

ÜBER DIE FUSSGELENKE DER VÖGEL.

ZWEITER BETRAG

ZUR VERGLEICHENDEN ANATOMIE UND MECHANIK DER GELENKE.

VON

PROF. DR. KARL LANGER.

CORRESPONDIRENDEM MITGLIEDE DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

VORGELEGT IN DER SITZUNG DER MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN CLASSE AM 12. NOVEMBER 1857.

(Mit 4 Tafeln.)

Schon die oberflächlichste Betrachtung lässt die Ähnlichkeit der Mechanismen nicht verkennen, die den Fussgelenken der Vögel und dem Kniegelenke des Menschen zu Grunde liegen. In den Fussgelenken vieler Vögel, namentlich der *Macrotarsi*, ist ausschliesslich Flexions-Bewegung ausführbar, im Knie dagegen ist nächst der Flexion auch noch die Rotation zulässig; und da bei andern Vögel-Geschlechtern im Tarsus auch rotatorische Bewegung, wie im Kniegelenke sich einfindet, so bietet die Classe der Vögel am Beine so viele Übergangsformen von Gelenkigkeit, dass man durch sie ganz ungezwungen bis zu den viel verwickelteren Knochenformen und Mechanismen des Knies geführt wird. Die Tarsalgelenke der Vögel geben den Schlüssel zum Verständniss des Kniegelenkes und verdienen desshalb schon eine genauere Untersuchung.

Die descriptive Anatomie unterscheidet jetzt Gelenke mit congruenten und incongruenten Articulationsflächen. Das Knie des Menschen und die Tarsalgelenke der Vögel gehören zu den Gelenken der zweiten Art. Die Articulationsflächen der Tibia und die Knorren des Oberschenkels am Knie, die Tarsalrolle der Tibia der Vögel und die obern Gelenkflächen des Tarsusknochens stehen namentlich in gewissen Stellungen nur in beschränkter Ausdehnung in vollkommenem und unmittelbarem Contact; ein Theil der Flächen deckt sich nicht und der freie Gelenkraum wird durch zwischengeschobene Falten der Kapsel ausgefüllt, die theils Fett enthalten, theils zu den bekannten Zwischenknorpeln sich ausbilden; oder er wird dadurch ausgeglichen, dass an der Bildung der concaven Articulationsfläche festes Sehngewebe Antheil nimmt und dieses vermöge seiner Nachgiebigkeit jeder Krümmung sich anschmiegt.

So sehr man geneigt ist Incongruenzen der beiderseitigen Articulationsflächen mitunter einer Ungenauigkeit in der Ausführung derselben zuzuschreiben, so wird man doch anderseits überrascht von der genauesten Berührung, welche Durchschnitte von Frost erstarrter Gelenke zeigen; oder man wird bei genauerer Betrachtung der Knochenformen finden, dass sie im Plane des Gelenkes gegründet sind. Gewiss wird die Nothwendigkeit der Annahme einer ungenauen Ausführung der Flächen immer mehr eingeschränkt werden können.

So weit die Gelenke mit congruenten Articulationsflächen untersucht wurden, sind sie immer als Flächen von Rotationskörpern oder als Schraubenflächen erkannt worden. Die Articulationsflächen incongruenter Gelenke sind bis jetzt noch nicht bestimmt. Nachstehendes ist ein Versuch, für eine Reihe solcher Gelenkflächen die geometrische Bestimmung anzubahnen. Bei der Darstellung habe ich den Weg eingeschlagen, den ich bei der Untersuchung gegangen, und der mich, wenn auch nach einigen irrigen Ablenkungen, dem Ziele wenigstens nahe gebracht haben dürfte.

Congruente und nicht congruente Gelenke, seien letztere nun Ginglymi oder Ginglymo-Arthrodien, unterscheiden sich also von einander durch den Wechsel in der Grösse des Contactes beider Knochen. Mit diesem Unterschiede geht Hand in Hand ein zweiter, nämlich ein Wechsel in der Grösse der Festigkeit des Gelenkes. Contact und Festigkeit nehmen, wenigstens an den Extremitäten meistens gegen die Extensionslage zu und befähigen sie damit zu Stützen des Leibes zu werden.

Die Combination der Flexion mit rotatorischer Bewegung bedingt in beiden Arten von Gelenken einen weitem Unterschied. Soll in congruenten Gelenken Bewegung um zwei rechtwinkelig auf einander stehende Axen ausführbar sein, so muss bei strenger Form des Gelenkkörpers die Articulationsfläche Abschnitt einer Kugel sein, wie etwa das *Capitulum radii*. Bei *Echidna* ist die Ulna wohl auch befähigt rotatorische Bewegungen zu machen, indem die Oberarmsrolle den Abschnitt eines Ringes bildet, dessen Krümmung im Sinne der Flexion geht. In wie fern aber die quere Convexität des Ringes, die das Rotationsvermögen der Ulna bedingt, nicht von dem Schema eines congruenten Gelenkes abweicht, müsste noch untersucht werden. Doppelte rechtwinkelig ablenkende Bewegung ist dagegen bei den incongruenten Gelenken nicht selten, ohne dabei an die Kugelform ihrer Gelenkflächen gebunden zu sein.

Ein anderer das Wesen der Mechanik strenger bezeichnender Unterschied beider Arten von Gelenken, namentlich der Charniere, von denen zunächst die Sprache sein soll, betrifft die Axe und ergibt sich aus folgendem Versuche.

Führt man über die Seiten der beiden Gelenkkörper eines congruenten Gelenkes zwei in einander fallende Gerade, stellt dann das Gelenk in verschiedene Lagen ein, so werden sich die zwei Linien stets in demselben Punkte kreuzen und ihr bleibender Durchkreuzungspunkt das Ende der Drehungsaxe bezeichnen, vorausgesetzt, dass die Linien durch den Endpunkt der Axe gegangen sind. Fallen aber die Linien nicht in die Axe, so werden je zwei Stellungen einen anderen Durchkreuzungspunkt haben. Da aber in diesem Falle die Linien um eine fixe Axe in einem Kreise herumgedreht werden, so wird der Endpunkt der Umdrehungsaxe als Centrum dieses Kreises durch Construction leicht zu bestimmen sein, indem die Linien Tangenten zu dem Kreise sind, in welchem der durch sie bezeichnete Knochen theil sich dreht. Drei Lagen dieser Linien in drei verschiedenen Stellungen des Gelenkes werden genügen, um den Drehungspunkt zu finden, indem die Halbierungs-Linien ihrer Durchkreuzungswinkel oder die Normalen in dem Centrum sich schneiden werden. Je weiter von

der Drehungsaxe die Linien fallen, desto grösser wird der Kreis, aber alle diese Kreise sind concentrisch, d. h. alle Punkte des Knochens drehen sich nur um ein Centrum. Die Axe ist eben fix.

Um diese Construction, deren ich mich zur Bestimmung der Drehungsaxe bediene, auszuführen, benütze ich eine feuchte, matt geschliffene Glastafel oder mit Öl getränktes Strohpapier auf Glas befestigt. Auf sie werden dann diese Linien übertragen.

Man findet an allen Röhrenknochen, deren unterer Gelenkskörper eine Schrauben- oder Rotationsfläche ist, z. B. am Oberarmknochen, dass in der seitlichen Projection die Gelenksaxe in die geometrische Axe der Röhre fällt, und dass somit die Rolle mitten auf der Knochenbreite sitzt.

Verfährt man dagegen auf dieselbe Weise mit dem incongruenten Gelenke am Tarsus eines langbeinigen Vogels (ich benützte das Bein eines jungen Strausses und eines Storches), so weisen die verschiedenen durch die Bewegung des Tarsusknochens gegebenen Lagen dieser Linien nie auf ein Umdrehungscentrum, sondern immer auf eine Reihe von Drehungs-Mittelpunkten hin. Es lassen sich nämlich die einzelnen Lagen dieser Linien mehr als drei, nicht als Tangenten um einen Kreis zusammenfassen, da die Halbirungslinien ihrer Durchkreuzungswinkel sich nicht alle in einem Punkte treffen, sondern je zwei einen anderen Durchkreuzungspunkt haben. An dem Fig. 21 dargestellten Schema lässt sich mit Rücksicht auf die später zu besprechenden Bewegungsverhältnisse diese Construction leicht ausführen.

Bringt man die Linien nahe der Streckseite an, um den Drehungsradius möglichst zu verlängern und gibt dem Gelenke so viel Stellungen als möglich (namentlich an grösseren Gelenken), so kann man sich eine Reihe von Drehungsmittelpunkten eruiren. Werden diese dann fortlaufend mit einander verbunden, so hat man damit eine Curve bekommen, deren Conca- vität gegen die Beugeseite sieht und den Weg bezeichnet, in welchem die Drehungsaxe sich verschiebt.

Die Charakteristik beiderlei Arten von Gelenken lässt sich also damit ausdrücken, dass bei congruenten Charnieren die Bewegung um eine fixe Axe geschieht, bei incongruenten dagegen die Axe in einer nach der Beugeseite conca- ven Curve fortschreitet. Damit ist auch der Gang der durch obige Linien markirten Knochen- theile charakterisirt.

Bei congruenten Charnieren nämlich drehen sich diese Linien als Tan- genten um die Peripherie eines Kreises, bei incongruenten dagegen wickeln sie sich ab als Tangenten von der Peripherie einer noch näher zu bestim- menden Curve. Die congruenten Charniere kann man daher auch Drehungs- Charniere, die incongruenten auch Abwickelungs-Charniere nennen.

Bei congruenten Charnieren, wie am Ellbogen und Sprunggelenke, sitzt, wie oben bemerkt wurde, die Rolle mitten auf der Knochenbreite der Diaphyse auf. Denkt man sich nun die Mittelpunkts-Curve als seitliche Projection eines Körpers, um dessen Peripherie die Axe fortschreitet, so liegt dieser Grundkörper als Kern der incongruenten Gelenks- rolle nicht in ihrer Mitte, sondern beugewärts in den da vortretenden Condylen. Die geome- trische Axe der Knochenröhre fällt nicht in ihn, sondern vor ihn gegen die Streckseite zu.

Es dürfte nothwendig sein einleitend noch einen Rückblick auf den Bau der Charnier- Rollen congruenter Gelenke zu machen.

Wie ich vom Sprunggelenke der Säugethiere gezeigt, so ist dasselbe kein einfaches Cylinder-Charnier, sondern ein Schrauben-Charnier, dessen Ganglinie seitlich ablenkt, und zwar am rechten Beine im Sinne einer sogenannten links gewundenen, am linken einer rechts gewundenen Schraube. Nach neueren Erfahrungen glaube ich sagen zu können, dass es wohl kaum ein Ginglymus-Gelenk mit kreisförmiger, in sich zurücklaufender Ganglinie gebe, es dürften vielleicht alle, bestimmt aber das Ellbogengelenk unter die Schrauben-Charniere zu rechnen sein, wie dies vor Kurzem auch Meissner dargethan hat; so dass auch hier die Ganglinie eine wendelförmige Flexionsebene begrenzt. Am linken Arme ist die Schraube linkswendig, am rechten rechtswendig. Die Articulationsfläche ist eine Schraubenfläche. Man kann sich eine solche Rolle schematisch aus zwei gestutzten, mit den Spitzen sich durchdringenden schiefen Kegeln zusammengesetzt denken, deren Seitenflächen wendelförmig begrenzt sind. Die Rollenflächen in ihren Hälften neben einander gestellt sind congruent, die Beuge- und Streckrichtung, also das Vorne und Hinten ist daran nicht zu bestimmen. Wenn die Ablenkungsrichtung der Schraube bekannt ist, kann die Richtung betreffs der Seite, die äussere oder innere angegeben werden; ob die Rolle aber dem rechten oder linken Beine angehört, kann erst dann ermittelt werden, wenn die Rolle mit der Diaphyse in Verbindung und damit das Vorne und Hinten bestimmt ist.

Bei congruenten Gelenken ist die Basis des Grundkörpers, welcher die Schraubenfläche trägt (Cylinder, Kegel), ein Kreis. Die nächste Aufgabe bei Bestimmung der incongruenten Gelenkflächen wird daher sein, die Form des Grundkörpers, namentlich die Curve seiner Basis zu bestimmen.

Anfangs in der schematischen Anschauung congruenter Gelenke befangen, hielt ich die Basis der Rollen incongruenter Gelenke für eine geschlossene Curve. Die Annahme, dass die Grund-Curve, wie ich früher meinte, eine Ellipse sei, würde auch genügen, um die Eigenthümlichkeiten dieser Gelenksform zu erklären. Der Umstand aber, dass selbst am gelockerten Gelenke bei der Hyperextension die Spannung der Lateral-Bänder steigt, auch nach durchschnittenen Kreuzbändern, liess sich mit dieser Annahme nicht vereinigen, er weist zu entschieden auf eine offene Curve hin, wie sie die Gebrüder Weber für das menschliche Knie auch schon nachgewiesen haben.

So viel stand nach dem oben besprochenen Experimente fest, dass die Gang-Curve durch Abwicklung von der Beuge- nach der Streckseite zu entsteht, und dass die Axe in einer Curve bei dieser Bewegung von unten nach oben verschoben wird. Gang-Curve und Axen-Curve stehen also zu einander in dem Verhältnisse, wie die Evolvente zur Evolute. Die Kenntniss der einen führt zur Erkenntniss der anderen. Eine solche Genauigkeit ist aber durch obiges Experiment nicht zu erzielen, dass man aus der gewonnenen Axen-Curve die Ganglinie ableiten könnte; daher die Untersuchung der letzteren genauer vorgenommen werden musste.

Bei dieser Gelegenheit muss ich auf eine Vorsichtsmassregel aufmerksam machen, die beim Markiren der Ganglinie nicht ausser Acht gelassen werden sollte.

Ich lasse nämlich den zeichnenden Stift wo möglich nicht ununterbrochen wirken, da er einmal in den Knorpelüberzug eingegraben leicht verschoben und schief von der richtigen Bahn abgelenkt werden kann; ich mache lieber wiederholte Einstiche, die den Weg des betreffenden Punktes in einer punktirten Linie angeben. Namentlich bei den nicht congruenten

Gelenken, besonders denen, die nebst der Flexions-Bewegung auch noch eine rotatorische zulassen, ist diese Vorsicht nicht ausser Acht zu lassen.

Zunächst wurde das Tarsalgelenk eines ausgewachsenen Strausses, als des grössten Objectes dieser Art, auf die Ganglinie untersucht. Lässt man die Enden der Curve ausser Acht, so ist ihre und der Gang-Curve des menschlichen Knies Ähnlichkeit mit einer Ellipse sehr täuschend; als aber ihre Enden berücksichtigt wurden, so hat sich herausgestellt: 1. eine stätige Zunahme ihrer Radien von der Beuge- zu der Streckseite, und 2. eine schraubenförmige Ablenkung ihres Verlaufes; an der Streckseite biegt sie nach aussen ab, an der Beugeseite nach innen. Siehe Fig. 10, wo an der Articulationsfläche des rechten Tarsalgelenkes vom Strauss die beiden marginalen Ganglinien eingezeichnet sind.

Aus diesen Eigenschaften der Ganglinie ergibt sich, dass sie 1. Abschnitt einer Spirallinie ist, die Rolle daher in ihrer Grundgestalt eine Spiralwalze darstellt, und 2. dass sich bei diesen incongruenten Gelenken die Schrauben-Charniere wiederholen.

Es entsteht nun die Frage: welcher Art Spirale die Gang-Curve ist und wie sie zur Bildung solcher Schrauben-Charniere verwendet wird.

Der Umstand, dass diese Gelenke Schrauben-Charniere mit gekehlten Rollen sind, ist wenig günstig den Grundriss dieser Spiralwalze an Durchschnitten unmittelbar zur Anschauung zu bringen, so wenig als an einer walzenförmigen Schraube der Kreis mittelst Durchschnitten sich darstellen lässt. Nur an solchen Gelenken wird es möglich sein, die Basis der Spiralwalze in einem sagittalen Durchschnitte annähernd zu treffen, welche eine möglichst geringe schraubige Ablenkung haben, wenig vertieft und von einem breiten mehr flachen Rande begrenzt sind.

Eine solche Rolle hat das innere grössere Metatarso-Phalangealgelenk vom zweizehigen Strauss. Ein Durchschnitt möglichst senkrecht auf die Queraxe der Rolle und parallel der Diaphyse des Tarsusknochens ergibt die Linie *ab* im Schema dieses Gelenks, Fig. 7. Dass diese Curve eine Spirale ist, deren Pol nach der Beugeseite zu liegt, lässt sich auf den ersten Blick schon nicht verkennen, doch lässt sich ihre geometrische Bestimmung an dem kleinen vorliegenden Stücke nicht vornehmen, besonders so lange die Lage ihres Poles nicht bekannt ist oder mindestens eine volle Windung derselben vorliegt. Ein glücklicher Umstand lehrte mich diese Curve fortzusetzen und nach dem Pole hin zu ergänzen.

Wie ich oben bemerkt habe, dachte ich mir die Drehungsaxe dieser Gelenke an der Peripherie eines Grundkörpers fortleitend, und da lag der Gedanke nahe, die Gelenkkörper congruenter Gelenke der Abwickelung der Ganglinien und den Articulationsflächen incongruenter Gelenke zu Grunde zu legen. Der Kreis, als seitliche Projection congruenter Rollen, wurde als Evolute angesehen. Dass es nicht die gemeine Kreis-Evolvente sein konnte, die der Ganglinie entspricht, war klar; ich verfiel auf die Möglichkeit, dass die Gang-Curve etwa mit einer verlängerten Kreis-Evolvente übereinstimmen dürfte, versetzte in die Peripherie des Kreises die Ausgangspunkte und entwickelte so eine Reihe von Spiralen, von denen in Fig. 26 die von der oberen Peripherie ausgehenden gezeichnet sind; mit *aa* ist die gemeine Evolvente dargestellt, *cξ* ist die aus dem Centrum des Kreises fortschreitende Curve. Dieses Curvensystem kann man sich auch in der Weise zu Stande gekommen denken, dass der Grundkreis um gleich abt ehende Punkte der Peripherie seiner ursprünglichen Lage gleichmässig gedreht wurde, wobei derselbe seinen Platz verlässt und wegen der steten Verlegung seiner Drehungspunkte aus der ursprünglichen Lage in die Lage *αβ* kömmt, so dass die Punkte einer

theils drehenden, theils fortschreitenden Bewegung ihren Ursprung verdanken. Ihre Ausgangspunkte behalten zu einander stets dieselbe Lage und für jeden Moment der Bewegung lassen sie sich wieder an die Peripherie desselben Kreises zusammenfassen. Würde die Bewegung des Grundkreises fortgesetzt, so würde er in einer Spirale um seine ursprüngliche Lage herumgeführt werden.

Von diesen Spiralen betrachtete ich namentlich die von b ausgehende, da sie am höchsten Punkte der Kreisperipherie entstanden, mit ihrem Ausgangspunkte der Flexions-Lage entspricht, die weiter hinterwärts liegenden durchkreuzt und die ganze Kreisperipherie einschliesst. Von ihr konnte ich voraussetzen, dass sie dem Rollenrande entspricht, also die marginale Ganglinie zeichnet, während die weiter vorne entstandenen in die Rollenbasis fallen. Sie verhielt sich zu dem Kreise etwa in der Art, als ob ein elastischer in b befestigter, um den Kreis herumgelegter Ring sich von der Streckseite her abgelöst hätte.

Diese Curve $b\beta$ wurde nun mit dem Durchschnittsrande der Metatarso-Phalangealrolle verglichen. Beide Curven deckten sich vollkommen. Damit hatte ich ein Verfahren gewonnen, die Gang-Curve durch weitere Abwicklung des Kreises bis zu einem vollen Umgang zu verlängern.

Indem ich nämlich die Rollen congruenter Gelenke aus zwei Kegelsegmenten bestehend schematisirte, kam es auch darauf an, die Lagen dieser verlängerten Evolventen verschieden grosser Kreise zu einander kennen zu lernen. Es wurde für die Durchschnitte eines geraden Kegels die Construction Fig. 27 vorgenommen. Auch die Evolvente noch kleinerer Kreise habe ich in der ersten Windung entwickelt und bei einem Vergleiche dieser Evolventen unter einander zeigte es sich, dass sie sich gegenseitig decken, nämlich theilweise in einander fallen und die grösseren Spiralen-Stücke gegen den Pol hin zu einer Spirale von mehreren Windungen ergänzen. Auf diese Art war es mir möglich auch die Lage des Poles innerhalb eines unbedeutenden Spielraumes für diese aus den Anfangsstücken mehrerer verlängerter Kreisevolventen zusammengesetzte Curve zu bestimmen. Eine so ergänzte Spirale ist in Fig. 29 construirt und zugleich eine charakteristische Eigenschaft derselben dargestellt. Es hat sich nämlich gezeigt, dass die Winkel, welche die Radii vectores mit den Tangenten beschreiben, constant sind. Damit ist die geometrische Bedeutung dieser Linie bestimmt und sie als logarithmische Spirale charakterisirt. Der Winkel beträgt in diesem Falle bei 76 Grade.

