebene des Schenkels vertical gelagert, so beträgt sie nur noch  $90^\circ$ , weil die Leibesfläche die noch fehlende Excursion von  $45^\circ$  nicht auszuführen gestattet.

Berücksichtigt man zunächst nur das Femur und die gestreckte Tibia und denkt sich beide Gelenke im vollen Kreisumfange excursionsfähig, so wird der Endpunkt der Tibia in alle Punkte einer Kugelfläche gebracht werden können, deren Radius gleich ist der Länge des Femur und der Tibia. Die Axe des Femorotibialgelenkes steht parallel zur Axe des Schenkelgelenkes; die Excursion ist nicht ganz  $180^\circ$ , der Excursionswinkel sieht der Medianebene des Leibes zu. Tibia und Femur sind von gleicher Länge, der Abstand nämlich der Axe des Schenkelgelenkes von der Axe des Femorotibialgelenkes und dieser vom Tibiaende sind gleich. Denkt man sich ferner die Excursion im Femorotibialgelenke auch im vollen Umfange ausführbar, diesen Excursionskreis des Tibiaendes, dessen Durchmesser also gleich ist dem Radius der Kugelfläche, die das Tibialende beherrscht, einmal um die vertical eingestellte Axe des Schenkelgelenkes, dann die so gewonnene Kreisfläche, deren Radius die Beinlänge ist, um die Coxalaxe rotirt, so wird man finden, dass der ganze Binnenraum der Verkehrskugel vollkommen von dem Tibiaende beherrscht wird, dass dieses nämlich in alle Punkte des Kugelraumes verlegt werden kann. Der Excursionskreis der Tibia kann überhaupt in drei vertical auf einander gestellten Bewegungsebenen rotirt werden; einmal in der sagittalen Excursionsebene des Coxagelenkes, dessen Axe unveränderlich zum Leibe des Thieres eingestellt ist, dann je nach der Einstellung der Axe in einer horizontalen und frontalen Excursionsebene des Schenkelgelenkes.

Ein Modell dieser Gelenkcombination lässt sich mittelst zweier concentrischer, mit einander beweglich verbundener Ringe und eines damit fest verbundenen Charnieres leicht herstellen und so die Bewegung des Beines controliren.

Wenn der Excursionsumfang der Basalgelenke keine ganze Kugelfläche mit dem gestreckten Beine beschreiben lässt, so wird eine Excursion des Femorotibialgelenkes auch ausserhalb dieses Kugelsegmentes möglich sein, ohne aber die Grenzen der ergänzt gedachten Verkehrskugel zu überschreiten oder zu erfüllen. Die äusserste Verkehrslinie wird daher aus zwei, oder wenn das Bein noch mehrere Glieder hat, aus mehreren Kreissegmenten sich zusammensetzen, deren Radien immer kleiner werden, und so eine Art Abwicklungslinie ergeben. Ist die Excursion des Femorotibialgelenkes nur einseitig, so wird an der Streckseite des Kugelsegmentes so viel für das Tibialende unzugänglich sein, als der Verkehrsraum an der Beuge-seite darüber hinausreicht.

Der Verkehrsraum der Käferbeine, die Excursion beider Gelenke auf  $90^\circ$  Grad angenommen, wird zu einem Kugel-Octanten, dessen Kugelfläche an den Vorderbeinen nach vorne und aussen, an den beiden Hinterbeinen nach hinten und innen sieht, der Anhangsraum der Tibialexcursion sieht in beiden Fällen nach innen. Alle Beine können mit der Tibia über die Symmetrieebene des Leibes herübergreifen; aber den, an den Hinterbeinen nach vorne sehenden Raum dieser Octanten nicht erreichen, welcher durch eine halbe Kugelfläche

begrenzt wird, deren Centrum das am meisten nach vorne eingestellte Femorotibialgelenk ist. Das zweite Bein könnte z. B. mit dem Tibiaende nie das Basalgelenk der Coxa erreichen, wenn die Excursion desselben 180 Grad betragen würde, aber die Ecke der Elytra und die ganze vordere Ecke der Mittelbrust ist für das Tibialende ganz unzugänglich.

