

Das Kniegelenk des Menschen.

Dritter Beitrag zur vergleichenden Anatomie und Mechanik der Gelenke.

Vom **c. M. K. Langer.**

(Mit 2 Tafeln.)

(Vorgetragen in der Sitzung vom 8. Juli 1858.)

In meinem zweiten Beitrage zur vergleichenden Anatomie und Mechanik der Gelenke ¹⁾ habe ich zwei Arten von Charniergelenken unterschieden und zu charakterisiren versucht.

Die eine Art begreift die Charniere mit Schraubenflächen, denen Rotationskörper zu Grunde liegen, die andere Charniere, deren Grundkörper Spiralkegel oder Spiralwalzen sind. Erstere nannte ich Drehungs-Charniere, letztere Abwicklungs-Charniere. Diese sind durch den wechselnden Umfang des Contactes und die Incongruenz beider Gelenkflächen in der Beugelage leicht zu unterscheiden; ihre typische Form habe ich an den Tarsalgelenken der storchartigen Vögel, namentlich am Marabu und Flamingo, genauer beschrieben.

Das Knie des Menschen reiht sich nach Bau und Art der Bewegung an die Tarsalgelenke der Vögel an und kann deshalb mit in die Reihe der Abwicklungsgelenke gestellt werden. Doch unterscheidet es sich von den besprochenen Abwicklungs-Charnieren durch seine rotatorische Bewegung, so dass sich im Knie wie im Ellenbogen innerhalb eines anatomisch als Ganzes umschriebenen Gelenkes eine doppelte Beweglichkeit zeigt. Während aber im Ellenbogen die Rotation ausschliesslich einem Knochen, dem Radius übertragen worden, ist es hier die Tibia allein, welche nach beiden Richtungen, im Ginglymus und in der Rotation, die Excursionen und zwar mit denselben Gelenkflächen ausführt.

¹⁾ „Über die Fussgelenke der Vögel“ Denkschriften der kais. Akademie der Wissensch. Bd. XVI und „Über incongruente Charniergelenke“ Sitzungsber. der mathem.-naturw. Cl. Bd. XXVII, S. 182.

Im Ellbogengelenke, wo beiderlei Bewegungen unabhängig von einander vollzogen werden, sind also im mechanischen Sinne zwei Gelenke vereint; das Kniegelenk ist aber anatomisch und mechanisch nur als ein Gelenk aufzufassen. Die beiden Bewegungen desselben bestimmen einander, und werden sich daher auch nicht leicht von einander isoliren lassen.

Die bisherigen Betrachtungen, denen das menschliche Kniegelenk unterworfen wurde, trennen beide Bewegungen; die Rotation der Tibia wurde unabhängig von der Flexionsbewegung besprochen. Es ist aber klar, dass man nicht früher genauere Einsicht in die Knochenformen und den Bewegungsmechanismus des Kniegelenkes bekommen wird, bevor man nicht beide Bewegungsweisen combinirt betrachtet und die Knochenformen nicht auch mit Bezug auf die combinirte Bewegung zu deuten sucht. In diesem Sinne habe ich es versucht mir Formen und Bewegung im Kniegelenke klar zu machen.

Einige Erleichterung boten die mir schon zugänglicheren Struc-tursverhältnisse jener Tarsalgelenke, deren Bewegung auch rotatorisch geschieht. Es tritt gelegentlich eine solche überraschende Ähnlichkeit in den Knochenformen dieser Gelenke und des menschlichen Knies auf, dass von den reinen Tarsal-Charnieren der storeh-artigen sich allmählich durch diese Formen die Bildung des menschlichen Knies verfolgen lässt.

So weit sich nun die Bewegung des Kniegelenkes gleichsam in ihre Componenten zerlegen lässt, kann betreffs der Flexionsbewegung von den dort gewonnenen Resultaten auch hier Gebrauch gemacht werden.

Es hat sich für die reinen Abwicklungs-Charnieren ergeben: dass die Grundcurve in der sagittalen Richtung eine der logarithmischen nahe stehende Spirale sei, deren Evolute die Krümmungsmittelpunkte ihrer einzelnen Curventheilehen umfasst; dass es ferner in jedem sagittalen Schnitte trotz der Incongruenz beider Knochen und der abwickelnden Bewegung derselben dennoch einen Punkt gebe, der über den Condylen beständig gleitend die Ganglinie zeichnet. Ich nenne diesen Punkt den Contact- oder Gleitpunkt, und dass daher die Summe dieser Contactpunkte, die Contactlinie nämlich, als Erzeugungslinie der Condylen des Schenkelknochens angesehen werden kann. Denn ist die Evolute, als

Reihenfolge der Drehungsmittelpunkte für die einzelnen Curventheilehen der Ganglinie bekannt, so sind damit auch die Einzellagen der Contactlinie als Erzeugungslinie gegeben, und die Condylen damit ungeschrieben. Es hat sich gezeigt, dass diese Contactlinie, im Gegensatze zu der der sogenannten congruenten Charniere, welche eine ebene Curve als Erzeugungslinie ihrer Rollen haben, eine Curve im Raume sei. Die Bewegung des Gelenkes wurde dahin definiert, dass sich die Systeme der Spiralen des concaven Knochens von den Spiralen des convexen abwickeln, und zwar abwickelnd nach der Streckseite, aufwickelnd nach der Beugeseite des Gelenkes bewegen. Mehr weniger deutlich entwickelt haben sich auch an diesen Abwicklungs-Charnieren schraubige Ablenkungen der Ganglinie gezeigt.

Wie die Rolle am unteren Ende der Tibia der storechartigen Vögel, so zerfällt auch am Oberschenkel die Rolle des Kniegelenkes in zwei durch die *Incisura intercondyloidea* getrennte Knorren. Die kleine Assymetrie, welche dort zu beobachten war, ist hier so stark ausgebildet, dass man selbst an einem getrennten Condyl Richtung und Seite bestimmen kann. Bekanntlich ist der *Condylus internus* nach innen durch eine convex geschweifte Fläche begrenzt, deren Rand, bei regelmässig geformten Knie, mit dem Rand der gegen die Incisur sieht, vollkommen gleichläuft, so dass die Gelenkfläche durch diese beiden Ränder des Knorrens begrenzt überall gleich breit ist. Die Gelenkfläche fällt gegen die Incisur ab und lässt sich, wie Herm. Meyer gethan, als Stück eines Kegelmantels betrachten dessen Spitze dem Hintertheile des *Condylus externus* zugerichtet wäre.