In ihren engeren Touren dem Pole näher, sah ich die Curve auch am äussern Metatarso-Phalangealgelenke im Durchschnitte desselben wiederkehren. Auch sagittale Durchschnitte des Tarsalgelenkes vom Marabu, Fig. 19 A, und annähernd auch vom Flamingo, deren Ganglinie auch nur wenig ablenkt, zeigten auffallende Übereinstimmung mit dieser Curve, obwohl man sich nicht verhehlen kann, dass, je kürzer die vorliegenden Stücke, sie um so leichter Ähnlichkeit unter einander zeigen.

Wenn nun auch unter den besprochenen Verhältnissen es nicht möglich ist direct mit voller Gewissheit am Gelenke die Grund-Curve der Spiral-Walze darzustellen, so lässt sich doch mit einiger Sicherheit die logarithmische Spirale hier in Anwendung bringen; zu dem lassen sich die Gestalten aller dieser Gelenkskörper ganz gut mit Zuhilfenahme derselben in geometrischen Schemen entwickeln und die Eigenthümlichkeiten dieser Gelenksart ableiten. So viel steht fest, dass die Umgänge der Grundspirale der meisten dieser Gelenke, wie dies auf den ersten Blick schon die Condylä des Tarsalgelenkes vom Marabu Fig. 19 zeigen,

nicht mit einander äquidistant verlaufen, wie etwa bei einer archimedischen oder gemeinen Kreis-Evolventen-Spirale, in welche nach einem Umgange auch die verlängerte hineinfällt.

Für den Gang des Gelenkes von besonderer Wichtigkeit war nun die Kenntniss der Form und Lage der Linie, von der aus durch Abwicklung die Curve entstanden, nämlich die Darstellung der Evolute beziehungsweise der Axen-Curve.

Für je ein Stück der gewonnenen Ganglinie wurde auf bekannte Weise ihre Evolute construirt. War dieses Stück Gang-Curve als verlängerte Kreis-Evolvente dargestellt und mit dem Grundkreise in Verbindung, so nahm die Evoluten-Curve ihren Ausgangspunkt aus dem Centrum des Kreises. Sie biegt dann gegen den Ausgangspunkt der Gang-Curve an der oberen Peripherie ab und zwar in einer solchen Krümmung, dass man sie als Stück einer offenen Curve erkennen konnte. Fig. 27 sind die beiden Evoluten für die Anfangsstücke der zwei verlängerten Kreis-Evolventen-Curven entwickelt.

Wurden diese Evolventenstücke, wie oben angegeben, zu einer Spirale ergänzt, so deckten und ergänzten sich gleichzeitig auch die einzelnen Stücke ihrer Evoluten zu einer Spirale, welche nach demselben Pole zielte wie die Gang-Curve selbst. Wurde dann das Abbild der Gang-Curve um den Pol gedreht gegen die Evoluten-Curve, so fand sich, dass nach einer Umdrehung von einem rechten Winkel beide Zeichnungen sich deckten, so dass also auch die Evoluten-Curve eine logarithmische Spirale ist, welche zu ihrer Evolvente um eine Viertel-Wendung gegen den Pol zurücksteht. In Fig. 29 ist die Evoluten-Spirale punktirt gezeichnet.

Überträgt man nun diese Curven auf den Durchschnitt des Metatarso-Phalangealgelenkes, Fig. 7, so kann man sich ein geometrisches Schema dieses Gelenkes entwerfen und den Gang eines solchen incongruenten Charniers sich versinnlichen. Das Stück der Evolute von α bis β enthält die Drehungs-Mittelpunkte für das am Gelenk entwickelte Stück der Gang-Curve. Beide umfassen nicht ganz eine volle Windung. Man sieht, wie die geometrische Axe des beweglichen Phalangeal-Knochens (in der Zeichnung in drei verschiedenen Einstellungen $t^1 t^2 t^3$ des Gelenkes abgebildet) tangential die Evoluten-Curve umkreist, nämlich von ihr sich abwickelt. Zeichnet man eine Gerade auf Strohpapier als geometrische Axe der Phalanx, legt sie tangential wo immer an das entsprechende Stück $\alpha\beta$ der Evoluten-Curve im Schema, dreht diese Linie um die fortschreitenden Berührungspunkte mit der Evolute immer um einige Grade, so kann man sich die Bewegungen des Gelenkes klar zur Anschauung bringen. Zeichnet man um die sich abwickelnde Linie noch die Contouren der Phalanx, deren Contactfläche von dem Streckstücke der Gang-Curve zu entnehmen ist, so sind damit alle mechanisch wichtigen Theile des Gelenkes in einem sagittalen Durchschnitte versinnlicht.

Für die Schematisirung der Gelenkskörper genügt es aber nicht, die Bildung der Ganglinie allein zu berücksichtigen, es sollen wo möglich auch die Articulationsflächen geometrisch entwickelt werden. Wie früher die Gang-Curve vom Kreise als dessen verlängerte Evolvente sich abwickeln liess, so wird es auch möglich sein, die Articulationsfläche als abgerollten Mantel eines cylindrischen oder konischen Grundkörpers anzusehen; dessen spirale Windung dann im Sinne der dargestellten Spirale verläuft. In diesem Sinne lassen sich daher die Articulationsflächen incongruenter Gelenke als abgerollte Mantelflächen congruenter Gelenksflächen darstellen. Sieht man nämlich, der leichteren Übersicht willen, von der seitlichen Curvatur der Rolle ab, feilt die Wände einer Kreisrolle

gerade zu, umhüllt sie mit einem dünnen Blech, rollt dieses dann von der Streck- nach der Beugeseite zu ab, nämlich im Sinne der Grundspirale, so kann man sich alle diese incongruenten Gelenkflächen schematisch entwickeln, und dabei selbst auch noch die Schraubenform an den Rollen darstellen, wenn man eine schraubige congruente Rolle als Kern nimmt (Fig. 28).

Ich werde es jedoch versuchen auf Grund einer Spiralwalze diese Knochenformen zu entwickeln.

Da alle diese Gelenkskörper rinnenförmig vertieft sind, so entsteht, abgesehen von ihrer Schraubenform, zunächst die Frage, wie die Grundspirale der Vertiefung zu der des erhabenen Rollenrandes steht; d. h. wie die Basalprojectionen mehrerer Sagittaldurchschnitte einer Rolle zu einander sich verhalten.

Nachdem die Annahme gerechtfertigt sein dürfte, dass die Ganglinien durch die ganze Breite der Rolle dieselbe Curvenform haben werden, wofür auch Schnitte an der Tarsophalangealrolle sprechen, ferner mit Recht vorausgesetzt werden kann, dass alle diese Spiralen von grösserem und kleinerem Radius projectirt auf dieselben Pole bezogen werden können, d. h. dass die Pole der Spiralen aller Sagittalschnitte eines Condylus in einer geraden Linie liegen, wie die Mittelpunkte aller Sagittalschnitte einer Kreisrolle, so wird sich die Basal-(Seiten-)Projection aller Sagittalschnitte einer Spiralrolle mit derselben Curve darstellen lassen. Sie braucht nur im Umfange einiger Grade um den Pol gedreht zu werden, um ihre Curventheile von kleineren oder grösseren Radien in die Contour der Rolle zu bringen. Wird z. B. das Ebenbild einer entworfenen Spirale gegen ihre Öffnung um den Pol gedreht, so treten die Stücke, die mit kleineren Radien beschrieben sind, in die Contouren der Rolle, und der Umfang ihrer Drehung wird den Grad der Vertiefung der Rolle ergeben. Eine solche Projectionszeichnung ist an dem schematischen Durchschnitte eines Condylus vom Tarsalgelenke des Marabu Fig. 21 ausgeführt.

So wie die Umgänge der Grundspirale nicht unter einander äquidistant sind, so können es offenbar auch nicht die Spiralen der einzelnen Sagittaldurchschnitte sein.

Zerlegt man nun eine gerade Spiralrolle in Segmente zweier gerader Kegel, und construirt auf Grund der Projection des Sagittalschnittes der Rollenleiste und der Rollenfurche einen geraden Kegel (Fig. 8, *A* und *B*), dessen Axe durch die Pole der Schnittcurven geht und senkrecht auf der Projectionsebene steht, so bemerkt man, dass die Radien, die dem Pole näher von der Basis ansteigen, mit der Axe einen kleinen spitzen Winkel bilden, der aber, je weiter die Radien gegen die Öffnung der Basalspirale entstehen, immer grösser wird. Je grösser der Radius des Curvenstückes der Basalspirale, desto grösser der Winkel, den sein Kegelradius mit der Axe beschreibt. Dieser Umstand bedingt eine ungleiche Tiefe der Spiralenrollen, wie das die Tarsusrolle vom Marabu zeigt. Diese Rolle ist an der Beugeseite seichter und nimmt von da an gegen die Streckseite stätig an Tiefe zu. Die Tarsalrolle vom Marabu kann überhaupt als Typus dieser Art Gelenkskörper betrachtet werden.

Legt man den Spiralrollen als Kern zwei Segmente von geraden Kreiskegeln zu Grunde, entwickelt von den beiden, in der Basalprojection concentrischen, Kreisbegrenzungen die verlängerten Evolventen als Stücke der logarithmischen Spirale, so sieht man (Fig. 27), dass die beiden Spiralenstücke an den Ausgangspunkten einander näher liegen, gegen die Streckseite aber divergiren.

Die grösseren Abstände beider projecirten Curven an der Öffnung der Spirale ergeben sich aus der grösseren Neigung der Kegelnradien r gegen die Projectionsebene.

Vergleicht man die Segmente der beiden Spiralkegel (Fig. 8, *A* und Fig. 8, *B*), die zu einer Rolle zusammenstossen, so zeigt sich keine Congruenz mehr, wie an den beiden Hälften einer Kreisrolle; sie sind hier nur symmetrisch, indem die Mantelfläche an der einen Hälfte nach rechts, an der anderen nach links dütenförmig gedreht ist. An der isolirten Kreisrollenrolle ist das Vorne und Hinten, die Beuge- und Strecklage noch nicht zu bestimmen; da aber hier Beuge- und Streckseite, selbst an der isolirten Rolle allsgleich, schon an dem kleineren oder grösseren Radius der Gangeurve erkannt wird, so wird das Vorne und Hinten der Rolle sich hier leicht unterscheiden lassen. Ist die Rolle eine Schraubenrolle, so werden die beiden Rollenhälften (Condyl) ganz asymmetrisch (Fig. 8, *A* und *B*); ist dann noch die Richtung des Schraubenganges bekannt, so lässt sich jeder Condylus an und für sich ohne Verbindung mit der Diaphyse nach Lage und Körperseite bestimmen.

Das in Fig. 11 abgebildete Schema einer spiralen Schraubenrolle dürfte diese Eigenthümlichkeit im Gegensatze zu einer Schraubenrolle mit Kreisbasis ersichtlich machen. Der Schraubengang ist an dieser Rolle linkswendig. Da die Ablenkung streckwärts nach aussen gerichtet ist, so wird dieses Rollenschema, auf das menschliche Knie angewendet, dem linken Beine angehören, da die Streckseite nach vorne steht. Als Tarsalrolle eines Vogelbeines würde sie aber der rechten Seite angehören, da es hier die Beugelage ist, die nach vorne sieht. Spiralrollen, die nicht schraubig ablenken, sind in ihren Hälften symmetrisch; hat die Spiralrolle eine Schraubenfläche, so werden ihre Hälften asymmetrisch, daher auch das Innen und Aussen leicht zu unterscheiden. Symmetrie tritt nur zwischen den entsprechenden Condylen der linken und rechten Körperhälfte auf. So sind z. B. die *Condyl interni* beider Beine unter einander symmetrisch, die *Condyl* aber eines Beines vollkommen asymmetrisch.

Ich übergehe nun zur Schematisirung der Gelenkskörper am Vogelbeine. Es treten hier die Gelenksköpfe an einigen Orten als halbe Rollen auf, an anderen sind beide Rollenhälften vereinigt oder durch einen Einschnitt oder Furche in zwei Condylen zerfallen.

Die einfachsten Formen incongruenter Gelenksrollen finden sich an den Metatarsophalangeal-Gelenken der Vögel. Wegen der grössern Dimensionen empfehlen sich zur Untersuchung derselben zunächst die Gelenke des Straussenbeines.

Am unteren Ende des Tarsusknochens, der durch Verschmelzung dreier Metatarsalknochen entstanden ist, finden sich beim zweizehigen Strausse (*Struthio Camelus*) zwei rollenförmige gestielte Gelenksköpfe. *Struthio Casuarius* und *Rhea* haben drei Köpfe; der mittlere ist der grösste, seine Axe liegt quer auf der Längsaxe der Röhre und horizontal. Die Axen der beiden Seitenrollen sind gegen die der mittleren Rolle geneigt; verlängert würden sie sich vor ihr unter einem beiläufig rechten Winkel schneiden. Beim zweizehigen Strauss fehlt die innere Seitenrolle und ist durch einen nur kleinen griffelförmigen Vorsprung angedeutet, welcher das untere Ende des dritten zehenlosen Metatarsusknochens ist (Fig. 6).

Der mittlere Kopf ist eine gekahlte Rolle; der äussere Seitenknorren, kaum rinnenförmig vertieft, bildet eine kurze kegelförmige Walze. Die Streckseite beider Zehengelenke sieht nach vorn, die Beugeseite nach hinten. Beide Knorren vom rechten Beine des Strausses sind (Fig. 4) in der Ansicht von vorn dargestellt; der äussere Knorren isolirt in Fig. 1, seine innere Seitenfläche Fig. 3.

Die schraubige Ablenkung der Ganglinie ist an der äusseren Tarso-Phalangealrolle nach innen gerichtet; bei der Lage der Beugeseite nach hinten ist also die Schraubentour am linken Beine rechts gewunden, am rechten Beine links gewunden. Die Rolle kann wegen ihrer unmerklichen Vertiefung als halbes Rollenstück angesehen werden. Sie ist das einfachste Beispiel einer spiralen Schrauben-Charnierrolle.

Legt man sie mit ihrer Beuge- oder Ausgangsseite auf eine ebene Unterlage, verfolgt in ihrem Verlauf die Richtung der Articulationsfläche, so sieht man, dass sie gegen die Streckseite zu immer mehr nach aussen (lateralwärts) sich wendet. Vorne ist die Rolle durch einen schief auswärts abfälligen Rand begrenzt; ihre Seitenränder, beinahe überall gleichweit von einander abstehend, sind ungleich an Umfang; innen grösser, aussen kleiner, daher auch die innere Seitenfläche der Rolle grösser, die äussere kleiner ist.

An einem Gypsabguss dieser Rolle wurden die Gelenksflächen und ihre Ränder glatt zugefeilt, von der Knochenröhre abgeschnitten, und das in Fig 2 abgebildete Schema dieses Gelenkkörpers dargestellt. Der Kegel als Grundgestalt ist daran nicht zu verkennen. Man kann die Articulationsfläche beiläufig als abgewinkelte Mantelfläche eines Kegels mit kreisförmiger Basis ansehen, und sie mit der im Schema (Fig. 27) durch Abwicklung gewonnenen Fläche vergleichen. Die Linien, welche in diesem Schema die entsprechenden Curventheile mit einander verbinden, r , sind die Radien der sich abwickelnden Mantelfläche; ihre ungleiche Länge ergibt das Verhältniss ihrer Neigung zur Projectionsebene.

Genauer wird ihre Bildung ersichtlich, wenn man sie auf den Spiralkegel bezieht und als Segment eines solchen betrachtet.

Ergänzt man nämlich durch Ausziehen der Radien der Fläche den Kegel, so ergibt sich das Schema Fig. 2, aus welchem ersichtlich wird, dass die abgebildete Rolle des rechten Beines einem rechtswendig eingerollten Kegelmantel angehört und ihre gegen die Basis ablenkende schraubige Ganglinie dieser Windung entgegen linksläufig ist. (Conf. dieses Schema mit der Fig. 8, B.) Die innere Seitenfläche der Rolle entspricht der Kegelbasis, die äussere ist die Abstutzungsfläche der Spitze; beide sind Wendelflächen im Sinne der Ganglinie streckwärts nach innen abweichend. Bei vorderer Ansicht, die Axe horizontal und quer gestellt, ist das Ausgangsstück der äusseren Seitenfläche bemerkbar, die innere Seitenfläche aber gänzlich gedeckt.

Der Gelenkkopf des mittleren Metatarso-Phalangealgelenkes (innere Gelenkkopf des zweizehigen Strausses) ist durch eine mittlere Rollenfurche in zwei Hälften getheilt. Die Ganglinie hat eine der äusseren Rolle gegenwendige Ablenkung nach aussen, gehört somit am rechten Bein einer rechts gewundenen, am linken einer links gewundenen Schraube an. Der Ascensionswinkel ist aber sehr klein, und gegenüber der grösseren Ablenkung am Rollenkopfe der äusseren Zehe nur an der Wendelform der inneren Seitenfläche noch zu erkennen.

Die Rolle ist vorne schmaler als hinten, an der Beugeseite; da die Ganglinie mit dem inneren Rollenrande gleich läuft, kann die Verengerung daher nur asymmetrisch sein und bloss die äussere Rollenhälfte treffen, deren Marginalbegrenzung mehr rechtwinkelig auf die Axe fällt, und deren Articulationsfläche sich nach vorn zuspitzt.

An der inneren Seitenfläche ist der spirale Rand gar nicht zu verkennen (Fig. 6); auch an der rauhen Grube zum Ansatz des Lateral-Ligamentes ist der spirale Verlauf ihrer Begrenzung ganz auffallend.

Die Contour der äusseren Seitenfläche ist zwar auch spiral, doch viel mehr geschlossen, so dass sie einem nur wenig geöffneten Kreise ähnlich ist.

Fig. 5 stellt das Schema dieser Rolle dar, deren Umrisse mit fetten Linien in die spirale Schraubenrolle eingezeichnet sind. Man ersieht daraus, wie die oben beschriebenen Eigenthümlichkeiten derselben zu Stande kommen, und sich mit der spiralen Schraubenrolle ganz gut vereinigen lassen. Die Wendelform der inneren Seitenfläche, von einer schraubigen gestreckten Ganglinie begrenzt, ihre mit der logarithmischen Spirale zusammenfallende Projection, welche in Fig. 6 und 7 als Contour gezeichnet ist, lassen sich eben so gut mit Hilfe dieses Schemas entwickeln wie die mehr gedrungene stark eingebogene Spiralcontour der äusseren Seitenfläche. Vergleicht man nämlich im gemeinschaftlichen Sagittalschnitt δ den Durchmesser der geraden im Schema mit punktirten Linien ausgeführten Rolle mit dem der Schraubenrolle, die mit ausgezogenen Linien beschrieben ist, so sieht man, wie der Durchmesser der Schraubenrolle gegen den der geraden Rolle streckwärts verkürzt ist, beinahe zu gleich bleibenden Radien an der Beugeseite. Offenbar muss daher die Contourspirale des Durchschnittes δ an der Streckseite stärker gekrümmt sein, d. h. weniger geöffnet als die logarithmische Spirale desselben Durchschnittes an der geraden Rolle. Die, sogar über die gerade Sagittalrichtung nach der Rollenfurche schief geführte Begrenzung macht das Verhältniss noch auffallender. Der ober der Gelenkfläche bemerkbare dreieckige vertiefte Raum in Fig. 4 deutet die Convergenz der beiden Rollenhälften an.

Dass an der Rolle die streckwärts zunehmende Vertiefung der Spiralrollen nicht bemerkbar wird, ist aus dem Fehlen eines Stückes der Rollenwand zu erklären. Im Schema wurde für die schraubige Ganglinie ein grösserer Ascensionswinkel angenommen, um die Sache etwas auffallender zu machen. Das Schema Fig. 7 gibt die Übersicht der Gelenkcurve im geraden Sagittalschnitte der inneren Gangcurve, also ohne Berücksichtigung der Schraubentour an der Ganglinie, zugleich sind die Contouren der inneren Bandgrube nebst der Evolute als Axencurve aufgenommen (conf. Fig. 29). Keines dieser Rollenstücke ist mit der Halbrolle der äusseren Zehe identisch. Die äussere Hälfte ist mit ihr symmetrisch, und würde ergänzt die Halbrolle der äusseren Zehe des linken Beines repräsentiren.