Der Vortheil dieses Gelenksapparates des Zusammenfallens und Durchkreuzens der Axen an der Basis bei gleicher Länge der zwei ersten Glieder des Beines liegt offenbar darin, dass es schon dem zweiten die Beinlänge bestimmenden Gliede möglich ist allseitig, d. h. räumlich frei zu verkehren, während dies anderseitig erst durch weitere Gliederung des Beines möglich ist.

Vom Einflusse der Schrauben kann hier füglich abgesehen werden, da sie gegenläufig sind und ihren Effect gegenseitig tilgen.

Das freie Kugelgelenk der Wirbelthiere ist in diesem Gelenksapparat gleichsam aufgelöst, man kann wegen der veränderlichen Lagerung der einen Axe sagen, in drei Gelenke mit senkrecht auf einander stehenden, sich durchkreuzenden Axen.

Ähnliche Auflösungen von Kugelgelenken kommen bei Wirbelthieren auch vor; so wird z. B. beim Menschen die freie Beweglichkeit des Kopfes vertheilt auf die beiden Gelenke zwischen Hinterkopf, Atlas und Epistropheus. Beide Axen durchkreuzen sich hier. Die freien Bewegungen der Hand und des Fusses sind auch durch eine Trennung der schematischen Gelenkseinheit bedingt, doch kömmt es, wie es scheint, auch an der Hand nicht zur Durchkreuzung der Axen, sondern nur zur Überkreuzung derselben.

Durch diese Gelenkcombination haben die Beine der Insecten Beweglichkeit und Formen gewonnen, wie sie den höheren Wirbelthieren zukommen, obwohl sie morphologisch mit den Beinen der übrigen Arthrozoen vollkommen übereinstimmen.

Die volle Bedeutung der Gelenkcombinationen macht sich bei den Arthrozoen um so entschiedener bemerkbar, als bei der grossen Reihe dieser so sehr formverwandten Thiere, trotz den verschiedensten Leistungen ihrer Beine, diese mit den einfachsten Gelenksvorrichtungen ausgeführt werden.

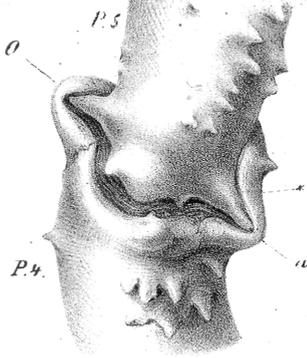
## ERKLÄRUNG DER ABBILDUNGEN.

- Figur 1. Gelenk des Scherenbeines von *Maja Squinado* zwischen *P 4* und *P 5*. Mit \* ist auf den axialen Zapfen des *P 5* hingewiesen, der rollenartig in einer Pfanne des *P 4* gleitet. Von der Streckseite.
- Figur 2. Die Theile *P 4* und *P 5* desselben Gelenkes getrennt, von der Beugeseite. Mit *a a'* und *b b'* sind die entsprechenden Axenenden bezeichnet.
- Figur 3. Die Theile des Gelenkes zwischen *P 5* und *P 6* desselben Thieres.
- Figur 4. Theile desselben Gelenkes vom Hummer, Ansicht von innen.
- Figur 5. Dieselben von aussen. Mit *a* und *a'* ist die Beugeseite, mit *b* und *b'* die Streckseite bezeichnet.
- Figur 6. Durchschnitt der Schere vom Hummer.
- Figur 7. Linker Kiefer vom Hummer.
- Figur 8. Thorax-Skelet vom Hummer, *T 2*, *T 3*, *T 4* die drei Segmente; 1, 2, 3 Axenrichtungen der ersten drei Beine.
- Figur 9. Linker Scherenfuss eines Flusskrebses. *P 1*—7 die einzelnen Glieder derselben:
- |                            |                          |                             |
|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <i>P 1</i> . Coxopodite,   | <i>P 4</i> . Méropodite, | <i>P 6</i> . Propodite,     |
| <i>P 2</i> . Basipodite,   | <i>P 5</i> . Carpodite,  | <i>P 7</i> . Dactylopodite. |
| <i>P 3</i> . Ischiopodite, |                          |                             |