Hat man ein Knie von vollkommen regelmässiger Gestalt vor sich und stellt den Knochen im Sinne des Kegels auf, so macht der *Condylus internus* mit seiner Gelenkfläche ganz den Eindruck einer Schraubenwindung, welche von hinten und innen über die untere Peripherie weg nach vorn und aussen gewunden ist.

Auch der *Condylus externus* sieht einem Kegelsegmente gleich, nur würde seine Spitze nicht mit der des inneren zusammenstossen, wie das, nahezu wenigstens, an den Rollenhälften des reinen Tarsal-Charniers der Fall ist. Die Axe desselben würde mit der des inneren Condylus sich kreuzend in den hinteren Abschnitt dieses hineinfällen. Eine einer Schraube ähnliche Windung ist an diesem Condylus nicht

zu beobachten. Der der Incisur zugewendete Rand läuft beinahe in sagittaler Richtung, ist nicht geschweift, häufig ziemlich scharf im Winkel gebrochen. Das hintere Stück seiner Gelenkfläche ist schmaler als das vordere.

Selbst am frischen Knochen bemerkt man über seine Gelenkfläche eine stumpfe Leiste ziehen, die vorne schräg in den äusseren Rand der Patellarfläche fällt. Jenes dreieckige Stück der Fläche welches über der Leiste nach der Incisur zu liegt, ist mehr flach, das nach aussen liegende ist mehr gewölbt. Die Richtung der Leiste stimmt ziemlich überein mit der Richtung der Ränder des *Condylus internus*, doch fehlt ihr jene scharfe Schweifung, welche der innere Knorren streekwärts annimmt und die namentlich an der Incisur bemerkbar ist.

Wenn auch der Knorpel der Gelenkflächen beider Knorren in den der Patellarfläche unmittelbar übergeht, so lassen sich doch die Grenzen beider gegen diese, in Furchen erkennen, welche mit einander convergirend am vorderen Ende der Incisur sich treffen und nicht blosse Eindrücke der Zwischenknorpel sind. Deutlicher ist jedoch der *Condylus internus* abgegrenzt.

Diese eben beschriebene Form der Schenkelknorren (wie in Fig. 1 und 2) ist jedoch nicht unbedeutenden Varianten unterworfen. Die Schweifung des *Condylus internus* kann, ohne dass die Regelmässigkeit der ganzen Rolle darunter leidet, bald schwächer, der Ascensionswinkel seiner Schraubenwindung grösser oder kleiner sein (conf. Fig. 1 und 2). Auf Kosten der Breite der Gelenkfläche des *Condylus internus* kann die Incisur breiter werden. Manchmal verliert aber auch der *Condylus internus* seine regelmässige Gestalt, er biegt scharf, beinahe winklig gebrochen nach aussen ab (Fig. 3), wobei die Incisur vorne sich nicht unbeträchtlich verschmälert, nicht gerundet, mehr gespitzt aussieht. Diese Form traf ich stark ausgebildet an beiden mir zugesendeten Kniegelenken eines Mädchens, das als mit *Genu valgum* behaftet bezeichnet wurde. Die Incisur war in der Mitte nicht über $1\frac{1}{2}$ Centim. breit. An einem macerirten Schenkelbein traf ich die Form Fig. 4, an welcher die Incisur vorne in den *Condylus internus* eingreift und ein Stück seiner Gelenkfläche abschneidet, das gewiss nicht mit der Tibiafläche in Contact war, und als todte Fläche zu betrachten ist. Ich vermuthe, dass dieses Schenkelbein einem knieweiten Individuum angehört hat. Regelmässige

Formen fand ich stets an Schenkeln mit einer mehr breiten Incisur; diese sind auch wegen der besseren Übersicht der Faserung und des Spieles der Kreuzbänder für die Untersuchung besonders zu empfehlen. Bei der grossen Verschiedenheit, die in der Form der Beine und Stellung derselben vorkömmt, dürften diese Varianten nicht auffallen. Der Convergenczwinkel beider Schenkelbeine unter einander, der dadurch bedingte Winkel zwischen Oberschenkel und Schienbein, haben wohl den meisten Einfluss auf die Formen der Schenkelknorren. Je steiler das gestreckte Schenkelbein über dem Schienbeine steht, desto mehr wird die Last und der Contact auf den inneren Condylusrand geworfen. Je mehr beide Schenkelbeine mit einander convergiren, je schiefere sie also auf die Tibia gestellt sind, desto grösser wird die Schlussrotation des Knies sein und die Gelenkfläche des *Condylus internus* nach aussen abschweifen.

Die beiden Gelenkflächen am oberen Ende der Tibia sind vorne wie die ihnen entsprechenden Gelenkflächen am Schenkelbein durch schiefe mit einander convergirende Ränder begrenzt, ganz von einander getrennt, durch keine Patellarfläche vorne vereinigt. Indem sie sich gegen einander erhöhen, bilden sie die in die *Incisura intercondyloidea femoris* hineinragende *Eminentia intercondyloidea tibiae*, an welcher je einer Fläche entsprechend ein Tuberculum zu unterscheiden ist. Beide Flächen umgreifen nach hinten die *Eminentia intercondyloidea*, ohne sich aber zu erreichen; sie lassen da Raum zum Ansätze des *Ligamentum cruc. posticum*. Die innere Fläche ist nach allen Richtungen seicht ausgehöhlt, die äussere mehr sattelförmig, frontal concav, sagittal mehr eben oder convex, hinten steiler abfallend; die innere Fläche in sagittaler Richtung länger als die äussere, das *Tuberculum intercondyloideum internum* vom Ansätze des *Lig. cruc. ant.* am Rande rauh, das *Tuberculum ext.* dagegen frei und glatt überknorpelt. Auch an der Tibia sind individuelle Verschiedenheiten zu bemerken, doch sind sie nicht so auffallend, da ihre Gelenkflächen nicht in dem Umfange ausgebildet sind wie die der Schenkelknorren.

Nun handelt es sich darum, die Bewegungsweise im Kniegelenke kennen zu lernen. Ich werde bei der Beschreibung derselben nach Weber's Vorgange die Tibia als den fixen Knochen betrachten

und vor der Hand nur die Bewegungen der Schenkelknorren berücksichtigen, die sagittalen Excursionen allgemein Flexionsbewegung nennen, Streckung und Beugung aber besonders bezeichnen.