Die Rollenflächen kann man sich auch noch als abgewickelte Mantelflächen zweier sich durchdringender Kreiskegel darstellen. Macht man sich das Modell einer solchen Rolle, belegt die beiden Kegelsegmente etwa mit Streifen Kartenpapier, und wickelt sie dann von der Streckseite her im Sinne der Grundspirale ab, so werden die abgewickelten Flächen sagittal gegen einander convergiren, sich durchdringen, und eine gegen die Streckseite sich verschmälernde Rolle ergeben. Offenbar würde das vom inneren Kegel abgewickelte Blatt, da die Ganglinie auswärts abweicht, das äussere Blatt decken, daher die Durchdringungslinie ebenfalls asymmetrisch nach aussen weichen muss. Die asymmetrische Form beider Rollenflächen liesse sich daher auch auf diese Weise ganz gut ersichtlich machen. Die Art des Durchdringens ist durch die punktirte Linie in Fig. 4 versinnlicht.

Mit diesen Gelenken des Vogelbeines stimmen im Wesentlichen überein die Metacarp- und Metatarso-Phalangealgelenke des Menschen. Dass die Bewegung in diesen Gelenken keine reine Drehung, sondern mit Abwicklung vereinigt ist, zeigen schon die Curven an den Sagittaldurchschnitten, namentlich der Metatarsalköpfchen. Die Curven der Durchschnitte Fig. 159 u. 160 in Henle's systematischer Anatomie und Fig. 88 in H. Meyer's physiologischer Anatomie stimmen mit der von mir als Grundcurve angegebenen Spirale

überein. Die Zunahme des Radius nimmt aber da nicht gegen den Rücken des Fusses (Streckseite) zu, sondern gegen die Beugeseite. Der Ausgangspunkt der Curve liegt also vorn. An den Interphalangealgelenken der grossen Zehe vom Strauss, deren Lage gegen den Horizont dieselbe ist wie die der Metatarso-Phalangealgelenke des Menschen, ist dasselbe zu finden.

Die Tarsalgelenke der Vögel haben ganze Schraubenrollen. Beugewärts buchten sich die Rollenhälften meist stärker heraus. Ich werde sie mit dem gangbaren Terminus Condylen bezeichnen. Sie sind theils zu einer breiten seichten Rolle verschmolzen, wie beim Strauss und Trappen, theils ganz getrennt, wie bei den storchartigen, in welchem Falle dann eine sogenannte *Incisura intercondyloidea* gebildet wird. Die Beugeseite aller Tarsalgelenke sieht nach vorn. Sie werden von dem unteren, die Rolle tragenden Ende der Tibia und dem oberen Ende des sogenannten Tarsusknochens gebildet, dessen oben breite Epiphyse eine seichte Doppelpfanne darstellt. Eine knöcherne Patella kommt an diesen Gelenken zwar nicht vor, doch spielt das Sehnenpaquet, welches an der Streckseite über das Gelenk weggeht und in einem faserknorpeligen Ring eingeschlossen ist, ganz nach Art einer Patella.

Die Tarsalrolle vom Strauss ist ungetheilt, flach, ihre Marginalbegrenzungen bilden schmale, nicht sehr gehobene, schief gestellte Ränder, welche beugewärts (vorn) in etwas stärker gewölbten Condylen hervortreten. Nach hinten an der Streckseite geht die Rollenfläche ohne Unterbrechung des Knorpelüberzuges in eine Patellarfläche über, die dann allmählich in die hintere quer gewölbte Diaphysenfläche der Tibia ausläuft. Es sind also zwei Theile an der Gelenkfläche zu unterscheiden, ein vorderer, die Tarsalpartie, an dem der Tarsusknochen spielt, und ein hinterer, an dem die Strecksehne auf- und niedergeht. Beide sind durch eine besonders innen bemerkbare schärfere Knickung kenntlich geschieden. Die Patellarfläche ist tiefer als die Tarsalfläche. Nach innen fällt die Patellarfläche vom Rande steil ab, nach aussen steigt sie allmählich gegen den Rand auf. In Fig. 10 ist die Rollenfläche in der Ansicht von unten aufgenommen. Zur leichteren Orientirung ist die Bewegungsrichtung angegeben, und die Lage zur Mittelebene des Leibes bezeichnet. Die punktirten Linien geben die Richtung der Ganglinie und der Axe an. Eine andere punktirte Linie bezeichnet die Grenze der Patellarfläche; in Fig. 13 der inneren Rollenfläche und Fig. 12 der äusseren Rollenfläche ist ihre Grenze mit *p* bezeichnet. Man ersieht daraus, dass innen die Marginalbegrenzung der Patellarfläche länger ist als aussen.

Die Ganglinie lenkt an dem Tarsaltheile der Rolle an der Streckseite schief nach aussen ab. Die Ganglinie der Patellarfläche folgt mehr der sagittalen Richtung des Knochens. Es ist daher blos das Tarsalstück der Rolle nach Art einer Schraube gebaut, und gehört rechterseits einem links wendigen Schraubestücke an; linkerseits einem rechts wendigen. An der Beugeseite fällt von einer queren, stumpfen Kante, welche die beiden prominirenden Ränder, Condyli, mit einander verbindet und die Ausgangslinie der Gangcurven ist, gegen die Diaphyse der Tibia eine flache Grube ab, die ich vor der Hand *Fossa supracondyloidea* nennen werde (sie ist in Fig. 13 mit einer punktirten Linie, die ihre sagittale Begrenzung angibt, angedeutet). Die Grube ist nach hinten von einer mit der Diaphyse verwachsenen überknorpelten Platte begrenzt. In Fig. 13 ist diese Platte (*C*) sichtbar, wie sie über das Niveau der Condylen herausragt. In der äussersten Flexionsstellung des Gelenkes legt sich in diese Grube der vordere Rand der oberen Metatarsusepiphyse hinein. Ober der *Fossa supracondyloidea* ist an der Tibia schief eine starke schnigige Querschlinge befestigt (Fig. 9), welche die Beugesehne des Gelenkes und die Strecksehne der Zehen aufnimmt.

Der Vergleich der Richtung, in welcher die Ganglinie verläuft, mit der seitlichen Abgrenzung der Rolle zeigt, dass der innere Rand mit der Ganglinie einen beinahe gleich gerichteten Verlauf hat und beide schief gegen die Axe gestellt sind, der äussere Rand dagegen vorn mit der Ganglinie sich kreuzt und mehr vertical gegen die Axe gerichtet ist. Die Seitenflächen convergiren daher asymmetrisch gegen die Streckseite; vorne ist die Rolle breiter, hinten schmaler.

Die Seitenflächen der Rolle (Fig. 12 die äusseren, Fig. 13 die inneren) tragen Gruben zum Ansatz des Bandapparates, sie bestimmen die Zeichnung der Rollenbasen. Die Gruben liegen ganz vorn an den Seiten der Condylen; beugewärts tief und halbmondförmig begrenzt, werden sie gegen die Streckseite immer flacher und breiter. Ein erhabener, nach der Streckseite schmaler werdender Wall trennt sie von dem freien Rollenrande; das untere Horn des Grubenrandes läuft nämlich beiderseits gegen den Rollenrand mit ihm convergirend aus. Die Convergenz beider ist an der äusseren Fläche stärker, doch auch an der inneren bemerkbar, namentlich an der inneren Rollenbasis eines dreizehigen ausgewachsenen Strausses (*Struthio Rhea*), Fig. 14. An diesem macerirten Knochen ist das Relief viel schärfer gezeichnet, und die Contouren der Grube von einer spiral trichterförmig eingerollten Wand gebildet. Das obere Horn der Bandgrube verschwindet an der äusseren Fläche ohne besondere Zeichnung, an der inneren Fläche biegt es aber wieder aufwärts und umgreift einen länglichen vorspringenden stumpfen Höcker, Fig. 13 *t*, der gegen die Streckseite scharf in die Bandgrube abfällt, nach der Beugeseite in den Grubenwall ohne Gränze übergeht. Die Grube selbst übergeht hinter dem Höcker in die Seitenfläche der Tibialdiaphyse. Ober dem Höcker zeigt der Knochen eine längliche oben spitzig zulaufende Rauhigkeit, die dem langen Lateralband zum Ansatz dient (Fig. 13 und Fig. 14 *l*). Die äussere Seitenfläche ist mehr rund, die innere mehr länglich. Beide Begrenzungen der Seitenflächen, zugleich als Seitenränder der Articulationsfläche, lassen die spirale Grundlinie nicht verkennen; nach innen, wo die Begrenzung der schraubigen Ganglinie folgt, ist die Spiralcontour mehr gestreckt, nach aussen mehr verkürzt.

Die ganze Rolle ist der Diaphyse der Tibia so aufgesetzt, dass wenn die Rolle auf eine horizontale Fläche aufgestellt wird, die Röhre sich in einen Winkel von etwa 10° von der Mittelebene ab nach aussen neigt. Beide Tibien convergiren daher unten gegen einander in einem beinahe 20° betragenden Winkel.

Aus dieser allgemeinen Beschreibung ist ersichtlich, dass die Tarsusrolle an der Tibia eine Schraubenrolle auf Grund einer Spiralwalze ist; am rechten Beine linkswendig, am linken rechtswendig gedreht. Abgesehen von ihrer frontalen Ausbuchtung entspricht ihr also rechterseits annähernd das Schema Fig. 11, in welchem der Schraube ein Ascensionswinkel von 15° zu Grunde gelegt wurde.

Die Grundcurve der Walze aber, auf der die Schraubenfläche sitzt, an Durchschnitten darzustellen, ist nicht möglich, einerseits ist es die Vertiefung der Rolle, anderseits die wellenförmige Begrenzung ihres Frontaldurchschnittes, die das verhindert. Da aber die Rolle aussen mehr senkrecht auf die Axe begrenzt ist, so tritt die Spirale *b* hier zwar reiner hervor, ohne ihr aber genau zu entsprechen. Innen weicht die Begrenzungscurve, wie sie ein Durchschn. möglichst parallel der Seitenfläche geführt, ergibt, viel weiter noch von der Form einer Spirale ab. Die Curve ist mehr abgeflacht, und nähert sich einer Form, die eine gerade spirale Walze an einem schiefen Durchschnitte als Begrenzung der Schnittfläche ergeben

würde, etwa wie ein gerader Kreiseylinder schief durchschnitten als Begrenzung der Schnittfläche eine mehr weniger excentrische Ellipse ergeben möchte.

Die angedeutete Asymmetrie der beiden Rollenhälften ist wenigstens an der Beugeseite nicht zu verkennen; der *Condylus internus* springt da stärker hervor, was durch die Schraubenform der Rolle bedingt wird, deren Gang von innen nach aussen gerichtet ist. Gegen die Streckseite sind diese Verhältnisse weniger rein, wegen des unmittelbaren Anschlusses der Patellarfläche, deren Gangrichtung von der der Tarsalfläche abweicht.

Die Form des Reliefs an den Seitenflächen werde ich bei Betrachtung des Bandapparates noch besprechen.

An das Tarsalgelenk vom Strauss reiht sich zunächst das von Otis an. Die Rolle am unteren Tibialende ist ebenfalls flach und breit, nur springen an der Beugeseite (vorn) die Ränder der Rolle nach Art von Condylen noch mehr hervor. Die *Fossa supracondyloidea* ist mehr geschlossen. Die Patellarfläche ist innen von dem Tarsaltheile der Rolle durch eine seichte Furche abgegrenzt, sonst gehen beide ununterbrochen in einander über. Beide Rollen stimmen daher im Wesentlichen mit einander überein.

Zwischen den tellerförmig gehöhlten Knorren des Tarsusknochens, wo beim Strauss der Rand noch gar nicht fortsatzartig sich erhebt, tritt hier schon ein Höcker heraus, der im Maximo der Flexion in die *Fossa supracondyloidea* sich hineinlegt und wie beim Strauss an die geglättete obere Platte sich anpasst, welche an der vorderen Tibiafläche aufliegt. Die Platte ist hier schon grubenförmig zur Aufnahme des Höckers vertieft. Ich nenne diesen Fortsatz den Beugehaken, *Processus coronoideus*. Seine grösste Entwicklung erreicht er aber erst bei den storchartigen Vögeln, wesshalb er mit den Gelenken dieser Gruppe näher beschrieben werden soll.

Auch beim Adlergeschlechte finde ich eine ähnliche mehr ungetheilte Tarsalrolle.

Von den übrigen langbeinigen Vögeln, deren Tarsalgelenk auch nur eine flexorische Bewegung erlaubt, werde ich als Repräsentanten der storchartigen den Marabu und Flamingo besprechen; sie bieten die typische Form dieser Gelenksart. Die Tarsalrollen dieser beiden Gattungen unterscheiden sich von denen des Strausses und Trappen darin, dass die Patellarfläche umfangreicher und strenger geschieden ist, der Tarsaltheil in zwei sich entgegenschende Condyli zerfällt, daher getrennt ist, und streng genommen keine Rolle mehr bildet. In diese Spalte, *Incisura intercondyloidea*, schaltet sich von der Streckseite her die Patellarfläche ein. Ferner ist der *Processus coronoideus* am Tarsusknochen stark entwickelt, er ist in jeder Lage des Gelenkes in den Zwischenraum der Condylen eingeklemmt und wird dadurch das grösste Hinderniss für eine drehende Bewegung in diesem Gelenke. In Fig. 17 ist das linke Tarsalgelenk gebogen, vom Marabu, in Fig. 16 vom Flamingo, beide etwas vergrössert von der Streckseite her abgebildet, in Fig. 18 das rechte Gelenk des Flamingo von der Beugeseite.

Unter einander differiren die Gelenke des Marabu und Flamingo in dem, dass bei ersterem die Condyli mehr an einander gerückt sind, bei letzterem weiter von einander abstehen, der eingelagerte Winkel der Patellarfläche daher beim Marabu spitzig, beim Flamingo mehr stumpf ist.

An diesen Gelenkskörpern muss man, weil sie deutlich ausgebildet und scharf von einander getrennt sind, dreierlei Stücke unterscheiden:

1. Die Tarsaltheile, welche mit den Tarsusrollen articuliren, und die ich, weil sie jetzt ganz getrennt sind, geradeweg Condyli heissen werde; 2. die Patellarfläche und

3. die *Fossa supracondyloidea* oder, wie sie auch wegen der Aufnahme des Hakenfortsatzes genannt werden kann, *Fossa coronoidea*.

Die Condyli bilden hemisphärische Körper, deren convexe geglättete Flächen einander zusehen. Eine Querleiste verbindet die Gipfelpunkte beider und bildet die Grenze zwischen der *Fossa coronoidea* und der Patellarfläche. Beim Flamingo, wo die Condyli weiter von einander abstehen, ist sie länger als beim Marabu. Durch sie muss man sich beiläufig die geometrische Axe beider Condyli gezogen denken. Die Ganglinie der Condylen ist unverkennbar schief wie am Straussengelenke, und zwar in einer streckwärts ebenfalls nach aussen ablenkenden Richtung. Beugewärts lenkt sie nach innen ab. Die Pfeile in Fig. 16, 17 und 18 geben die Ablenkungsrichtungen an. Der Ascensionswinkel ist aber unbedeutend, deshalb zeigen Durchschnitte der Condyli, wenn sie sagittal in dem grössten Umfange geführt werden, genau die Form der Grundspirale. Da ferner die Asymmetrie der beiden Condylen eines Gelenkes, wie oben gezeigt wurde, von der schraubigen Ablenkung abhängt, so wird auch sie hier nicht auffallend sein, und die Condyli werden einfach als getrennte Hälften einer geradegängigen Spiralrolle schematisirt werden können; es wird genügen nur einen der Condylen näher zu beschreiben, und zwar den *Condylus externus*, dessen der *Incisura intercondyloidea* zugewendete convexe Fläche in Fig. 19 vom Marabu und in Fig. 22 vom Flamingo etwas vergrössert abgebildet ist. Beim Flamingo hebt sich von der inneren Oberfläche des hemisphärischen Condylus ein erhabener Punkt (α) ab, von diesem geht als vordere Begrenzung der *Fossa coronoidea* eine Leiste (γ) etwas gebogen zur grössten Höhe des Condylus aufwärts; das ist die Ausgangslinie der Gangeurven des Condylus. Abwärts geht eine zweite Leiste (β) aus, die in die Verbindungsleiste beider Condylen übergeht. Diese Linie ist die kleinste Ganglinie des Gelenkes; sie und die Gangeurve, die entlang des grössten Umfanges des Condylus verläuft, sind die formbestimmenden desselben. Hier muss ich bemerken, dass in den perspectivischen Zeichnungen in den Fig. 19 und 22 die Condylen in verschiedener Stellung abgebildet sind, daher dem geometrischen Schema Fig. 21 nicht genau entsprechen können, in welchem die Ganglinien auf die Sagittalebene projectirt dargestellt wurden. Die Deutung der bezeichneten Theile ist aus dem Schema ersichtlich. Die innerste Curve, durch welche sich die Condylus-Fläche gegen die *Fossa coronoidea* absetzt, entspricht beiläufig der Evolute des äussersten Umfanges des Condylus, sie bezeichnet den Weg, in dem die Axe bei den Bewegungen des Gelenkes verschoben wird. Das Charakteristikon der Spiralrollen, nämlich ihr Tieferwerden nach der Streckseite zu, ist durch den Winkel ausgedrückt, in dem die Patellarfläche mit ihrem Beugende zugespitzt sich einschleibt.

Die im Schema über die Oberfläche gezogenen Ganglinien muss man sich als parallele Sagittalschnitte des Condylus vorstellen und entlang der Polaxe in die Tiefe projectirt denken. Man kann sich also auch schematisch einen solchen Condylus aufbauen, wenn man von Blech oder Kartenpapier von den einzelnen Curvenstücken Muster abnimmt, an diesen die Lage des Poles markirt und die Blätter entlang einer Axe in gleichen Abständen an einander fügt. Da nun, wie gezeigt worden ist, alle diese Curvenstücke zu einem Polarsysteme gehören und von einander nur darin sich unterscheiden, dass das eine dem Pole näher, das andere entfernter der ganzen Curve entnommen ist, so kann man sich geradegängige Spiralrollen auch auf folgende Weise nachbilden.

Man construirt zuerst eine Spiralwalze aus einem Paquet nach der logarithmischen Spirale zugeschnittener Kartenblätter, die man einem durch die Pole gehenden Stifte entlang

an einander passt. Will man nun eine vertiefte Rolle aus der Walze bilden, so drehe man jene Platten, die in die Furche hineinfallen sollen, um entsprechende Grade in der Richtung, dass die dem Pole näher liegenden Curventheile in die Rollencontour einrücken, und nach der Curve, die die Rolle seitlich bekommen soll, die nachbarlichen Platten immer um einige Grade weniger. Je tiefer die Furche werden soll, desto grösser muss die Drehung der mittleren Platte sein; je steiler sie abfällt, desto weniger Platten werden gedreht und die Differenz der Grade, um die je zwei nachbarliche gedreht werden müssen, ist dann um so grösser. Je sanfter die Rollenfurche ansteigt, desto mehr Platten müssen gedreht werden, mit geringen Drehungsunterschieden unter einander. Auf diese Art kann man sich auch die seitlichen Wölbungen der Condyl, von denen bis jetzt abgesehen wurde, darstellen.

Wenn man sich die Articulationsflächen der Condyl als abgelöste Mantelflächen vorstellen will, im Sinne der Anfangsstücke verlängerter Kreisevolventen, so muss ein kurzer Kegel mit breiter Basis als Grundkörper angenommen werden, dessen Axe mit der Polaraxe zusammenfällt. Nimmt man dabei auf die schraubige Ablenkung der Ganglinie Rücksicht, begrenzt den Grundkegel mit Wendelflächen, sieht dagegen von der seitlichen Condylus-Krümmung ab, so würde sich das Schema der so construirten Grundfläche perspectivisch dargestellt wie in Fig. 28 ausnehmen. Das Schema entspricht jener Hälfte der Rolle, deren Schraubentour die Richtung von der Basis zur Rollenfurche (Kegelspitze) nimmt und würde somit der *Condylus internus* eines rechten Tarsalgelenkes sein. Seine Schraubentour wäre daher linkswendig. Der Abstand beider Kegelspitzen bestimmt die Breite der *Incisura intercondyloidea*.