- Mit Nadeln sind die Richtungen der Charnieraxen bezeichnet, ihre Enden durch eine linksläufige Schraubenlinie verbunden.
- Figur 10. Theile des Femorotibialgelenkes von *Megalosoma Typhon*. *A* das Femur, *B* die Tibia, *a a'* die Beugeseite, *b b'* die Streckseite.
- Figur 11. Dasselbe Gelenk von *Phanaeus ensifer*. Bezeichnung dieselbe.
- Figur 12. Dasselbe Gelenk von *Calandra palmarum*.
- Figur 13. oberes; Figur 14 und Figur 14½ unteres Kiefern-gelenk von einem männlichen *Lucanus cervus*. *A* die Kopfplatte, *B* der Kiefer, *a a'* die Mundseite.
- Figur 15. Rechte Coxa des ersten Beinpaars von *Megalosoma Typhon*. Ansicht von oben. *a, i, o, u* bezeichnen die Richtung im Raume. *a i* die Drehungsaxe der Coxa, *o u* die Drehungsaxe des Schenkels.
- Figur 15½. Ihr Schraubenschema.
- Figur 16. Dieselbe Coxa von unten.
- Figur 17. Dieselbe Coxa mit dem zugehörigen Femur. *a a', b b'* die entsprechenden Axenenden.
- Figur 18. Die Gelenksenden beider. *A* die Coxa, *B* das Femur.
- Figur 18½. Schraubenschema des Schenkelgelenkes.
- Figur 19. Zweite rechte Hüfte desselben Thieres. Ansicht von unten. *a'* die äussere Fläche derselben.
- Figur 20. Dieselbe Hüfte von oben.
- Figur 21. *A* Meso- und Metathorax der linken Seite desselben Thieres, *B* dritte Hüfte und Schenkel.
- Figur 22. Erste linke Coxa und Schenkel von *Calandra palmarum*, in der Ansicht von oben.
- Figur 23. Dritte linke Coxa und Schenkel von *Calandra palmarum*.
- Figur 24. Kiel des Prothorax mit dem Coxa - Pfannen von *Procrustes coriaceus*.
- Figur 25. Rechte erste Coxa von *Procrustes*.
- Figur 26. Linke zweite Coxa von *Buprestis grandis*.
- Figur 27. *A* linke erste Coxa und Femur, *B* der Trochantinus von *Hydrophilus piceus*. *a a', b b'* die Verbindungsstellen beider.
- Figur 28. Schema ihrer Verbindung.
- Figur 29. Rechte Meso- und Metathoraxhälfte mit dem zweiten Beine von *Hydrophilus piceus*. \* Der Trochantinus.
- Figur 30. *A* Coxa in der Ansicht des Schenkelgelenkes, *B* Schenkel vom rechten dritten Beine von *Phanaeus ensifer*.
- x* axialer Fortsatz des Trochanter.
- y* Schraubenleiste in der Femoralöffnung der Coxa, eingefügt in die Halseinschnürung des Femur.
- \* Ausschnitt der Coxa, in welchem
- w* die Windung des Trochanter läuft.
- m 1* Ansatz des Streckmuskels vom Schenkel,
- m 2* Ansatz des Beugers.
- Figur 31. Dasselbe Gelenk von oben. *x* und *m 1* wie früher.
- Figur 32. Der Trochanter desselben Gelenkes noch stärker vergrößert. *m, w, x* wie früher.
- Figur 33. Gelenkstück, Trochanter, des rechten dritten Beines von *Cybister Roeselii*, *o u* die verticale Axe desselben, *m i* Strecker.
- Figur 34. Dasselbe von *Hydrophilus piceus*.
- Figur 35. Dasselbe von unten.
- Figur 36. Theile des rechten dritten Schenkelgelenkes von *Buprestis grandis*. *A* die Coxa, *B* der Schenkel.
- Figur 37. Theile des linken dritten Schenkelgelenkes von *Procrustes coriaceus*.
- Figur 38. Intertarsalgelenktheile von *Megalosoma Typhon*. *A* centrales, *B* peripherisches Glied.
- Figur 39. Coxaltheil des zweiten und dritten Beines der linken Seite von *Bombus*.
- Figur 40. Linkes erstes Bein von *Xylocopa violacea*.
- Figur 41. Femorotibialgelenk von *Locusta*. *A* Femur, *B* Tibia, *a* die Beugeseite.
- Figur 42. Rechter Grabfuss von *Gryllotalpa*.
- Figur 43. *A* desselben Coxa, *B* Schenkel.
- Figur 44. Abdomen des Flusskrebses gebogen. *AB* die Richtungslinie der Streckform, 1—6 seine Glieder, *E* und *C* die Contouren des Verkehrsterrains für das Flossenglied.