Versucht man an einem präparirten Gelenke im Sinne eines Charnieres möglichst rein eine Flexionsbewegung auszuführen, so sieht man, dass dies nicht im ganzen Umfange der Excursionsfähigkeit möglich ist. Man bemerkt, worauf Herm. Meyer zuerst und mit Recht aufmerksam gemacht hat, dass, wie das Gelenk in die extreme Strecklage geführt wird, sich alsogleich eine rotatorische Bewegung hinzugesellt. Diese Rotation ist am *Condylus int.* bemerkbarer; er tritt im letzten Momente der Streckung zurück, und wenn man dann das Gelenk wieder beugen will, so wird die Beugung durch eine Rotation im entgegengesetzten Sinne eingeleitet; der innere Schenkelknorren tritt etwas nach vorne und aussen. Ist diese geringe Rotation vollendet, so wickeln sich die beiden Condyleu gleichmässig ab, die sagittale Flexionsebene kann rein eingehalten werden. Die Masse der Condylen tritt nach hinten zurück, ihre Flächen werden frei, die vorderen Haftbänder der Zwischenknorpel werden sichtbar, das Gelenk klapft. In den Raum ober der Tibia, den früher die Schenkelknorren eingenommen haben, treten nun die Fettlappen und die Patella ein.

Ist das Gelenk in maximo gebogen, so kann man nach beiden Seiten mit den Condylen eine Rotation einleiten, doch stärker in dem Sinne, dass der *Condylus int.* vortritt. Die Rotation mit Vortreten des äusseren Schenkelknorrens ist sehr beschränkt.

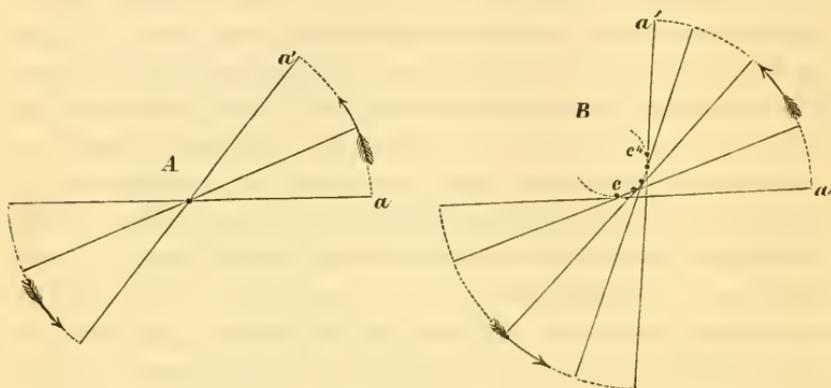
Bei der möglichst rein ausgeführten Beugebewegung ist das *Tuberculum intercondyloideum int.* nicht in vollem Contacte mit dem Rande des inneren Knorrens; wird aber aus der extremen Beugelage die Rotation des Schenkels nach innen gemacht, wobei der *Condylus int.* nach vorn und aussen sich vordrängt, so wird das *Tuberculum int.* bis zum strengsten Contacte gedeckt. Das Gelenk zeigt also in der reinen Beugelage einen gewissen Spielraum, der erst durch die Rotation ganz ausgefüllt wird. Die Stellung, die das Gelenk durch die nachträgliche Rotation bekommen hat, ist jene, welche es annimmt, wenn es ganz ungezwungen zur Flexion geführt wird. Wenn man ein Becken mit beiden Extremitäten über einer Rolle aufhängt und bei den Mittelfussköpfchen die Füße rechtwinklig gegen einander gestellt am Boden, durch

Nägel, fixirt, so nehmen die Kniegelenke diese Lage ein, wie das Becken bei geöffneten Knien niedergelassen wird.

Führt man nun aus dieser mit Rotation combinirten Beugelage das Gelenk in die Strecklage zurück, was am isolirten Gelenke dadurch geschieht, dass man den sich streckenden Oberschenkelknochen etwas nach innen drängt, so bemerkt man, dass sich der ganze Umfang der Rotation, der früher nachträglich ausgeführt worden ist, jetzt gleichförmig auf die einzelnen Flexionsmomente vertheilt, daher nicht so bemerkbar wird; nur am Schlusse der Streckung wird sie wieder etwas auffallender. Es kann nach dem dargestellten Vorgange wohl kaum einem Zweifel unterliegen, dass es diese combinirte Bewegung ist, welche den Knochenformen als natürliche Folge derselben entspricht, und dass die Möglichkeit beide Bewegungen zu isoliren, in dem oben angedeuteten Spielraum und dem mangelnden Contacte begründet ist zwischen dem *Condylus int.* und der *Eminentia intercondyloidea tibiae*. Der *Condylus externus* dagegen ist nur in voller Strecklage mit dem *Tuberculum externum* der *Eminentia intercondyloidea* in Berührung; er entfernt sich bei jeder Bewegungsform des Gelenkes von ihm und sein Contact folgt bei der combinirten Beugung beiläufig dem Ausschnitte der äusseren Tibiafläche, in welchen das hintere Haltband des äusseren Zwischenknorpels sich einlagert. Da nun für die mit Rotation combinirte Flexion der der Incisur zustehende Rand des inneren Knorrens in stetem Contacte mit der *Eminentia intercondyloidea* bleibt und gleitend an ihr vorüber geht, so ist offenbar der *Condylus int.* jener Gelenktheil des Oberschenkels, dessen Form zunächst die Bewegungsrichtung im Kniegelenke bestimmt.