Unter Patellarflächen der Tarsalgelenke verstehe ich jenes Stück der Articulationsfläche, welches, an der hinteren Seite (Streckseite) des Gelenkes gelegen, nie mit dem Tarsusknochen in Berührung kommt und im Maximo der Streckung den Faserring aufnimmt, welcher das Paquet der Zehenbeuger und die Strecksehne des Tarsalgelenkes verbindet. In der Flexionslage kommt dieser Faserring (ich werde ihn ferner Patella nennen, da er ganz diesem Knochen am menschlichen Knie entspricht) auf das hintere Stück der Tarsalfläche zu liegen. Beim Marabu und Flamingo legt er sich auf den Winkel der Patellarfläche, der zwischen die Condyl sich einschaltet: beim Strauss und Trappen aber berührt er in der Flexionslage des Gelenkes direct das hintere Stück der Tarsalfläche. Eine vollkommene Trennung der Patellarfläche ist unter den angeführten Vögeln nur bei den storehartigen zu finden.

Rücksichtlich der Bedeutung dieser Fläche ist vor allem die Frage zu beantworten, in welchem Verhältniss die Patellarfläche zu den Tarsusflächen steht. Da die Bewegungen der Patella beim Gange des Gelenkes mit denen der Tarsusflächen in gleichem Sinne geschehen, so dürfte die Ganglinie der Patellarfläche mit den Ganglinien der Condylen zu einem und demselben Curvensysteme gehören, rücksichtlich der als Grundcurve des Gelenkes angenommenen Spirale also mit den Curven der Condylen zu einem Polarsysteme sich vereinigen lassen. Die Patellarfläche wäre also in dieser Beziehung als Fortsetzung der Condylus-Flächen anzusehen. Am Tarso-Phalangealgelenke vom Strauss, dessen Gelenkfläche in einem Umfange ausgebildet ist, der am Tarsalgelenke den Condylus-Flächen sammt den Patellarflächen gleicht, fehlt eine Patellarfläche, das heisst, es ist das entsprechende Stück der Gelenkfläche an der Streckseite nicht durch Furchen oder Erhabenheiten bemerkbar geschieden. Das Paquet der Zehenstrecker deckt membranenförmig die Streckseite des Gelenkes, kann vermöge seiner Nachgiebigkeit jeder

Krümmung sich anpassen; dann hat die Phalanx einen grösseren Exeursionsumfang, indem sie bis an das Ende der Gelenkfläche spielt. Hier ist also die Patellarfläche so zu sagen aufgegangen in der Fläche für den beweglichen Knochen. Der längere Durchmesser der Rolle liegt hier in der Richtung der Axe der Diaphyse. Bei den Tarsalgelenken ist der Umfang der Beweglichkeit des Tarsus höchstens zwei rechte Winkel, der längere Durchmesser der Rolle liegt quer unten auf der Axe der Tibiaröhre. Der Tarsusknochen, der als Stützknochen des Beines schon in der Richtung der Tibia fest eingestellt wird, erreicht das Streckende der ganzen Gelenkfläche also nicht und überlässt dieses Stück dem auf- und niedergehenden Sehnenpaquet. Der unmittelbare Übergang des Knorpelüberzuges von der Tarsal- auf die Patellarfläche stellenweise ohne abgrenzende Furche oder Leiste selbst beim Strauss und Trappen spricht für die Einheit beider Flächen.

Wie aus den Abbildungen der Tarsalgelenke ersichtlich ist, fallen die Patellarflächen häufig, so namentlich bei den storchartigen, treppenförmig gegen die Condylus-Flächen ab, so dass die Patellarflächen die Condylus-Flächen um etwas überragen. Andeutungen einer solchen Abgrenzung zeigt wohl auch die Tarsusrolle vom Strauss und Trappen an der inneren Seite. In diesen Fällen wird die Ganglinie der Patellarfläche nicht unmittelbare Fortsetzung der anstossenden Ganglinie des Condylus sein, sondern zu demselben System der Spiralen gehörig in einem oberflächlichen Niveau, d. h. mit grösserem Radius ausgeführt sein. Das Schema der Tarsusrolle der Störche Fig. 21 erläutert dieses Verhältniss.

Betreffs der Gangrichtung der Patellarfläche ist noch der oben erwähnte Umstand zu erklären und mit dem gegebenen Schema in Einklang zu bringen, dass nämlich die Ganglinie der Patella mit der der Condylen einen Winkel beschreibt; indem die Ganglinie der Patellarfläche in der Richtung der Knochenröhre, also mehr sagittal verläuft, die der Condylen schief nach aussen gerichtet ist. Die schiefe Ablenkung an den Condylen verdankt die Ganglinie der Schraubenform der Rolle; in dieser Rolle muss der Tarsusknochen seinen Gang einhalten, da er ihm eben durch die Form der Rolle vorgeschrieben ist. Die Patella aber, mit dem Tarsusknochen nur durch Weichtheile in Verbindung, folgt dem geraden Muskelzuge, in dessen Richtung daher auch die Patellarfläche gekehrt sein wird. Bei sagittalem Durchschnitte werden demnach die beiden anstossenden Curven, obgleich zu demselben Systeme gehörig, nicht in dieselben Schnittebenen fallen können. Die Randcurven der Rolle, die der Durchschnitt ergibt, bestehen also nicht aus den anstossenden Stücken der Gangeurven beiderlei Flächen; und lägen selbst die Tarsal- und Patellarflächen in demselben Niveau, es müsste doch wegen des Winkels, den die schiefe Ganglinie des Tarsaltheiles mit der geraden der Patellarfläche macht, in dem ebenen Durchschnitte, der beide Flächen trifft, ein Niveauunterschied oder ein Knickungswinkel sich herausstellen. Jene Gelenke daher, deren Condylus-Ganglinien weniger ablenken, werden reinere Sagittaldurchschnitte der ganzen Rolle ergeben als die, deren Gangeurve mit grösserem Ascensionswinkel ablenkt. Das ist eben auch am inneren Tarso-Phalangealgelenke der Fall.

Im Allgemeinen bildet daher die Patellarfläche eine sagittale Spiralrolle mit erhabenen Rändern, meist durch eine Furche von den Condylus-Flächen abgegrenzt.

Überall greifen die Patellen in der Beugelage des Gelenkes weiter zurück, beim Strauss und Trappen auf die eigentliche Tarsalrolle, bei den storchartigen aber auf die winkelig zwischen die Condylen eingeschobene Fläche, auf welche in der Strecklage die schief nach hinten, streckwärts, abfällige Fläche des Hakenfortsatzes congruent sich anpasst. Im strengeren

Sinne kann daher nur das Rollenstück Patellarfläche heissen, das nie mit dem Tarsus in Berührung kömmt. Die Curve dieses Rollenstückes, weil es bereits einem vom Pole entfernter liegenden Stücke der Spirale angehört, ist flacher, wegen seiner Kürze weniger charakteristisch, daher nur mit Hilfe der Condylus-Curven zu bestimmen. Eine andere Deutung der Patellarcurve werde ich am Schlusse dieser Abhandlung besprechen.

Die dritte Articulationsfläche, die an der Tarsalrolle vorkömmt, ist die der *Fossa supracondyloidea anterior*, oder nach der Analogie mit dem Ellbogengelenke benannt, *Fossa coronoidea*. In diese passt bei der Strecklage des Gelenkes der Haken des Tarsusknochens hinein. Von vorn ist sie in Fig. 18 abgebildet; ihre Form im sagittalen Durchschnitte ergeben die Figuren 19 und 20 vom Marabu und Fig. 22 vom Flamingo, die Lage des Hakens bei gestrecktem Gelenke die Fig. 18 und 20. Diese Grube ist seitlich von den Condylus-Leisten β und γ , von der Verbindungsleiste beider Condylen und von einer concaven Fläche gebildet, die nach oben und vorn über die *Incisura intercondyloidea* sich hinüberwölbt.

Offenbar muss auch die Curve dieser Fläche gleichen Ursprungs mit denen der Tarsalrolle sein, und zu demselben Polarsysteme der Grundspirale gehören. Den grössten Umfang hat diese Curve mitten zwischen den beiden Condylen; nach den Seiten verengt sie sich. Ihr geometrisches Verhältniss zu den Condylen und dem Haken ist aus dem Schema Fig. 21 zu entnehmen.

Da die Exeursion des Gelenkes nahezu zwei rechte Winkel umfasst, der Hakenfortsatz daher aus der Extensionslage in der *Incisura patellaris* einen Halbkreis umgehen muss, bis er in voller Beugelage diese Grube vollkommen ausfüllt und congruent an diese Curve sich anlegt, so werden die demselben Sagittalschnitt entsprechenden Gangeurven dieser Fläche und des Condylus scheidelrecht über einander stehen, d. h. gegengängige Spiralen sein. Die betreffenden Ganglinien des Condylus haben ihre Ausgangspunkte ober dem Pole, die der *Fossa coronoidea* unter dem Pole. Je nach der Tiefe der Grube werden die Ausgangspunkte ihrer Ganglinien höher oder tiefer unter dem Pole liegen. Die Curve der Fläche, die ein median geführter Sagittaldurchschnitt ergibt, und ihre gegenläufige spirale Ganglinie am Condylus sind im Schema durch einen verticalen Durchmesser mit einander verbunden und etwas markirt in der Zeichnung gehalten. In diesem Sinne ist auch die Form der *Fossa supracondyloidea* beim Strauss mit ihrer Platte *c* Fig. 13 zu deuten.

Der Hakenfortsatz (*Processus coronoideus*) des Tarsusknochens, in Fig. 18 in der Ansicht von vorn, in Fig. 23 von hinten, mit den zwei Condylus-Rollen, in Fig. 20 im sagittalen Durchschnitte dargestellt, hat zwei Flächen, deren eine convex ist, in voller Beugelage in die Grube sich einpasst, und eine nach hinten schief abfallende, die in voller Strecklage in den Winkel zwischen den Condylen vor der Patellarfläche sich anstemmt. Die convexe Fläche des Hakens senkt sich in die Diaphyse des Tarsusknochens ein Stück ein, daher an seiner vorderen Fläche eine Grube entsteht, in welche der schnabelförmige Vorsprung der Tibia ober der Hakengrube in der vollen Beugelage sich hineinlegt. Seitlich ist der Haken concav begrenzt mit Flächen, die in die tellerförmigen Tarsusflächen übergehen und der Convexität der Condylen entsprechen.

So schwierig es daher ist an der Tarsalrolle vom Strauss die Grundcurve kennen zu lernen, so leicht ist es, sie an den Tarso-Phalangealrollen vom Strauss und an den Tarsalrollen des Storches darzustellen. An der äusseren Tarso-Phalangealrolle vom Strauss ist wieder in reinster Form eine Schraubenfläche auf Grund von Körpern mit spiraler Basis

entwickelt, und die Tarsalgelenke der Störche bieten das beste Beispiel von Condylus-Formen, wie solche in Spiral-Charnieren vorkommen.

Es genügt nicht die Ansatzweise der Ligamente nur mit Rücksicht auf die am Knochen sichtbar ausgebildeten Höcker, Gruben und Rauigkeiten anzugeben, es soll auch wo möglich das geometrische Verhältniss bestimmt werden, in welchem die Bandapparate zu den Gangeurven stehen. Weber hat dies zuerst gethan. Er betrachtete die Fascikel der Lateralligamente am Ellbogengelenke als Radien der Gangeurve und versetzte deren Ursprünge in die Endpunkte der Umdrehungsaxe.

Bei einem nicht congruenten Gelenke, dessen Ganglinie eine abgewinkelte Linie ist, würde ein Bandapparat dann central befestigt zu nennen sein, wenn seine Ansätze der Evolute dieser Ganglinie folgen würden. Die einzelnen Bandfascikel wären dann die Radien der einzelnen Curventheile. Bei einem congruenten Gelenke, dessen Rolle ein Rotationskörper ist, lässt sich für die central befestigten Fasern des Bandes bei jeder Stellung eine gleichbleibende Spannung voraussetzen. Bei dem Ansätze in der Evolute der Ganglinien incongruenter Gelenke ist dies schon undenkbar; die grösste Spannung muss abwechselnd auf die einzelnen Fascikel übertragen werden, soll der Festigkeit des Gelenkes kein Eintrag geschehen. Untersucht man aber genauer die Ansatzreihe der Lateralligamente des Ellbogengelenkes, so sieht man, dass die Ursprungspunkte derselben den Höcker des *Condylus internus* umgreifen. Es lassen sich drei grössere Fascikel unterscheiden, ein mittleres, das unter dem Höcker entsteht, dann ein vor und ein hinter dem Höcker entstehendes Bündel.

Nothwendiger Weise muss auch da die Spannung und Erschlaffung der Bänder abwechselnd auf die einzelnen Bündel übertragen werden, und eine gleichmässige Spannung ist nur an den Fascikeln denkbar, die in dem beschränkten Umfange des Axenendes fixirt sind. Radien können daher die meisten Bündel der Lateralligamente nicht sein, die excentrisch befestigten müssen sich in ihrer Länge der jedesmaligen Excursionsfähigkeit des Gelenkes adaptiren; sie sind länger als die Distanz der einander gerade gegenüber liegenden Punkte beider Knochen. Hieraus ergibt sich, dass, wenn das Gelenk in der Mittellage eingestellt ist, aus der die vorderen Bündel der Extension, die hinteren der Flexion nachgeben sollen, wie bei anderen Gelenken, auch im Ellbogengelenk wenigstens die grösste Anzahl der Faserbündel erschlafft ist.

Diese excentrische Anheftungsweise der Bandfascikel bedingt nothwendig eine Durchkreuzung, man kann sagen eine fächerförmige Anordnung derselben. Am Ellbogengelenk des Hirsches (Fig. 25) ist diese Anordnung mit grosser Regelmässigkeit entwickelt. das *Ligamentum laterale externum* entsteht hier in einer Grube, deren unterer Rand äquidistant mit der Ganglinie begrenzt ist. Das Band muss bei den Bewegungen bald gefaltet, bald entfaltet werden, nimmt daher an Dicke bald ab, bald zu; wesshalb für die sich über einander schichtenden Fasern ein gewisser Spielraum nothwendig ist, der nach der Richtung, in welcher das Band sich faltet, vertieft wird. Einen solchen Spielraum gewinnt das Band an der inneren Seite des Ellbogengelenkes des Menschen dadurch, dass es sich an einem erhabenen Tuberculum befestigt; beim Hirsch aber, wo der Bandansatz in eine Grube fällt, muss der nöthige Spielraum von der Rollenbreite gewonnen werden. In der Beugelage des Gelenkes ist das Band am meisten gefaltet, dick, daher muss der Rollenrand vorne nach einwärts ablenken. Der Rollenrand entspricht aber vollkommen dem Verlaufe der Ganglinie, daher ist es hier die Wendelform der Rollenbasis,

welche den Spielraum für das sich faltende Band ergibt. Es ist nicht ohne Interesse zu bemerken, wie bei der geringen Aescension der Ganglinie am Ellbogengelenke des Menschen der Spielraum für das Band durch das vorragende Tuberculum gewonnen wird, beim Hirsch aber mit dem Ansatz des Bandes in einer Grube der Aescensionswinkel der Ganglinie sich vergrössert.

Wenn einerseits die Ablenkung der Ganglinie dem sich faltenden Bande Raum schafft, so ist es wieder andererseits, wo das Band in demselben Sinne angeordnet ist, das Fehlen eines Rollenstückes, welches diesen Spielraum verschafft. Beim Hirsch ist an der Ellbogenrolle innen, beim Menschen aussen, gegen das *Tuberculum radii* ein Stück der Rolle wie ausgebrochen. Sie bekommt dadurch in der horizontalen Projection eine trapezoidale Gestalt, deren ein Rand nach der Ganglinie schief geht, der andere dagegen mehr senkrecht auf die Axe gestellt die Ganglinie schneidet.

Die trapezoidale Form der Rollen wiederholt sich auch bei den incongruenten Gelenken. Der Streckrand der Rolle des Tarsalgelenkes, so wie des Tarso-Phalangealgelenkes sind, wie oben gezeigt wurde, schmaler und die Seitenränder asymmetrisch gegen ihn geneigt.

Betreffs der Gesetzmässigkeit der Bandansätze an congruenten Gelenken ergibt sich daher, dass eine centrale Befestigung nur in beschränktem Umfange ausführbar ist, dagegen zahlreiche Bündel der Lateralligamente im Umkreise der Axe sich befestigen. Berücksichtigt man namentlich die Fasern, die sich am Grubenrande beim Hirsche befestigen, welcher äquidistant mit der Ganglinie verläuft, so kann man sagen, dass sich die Lateralligamente in Curven befestigen, die mit den Ganglinien in gleichem Verhältniss zur Axe stehen, diese jedoch in engeren Touren umkreisen.

Nachdem die Ganglinie kein Kreis, sondern eine Schraubenlinie ist, so wird die Grube einen seichten Triichter bilden, dessen Wände spiral, entsprechend der Seitenansicht der Schraubentour, begrenzt sind. Begreiflich, dass die Fasern bei der Streckung gespannt werden, welche an dem vorderen und unteren Umfange der Bandgrube entstehen, dagegen in der Beugung jene, die nach hinten und oben vom Grubenrande entspringen.

Die in Fig. 25 mit *t* bezeichneten ganz oberflächlich liegenden Fasern entstehen schon ausser dem gesetzmässigen Verlaufe des Grubenrandes, und zwar vor der Axe. Diese sind als ein die Stabilität der Strecklage des Gelenkes sicherndes Verstärkungsfascikel anzusehen, dessen Maximum der Tension in die Strecklage, das Maximum der Relaxation aber in die Beugelage fällt.

Das Gelenk wird so zu sagen mit der Streckung zu-, mit der Beugung aufgeschraubt.

Auch bei den incongruenten Charnieren fallen die Ansätze der Lateralbänder und der ihnen analogen Bänder meistens in Gruben. Wie bei den congruenten geht auch hier die Rollenaxe, d. i. die Polaxe der einzelnen Ganglinien durch die Grube, und die Contouren der Grube werden sich auch wie die Ganglinien in Spiralen fassen lassen, und zwar mit Bezug auf dasselbe Polarsystem. Die fächerförmige Anordnung der Bandfasern, die Durchkreuzung und abwechselnde Spannung ihrer Bündel werden auch hier gefunden.

Beim Mangel an Vorsprüngen, die als Hemmungsapparate für die Streckung wirken könnten, ist die feste Einstellung dieser Gelenke eben nur den Bandapparaten übertragen. In dieser Beziehung bekommt ein, namentlich an den Tarsalgelenken ganz isolirtes Bänderpaar besondere Wichtigkeit. Die vorhin besprochenen Bänder reichen nicht hin die Strecklage des Gelenkes vollkommen fest herzustellen, da sie in einzelnen Bündeln auch in dieser Lage relaxirt sind; es tritt noch ein für die Strecklage besonders adaptirter Bandapparat

hinzu, das Analogon der oberflächlichen Fascikel am Ellbogengelenk vom Hirsch, durch welche erst das Bein befähigt wird als sichere Stütze die Leibeslast zu tragen. Diese Bänder heften sich oft weit von der Grube an, in welcher die tieferen Bänder entspringen. Da ihr Ansatz vom Gange des Gelenkes nicht wesentlich bedingt wird, sie dasselbe nur in bestimmten Lagen verstärken, so dürften sie mit dem Namen Verstärkungsbänder zu bezeichnen sein.

Diese Daten dürften Anhaltspunkte gewähren, um das Relief an den Rollenbasen incongruenter Gelenke deuten zu können.