Die meisten Figuren, die Gelenktheile der Insecten darstellend, sind vergrößert.

Fig. 1.



A

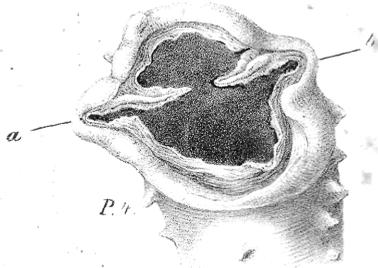


Fig. 2.

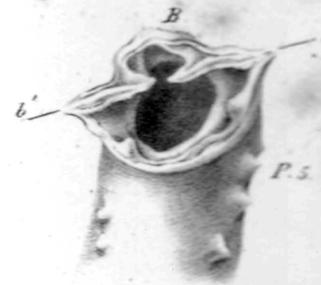


Fig. 3.

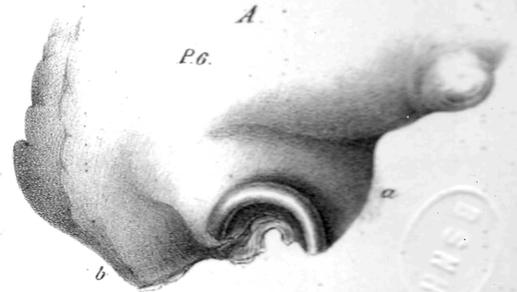
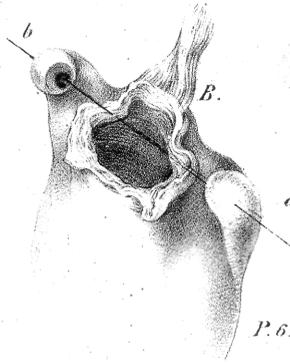
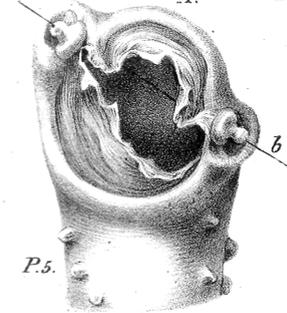


Fig. 5.



A.

P.6.

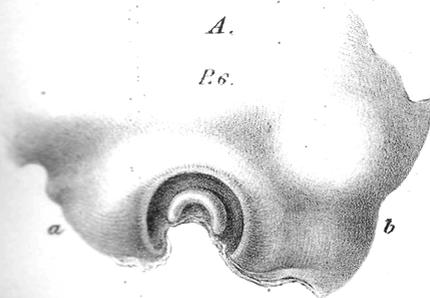


Fig. 4.

B.

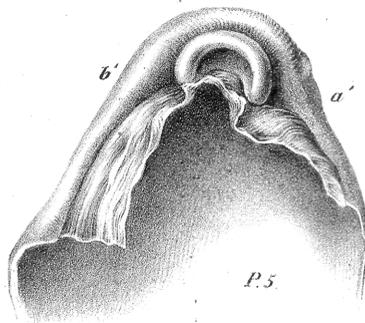


Fig. 9.

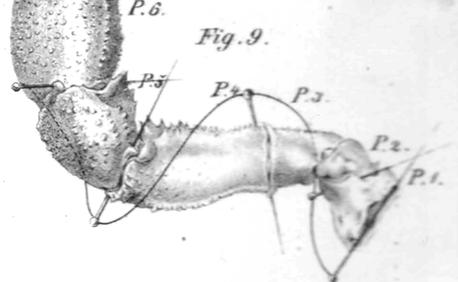


Fig. 6.

Fig. 8.

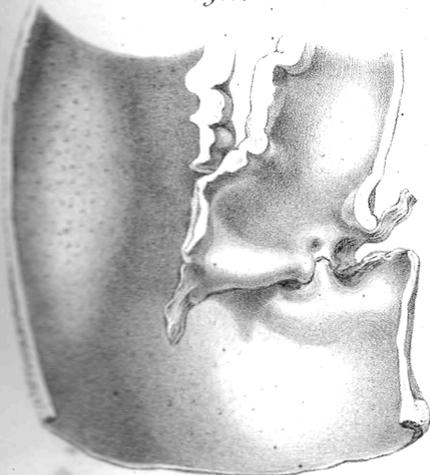


Fig. 7.