Nachdem die reine Flexionsbewegung des Knies im Sinne der Tarsal-Charniere des Vogelbeines als eine abwickelnde Bewegung sich erkennen lässt, so entsteht die Frage, ob auch die isolirte rotatorische Bewegung eine drehende oder abwickelnde Bewegung ist, d. h. ob die Schenkelknorren, beziehungsweise ihre Flexionsaxe um eine verticale, fixe Rotationsaxe, oder um eine Reihenfolge von Axen sich rotiren, welche an die Peripherie eines verticalen Zapfens einzutragen wären, in welchem Falle dann die Flexionsaxe in der Horizontalen um eine Curve mit fortschreitenden Berührungspunkten sich herumbewegen, d. h. von ihr abwickeln würde. Die beiden

Schemata der Rotationsbewegung am linken Beine werden den Unterschied dieser Bewegungsweisen klar machen. Im ersten Falle, *A*, wären die Wege, die beliebige Punkte der sich rotirenden Flexionsaxe beschreiben, z. B. die Curve *aa'*, Kreisabschnitte, im zweiten



Falle, *B*, Abwicklungslinien; der Drehungspunkt rückt von *e* bis *e'* vor. Punkte, die ausserhalb der sich abwickelnden Axe liegen, werden sogenannte verlängerte oder verkürzte Evolventen beschreiben. Dass die Rotation im Knie eine abwickelnde und keine drehende ist, darauf deuten schon die ungleichen Excursionen hin, welche beide Knorren ausführen. Man sieht nämlich den *Condylus int.* bei der combinirten Beugung viel weniger auffallend vortreten, als bei der Schlussrotation zur Streckung sich zurückdrängen. Die rückgängige Bewegung des *Condylus ext.* ist zur Beugung auch viel auffallender als sein Vortreten zum Schlusse der Streckung. Es ändern sich daher mit der Grösse des Excursionsbogens die Radien der rotatorischen Bewegung für die einzelnen Bewegungsmomente. Zur Beugung verkürzt sich der Radius des *Condylus int.*, zur Streckung der Radius des *Condylus ext.* Theilt man die sich rotirende Flexionsaxe in zwei Halbaxen, die eine für den inneren, die andere für den äusseren Condylus, so blieben ihre Hälften, also die Radien der rotatorischen Bewegung dieselben, wenn die Rotation eine reine Drehung um einen fixen Punkt wäre. So aber muss, wie das Schema *B* es zeigt, die innere Halbaxe zur Beugung verkürzt, die äussere Halbaxe dagegen verlängert werden. Umgekehrt gestaltet sich dann das Verhältniss zur Streckung; die Zu- oder Abnahme der Halbaxen richtet sich nach der

Länge der Curve cc^4 , von welcher die Ab- oder Aufwicklung der Axe geschieht.

Ferner ist aus diesem Schema zu entnehmen, dass der momentane rotatorische Drehungsmittelpunkt, als Durchschnitt der rotatorischen Axe, für die Beugung von aussen nach innen, für die Streckung von innen nach aussen im Bogen verschoben wird.

Diese Daten ergeben, dass: 1. auch die rotatorische Bewegung im Kniegelenke keine drehende, mit fixer Axe und constantem Radius, sondern wie die Flexionsbewegung eine abwickelnde mit veränderlicher Axenstellung und veränderlichem Radius ist. 2. Dass die Flexionsaxe der Schenkelknorren bei der combinirten Beugung eine Evoluten-Curve an ihrer inneren Peripherie umkreist, d. h. dass die fortschreitenden Centra der Rotation eine nach innen und hinten convexe Curve darstellen. 3. Dass die Flexionsaxe bei der combinirten Beugung über dieser Curve mit der inneren Hälfte sich aufwickelt, mit der äusseren abwickelt, und 4. da es sich um die Bewegung von Körpern und nicht blos Axen handelt, so muss man sich die Evoluten-Curve entweder als Durchschnittslinie oder an die Oberfläche eines Axenkörpers gezeichnet denken, um dessen Peripherie die beiden Knorren sich wickeln.

Der *Condylus int.* wird sich rotatorisch zur Beugung aufwickeln, zur Streckung abwickeln; der *Condylus ext.* zur Beugung abwickeln, zur Streckung aufwickeln. Da sich der Radius des *Condylus int.* (innere Halbaxe) zur Beugung verkürzt, so ist sein Excursionsbogen ein kleinerer; er scheint der minder bewegliche, wesshalb Weber die Rotationsaxe des Kniegelenkes in diesen *Condylus* verlegte.

Sieht man von den eigenthümlichen Krümmungsverhältnissen der Gelenkskörper ab und denkt sich diese vorerst als Rotationskörper, so lässt sich die combinirte Bewegung im Knie auf folgende Weise schematisiren: Die beiden Schenkelknorren wären Theile einer sanduhrförmigen Rolle, die in horizontaler Lage hinten an die Peripherie eines gestutzten Kegels angesetzt, um ihre eigene Axe nach hinten über gedreht und zugleich mit einem Ende nach vorne, mit dem andern nach hinten um den verticalen Zapfen geführt wird. Schlägt man oben in die Rolle einen Stift ein, der die Röhre

des Oberschenkelknochens darstellt, drängt den Stift nach hinten und unten, doch nicht sagittal, sondern schief nach der Seite, deren Ende (*Condylus*) vorgedrängt werden soll, so hat man dem Modelle die erzielte, dem combinirt gebogenen Knie entsprechende Lage gegeben.

Das Verhältniss der Excursionsgrösse der Rotation zur Flexion dürfte beiläufig wie 1 zu $2\frac{1}{2}$ angenommen werden, so dass das bis zum rechten Winkel gebogene Knie gleichzeitig eine Rotation bis 45 Grade machen kann.

Da die reine Flexionsbewegung der Tibia wie in den Tarsal-Charnieren zur Beugung aufwickelnd, zur Streckung abwickelnd geschieht, so wird der *Condylus int.* bei der combinirten Beugung sowohl flexorisch als auch rotatorisch sich aufwickeln, bei der Streckung in beiden Richtungen abwickeln, der *Condylus ext.* aber bei der Beugung flexorisch aufwickelnd, rotatorisch abwickelnd sich verhalten, und umgekehrt bei der Streckung.

Die reine Flexion bedingt zwar kein Vorwärts- oder Zurücktreten des *Contactes* mit der Tibia, aber die Masse der Condylen tritt bei der reinen Beugung etwas zurück; da nun bei der combinirten Beugung der *Condylus int.* wirklich vortritt, so behält seine Masse ziemlich die Lage bei, die sie im gestreckten Gelenke hatte, wesshalb das gebogene Gelenk innen nicht klafft, daher auch der *Condylus int.* von Weber als der minder bewegliche bezeichnet wurde. Am *Condylus ext.* bedingt die Abwicklung bei der Rotation ein Zurücktreten; dieses summirt sich bei der combinirten Beugung mit dem Zurückweichen seiner Masse durch die Flexion, desshalb klafft das Gelenk aussen viel mehr als innen. Daraus wird erklärlich, wesshalb die Patella in der Beugelage des Knies hauptsächlich vom *Condylus ext.* getragen wird; sie findet nur aussen Platz, um zwischen die Schenkelknorren und die Tibia sich einzuschalten. Das oben beschriebene dreieckige Stück der Gelenkfläche des äusseren Knorrens ist es, welches in dieser Lage mit der Patella im *Contacte* steht. Bei kleinen Embryonen, deren Gelenke noch bleibend die Beugelage einhalten und länger im Weingeist lagen, finde ich die Abgrenzung dieser Patellarfläche am *Condylus ext.* viel stärker markirt.