Am Metatarso-Phalangealgelenke des Strausses gibt es nur ein Paar Lateral-ligamente, ein inneres und ein äusseres. Beide sind in Gruben befestigt, von denen die äussere mehr central, die innere dagegen excentrisch liegt. In die innere ragt von oben her der Griffel des Tarsusknochens, als verkümmerter Gelenkkopf der inneren Zehe. Der spirale Verlauf des Grubenrandes ist nicht zu verkennen. Vergleicht man die Linie mit der marginalen Ganglinie, so lassen sich beide auf denselben Pol zurückführen und sie dürften, wie es das Schema (Fig. 7) zeigt, zu einander gegengängig sich verhalten, so dass die Spirale der Ganglinie nur um zwei rechte Winkel um den Pol gedreht in die Marginalbegrenzung der Bandgrube fällt. So weit beide am Knochen ausgebildet sind, ist das Stück, welches die Bandgrube abgrenzt, ein dem Pole näher liegendes von geringerem Durchmesser. Die Ganglinie aber gehört den vom Pole entfernteren Umgängen der Spirale an. Der im Schema gegebene Durchmesser $a a'$ bezeichnet die Punkte, von denen aus beide Spiralen sich decken; in das von a' rückwärts vom Pole gehende Stück fallen die äussersten Ansätze des inneren Lateral-ligamentes. Die Wirkungsweise des Bandes ist aus dem Schema ersichtlich. Bei den verschiedenen Einstellungen des Gelenkes folgt die Spannung und Erschlaffung der Faserbündel immer der Richtung der Bewegung, so dass mit der Streckung die Spannung der Fasern längs der Ansatzcurve vom Pole aus fortschreitet, bei der Beugung dagegen die Erschlaffung gegen den Pol fortschreitet. Die bei a' angehefteten Fasern sind die letzten, die bei der Streckung gespannt werden, und die ersten, die bei der Beugung die Relaxation trifft. Sie werden aber bei fortschreitender Beugung abermals gespannt, und sie sind es, welche die Knochen, wenn auch locker, in der Beugelage in Berührung halten. Bei den Bewegungen des Gelenkes krämpt sich das Band um. Über diesem Bande liegt noch ein Fächer von verstärkenden Fasern, die theils von dem Tarsusgriffel, theils von der Tarsusröhre hinter dem Griffel entstehen.

Am Tarsalgelenke des Strausses müssen dreierlei Bänder unterschieden werden:

1. Lateralbänder,
2. Patellarbänder und
3. Bänder, die den Kreuzbändern im menschlichen Knie nach Lage und Wirkung analog sind.

Lateralligamente gibt es beiderseits zwei: ein oberflächliches, längeres, und ein tiefes, kürzeres. Letztere sollen zunächst besprochen werden.

Das *Ligamentum laterale breve internum* entsteht in dem tiefen Theile der oben beschriebenen Grube (Fig. 13 und 14) an der Seitenfläche der Rolle. Das Band ist in Fig. 9 abgebildet. Es besteht aus zwei über einander gefalteten Blättern, deren Fasern fächerförmig angeordnet sind.

Die Fasern verlaufen schief und durchkreuzen sich in spitzen Winkeln mit den Fasern des anderen Blattes. Denkt man sich die beiden Blätter bis zum Parallelismus ihrer Fasern

entfaltet, so wird entsprechend der Anheftung in der Grube der Tibiarolle das Band oben einen S-förmig gebogenen Rand bekommen. Das Stück, welches convex begrenzt ist, ist die oberflächliche, jenes, welches concav begrenzt ist, die tiefere Schichte des Bandes. Bei der Extension spannen sich hauptsächlich die oberflächlichen Fasern, und das ganze Band faltet sich mehr; nur die tiefen, streckwärts angehefteten Bandfascikel sind erschlafft. Diese spannen sich bei der Flexion; wird diese aber bis zur Berührung beider Knochen fortgesetzt, so erschlaffen auch sie. Bei einer Hyperextension schreitet die Spannung von der Beugeseite her auch auf die tieferen Fasern fort, unter Erschlaffung des hinteren Randes der oberflächlichen Fasersehichte.

Derselbe Bau und dasselbe Spiel der Fasern wiederholt sich im Wesentlichen am *Ligamentum laterale breve externum*. Auch hier schieben sich die Fasern in der Extensionslage stärker über einander. Der Spielraum für das Band wird durch die trapezoidale Form der Rolle gewonnen, innen läuft ihr Begrenzungsrand nach der schraubig auswärts ablenkenden Ganglinie, aussen fällt ein Stück Rolle an der Streckseite aus. Die Gelenksrolle ist da mehr in der Richtung der Basis der Grundrolle begrenzt.

Diese Begrenzung der Rolle und die Ansatzweise der Bänder erklären genügend die Formen der Seitenflächen. Da die Ganglinie schief gegen die Axe der Rolle gestellt ist, so wird sie eine flachere Curve sein als die Basalcurve der Grundwalze; der Begrenzungsrand der äusseren Fläche mit der Grundspirale verglichen weicht weniger von ihr ab und würde wohl genauer mit ihr übereinstimmen, wenn die Grundwalze nicht eine gewölbte rinnenförmige Schraubenfläche tragen würde, welche, wenn auch genau auf die Axe senkrecht durchschnitten, doch nie die Form der Basallinie ergeben kann. Der Verlauf der Spiralen, die die Bandgrube begrenzen und zum Ansatz der Bandfasern dienen, ist auf Fig. 14 durch die Schraffirung angegeben. Es ist dies die innere Fläche der linken Rolle eines *Str. Rhea*, dessen Bein mir macerirt zu Gebote stand. Der Endpunkt der Polaraxe ist durch einen Punkt bezeichnet. Dass diese Spiralen mit der marginalen Ganglinie convergiren und nicht wie am Tarso-Phalangealgelenk (Fig. 6) divergiren, daher der erhobene Saum der Rollenseite hier nach der Streckseite sich verschmälert, dort aber breiter wird, hat darin seinen Grund, dass die Bandansatzspiralen aus der spiral im Trichter eingedrehten Grube an die Oberfläche sich erheben, also von aussen nach innen ablenken, indess die Ganglinie mit ihnen gegenständig von innen nach aussen ablenkt. Es werden daher die einzelnen Bandansatzspiralen ungleich in die Begrenzungsfläche fallen. Die der Beugeseite näher auslaufenden werden früher von der Begrenzungsfläche getroffen als die weiter an der Streckseite aus der Tiefe sich entwickelnden Spiralen. An dem Metatarso-Phalangealgelenke fallen dagegen die Bandspiralen in der Grube mit den Gangspiralen mehr in parallele Ebenen. Von den Bandgruben gehen gegen den Rand der Fläche zwei seichte Furchen aus, in welche sich das Band bei der Extensionslage und bei der ungezwungenen Flexionslage hineinlegt. Sie sind in Fig. 14 bei *a* und *a'* bemerkbar.

Die langen Lateral-Ligamente sind die Verstärkungsbänder des Gelenkes; in der Beugelage gänzlich erschlafft, spannen sie sich in der Strecklage mit allen ihren Fasern, vergrössern daher die Festigkeit des Gelenkes, wenn das Bein gesteift ist und mit dem geringst möglichen Aufwande von Muskelkraft, hauptsächlich durch die Rigidität der Knochen und die Festigkeit des Bandapparates, den Leib trägt. Sie sind die Analoga der Lateralbänder des menschlichen Kniegelenkes. Das äussere ist kürzer, das innere dagegen sehr lang.

Beide befestigen sich ober dem Tibialhöcker in grösseren dreieckigen Flächen, ohne dass die Ansatzpunkte ihrer Fasern in das System der Spiralen sich einreihen liessen, die den tiefern Bändern zum Ansatz dienen; es sind so zu sagen excentrische Bänder. Das äussere heftet sich etwas tiefer an als das innere. Das äussere ist in zwei Schichten getheilt und deckt bei einem ausgewachsenen Exemplar theilweise den Streckrand des tiefern Ligamentes. Bei einem jungen Exemplar war es nur ein platter schmaler Strang, der mit dem tieferen Bande nach unten divergirt, so wie es vom Trappen in Fig. 15 gezeichnet ist.

Bemerkenswerther ist das innere lange Seitenband. Dieses bildet ein bis $\frac{1}{2}$ Zoll breites Band, das bei seinem Übertritte zum Tarsusknochen durch Abgabe von Fasern sich immer mehr verjüngt, strangförmig wird und, in eine feine Spitze endigend, bis zur Mitte des Tarsusknochens reicht. Fig. 9 ist es vom rechten Bein eines *Str. Camelus* dargestellt. Es entsteht weit über der Rolle von dem rauhen Dreiecke an der Seite der Diaphyse, in der Höhe der grossen, queren Faserschlinge, die die Sehnen der Flexoren des Tarsalgelenkes und Extensoren der Zehen umgreift. (Fig. 14 l von *Str. Rhea*, Fig. 13 l von *Str. Camelus*.) Sein hinterer Rand reicht am höchsten hinauf. Die Fasern seines vorderen Randes entstehen tief unten. Nach der Streckseite zu steht es mit der schmalen *Cartilago interarticularis* in Verbindung. Im Bereiche der Tibia ist es durch eine membranöse Verbindung an den hinteren Rand des *Tuberculum condyloideum* (t) befestiget. Diese Membran, in der Strecklage gänzlich erschlafft und ganz unter dem Bande verborgen, spannt sich in der Beugelage und verhütet, dass das Band, welches durch die Beugung gänzlich erschlafft wird und gegen die Condylus der Rolle über dem Ansatz des tieferen Bandes vorrückt, nicht darüber hinaus wegschnellt.

Das tibiaartig geformte obere Ende des Tarsusknochens tritt innen mit dem Knorrenrand weit über die Diaphysenfläche hinaus. Über diesen Knorren schreitet das Band in seiner ganzen Breite herüber, durch eine Bucht der Synovialkapsel von ihm geschieden; nur wenige Faserbündel gibt das Band an den Rändern ab, die dasselbe hier schon befestigen. Seine Hauptbefestigung fällt auf die Diaphyse des Tarsus. Da das Band über den Bogen, in welchem die Diaphyse des Tarsus gegen die breiten Knorren sich wölbt, mit seinen Fasern brückenartig herübergespannt ist, so bilden sich an der dem Knochen zugewendeten Seite desselben aus schief abwärts gehenden Fasern Ansätze, die eine Art *Membrana interossea* (m) bilden und bei abnehmendem Zwischenraum zwischen Knochen und Band nach unten sich verkürzen, bis das Band ganz in die Fläche des Knochens fällt. Dieser Befestigungsweise und seiner Länge verdankt das Band einen hohen Grad von Dehnbarkeit und Verschiebbarkeit. Ich muss noch bemerken, dass ich bei einem ausgewachsenen Exemplare das Band wie ein *Ligamentum flavum* gefärbt gefunden und unter dem Mikroskope grosse Massen von elastischem Gewebe nachgewiesen habe.

Dieses Band ist auch eine der wichtigsten Bedingungen des Federns, welches am Straussbeine durch das eigenthümlich Zuckende im Gange, selbst am lebenden Thiere, auffällt.

Der volle Umfang der Bewegung dieses Gelenkes beträgt nicht ganz zwei rechte Winkel, indem beide Knochen im Maximo der Extension nicht steil über einander liegen, sondern einen nach vorne beugewärts offenen sehr stumpfen Winkel von etwa 170° beschreiben. Stehen die Knochen in einem Winkel von 124° bis 127° gegen einander geneigt, so sind sie in labiler Lage eingestellt, von der aus sie, je nach der Richtung des Impulses, bald zur Beuge-, bald zur Streckseite herüber schnellen. Gegen diese Lage können sie nur nach Überwindung eines

nicht unbedeutenden Widerstandes geführt werden. Der Umfang der labilen Lage beträgt daher bei 3 Grade.

Wird das Gelenk abwechselnd gebogen und gestreckt, so bemerkt man, dass das Lateral-ligament, so oft die Knochen der labilen Lage sich nähern, stark gespannt und aufwärts verschoben wird. Dabei spannen sich die schiefen vom Bande zur Tarsusröhre gehenden Fasern so an, dass sie in noch mehr spitzigen Winkeln gegen sie zu liegen kommen. Einen Punkt, der unter dem Gelenke am Bande markirt wird, sieht man bei den Bewegungen auf und nieder gehen. Die Differenz seiner Lage beträgt 4 bis 5 Mm.

Den Mechanismus des Federns am Straussengelenke beschreibt Ch. Bell in seiner Abhandlung „Die Hand und ihre Eigenschaften“ folgendermassen: „An der Seite der Tibiarolle findet sich eine sanfte Erhebung (unser *Tuberculum condyloideum*) mit platter schlüpfriger Oberfläche und eine Rinne vorne und hinten. Bei gerader Stellung ist das Gelenkband in der tiefen Rinne am Rücken (hinten) der Erhöhung; wird aber das Bein gebogen, so gleitet das Band über die Erhöhung und geräth in die kleinere Rinne vorne. So spielt das Band bei Biegung und Ausdehnung des Beines über beide Seiten der Erhöhung wie über eine doppelt geneigte Fläche; es wird somit am stärksten ausgestreckt, wenn es den höchsten Punkt der convexen Erhöhung erreicht, und gleitet alsdann mit plötzlichem Rucke in die Rinne vorne und hinten“.

Die Abhandlung von Dumeril über das Fussgelenk des Storches, wo er das Federn des Gelenkes bespricht, konnte ich mir nicht verschaffen.

Jedenfalls ist die Structur dieses Bandes eine Hauptbedingung des Federns. Beschreibt man nämlich von dem geometrischen Mittelpunkte des oberen Ansatzes (Fig. 9 l) mit seiner verticalen Entfernung von der Gelenkfläche des Tarsus als Radius einen Kreis, so schneidet dieser den Knorren in einer Entfernung von der Gelenkfläche, die 4—5 Mm. betragen mag. Es ist klar, dass bei den Bewegungen des Gelenkes die Tibia auf der Tarsusfläche um so viel gehoben und das Band um so viel gedehnt und aufwärts verschoben werden muss, als die Differenz der beiden Radien beträgt. Ist die Contactlinie des Tarsusknochens bis zu dieser Stelle der Tibiarolle gekommen, so befindet sich das Gelenk in der labilen Lage. Je weiter gegen die oberen Ansätze des Bandes das Centrum des Kreises verlegt wird, desto grösser ist der Unterschied seines Abstandes von verschiedenen Punkten des Rollenrandes. Die hintern Fasern des Bandes werden also stärker gedehnt als die vorderen. Hieraus folgt ferner, dass je weiter ein solches Verstärkungsband von den Condylen, in welche die Reihenfolge der Drehungs-Axen fällt, entfernt, d. h. je mehr excentrisch, gegen die Streckseite zu, dasselbe sich befestiget, desto auffallender das Federn des Gelenkes wird und ein desto grösserer Widerstand gegen die labile Stellung zu überwinden ist.

Da das äussere Seitenband unter denselben Verhältnissen entsteht, so wird auch dieses in der labilen Lage gedehnt, daher mit eine Bedingung des Federns sein. Werden die langen Seitenbänder durchschnitten, so hört das Federn auf. Da die Spannung des inneren Bandes auch von der Integrität des äusseren abhängt, so wird eine Trennung dieses Bandes ebenfalls schon das Federn theilweise einstellen können.

Das Metatarso-Phalangealgelenk des Strausses federt nicht. Der Ansatz des verstärkenden für die Strecklage accommodirten Bandbündels fällt noch in die Ansatzgrube des tiefen Lateralligaments.

Das innere Seitenband gleitet, wie Ch. Bell richtig angibt, über das *Tuberculum condyloideum* der seitlichen Rollenfläche; dieses mag wohl auch einiges beitragen, um das Band

stärker zu spannen. Doch kann dieser Höcker nicht die alleinige Ursache des Federns sein, da bei anderen Vögeln, deren Tarsusgelenke auch federn, wie beim Trappen, Storch oder Flamingo ein solcher stärker vorragender Höcker nicht vorkömmt. Conf. in Fig. 15 das äussere Ligament vom linken Bein des Trappen, und Fig. 25 die inneren Ligamente vom Marabu. Dann gleiten auch die tiefen Bänder aus einer Furche (a' und a in Fig. 14) an der Beugeseite in eine an der Streckseite, also über einen etwas erhabenen Rand, und demnach federt das Gelenk nicht mehr, wenn die langen Lateralbänder durchschnitten sind. Leider hatte ich diesmal kein frisches federndes Bein zur Disposition, um die älteren Versuche zu wiederholen und die bestimmenden Momente des Federns an diesem Gelenke mit denen anderer Gelenke zu vergleichen.

Auffallend ist es, dass sich das Federn wohl an allen Gelenken einfindet, die Schraubenflächen haben und deren Ganglinien einen grössern Ascensionswinkel zeigen. Wesentlich bedingend ist immer eine für die bestimmte Stellung unzureichende Länge, namentlich der oberen Faserbündel, die wenigstens an den Extremitäten für die Strecklage des Gelenkes accommodirt sind, wo eben das Bein mit geringst möglichem Muskelaufwand den Leib zu tragen hat.

Auch zufällige Verkürzungen der Bänder können an Gelenken, die sonst nicht federn, das Schnellen hervorbringen. Bergmann sah ein menschliches Ellbogengelenk federn. Vielleicht hatte die schraubige Ablenkung bereits jenen Grad erreicht, der sich an den federn den Ellbogengelenken vom Pferd, Hirsch und anderen findet. Ich sah ein Ellbogengelenk federn, das eine Zeit lang in Pottasche lag, die Ligamente waren aufgequollen und dadurch verkürzt.

Ein langes Verstärkungsband hat auch das Tarsalgelenk vom Trappen an seiner äusseren Seite, welches mit dem kurzen in der Beugelage sich kreuzt. (Siehe Fig. 15.) Die Verstärkungs-Bänder beim Flamingo und Storch sind beiderseits kürzer. (Fig. 24.)

Die gemeinschaftliche Kapsel hat seitlich der Patella Verstärkungsfasern, die an dem hinteren Rande des *Tuberculum condyloideum* entstehen und als Haltbänder der Patella angesehen werden können. Ihre Befestigungsweise verhält sich nämlich zu der Patellar-Gangcurve in derselben Weise wie die Contouren der Grube für den Ansatz der Lateralligamente zu den Grundcurven der Spiralwalze; so wie die Patellarfläche Fortsetzung der Tarsalfläche ist, so fällt auch die Ansatzcurve der Haltbänder für die Patella in die Fortsetzung der Spiralen, an denen sich die Seitenbänder der Tarsalfläche befestigen. Die einzelnen Fascikeln der Bänder durchkreuzen sich ebenfalls, um nach jeder Richtung der bestimmten Excursionsweite folgen zu können.

Vorne an der Beugeseite folgt der Anheftungsrand der Kapsel genau der Begrenzung der Rolle, doch so, dass die *Fossa supracondyloidea (coronoidea)* mit in die Kapselhöhle aufgenommen ist. Beim Strauss scheidet aber ein breites zwischen der Rolle und der Hakenfläche entstehendes Band beide diese Flächen von einander. Es hat seitlich freie Ränder, bildet daher nur eine unvollkommene Scheidewand in der Kapsel, und setzt sich zugespitzt in der Grube vorne am Tarsus an, wo die Beugesehne des Gelenkes endigt. Im Maximo der Extension ist dieses frei in der Gelenkhöhle befindliche Band straff über die Rinne zwischen den Tarsus-Condylen herübergespannt. In der Beugelage ist es erschlafft und liegt zwischen den Tarsus-Condylen und der Hakenfläche der Tibia, so dass beide Knochen nicht in unmittelbare Berührung kommen. Es ist an seinem oberen Theile verdickt und bildet also eine Art von *Cartilago interarticularis*.

Von der Kapselwand, die da mit dem unteren Ansätze des Bandes verschmilzt, entsteht ein dünnes Muskelbündel, welches nach Art der Lumbrical-Muskeln mit der Beugesehne der Zehen sich vereinigt, eine Vorrichtung, um dieses in der Beugelage erschlaffte Band und die Kapsel regelmässig zu falten.

Dieses Ligament ist die erste Andeutung jenes Bandapparates, der als *Ligamenta cruciata* am Kniegelenke seine höchste Ausbildung erreicht. In derselben Form wiederholt sich auch das Band beim Trappen.

Beim Flamingo und Marabu löst es sich gänzlich von der Gelenkskapsel ab und bildet, entsprechend dem schmälern Zwischenraume der Condylen, ein dünnes Bändchen, das frei in die Gelenkhöhle aufgenommen, in sagittaler Richtung von der Spitze des Höckers am Tarsus zum Winkel der *Incisura patellaris* an der Tibia hinzieht (abgebildet in Fig. 20 vom linken Bein des Marabu).

Ist das Gelenk gebogen und liegt der Haken in der Grube, so fallen wegen der Congruenz der beiden sich nun berührenden Gelenkflächen die Ausgangspunkte beider Curven auf einander. Sie sind die Ansätze des Ligamentes, daher dieses in der Beugelage gänzlich erschlafft ist. Nur bei dem Versuche einer Hyperflexion, die aber durch die Berührung beider Knochen verhindert ist, könnte es wieder gespannt werden. Wird das Gelenk gestreckt, so entfernt sich der Haken von der Grube, doch nicht so, dass er einfach um ein Centrum gedreht würde, sondern er folgt der Ganglinie der Condylen, wie dies das Schema Fig. 21 erläutert. Er entfernt sich immer weiter von seiner Beugelage nach hinten und unten, wodurch das Band gespannt wird und bei senkrechter Einstellung des Tarsus horizontal zu liegen kommt (Fig. 20). Die Länge des Bandes entspricht der Sehne des Bogens, den die Ganglinie bildet, innerhalb welcher sich die Spitze des Hakens bewegt. Das Band ist also ein Hemmungsband nach der Streckrichtung des Gelenkes.