Die Masse des inneren Knorrens behält daher mehr ihre Lage bei, das Ende seiner Halbaxe macht kleinere Excursionen, es bewegt sich daher mehr drehend und gleitend.

Der äussere Knorren aber hat eine in sagittaler Richtung auffällige fortschreitende, mehr abwickelnde Bewegung.

Weber bezeichnet dieses Verhältniss mit den Worten: Der *Condylus int.* schleift mehr, der *Condylus ext.* rollt mehr.

Die jetzt besprochenen Vorgänge bei der Bewegung des Kniegelenkes lassen schon einigermaßen die Wege bezeichnen, welche einzelne Punkte der Oberschenkel-Condylen zurücklegen. Ein an der hinteren Peripherie des inneren Condylus markirter Punkt, indem er gegen die Tibiafläche sich bewegt, wird der Medianebene des Kniegelenkes, also dem *Tuberculum intercondyloideum* immer näher gebracht; ein an der Streckseite bezeichneter, indem er aufsteigt, wird sich von dem Tuberculum immer mehr nach innen entfernen, und ein am äusseren Knorren vorn bezeichneter Punkt überschreitet sogar diese Ebene und geht nach innen. Der Umfang des Contactes hat besonders am *Condylus ext.* abgenommen, dieser hebt sich mehr von der Tibiafläche ab als der *Condylus int.*

Da nun die Ganglinien über den Condylen nur von jenen Punkten der Tibia aus gezeichnet werden können, welche bleibenden Contact mit den Condylusflächen einhalten, so wird aus dem Besprochenen ersichtlich, dass die meisten Punkte der Tibiafläche über den *Condylus int.* gleitend Ganglinien oder Gleitlinien eingraben werden, hingegen werden am *Condylus ext.* nur wenige Punkte der Tibiafläche Spuren ihres Ganges zurücklassen, weil sich der grösste Theil des Condylus, wie das Gelenk zur Beugung in Gang gesetzt wird, alsogleich von der Tibiafläche abhebt.

Die Länge der Gleitlinien wird verschieden sein, je nachdem die zeichnenden Punkte mehr vorne oder hinten gewählt werden. Über die Gangweise des Gelenkes können aber nur jene genaueren Aufschluss geben, welche über den grössten Theil der Schenkelflächen laufen. Es handelt sich also bei der Markirung der Ganglinien darum, jene Punkte an der Tibia zu ermitteln, welche am längsten an den Schenkelknorren gleiten, daher die längsten Ganglinien zeichnen. Lässt man den eingelassenen zeichnenden Stift weiter über die Tibiafläche heraussehen, so wird er natürlich eine längere Spur seines Ganges hinterlassen, da ein längerer Stift noch Theile der Fläche erreichen kann, die sich bereits abge-

haben. Die Furchen, die er in den Knorpel dann eingräbt, wird aber verschieden tief sein. Es müssen daher solche Punkte gesucht werden, welche in strengem Contacte an dem Schenkelknorren gleiten, und wo die Stifte nur wenig hervorzuragen brauchen und möglichst lange Furchen im Knorpel einreissen.

Jeder Sagittalschnitt hat, wie ich gezeigt, einen solchen stets im Contact bleibenden Punkt an der Tibia; ich nenne ihn den Contactpunkt, und die Summe der Contactpunkte nach der ganzen Rollenbreite die Contactlinie. Diese muss daher experimentell ermittelt werden. Im vorhinein lässt sich schon behaupten, dass für die rein flexorische Bewegung die Contactlinien beider Knorren an der Tibia eine andere Lage haben werden als für die combinirte; dass sie ferner bei der reinen Flexionsbewegung, wenn man von der die Beugung einleitenden Rotation absieht, wegen der symmetrischen Bewegung beider Knorren in denselben Frontalschnitt fallen werden, dagegen bei der mit Rotation combinirten Flexion assymmetrisch zu liegen kommen. Da der innere Knorren zur Beugung vortritt, der äussere zurückweicht, so wird für die combinirte Flexion die Contactlinie des *Condylus int.* vorne an der Tibia, die des *Condylus ext.* hinten an der Tibiafläche zu suchen sein.

Die nach zwei Richtungen vor sich gehende Bewegung im Knie verlangt ausser den über den Schenkelcondylen als Träger der Flexionsachsen laufenden Ganglinien auch noch die Bezeichnung der Wege, die die Condylen über der Tibia zurücklegen, da ja die Tibia als Träger der Rotations-Axen auch einen convexen Körper vertritt.

Die Ganglinien auf den Schenkel-Condylen werden namentlich die Flexionsbewegung, die an der Tibia die Rotationsbewegung charakterisiren, weil die Hauptkrümmung der ersteren in die sagittale, die der letzteren in die horizontale Ebene fällt.

An mehreren geöffneten mit allen Bändern präparirten Gelenken wurden zunächst von unten in die Tibiateller Stifte eingebohrt, die so wenig über den Knorpelüberzug hervorragten, dass sie nur sehr seichte Furchen an den Schenkelknorren ziehen konnten, dann mit dem Gelenke theils reine Flexions- theils combinirte Bewegungen vorgenommen. Stifte, die Theilen der Condylen gegenüber lagen, welche sich gleich abhoben, haben nur einfache Eindrücke am

Schenkel zurückgelassen. Es waren dies ganz vorn eingelassene Stifte; die weiter zurückliegenden haben bei reiner Flexionsbewegung schon Spuren ihres Gleitens in seichten aber kurzen Furchen hinterlassen. Die längsten Furchen ziehen die Stifte jener Punkte, welche in dem mittleren Frontalschnitt der Tibiaflächen liegen. Diese Punkte mit einander vereinigt, ergeben die Lage der Contactlinie für die reine Flexionsbewegung. Sie sind in Fig. 12 und 13 punktirt eingezeichnet. Die Ganglinien laufen natürlich nur über die hintere Hälfte der Condylen und lassen sich in einen Sagittalschnitt derselben ganz rein hineinbringen. Vorn an der Tibia eingelassene etwas länger hervorragende Stifte ritzen wohl eine längere Ganglinie, sie müssen aber zur Streckung, wo die Schenkel-Condylen auch vorne an die Tibiaflächen sich auflegen, etwas zurückgezogen werden, und wenn die Streckung bis zur vollen Streifung fortgesetzt wird, die unvermeidliche Schlussrotation sich eben einstellt, lenkt die Furchen, die sie ziehen, etwas nach aussen ab, und zwar um so schärfer, je weiter vorne die zeichnenden Stifte liegen.

Wird die mit Rotation combinirte Flexion vorgenommen, so ritzen, wie dies vorauszusehen war, gerade die vorderen Punkte am *Condylus int.* die längsten Ganglinien, so dass die Contactlinie für diese Bewegungsform bis nahe an den vorderen Rand der Tibiafläche vorrückt und mit der mittleren sagittalen Durchschnittslinie der Tibia in einem etwa 45° betragenden Winkel sich kreuzt (Fig. 13). Die erzielte Ganglinie hat an Ausdehnung gewonnen, da wegen des vorrückenden *Condylus int.* beinahe die ganze Fläche desselben an dieser Stelle vorübergleitet.

Für den *Condylus ext.* tritt die Contactlinie, wie es scheint, um eben so viel zurück, so dass nur noch ein kleiner Theil der Tibiafläche Gleitpunkte enthält. Die Ganglinien fallen daher auch um so viel kürzer aus, als die am inneren Knorren zugenommen haben. Das Gleiten hat also durch die combinirte Bewegung am *Condylus int.* zugenommen, am *Condylus ext.* abgenommen. Die Bewegung des innern Knorrens ist eine mehr drehende, die des äussern eine noch mehr abwickelnde geworden.

Wie die Ansicht der Fig. 1 zeigt, haben die Ganglinien für die combinirte Bewegung am inneren Knorren eine mit seinem inneren Begrenzungsrande vollkommen gleichlaufende Richtung; sie ist an regelmässigen geformten Knien

gleichmässig, nicht scharf gebogen und auch mit dem der Incisur zugekehrten Rande gleichlaufend; sie ist eine Art Schraubelinie, streckwärts nach aussen ablenkend, also am rechten Knie rechts, am linken Knie links gewunden. In der Mitte ihres Verlaufes lenkt sie nur wenig aus der sagittalen Richtung ab, vorne aber scheint ihre seitliche Biegung stärker zu sein. Am äusseren Knorren haben die Ganglinien die Richtung der früher erwähnten Leiste und gleichen Verlauf mit dem hinteren Stücke des der Incisur zugewendeten Knorrenrandes (Fig. 5), welcher bei ganz gesteiftem Knie genau in die sagittale, der medianen Körperebene parallele Ebene fällt.

Da der äussere Condylus besonders bei der combinirten Bewegung sich gleich vom vorderen Rande der Tibia abhebt, so kann an seiner Ganglinie keine Spur einer Rotation wahrgenommen werden; sie deutet also nur die sagittale Krümmung für die Flexion an.

Weil also am inneren Knorren die Ganglinie durch die rotatorische Bewegung wesentlich geändert ist, wird es nur am äusseren Knorren möglich sein Durchschnitte, die nach der Richtung der Ganglinie laufen, zur Bestimmung der sagittalen Krümmungs-Curve der Oberschenkelknorren zu verwenden, die Lage der momentanen Flexions-Axen des Gelenkes zu ermitteln und ein Sagittalschema des Gelenkes zu entwerfen.

So angefertigte Durchschnitte des frischen *Condylus externus* haben einen Begrenzungsrand ergeben, der, wie die Tarsalrolle des Marabu, Abschnitte einer logarithmischen Spirale deckt. Es kann daher von dem Kniegelenke rücksichtlich seiner Sagittalrichtung und seiner reinen Flexionsbewegung dasselbe Schema entworfen werden.

Macht man durch die innere grösste Randleiste der Ellbogenrolle einen Durchschnitt, der, abgesehen von der geringen Schraubelform, kreisförmig ist, und entwickelt über die halbe Peripherie vom oberen Ende seines senkrechten Durchmessers als Ausgangspunkt eine verlängerte Evolvente, deren erster Umgang die logarithmische Spirale deckt, so erhält man zu den Durchschnitts-Contouren der Oberarmrolle eine Contour, welche dem grössten Sagittaldurchschnitt der Condylen desselben Individuums ziemlich genau entspricht und den Umfang der Condylen annähernd wiedergibt.

Die Krümmungs-Mittelpunkte der einzelnen Curventheilehen, die Evolute nämlich, wurden an dem Abriss des grössten Durchschnittsrandes vom äusseren Knorren ermittelt und darnach das Sagittal-Schema (Fig. 11) entworfen.

Um aber für die Form und Lage der durch Construction ermittelten Axencurve grössere Sicherheit zu erzielen, wurden an einem mit Bändern präparirten Gelenke zuerst die Ganglinien der reinen Flexionsbewegung gezogen, dann die Condylen in der Richtung der Ganglinie sagittal durchgeschnitten, auf die Schnitte die durch Construction ermittelte Axencurve gezeichnet, dem gleitenden Contactpunkt entsprechend in die Tibia ein längerer Stift befestigt, dieser tangential an die Evolute des Condylus angelegt und nun mit dem Gelenke die Flexionsbewegung vorgenommen, die Oberschenkel genau in der früher vorgezeichneten Ganglinie, also neben dem eingeschlagenen Stifte vorbeigeführt.

Blieb bei der Bewegung die eingezeichnete Axencurve stets tangential zu dem in der fixirten Tibia festgestellten Stifte, hat sich also diese von dem Stifte abgerollt, so konnte die Lage und Form der Axencurve für das betreffende Gelenk als richtig angenommen werden.