Die anderen Bandapparate dieser Gelenke, wie auch eine genauere Schilderung der Kapsel, der Haltbänder, der Sehnen und den Verlauf dieser glaube ich übergehen zu können.

Aus den besprochenen geometrischen Verhältnissen der Ganglinie und der Articulationsflächen werden sich nun die Erscheinungen erklären lassen, welche an dem Gelenke während seiner Bewegung beobachtet werden. Verglichen mit der Bewegung der Knochen in congruenten Gelenken, werden sich wesentliche Unterschiede herausstellen.

Bei Gelenken mit congruenten Articulationsflächen bleibt jeder Punkt der concaven Knochenfläche immer in Contact mit der convexen Rolle, kein Punkt hebt sich von der Rolle ab, die Knochenflächen gleiten in ihrer ganzen Ausdehnung über einander; die Axe ist fix; die Bewegung ist also eine drehende. Da ferner die Krümmungsradien für alle Punkte derselben Gangeurve gleich sind, so wird jeder bewegte Punkt bei gleichem Excursionswinkel des Gelenkes über jedem Rollenstücke gleich lange Wege zurücklegen.

An ineongruenten Gelenken bemerkt man, dass der Contact, der in der Strecklage ein vollkommener ist, gegen die Beugelage sich vermindert, indem der Streckrand der concaven Fläche sich von der Rolle immer mehr entfernt. Das Gelenk klappt gegen die Streckseite. Auch am Beugerande der concaven Fläche hat sich der Contact verringert, doch nirgends so auffallend wie an der Streckseite. Wenn man die Ganglinie der Tarsalrolle vom Strauss und zwar vom Rande der concaven Tarsusfläche aus markirt, so muss man den zeichnenden

Stift bei fortgesetzter Beugung immer nachschieben, um die vom Tarsus sich immer mehr entfernende Rolle mit der Spitze des Stiftes noch zu erreichen. Man bemerkt zugleich bei diesem Experimente, dass, je weiter die Flexion fortgeschritten ist, der Stift immer mehr vorgeschoben werden muss.

In den ersten Momenten der Beugung gräbt ein vorragender Stift in die Rolle auch eine Furche, die aber immer seichter wird, bis der Stift endlich ganz von der Rolle abgehoben wird. So lange der Stift in die Rolle eingreift, so lange gleitet der betreffende Knochentheil auf der Rolle; entfernt er sich von der Rolle, so kann man sagen, dass sich der betreffende Knochentheil von der Rolle abgewickelt hat.

Je weiter in die Tiefe des concaven Knochens, nämlich gegen die Mitte seiner tellerförmigen Gelenkfläche, der Stift eingelassen wird, eine desto längere Furche ritzt er in die Rolle, bis endlich ein Punkt erreicht wird, der beständig mit der Rolle in Contact bleibt. Dieser Punkt gleitet also immer über der Rolle, ohne sich von derselben abzuheben. Ich nenne diesen Punkt den Contactpunkt und die Linie, welche durch diesen Punkt in die Länge des concaven Knochens fällt, die Längsaxe desselben.

Diese Linie ist es, welche sich von der Axencurve des Gelenkes bei der Bewegung des concaven Tarsusknochens abwickelt. Ihr Eintrittspunkt in die Gelenkfläche ist der die Ganglinie beschreibende Punkt, der Contactpunkt.

Die Axe der Ellbogenröhre drehet sich daher im Gelenke um die fixe Axe, hier wickelt sich die Axe des Tarsusknochens oder der Phalanx von der Axencurve, der Evolute ab.

Man kann es ganz deutlich an jedem Gelenke beobachten, dass es besonders die nach der Streckseite zu liegenden Theile der concaven Gelenkfläche sind, welche von der Rolle sich abheben, und dass es einen Theil der Gelenkfläche gibt, der immer mit der Rolle in Contact bleibt. Je mehr excentrisch diese Längsaxe nach der Beugeseite zu liegt, d. h. je weiter zur Beugeseite die Axencurve der Tarsusrolle liegt, desto mehr wird das gebogene Gelenk an der Streckseite klaffen. Daher am Tarsalgelenk, dessen Rolle mit ihrem längeren Durchmesser, einschliesslich der Patellarfläche, quer auf die Axe der Tibia gestellt ist, das Klaffen auffallender sein wird als am Metatarso-Phalangealgelenke, dessen längerer Rollendurchmesser in die Richtung der Axe des Tarsusknochens fällt. Zudem ist die Tarsusrolle immer nach der schraubigen, also flacheren Gangeurve begrenzt, was auch ein stärkeres Klaffen hier bewirken muss.

Die Ursache des Klaffens liegt in Folgendem: In der Strecklage, wo das Gelenk gesteiht ist, und das Bein mit dem geringsten Aufwand von Muskelkraft die Last des Leibes tragen soll, daher möglichst viele Berührungspunkte als Unterstützungspunkte nothwendig sind, sind beide Flächen congruent. Wird die Delle des Tarsus in die Biegelage geführt, so kömmt sie auf Theile des *Condylus* zu liegen, die nach kleineren Radien gekrümmt sind; daher zwischen den Condylen oben und der Tarsusfläche unten ein Meniscusraum übrig bleiben muss, der anderweitig ausgefüllt wird.

Die Mittel, diese Incongruenz der Gelenkflächen auszugleichen und den Binnenraum des Gelenkes zu erfüllen, sind bekanntlich Fett- oder Fasermassen, die als Falten oder Menisci von der Kapselfläche hervorragten. Wie ich oben bemerkt habe, hängt die Grösse der Incongruenz ab von der Lage der sich abwickelnden Längsaxe in dem bewegten Knochen. Je mehr excentrisch sie liegt, desto grösser die Incongruenz. In Gelenken, wo die Incongruenz

gering ist, die Axe des Phalanx, z. B. im Tarso-Phalangealgelenke mehr central liegt, fehlen solche Menisci; so auch in kleineren Gelenken, wie im Tarsalgelenke vom Flamingo. Diese geringen Incongruenzen werden durch andere Mittel ausgeglichen, als Fettklumpen und Faser-Menisci.

Es sind dies zunächst die faserknorpeligen *Labra cartilaginea* an den Pfannenrändern. Wird die Phalanx im Tarso-Phalangealgelenke vom Strauss aus der Strecklage, wo die genaueste Congruenz zu sehen ist, in die Beugelage geführt, so ist der Contact nicht so verringert, als es die Verschiedenheit der sich berührenden Curvenstücke erwarten liesse, indem die meniscoidalen Zwischenräume durch hohe faserknorpelige Säume erfüllt werden, welche die Pfanne der Phalanx trägt, und die sich jeder Curve anzuschmiegen vermögen. Gewiss haben die Labra nicht allein den Zweck die Pfannen zu vergrössern, sondern auch den, den Curven der Pfannen innerhalb gewisser Grenzen eine Veränderlichkeit zu gestatten. Strenge genommen sind auch die Menisci nichts weiter als solche von der Kapselwand und der Pfanne losgelöste, daher verschiebbare *Labra cartilaginea*.

Ein anderes Mittel, kleinere Incongruenzen auszugleichen, liegt in dem Überzuge der concaven Articulationsflächen. Es besteht, wie ich am Tarsus vom Strauss, Marabu und Flamingo sehe, aus sogenanntem Faserknorpel. Stränge festen Bindegewebs gehen quer von einer zur anderen Seite brückenartig über die Vertiefung der knöchernen Pfanne. Zerstreute Knorpelkörperchen füllen die Lücken zwischen den Faserbündeln aus. Ich denke, dass dieser Bau des Gelenksknorpels dem erhabenen die Tarsuspfanne berührenden Condylus gestatten dürfte, sich etwas in die Tiefe der Pfanne einzuzwängen und sie damit in der Gange- richtung seiner stärkeren Krümmung anzupassen.

Bei der sich ergebenden Incongruenz beider Knochen in verschiedenen Lagen des Gelenkes ist auch noch die wechselnde Tiefe der Rolle in Anschlag zu bringen. Da nämlich die Rolle nach der Streckseite tiefer ist, in dieser Lage vollkommene Congruenz beider Knochen vorkommt, so sollte dann die Leiste zwischen den Dellen des anderen Knochens in der Beugelage aus der Tiefe der Rolle gehoben werden. Diese Incongruenz ist aber gänzlich beseitigt durch Einrichtungen, die später besprochen werden.

Betreffs der Länge des Weges, den bei einem bestimmten Excursionswinkel des Gelenkes der bewegte Knochen zurücklegt, stellt sich für die incongruenten Gelenke ein wesentlicher Unterschied von den congruenten heraus. Wie gesagt, an congruenten Gelenken ist bei gleichem Excursionswinkel für jeden bewegten Punkt der Weg gleich lang in jeder Bewegungsrichtung und an jedem Rollenstücke.

Um die Grösse des Excursionsbogens bei gleichem Excursionswinkel für die einzelnen Stücke der Gangeurve am incongruenten Charniere zu messen, habe ich am mittleren (grossen) Tarso-Phalangealgelenke des Strausses in die grösste Dicke der Phalanx, also möglichst nahe seiner Längsaxe, mit Schonung des Bandapparates einen Spalt gesägt, quer auf die Rolle in der Richtung der Drehungsaxe. Durch die Spalte wurde mit einer feinen Messerklinge ihr jeweiliger Stand an der Rolle eingeritzt. Ich bekam da eine Reihenfolge von queren Linien, die mit der entsprechenden Lage der Drehungsaxe in einer Ebene liegen und beiläufig den Radien des Spiralkegels als Rollenhälfte entsprechen. Ich werde diese Linien Contactlinien nennen. Beiläufig bemerkt, können diese Linien auch benützt werden, um die geometrische Form des Gelenkskörpers zu entwickeln.

Um bei der schwierigen Winkelmessung für je eine Excursion die Fehler möglichst zu beseitigen, gab ich dem Gelenke blos drei um je einen rechten Winkel von einander

abstehende Stellungen, bemerkte durch Markirung der Contactlinien die Strecklage, dann die Dorsal- und Plantarflexionslage. Im Schema Fig. 7 sind die drei Lagen mit e' , e'' , e''' bezeichnet als Durchschnittspunkte der Contactlinie mit dem Rollenrand. Die Zwischenräume sind ungleich. Der Weg, den die Phalanx aus der Plantarflexion in die Strecklage zurückgelegt hat, ist kleiner als der Weg, den sie von da zur Dorsalflexion gemacht hat. So weit es möglich war, auch kleinere Excursionswinkel mit einiger Sicherheit zu bestimmen und darnach die Marken einzureissen, so ergab sich auch von kleineren Curventheilen dasselbe Verhältniss. Die zur Plantarflexion näher liegenden, vom bewegten Knochen durchlaufenen Bogenstücke waren also für dieselbe Excursionsweite immer kleiner als die gegen die Streckseite. Der Grund dieser Verschiedenheit liegt in dem Bildungsgesetze der Gangcurve; ihre einzelnen Theilehen werden nämlich mit stätig wachsendem Radius beschrieben, daher die Grösse des Bogens bei gleichem Excursionswinkel dem Radius proportional wächst; und da die Verlängerung des Radius von der Grösse des abgewickelten Bogenstückes an der Axencurve, der Evolute, abhängt, so wird die Grösse des Excursionsbogens auch proportional sein dem abgewickelten Bogen der Axencurve, der Excursion der Drehungsaxe.

Nachdem nun die Lagerungsverhältnisse beider Gelenkflächen für die verschiedenen Gelenksstellungen besprochen sind, wird es möglich sein, die Art der Bewegung in den incongruenten Charnieren gegenüber der in congruenten zu charakterisiren.

Berücksichtigt man bloß die Bewegung des axial liegenden Punktes des concaven Knochens, d. h. des Contactpunktes, so muss man die Bewegung des Gelenkes eine gleitende nennen, da dieser Punkt scharf dem Laufe der Ganglinie folgt. Berücksichtigt man dagegen bloß die Bewegung des Streckrandes der Pfanne, so wird man, da er sich von der Rolle immer mehr entfernt, wie es die in dem Schema Fig. 7 gezeichnete Linie A zeigt, die Bewegung eine abwickelnde heissen müssen. Die Abwickelung wird für einzelne Punkte um so auffallender sein, je weiter sie von der Längsaxe des concaven Knochens vom Contactpunkt entfernt sind. Es combiniren sich also offenbar in diesen Gelenken beiderlei Bewegungen. „Der Oberschenkel rollt und schleift zugleich bei der Beugung und Streckung auf der Oberfläche der Tibia“, sagt Weber von der Bewegung des Knies. Der als Ende der Drehungsaxe angenommene Punkt der Oberschenkeleondylen verschiebt sich in sagittaler Richtung. Gegenüber der gleitenden und drehenden Bewegung am congruenten Charniere dürfte sich die Combination beiderlei Bewegungen an diesen Gelenken damit ersichtlich machen, dass man an einem beliebigen Radius eine Tangente als sagittalen Durchmesser des concaven Knochens zeichnet. Bei einem Kreisgelenke wird der Winkel zwischen der Tangente und dem Kreisbogen wegen constanter Krümmung desselben überall, also bei jeder Stellung des Gelenkes gleich bleiben. Bei den Gelenken mit spiralen Grundcurven wird aber von der Streckseite nach der Beugeseite zu wegen des immer kleiner werdenden Radius der Winkel immer mehr sich öffnen, etwa in der Art, als wenn man grössere und kleinere Kreise an eine gemeinschaftliche Tangente mit gemeinschaftlichem Berührungspunkte in einander zeichnen würde. Die Bögen dieser Kreise würden, je kleiner ihr Radius wird, um so mehr von der Tangente abweichen. Ungeachtet also der Constanz des Berührungspunktes, der gleitet, wird sich die Tangente, immer mehr gegen die Beugelage geführt, mit ihrem Ende von der Curve abheben, d. h.

abwickeln. Die Entfernung eines Punktes der Tangente von ihrem Berührungspunkte bestimmt den Grad der Abwicklung. Die Punkte des concaven Knochens, die der Längsaxe desselben, seinem Contactpunkte nämlich, nahe liegen, werden eine mehr gleitende Bewegung haben, die entfernteren dagegen eine mehr abwickelnde. Je weiter das Gelenk gegen die extreme Beugelage geführt wird, desto mehr nimmt der Grad der Abwicklung für jeden einzelnen Punkt zu. Wird die Bewegung nach der Strecklage geführt, so nimmt die Abwicklung wieder ab, die Berührung beider Knochen nimmt zu, und damit auch das Gleiten. Versucht man die Knochen in Hyperextension zu bringen, was dann gelingt, wenn der Bandapparat schon etwas gelockert ist, so geschieht die Bewegung dann nur mehr gleitend. Dieser Umstand nimmt auf die Reibung Einfluss, mit welcher die Bewegungen dieser Gelenke ausgelöst werden. Das Gleiten zweier Flächen über einander ist mit der grössten, das Abwickeln derselben von einander mit der geringsten Reibung verbunden. Da nun die Abwicklung mit der Beugung eintritt, der Umfang der Berührung beider Gelenkflächen in derselben Richtung abnimmt, so ergibt sich für die fortschreitende Beugung eine fortschreitende Abnahme der Reibung, die dagegen streckwärts sich vergrössert und in dem Momente ihr Maximum erreicht, wo die Knochen das Maximum der Strecklage erreichen, oder wenn aus voller Steifung des Beines die Beugung eingeleitet wird. Das Federn vergrössert wieder die Reibung bis über die labile Lage, von da nimmt sie aber dann rasch ab. Abgesehen vom wechselnden Muskeldrucke und der wechselnden Last, die mit der Bewegung zu überwinden ist, wird bei congruenten Gelenken die Reibung in jedem Momente der Bewegung dieselbe sein. Die vergrösserte Reibung an der Streckseite und das Federn der Gelenke sind Momente, die Stabilität des Beines zu vergrössern.

Was die Lage der fortschreitenden Drehungsaxe betrifft, so kann es keinem Zweifel unterliegen, dass sie in die Evoluten der Gangeurven fällt. Aus dem Schema ist die Form, Grösse und Lage dieser Curven für jedes der Gelenke zu entnehmen. In Übereinstimmung mit dem Eingangs besprochenen Experiment ist sie eine Curve, deren Convexität nach der Streckseite gerichtet ist. Ihr Umfang entspricht genau dem Umfange der Gangeurve, beziehungsweise dem Wege, den der Contactpunkt des concaven Knochens über der Rolle zurücklegt. Bei einer Bewegungsexcursion des Gelenkes um zwei rechte Winkel, wie am Tarsusgelenke, macht daher für die Beugebewegung die Axe rücksichtlich des Horizontes folgenden Weg: sie senkt sich, bis der bewegte Knochen einen Umgang von einem rechten Winkel gemacht hat, und schreitet zugleich nach der Beugeseite vor; für den zweiten rechtwinkligen Umgang erhebt sie sich wieder, ohne jedoch ihre ursprüngliche Höhe zu erreichen; in der Horizontalen schreitet sie noch weiter vor, so dass sie um den ganzen Durchmesser ihrer spiralen Windung bei der Bewegung horizontal sich verschiebt. Die Längsaxe der bewegten Knochenröhre wird somit nach einem Umgang von zwei Rechten sich mit ihrer ursprünglichen Lage parallel einstellen, aber beide Lagen fallen nicht zusammen, wie bei einem congruenten Gelenke mit fixer Axe.

Um sich an den beiliegenden Schemen den Gang des Gelenkes und die besprochenen Verhältnisse zu versinnlichen, empfehle ich folgendes Verfahren: Man zeichne sich die Contouren des concaven Knochens auf Strohpapier, bemerke seine Axe durch eine gerade Linie, lege diese tangential an die Evolute, so dass ihr Eintrittspunkt in der concaven Gelenkfläche (Contactfläche) die Ganglinie berührt und wickle sie gegen die Beugeseite auf, oder gegen die Streckseite ab, indem man sie um eine in die fortschreitenden Berührungspunkte mit der

Drehungsaxencurve eingestochene Nadel gleichförmig dreht. Die Schemata entsprechen sagittalen Durchschnitten, wobei aber der Schraubengang der Gangeurve unberücksichtigt blieb.

Durch dieses Verfahren werden die Bewegungen des concaven Knochens wiedergegeben. Um die Bewegungen der Rolle an den Schemen nachzuahmen, muss man den entgegengesetzten Weg einschlagen. Vorhin wurde die Axe als Tangente von der Axencurve abgewickelt, in diesem Falle muss die Axenspirale, die ja innerhalb der Rolle liegt, entlang der nun fixen tangentialen Axe bewegt, d. i. auf ihr abgerollt werden, in der Art, wie man ein Rad über einer geradlinigen Bahn fortrollen lässt. Zu dem Ende zeichne man auf ein Blatt Stropfpapier die Contouren der Rolle und die Umriss der Axenspirale, und bewege das Blatt über dem Schema so, dass es gleichförmig um eine Nadel gedreht wird, die in die neuen Berührungspunkte der Spirale mit der fixen tangentialen Längsaxe des Tarsus oder der Phalanx fortschreitend eingestochen wird. Bei Bewegungen des concaven Knochens macht also die Nadel im Schema den Weg der Axencurve, bei Bewegungen der Rolle legt sie einen geradlinigen Weg entlang der tangentialen Knochenaxe zurück.

Die Bewegung der Rolle muss schon deshalb vorgenommen werden, um das Gelenk unter denselben Verhältnissen zu beobachten, die Weber dem Knie gegeben, damit man die Ergebnisse mit denen Weber's in Parallele bringen kann.