An dem Schema (Fig. 11) lässt sich die Flexionsbewegung des Knies ganz gut versinnlichen. Das grob punktirte Curvenstück c ist die Evolute des sagittalen Durchschnittsrandes, die Linie cA die Längsaxe der sich von der Axencurve der Schenkelrolle abwickelnden Tibia. Der Contactpunkt des betreffenden Schnittes ist mit β bezeichnet. Das Gelenk ist in der Strecklage dargestellt; die Lage des im rechten Winkel gebogenen Oberschenkels ist im Schattenriss gegeben. Die Evolute nimmt dabei die Lage c' an. Der Punkt a des Oberschenkels befindet sich dann in z .

Die Flexionsbewegung des Knies kann mit Hilfe des Schema's, auf folgende Art nachgeahmt werden. Soll die Tibia den beweglichen Knochen vorstellen, so zeichne man ihre Umrisse auf Strohpapier mit der Linie cA , lege letztere tangential an die Axencurve c , und wickle sie an dieser Curve mittelst kleiner Drehungen zur Beugung auf, zur Streckung wieder ab, indem man mit einer Nadel den jedesmaligen Drehungspunkt fixirt. Soll der Oberschenkel bei fixirter Tibia, wie in dem Schema gebogen werden, so zeichne man seinen Umriss und dessen Evolute ab, und rolle letztere entlang der Linie cA zur Beugung herab, zur Streckung hinauf.

Durch dieses Verfahren wird man sich den Bewegungsmodus der Beuge- und Streckbewegungen, wie sie bei gewöhnlichem Gange, wo das Gelenk nicht bis zur vollen Steifung gebracht wird und die Rotation ganz vermieden werden kann, recht gut versinnlichen können. Die Bewegung der Tibia stellt sich klar als eine abwickelnde heraus, die aufwickelnd zur Beugung, abwickelnd zur Streckung vor sich geht.

Wird der *Condylus int.* parallel mit der Durchschnittsebene des *Condylus ext.* in seiner grössten Höhe zersägt, so zeigt der hintere Theil des Durchschnittsrandes bis zu dem Contactpunkte ziemlich dieselben Krümmungsverhältnisse; nur vorne wo die Ganglinie nach aussen abweicht, ist die Curve etwas abgeflacht. Es lässt sich daher die Axencurve für die Flexion annähernd bestimmen, weil bei reiner Flexionsbewegung nur der hintere Condylustheil an der Contactlinie vorbeigleitet. Die symmetrischen Punkte beider mit einander verbunden, geben also die Begrenzungen der Flexionsaxe an. Die Axe wird also, wie dies Weber schon gezeigt, mit sich selbst parallel im Raume fortschreiten, sie wird, wenn die Tibia der bewegte Knochen ist, ein Stück der Oberfläche eines walzenförmigen Körpers beschreiben, dessen Basis die Axencurve der Sagittalschnitte bildet, und wenn der Oberschenkel der bewegliche Knochen ist, in einer Frontalebene zur Beugung sich senken, zur Streckung erheben.

Nur ein sehr beschränkter Theil der Tibia, der im Umkreise des Contactpunktes liegt, bewegt sich gleitend über den Condylusflächen in der ganzen Excursionsweite des Gelenkes. Die streckwärts liegenden Punkte der Tibia heben sich mehr oder weniger, früher oder später von den Condylusflächen ab, je nachdem sie weiter vom Contactpunkte entfernt liegen oder ihm näher stehen. Bei der Bewegung des Oberschenkels gleitet die ganze hintere Peripherie über der Contactlinie der Tibia weg, und wenn ihre Punkte diese überschreiten, heben sie sich gleich von der Tibiafläche ab.

Die Gebrüder Weber unterscheiden eine doppelte Bewegung der Condylen, das Rollen und Schleifen. Ein in seiner Drehung gehemmes Rad schleift über den Boden, ein rollendes wickelt sich vom Boden ab, weil immer neue Punkte desselben den Boden berühren, und die früheren Berührungspunkte sich vom Boden abheben. Einzelne Punkte des rollenden Rades beschreiben Cycloiden. Die

Gebrüder Weber sagen: der Oberschenkel rollt und schleift zugleich bei der Beugung und Streckung auf der Oberfläche der Tibia. Sie haben an einem geöffneten Gelenke, bei welchem aber alle wirk-samen Bänder unverletzt waren, die Punkte, mit welchen sich die Tibia und das Oberschenkelbein berührten, als das Kniegelenk gebo-gen war, und darauf ihre neuen Berührungspunkte, nachdem es gestreckt worden war, bezeichnet. Sie sahen, dass beide Gelenk-flächen successive mit verschiedenen Punkten einander berührten. Die successive in Berührung kommenden Punkte lagen auf der Ober-schenkelfläche weiter aus einander, als auf der Tibiafläche. Gleiche Abstände auf beiden Flächen hätten vollkommene Rollung bedeutet; bei blossem Schleifen hätten die Abstände der Punkte auf der Tibia verschwinden müssen; folglich findet weder ein blosses Schleifen noch ein blosses Rollen, sondern beides zusammen Statt.

Wiederholt man dieses Experiment und bezeichnet am gestreck-ten Gelenke zwei gegenüber liegende Punkte, einen am Condylus, einen an der Tibia und zwar ganz vorne, z. B. die Punkte a und b am Schema Fig. 11, so wird nach einer Beugung im rechten Winkel a die Lage α bekommen, der Punkt hat sich von b entfernt. b steht jetzt mit keinem Punkte des Oberschenkels in Berührung, der Contact findet blos bei β Statt. Der Abstand $\alpha\beta$ ist bedeutend grösser als $b\beta$. Hätte sich der Oberschenkel nach Art eines rollenden Rades auf der Tibia bewegt, so müsste β , der neue Berührungspunkt, so weit hinter b liegen, als er von α entfernt ist. Die Tibia müsste aber dann in sagittaler Richtung so tief sein, als die Durchschnittscurve des Oberschenkelknorrens beträgt, um den abrollenden Knorren noch unterstützen zu können. Es hat sich daher auch der Ober-schenkel um seine horizontale Axe gedreht, und ist theilweise gleitend über die Tibia weggegangen. Hätte er sich blos gedreht, so müsste bei b noch immer Contact bestehen, und der Contact wäre nicht bis β zurückgewichen.