Weber beobachtete, „dass die Linie, welche durch die Mittelpunkte der beiden Kreise geht, mit denen ein grosser Theil der spiralförmig gebogenen Gelenkflächen der Condylen fast zusammenfällt, und welche wir annäherungsweise als die Linie betrachten dürfen, welche am rollenden Oberschenkel der Radaxe entspricht, je nachdem das Gelenk gebogen oder gestreckt wurde, rückwärts oder vorwärts schreitet, ausserdem aber auch ab- und aufsteigt.“

Diese Linie als Vereinigungspunkt aller *Radii vectores* ist die Polaraxe der spiralen Rolle; in dem Schema mit p bezeichnet. Ist der Tarsus vertical befestigt, und wird eine Beugung vorgenommen, so muss dieser Punkt um so viel sich senken, als das abgewickelte Stück der Axencurve beträgt, und um so viel nach der Streckseite in horizontaler Projection verschoben werden, als die Differenz der beiden *Radii vectores* beträgt, welche am Anfang und Ende der Bewegung zum Berührungspunkte der Abwicklungstangente gezogen werden. Nach der Beugeseite verkleinert sich ja immer der *Radius vector*. Hat das Gelenk einen Umgang von zwei rechten Winkeln gemacht, so nimmt der Pol jetzt die mit p' im Schema Fig. 21 bezeichnete Lage ein. Berücksichtigt man aber den Gang des Centrum für die einzelnen Curventheilehen, von dem aus die Radien ausgehen, mit welchen die Drehung während den einzelnen Momenten der Bewegung ausgeführt wird, so wird man dasselbe, wie Weber es angegeben, bei der Beugung nach der Beugerichtung schief abfallen, bei der Streckung schief nach der Streckseite (im Knie nach vorne) aufsteigen sehen. Mit Hülfe des Schemas kann der Gang, z. B. des ersten Drehungspunktes e bei der Beugung verfolgt werden. Nach einer Drehung des Gelenkes um zwei rechte Winkel wird er die Lage von e' einnehmen. Den Grad der abwickelnden Bewegung eines bestimmten Knochentheiles ergibt der Abstand der horizontalen Projection seiner Endlage von der seiner Ausgangslage.

Da die Schraubenspirale gegen die Grundspirale mehr abgeflacht ist, so wird an den Schrauben-Charnieren das abwickelnde Moment der Bewegung nur noch auffallender sein.

Bis jetzt ist die Bewegung dieser Gelenke an einem Sagittalschnitt dargestellt worden. Ein Punkt, eigentlich seine nächste Umgebung, war in beständiger

Berührung mit der Rolle, der Contactpunkt. Offenbar muss, und man kann es auch an jedem Gelenke sehen, in jedem Sagittalschnitte des Gelenkes ein solcher Contactpunkt existiren. Es muss, mit anderen Worten, für jede Rollenhälfte (Condylus) eine mit ihr immer in Berührung bleibende Contactlinie geben, welche nie von der Articulationsfläche der Rolle sich abwickelt, auf ihr gleitet, und wesentlich die Umrisse derselben beschreibt.

Wäre eine solche Linie und die Axencurve in einer bestimmten Lage gegen einander gegeben, so liesse sich die Gestalt der Articulationsfläche ohne weiters entwickeln. Es fragt sich also, wie die Form und Lage der Contactlinie zu bestimmen sind.

Bei einem congruenten Gelenke wird die Contactlinie und die fixe Drehungsaxe in einer Ebene liegen und die Contactlinie wird der Durchschnittsrand der Rolle sein, wenn die Durchschnittsebene durch die Drehungsaxe gelegt ist. Bei einem Walzen-Charnier, dessen Rolle ein Rotationskörper ist, wird die Contactlinie als Erzeugungslinie um die fixe Drehungsaxe rotirt, die Rollenoberfläche, nämlich die Gelenkfläche beschreiben. Bei einem Schrauben-Charniere wird die gegebene Contactlinie nicht allein um die fixe Axe rotirt, sondern auch dem Ascensionswinkel der schraubigen Ganglinie entsprechend, nach der Axe seitlich verschoben werden müssen, um die Gelenkfläche zu erzeugen. Die Contactlinie ist für gekehrte Rollen congruenter Gelenke eine Curve einer Ebene.

Bei einem incongruenten reinen Charnier liegt die Axencurve in einer sagittalen Ebene. Die Contactlinie wird als Erzeugungslinie der Gelenkfläche eine constante Lage gegen die Axencurve und gegen die Sagittalschnitte beibehalten. Es muss die Contactlinie von der Axencurve in der Evolute abgewickelt werden, um die Gelenkfläche der incongruenten Rolle zu beschreiben. Wie die Mittelpunkte aller Sagittalschnitte eines congruenten Gelenkes eine gerade Linie als Axe ergeben, so wird die Summe aller Axencurven incongruenter Gelenke für alle Sagittalschnitte der Rolle eine Spiralwalze ergeben als Grund- oder Evolutenkörper. Man wird sich daher zuerst die Contactlinie als Summe der Contactpunkte aller Sagittalschnitte durch tangentialen Linien mit dem Evolutenkörper in Berührung gebracht denken müssen. Werden dann die tangentialen Linien von dem Evolutenkörper abgewickelt, so wird die Contactlinie die Articulationsfläche als Abwickelungsfläche beschreiben. Bei jedem congruenten Gelenke und bei einer walzenförmigen Spiralrolle ohne Kehlung wird die Contactlinie in die Ebene der fixen oder der fortschreitenden Drehungsaxe fallen, und die Contactlinien der beiden Rollenhälften zu einer Linie sich vereinigen. Führt man wie im oben besprochenen Experiment durch den Spalt des concaven Knochens in der Richtung der Axe einen Einschnitt auf die Rollenoberfläche, so ist damit die Contactlinie nach Form und Lage bestimmt. Anders bei den Spiralrollen, die gekehrt sind.

Ein wichtiger Unterschied der incongruenten Gelenkrollen von denen der congruenten macht die nach der Streckseite zunehmende Tiefe derselben. Der Grund dieser Verschiedenheit liegt darin, dass die Spiralen der Rollenfurche nicht äquidistant sind den Spiralen der Rollenleisten, wie an einer Kreisrolle, wo die Durchschnitte concentrische Kreise ergeben. Zwar sind die Tangenten grösserer und kleinerer Spiralen desselben Polarsystems für denselben *Radius vector* unter sich parallel (Fig. 8, A); aber die Normalen beider Tangenten fallen nicht als gemeinschaftlicher Radius beider Curvenstücke zusammen, daher können auch die Evoluten der einzelnen Sagittalschnitte nicht zusammenfallen.

Denkt man sich das Gelenk z. B. um die Axencurve des grössten Sagittalschnittes bewegt, so würden Punkte, die der Rollenfurche entsprechen, wenn sie in der Ebene dieser Axe liegen, nicht den spiralen Ganglinien der Rollenfurche folgen, sondern würden Wege beschreiben, die äquidistant sind dem Wege, den der Contactpunkt am grössten Sagittalschnitte zurücklegt. Es müsste nothwendig die in die Rollenfurche eingepresste Leiste des concaven Knochens nach der Beugeseite zu in die Rollenfurche eingedrängt werden; was eben am Gelenke nicht zu sehen ist. Offenbar kann also die Contactlinie nicht mit der fortschreitenden Axe in einer Ebene liegen, wie bei congruenten Gelenken oder nicht gekehlten Spiralwalzen; daher auch die Contactlinien beider Rollenhälften nicht in eine quere (frontal liegende) Linie zusammenfallen können. Die Contactlinien beider Condylen müssen also zusammen einen Winkel beschreiben, d. h. es müssen die Punkte der Rollenfurche aus der Ebene der Drehungsaxe weichen. Genauer Contact der ganzen concaven Fläche findet nur in der Strecklage Statt; es ist also einsichtlich, dass die Contactpunkte der Rollentiefe nicht nach der Streckseite, sondern nach der Beugeseite aus der Axenebene weichen müssen, da sie sonst von der Rollenoberfläche bei der Beugung sich abheben (abwickeln) würden, wesshalb die Contactlinien beider Knorren einen streckwärts offenen Winkel einschliessen müssen.

Es ergibt dies auch die Ansicht des Präparates; so das obere Ende des Tarsus vom Flamingo Fig. 23 [confer. Fig. 15 meines dritten Beitrages], sowohl in den Krümmungen des concaven Knochens, wo die tellerförmigen Gelenkflächen für die Condylen sich schief auf- und beugwärts in die Seitenfläche des Hakens fortsetzen und in dieser Richtung auch verschmälern, als auch die Gangweise des Gelenkes, indem das Hakenende mit dem Condylus stets in Contact bleibt, dagegen die streckwärts liegenden Theile der Tarsusdelle sich bei der Beugung abwickeln.

Wegen der doppelten Krümmung der Condylen, in sagittaler und frontaler Richtung, wird die in der angegebenen schiefen Richtung darüber weggehende Contactlinie natürlich auch eine doppelte Krümmung haben, eine Curve im Raume sein müssen.

Näheren Aufschluss über die Lage und Form der Contactlinien in sagittaler Richtung ergibt wieder das Schema Fig. 21.

Es hat sich darum gehandelt, in dem Schema solche Punkte in den einzelnen tieferen Ganglinien, Sagittalschnitten, zu finden, die bei Verschiebung der Axe in der Evolute der grössten Gangcurve nicht mit letzterer äquidistant, sondern ihren Gangcurven entlang sich bewegen. Diese Punkte sind in dem Schema experimental ermittelt und bezeichnet worden; die sie verbindende Curve ist also die Contactlinie (C). Ihre Lage bei einer Drehung des Gelenkes um einen rechten Winkel ist mit C^2 bezeichnet.

Die Gesetzmässigkeit in den Abständen der einzelnen Contactpunkte von einander lassen an der Regelmässigkeit dieser Curve nicht zweifeln; sie hat dieselben geometrischen Eigenschaften wie die Gangcurven selbst.

Die Lage der Contactlinie in frontal-perspectivischer Ansicht zeigt Fig. 23 am oberen Ende des Tarsusknochens vom Flamingo [besser Fig. 15 meines dritten Beitrages], an welchen auch die Convergenz der vorderen Ränder der Tarsalteller zu betrachten ist.

Es lässt sich daher der Gang des Gelenkes ganz gut in Einklang bringen mit einer Axe, welche die symmetrisch gelegenen Punkte der Evoluten verbindet, die den grössten Sagittalschnitten der Rollenbasen, beider Condylen nämlich, zukommen.

Die Axe wird in parallelen Lagen verschoben, und von ihr eine Spiralwalze, den oben erwähnten Evolutenkörper, umschreiben, wenn beide Rollenhälften gleich grosse Sagittalschnitte haben, oder sie wird in ihren Lagen den Mantel eines Spiralkegels beschreiben, wenn eine Rollenbasis einen kleineren Umfang hat als die andere.

Vorhin wurde bemerkt, dass die Evolutencurve im Umfange mit der Gangeurve übereinstimme, sie wird aber nicht ganz von der Axe durchlaufen. Die Gangeurve der Condylen mit der der Patellarfläche ergibt einen Umfang von nahe drei rechten Winkeln. Die Patellarfläche abgerechnet, bleibt als Spielraum für die Flexionsbewegung nur der Theil der Rolle, welchen der Sagittaldurchmesser des concaven Knochens nicht deckt; er beträgt für die Tarsalgelenke nahe zwei Rechte. Diesen Weg legt der Contactpunkt des grössten Sagittalschnittes zurück, und in diesem Umfange wird also auch die Evolutencurve von der beweglichen Axe durchlaufen. Hat ein Gelenk einen grösseren Bewegungsumfang, wie das Tarsophalangealgelenk, dann wird auch die Drehungsaxe ein grösseres Stück der Evolute umschreiben.

Die Entstehungsweise der Gangeurve ergibt auch die Richtung, in welcher die Axe innerhalb der Evolutencurve sich bewegt. Bei der Streckung steigt sie bogig nach hinten auf, bei der Beugung fällt sie nach vorn beugewärts ab; im ersten Falle vergrössert sich der Radius, im zweiten wird er stetig verkleinert.

Ich bemerkte eben, dass der Abstand der einzelnen Contactpunkte von einander darauf hinweise, dass die Contactlinie zu demselben Systeme der Spiralen gehöre, wie die Ganglinien. Da nun die Contactpunkte zunächst in der vollen Strecklage des Gelenkes bestimmt und in das Schema eingetragen wurden, so muss, wenn die Contactlinie eine Spirale desselben Systems ist, sie auf jene Lage des Poles zu beziehen sein, die derselbe in der Beugelage des Gelenkes einnimmt, also auf p' des Schema Fig. 21. Der vorgenommene Versuch bestätigte die Annahme, die Contactlinie wurde ergänzt und in punktirten Linien um die Beugelage des Poles herumgeführt. Da die Contactlinie ferner in den Haken des Tarsus fällt, so wird, wenn dieser gegen die fixe Rolle gebogen wird, nothwendig die Contactlinie dann mit den Ganglinien der Condylen und der Hakengrube auf den Pol p zu beziehen sein.

Das Schema weist ferner nach, dass die Contactlinie, die in das Bereich des Hakenfortsatzes fällt, auch mit dessen vorderen sagittalen Flächencurve unipolar ist. In voller Beugelage deckt sie also als Fortsetzung derselben eine der Ganglinien des Condylus, und zwar nothwendiger Weise die grösste, deren Evolute die Axencurve ist, und aus welcher der Contactpunkt sich nie entfernen darf.

Die Seitenflächen des Hakenfortsatzes und die inneren Flächen der Condylen sind in ihren Curven mit einander congruent, was an einem concav, ist am anderen convex.

Die vordere (beugewärts) liegende convexe Gelenkfläche des Hakens fällt in voller Beugelage in die concave Hakengrube, deren Curve wieder unipolar mit dem Curvensysteme der Condylen ist. Alle Flächen sind daher sagittal in demselben Sinne gekrümmt, und es lässt sich also die Bewegung in diesen Gelenken kurz so definiren, dass zwei congruente unipolare Spiralsysteme, das des Hakens und der Contactlinie einerseits, und das der Hakengrube und der Condylä andererseits sich in der Evolute der grössten Umfangcurve von einander abwickeln.

Projicirt man sich die einzelnen Contactpunkte in der Beugelage entlang einer Geraden als Polaxe, in gleich weiten Abständen in die Tiefe, denkt sie

mit einer geraden Linie als Drehungsaxe in Verbindung, die der evoluten Curve, sich drehend, folgt, so werden damit die Umrisse der Condylusfläche und ihre Ganglinien beschrieben werden. Wie sich nun die Curven des Hakenfortsatzes als Curven desselben Gesetzes wie die der Condylen erweisen, von den Condyluseurven aber in der Strecklage des Gelenkes abgewickelt sich einstellen, so dürfte es vielleicht möglich sein, auch die Sagittaleurven der Patellarflächen, die entschieden demselben Systeme zugehören, ebenfalls in einer aber bleibenden Abwickelungsstellung gegenüber den Condyluseurven aufzufassen, so dass die Patellareurven einen anderen Pol hätten als die Condyluseurven. Die Lage dieses Poles wäre aber durch die Abwickelung der grössten Condyluseurve von ihrer Evolute und zwar über zwei rechte Winkel hinaus bestimmt.

Mit Recht bemerkt Henle, dass die incongruenten Gelenke im menschlichen Körper zahlreicher sind als man glaubt; es dürften sich Formen finden, die von den besprochenen wesentlich abweichen. Meine Untersuchungen beschränkten sich für jetzt bloß auf die incongruenten Charniere, die ich Abwickelungs-Charniere nennen möchte.

Weit entfernt, die Untersuchungen dieser so complicirten Gelenksformen für abgeschlossen zu halten, so glaube ich doch durch den Versuch, Schemata derselben zu entwerfen, sie einer strengeren mechanischen Behandlung zugänglicher gemacht zu haben. Den congruenten oder Drehungs-Charnieren lassen sie sich jetzt schon scharf gegenüberstellen. Ich möchte die charakteristischen Unterschiede beider in folgende Punkte zusammenfassen:

1. Bei congruenten Charnieren ist die Contactlinie als Erzeugungslinie der Rollencurven eine ebene Curve, die um eine fixe Axe sich dreht; beide liegen in einer Ebene.

2. Bei incongruenten Charnieren ist die Contactlinie eine Curve im Raum, deren sagittale Projection mit den Gangeurven identisch, von ihrer eigenen Evolute sich abwickelt. Durch die fortschreitende Axe und die Contactlinie lässt sich keine ebene Fläche legen.

3. Congruente Charniere können daher nach Art ihrer Bewegung Drehungs-Charniere, incongruente Abwickelungs-Charniere genannt werden.

4. Die Ganglinie ist in beiden Fällen eine Schraubenlinie; die Articulationsfläche der Rollen eine Schraubenfläche.

5. Die Grundkörper congruenter Charniere sind Rotationskörper.

Der Mantel der Grundrollen incongruenter Gelenke ist eine Abwickelungsfläche, die Basalcurve, ersterer ein Kreis, letzterer eine Spirale, die sich eng an die logarithmische Spirale anschliesst, mit nicht-äquidistanten Umgängen. Da die Schraubenform der Ganglinien bei beiden zu finden ist, so dürften die Rollen nach den Grundcurven unterschieden und erstere Kreisrollen, letztere Spiralrollen genannt werden können.

6. Charakteristisch für die Spiralrollen ist die streckwärts zunehmende Tiefe derselben, und die vollständige Asymmetrie ihrer Hälften, Condylen.

Ich erwähnte Eingangs, es seien die Charniere des Vogelbeines der Schlüssel zum Verständnisse der noch verwickelteren Formen am Knie. So weit am Knie die Bewegung im Charniere geschieht, lassen sich die besprochenen Verhältnisse meist unmittelbar darauf übertragen, so z. B. dass beide Condyli eine Rolle bilden, deren Grundcurve eine der logarithmischen nahe stehende Spirale ist, dass die Gelenkflächen Schraubenflächen sind, mit

auswärts gerichtetem Gange. Die Incongruenz beider Condylen findet auch schon in dem Besprochenen theilweise ihre Erklärung.

Ich habe mich in dieser Abhandlung mehrfach auf das Kniegelenk bezogen, doch behalte ich mir vor, meine Untersuchungen über das Knie in nächster Zeit zu veröffentlichen.

Da es mir bei diesen Untersuchungen weniger um die Darstellung der fortlaufenden Formreihe der Gelenkkörper, als vielmehr nur um die typische Feststellung dieser Formen zu thun war, habe ich daher nur einzelne Vogelgeschlechter im Detail untersucht. Sollte es gelingen den mechanischen Werth dieser Gelenksformen zu bestimmen, so wäre es eine lohnende Arbeit, in diesem Sinne, mit Berücksichtigung der Lebensweise, die vergleichend-anatomische Untersuchung auf die ganze Classe der Vögel auszudehnen.

Digitized by the Harvard University, Ernst Mayr Library of the Museum of Comparative Zoology (Cambridge, MA). Original Download from The Biodiversity Heritage Library <http://www.biodiversitylibrary.org/>

ERKLÄRUNG DER ABBILDUNGEN.

Alle Figuren 1—13 beziehen sich auf *Struthio Camelus*.

Fig. 1. Gelenksrolle der äusseren Zehe am unteren Ende des rechten Tarsus-Knochens, in der Ansicht von vorne.

Fig. 2. Ihr geometrisches Schema.

Fig. 3. Ihre innere Fläche.

Fig. 4. Die Gelenksrolle der inneren und äusseren Zehe desselben Beines; Ansicht von vorne.

Fig. 5. Schema der inneren Zehenrolle; ihre Contouren sind mit fetten Strichen ausgeführt. Die punktirten Linien geben die Contouren einer geradegängigen Spiral-Rolle; die ausgezogenen einer rechtswendigen spiralen Schraubenrolle.

δ . Richtung eines sagittalen geraden Durchschnittes.

Fig. 6. Innenfläche der inneren Zehenrolle, mit dem rudimentären Gelenkskopfe für die mangelnde dritte Zehe.

Fig. 7. Geometrisches Schema dieses Gelenkes, mit dem *Ligamentum laterale internum*. Die *Phalanx prima* der grossen (inneren) Zehe in drei Lagen eingestellt.

a b . Marginale grösste Gang-Curve der Rolle.

a' b' . Ihre gegengängige Spirale mit dem Bandansatz. Beide durch einen Durchmesser a a' verbunden.

α β . Die Evolute der marginalen Ganglinie.

γ^1 γ^2 γ^3 Axe der Phalanx in drei rechtwinklich von einander abstehenden Lagen tangential an der Evolute angelegt.

c^1 c^2 c^3 . Drei Lagen des Contact-Punktes, der entlang der Ganglinie a b gleitet.

A . Die Curve, in welcher sich der Streckrand der Gelenkfläche der Phalanx von der Rolle abwickelt.

Ein Punkt bezeichnet die Lage des Poles für alle drei Spiralen.

Fig. 8. A und B . Construction zweier symmetrischer gerader Spiralkegel mit linksläufigen Schraubenstücken. Der Kegel A ist links-wendig eingerollt, der Kegel B rechtswendig.

Fig. 9. Tarsal-Gelenk des rechten Beines, mit beiden Lateral-Ligamenten. Ansicht von innen, l geometrischer Mittelpunkt des oberen Ansatzes des langen Ligamentes; m die schiefen Ansatzfasern dieses Bandes an der Tarsus-Röhre.

Fig. 10. Die Tarsus-Rolle der Tibia desselben Beines, in der Ansicht von unten. Die punktirten Linien geben den Verlauf der marginalen Ganglinien und die Grenze gegen die Patellarfläche an. Die Lage der Pol-Axe mit einer ausgezogenen Linie ersichtlich gemacht.

Fig. 11. Ihr geometrisches Schema; eine linksläufige spirale Schraubenrolle.

Fig. 12. Äussere Ansicht dieser Rolle desselben Beines.

p . Grenze der Patellarfläche.

Fig. 13. Innere Ansicht derselben Rolle.

p . Grenze der Patellarfläche.

t . *Tuberculum condyloideum*.

l . Oberer Ansatz des inneren langen Lateral-Ligamentes.

C . Überknorpelte Platte der *Fossa supracondyloidea*, deren Sagittal-Contour punktiert eingetragen ist.

Fig. 14. Innere Ansicht der linken Tarsal-Rolle von *Struthio Rheas*.

a a' . Furchen zur Aufnahme des inneren kurzen Lateral-Ligamentes in der Streck- und Beugelage.

t . *Tuberculum condyloideum*.

l . Oberer Ansatz des langen inneren Lateral-Ligamentes.

Lage des Poles roth bezeichnet; so auch in Fig. 12 und Fig. 13.

Fig. 15. Äussere Ansicht des linken Tarsal-Gelenkes mit den Lateral-Ligamenten von *Otis tarda*.

Fig. 16. Linkes Tarsal-Gelenk vom Flamingo, gebogen, in der Ansicht von hinten.

Fig. 17. Linkes Tarsal-Gelenk vom Marabu, in derselben Lage und Ansicht. Die Pfeile geben die Richtung der Ganglinie an.

- Fig. 18. Rechtes Tarsal-Gelenk vom Flamingo, gestreckt, in der Ansicht von vorne.
- Fig. 19. Äusserer Condylus des linken Tarsal-Gelenkes vom Marabu; etwas vergrössert.
- Fig. 19. A. Dessen sagittaler Durchschnitt in natürlicher Grösse.
- Fig. 20. Sagittaler Median-Durchschnitt des linken Tarsal-Gelenkes vom Marabu; äussere Hälfte mit dem Hakenbande.
- Fig. 21. Sein Schema; der Tarsusknochen in zwei Einstellungen.
- p. Gemeinschaftlicher Pol der Ganglinien des Condylus und der Curven der Hakengrube.
- p'. Seine Lage bei gebogener Rolle.
- e. Erster Drehungs-Punkt zur Flexion.
- e'. Lage desselben bei vollendeter Flexion.
- $t^1 t^2 t^3$. Axe des Tarsusknochens in drei Lagen, tangential angelegt an die Evolute (Axen-Curve).
- $C^1 C^2 C^3$. Die Contactlinie in drei Lagen des Gelenkes; mit den bezeichneten Contactpuneten der einzelnen Sagittalschnitte (Ganglinien).
- Fig. 22. *Condylus externus* der linken Tarsal-Rolle vom Flamingo.
- α . Ausgangslinie für die Gang-Curven des Condylus.
- β . Kleinste Ganglinie.
- δ . Sagittale Durchschnitts-Curve der Hakengrube (*Fossa supracondylaridea*).
- Fig. 23. Oberes Ende des linken Tarsus-Knochens vom Flamingo, mit der punktiert eingezeichneten Contactlinie. Ansicht von hinten.
- Fig. 24. Innere Lateral-Bänder des linken Tarsal-Gelenkes vom Marabu.
- Fig. 25. Äussere Lateral-Ligamente des rechten Ellhohengelenkes vom Hirsche.
- Fig. 26. Geometrische Construction der Kreis-Evolventen.
- a a. Der gemeinen,
- e e'. der vom Mittelpunkt ausgehenden verlängerten.
- Unter den von der oberen Peripherie entstehenden verlängerten Kreis-Evolventen ist b β diejenige, welche der in Fig. 29 construirten logarithmischen Spirale zu Grunde liegt.
- Fig. 27. Verlängerte Evolventen zweier concentrischer Kreise als Begrenzungen eines abgewickelten Kegelmantels, dessen Radien ihre Verbindungslinien $r r$ sind.
- e e'. Die Evoluten der beiden verlängerten Kreis-Evolventen.
- Fig. 28. Der abgewickelte Mantel eines geraden, wendelförmig begrenzten Kegels, perspectivisch dargestellt.
- Fig. 29. Eine logarithmische Spirale, mit ihrer Evoluten-Spirale, den Radien und den *Radii rectores*.

Fig. 1.



Fig. 7.

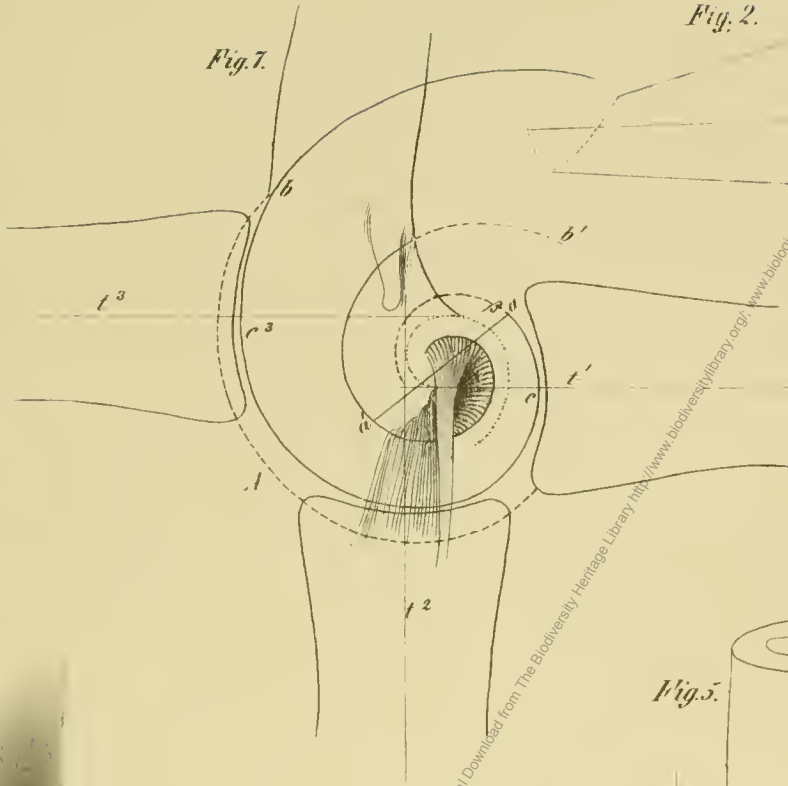


Fig. 2.

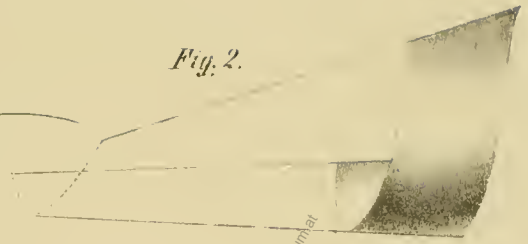


Fig. 3.



Fig. 4.



Fig. 6.



Fig. 5.

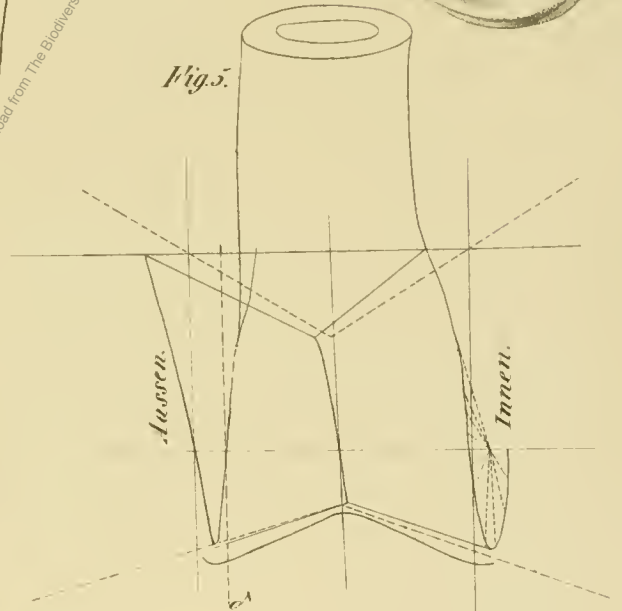


Fig. 8. A.

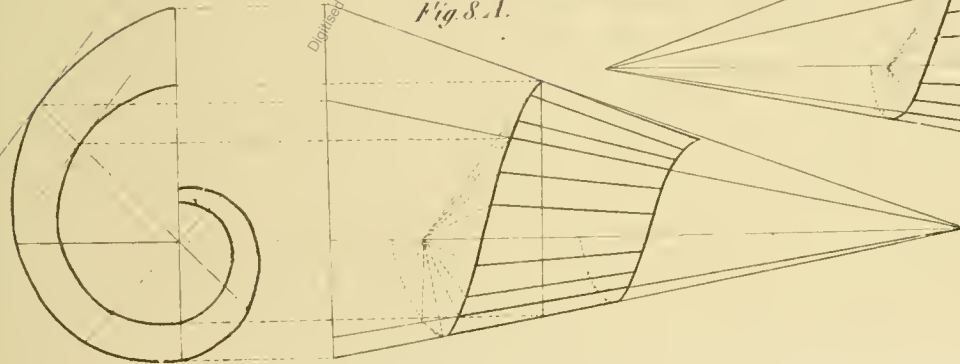


Fig. 8. B.

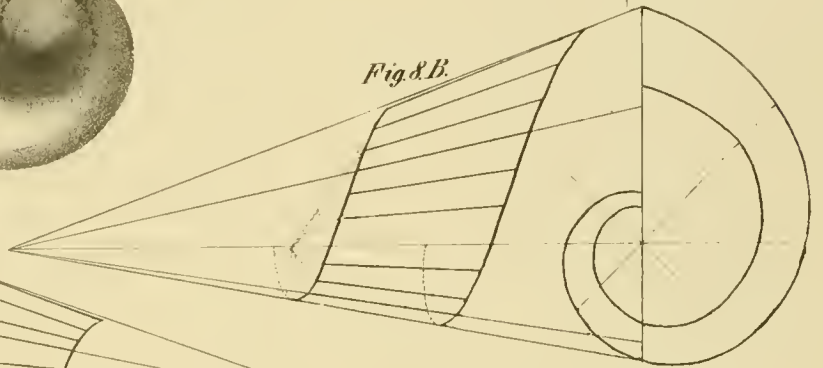


Fig. 12.



Fig. 10.

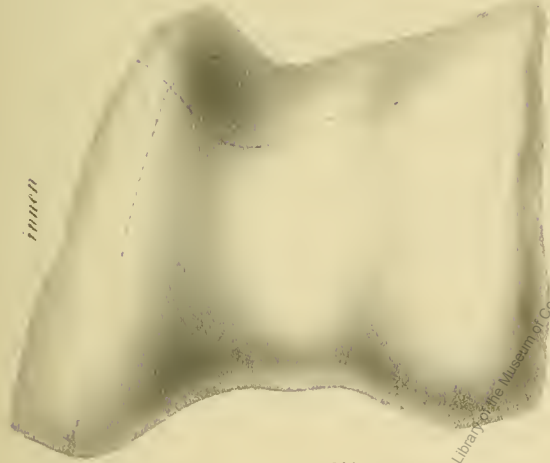


Fig. 11.

Streck-Seite

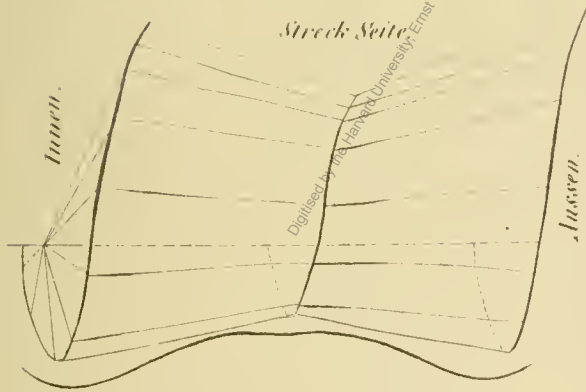


Fig. 9.



Fig. 14.

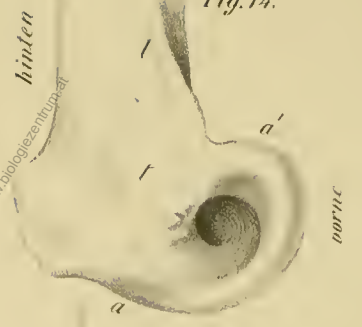


Fig. 15.



Fig. 13.

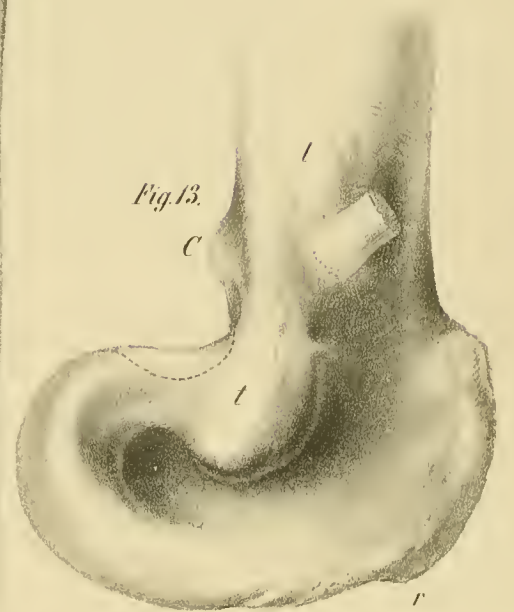


Fig. 16.



Fig. 21.



Fig. 17.



Fig. 20.

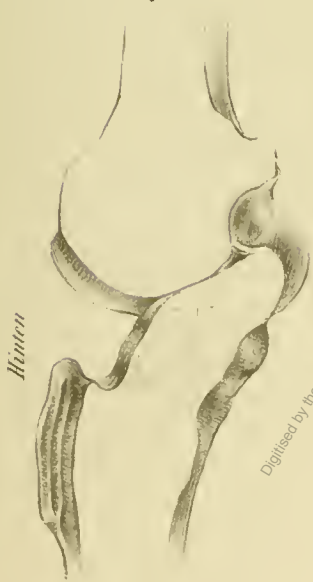


Fig. 19 A.



Fig. 19.



Fig. 18.



Digitized by the **Harvard** University, Ernst Mayr Library of the Museum of Comparative Zoology (Cambridge, MA). Original Downloaded from The Biodiversity Heritage Library <http://www.biodiversitylibrary.org/>; www.biodiversitylibrary.org

Fig. 27.

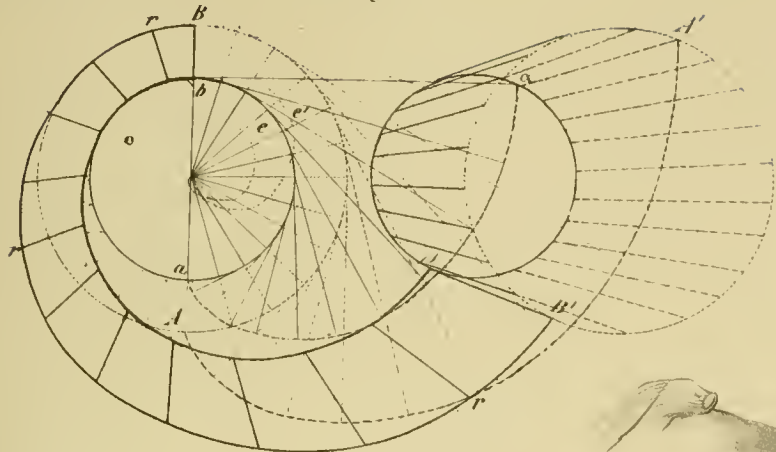


Fig. 28.

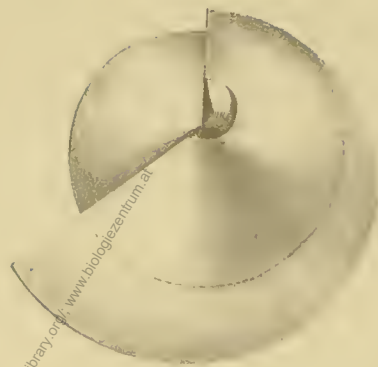


Fig. 22.



Fig. 25.

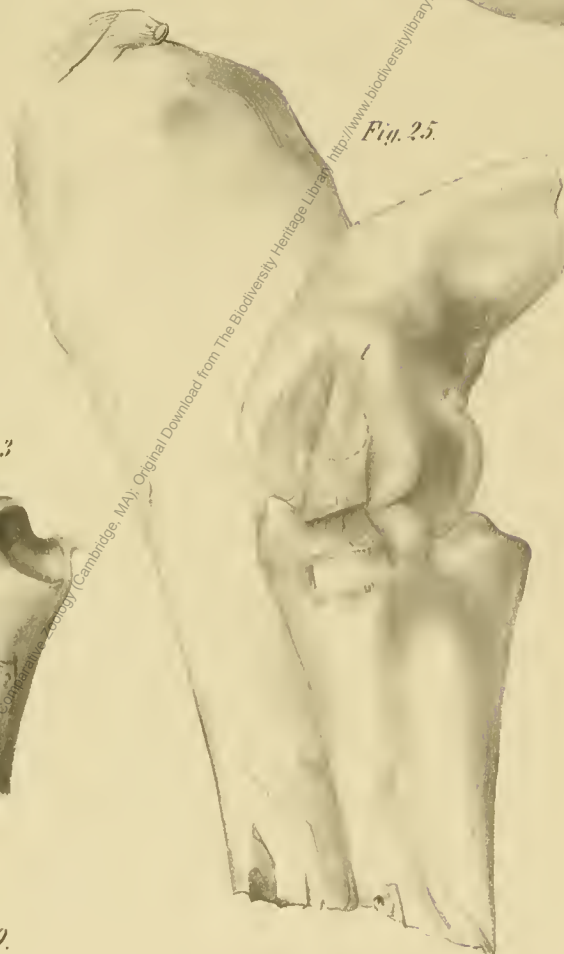


Fig. 24.

Fig. 23.



Fig. 29.

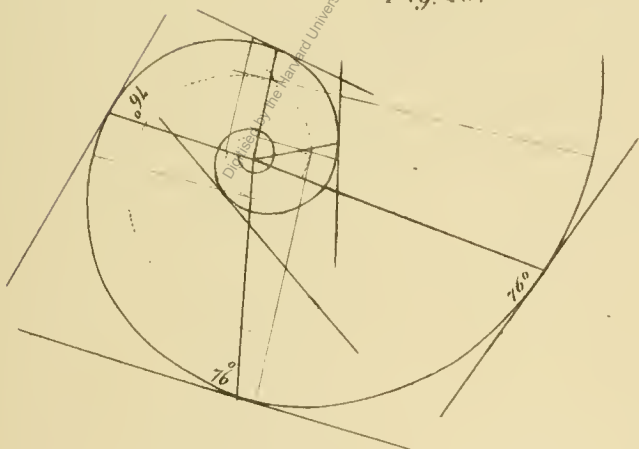
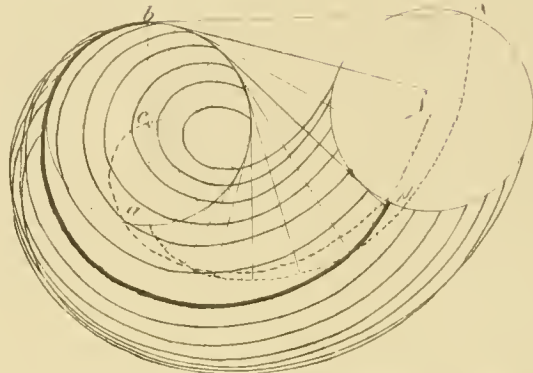


Fig. 26.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Denkschriften der Akademie der Wissenschaften.Math.Natw.Kl.
Frueher: Denkschr.der Kaiserlichen Akad. der Wissenschaften. Fortgesetzt:
Denkschr.oest.Akad.Wiss.Mathem.Naturw.Klasse.](#)

Jahr/Year: 1859

Band/Volume: [16_1](#)

Autor(en)/Author(s): Langer Carl Ritter von Edenberg

Artikel/Article: [Über die Fussgelenke der Vögel. Zweiter Beitrag zur vergleichenden
Anatomie und Mechanik der Gelenke. \(Mit IV Tafeln\) 93-130](#)