Dieses Verhältniss der Abstände $\alpha\beta$ und $b\beta$ bleibt aber nicht für den ganzen Umfang der Knochen der-selbe; je näher an β die Punkte a und b gezeichnet werden, um desto mehr verkürzt sich der Abstand der Berührungspunkte an der Tibia, weil β nicht in dem Verhältnisse zurückweicht wie b , sondern ein constanter Punkt ist, der als Contactpunkt stets den Ober-schenkelknochen berührt. Wäre a in der Strecklage gerade über β

markirt, so ist der Fall eingetreten, wo kein Rollen, sondern blosses Schleifen (Gleiten) stattfindet. b fällt dann mit β zusammen. Wird a hinter β am Oberschenkel bezeichnet, so nähert es sich β und es tritt der Fall ein, dass $\alpha\beta$ verschwindet und $b\beta$ besteht, was so viel heisst, als: die Punkte des Oberschenkels, die hinter der Contactlinie liegen, gehen gleitend über sie weg.

Hieraus wird ersichtlich, dass bei reiner Flexion zwar der Umfang des Contactes, aber nicht die Stelle desselben wechselt; die Schenkel-Condylen weichen bei der Beugung nicht zurück; die Ursache des Klaffens ist blos in der elliptischen Form der Condylen zu suchen; bei gestrecktem Gelenke legt sich der längere Durchmesser der Condylen parallel zu den Tibiaflächen, im gebogenen der kürzere.

In Charnieren mit fixer Axe ist bei gleichen Excursions-Winkeln der Excursionsbogen eines Punktes gleich; dass bei diesen Charnieren zur Streckseite bei gleichbleibenden Excursions-Phasen der Bogen wächst, ist durch Marken am Präparate und am Schema Fig. 11 zu beweisen.

Es handelt sich nur noch für die reine Flexionsbewegung die Curven zu bestimmen, welche einzelne Punkte des bewegten Knochens beschreiben.

Unter der Voraussetzung, dass die Flexionsbewegung nicht bis zur vollen Steifung des Knies geführt, also ohne Rotation in rein sagittaler Richtung, wie sie beim gewöhnlichen rascheren Gange vorgenommen wird, so werden diese Curven ebene Curven sein. Bei einem Charniergelenke mit Rotationskörpern, sind die Wege, welche die Punkte beider Knochen beschreiben, Kreisabschnitte. Hier aber tritt der Fall ein, dass die Tibiatheile andere Curven beschreiben, als die der Oberschenkelknorren.

Wie eben gezeigt wurde, besteht für jeden Durchschnitt des Gelenkes ein zweifaches Verhältniss; entweder es wälzt sich die Flexions-Axencurve auf der Linie, welche die Axenlinie der Tibia bezeichnet, wenn der Oberschenkel bewegt wird (in Fig. 11 c auf der Linie cA), oder es bewegt sich diese Linie tangential auf der Evolute fort, wenn die Tibia bewegt wird. Es ist klar, dass im ersten Falle die einzelnen Punkte der Evoluten-Curve eine Art Cycloiden beschreiben werden und dass im zweiten Falle die Punkte der Linie cA , Abwicklungslinien ergeben. Da nun c (die Axen-

curve) die Wälzungcurve ist, so werden die mit ihr verbundenen, aber ausser ihr liegenden Punkte der Oberschenkel-Condylen keine gemeinen, sondern sogenannte verlängerte Cycloiden mit Schlingenbildung beschreiben. Diese Schlingen sind auch schon an der Cycloide unserer Axencurve als Wälzungcurve zu beobachten, weil sie keine geschlossene, sondern offene Curve ist. Die Schlingen werden aber um so grösser, und einer Ellipse, oder einem Kreise um so mehr ähnlich werden, je weiter der beschreibende Punkt der Condylen des ganzen Oberschenkels von der sich wälzenden Axencurve entfernt ist. Die Wege also, welche Punkte des Oberschenkels beschreiben, sind keine in sich zurücklaufenden Linien. Mit Strohpapier lassen sich die Curven für jeden einzelnen Punkt leicht darstellen.

Von diesen Curven durchschreiten natürlich die Oberschenkelknorren in Wirklichkeit nur kleine Stücke; aber aus den Curven ist das Verhältniss zu entnehmen, in welchem das drehende und fortschreitende Moment an der Bewegung einzelner Punkte des Kniegelenkes Antheil nehmen; sie erklären die vorhin besprochenen Vorgänge, und zeigen, welcher Punkt mehr drehend, welcher mehr fortschreitend sich bewegt.

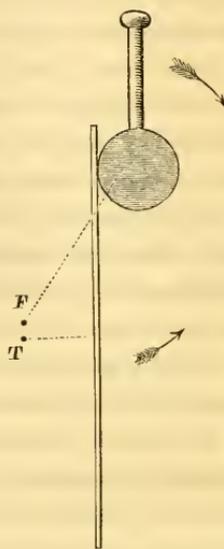
Man vergleicht öfter die Bewegung des Oberschenkelknorrens mit der Bewegung einer Wiege, welcher Unterschied aber zwischen beiden Bewegungen bestehe, ist aus diesen Curven ebenfalls zu ersehen. Wenn sich die Oberschenkel wiegenartig an der Tibia schaukeln würden, so wäre die Peripherie der Knorren, welche die Tibia berührt, die Wälzungcurve, die Bahnen ihrer Punkte gemeine Cycloiden, und die Bahnen, welche die anderen Knorrentheile durchschreiten, verkürzte Cycloiden.

Die Wege der Tibiapunkte sind Abwicklungslinien der Axencurve, also ebenfalls Spiralen, und zwar die innerhalb cA , der sich als Tangente abwickelnden Linie, Spiralen desselben Gesetzes; die Bahn des Contactpunktes ist die Ganglinie selbst, welche der Punkt an den Flächen der Knorren gleitend, beschreibt. Die Bahnen der ausserhalb cA liegenden Tibiapunkte sind theils verlängerte, theils verkürzte Evolventen.

Es versteht sich von selbst, dass die Curvensysteme des Oberschenkels und die der Tibia in strenger Relation zu einander stehen.

Folgendes Experiment dürfte zu empfehlen sein, um sich den besprochenen Gang des Gelenkes recht deutlich zu versinnlichen.

Man nehme eine kleine Walze, mit einem rechtwinklig auf der Axe als Handhabe (der Diaphyse des Schenkelbeines entsprechend) befestigten Stift, lege sie an ein Lineal, wie in der beiliegenden Figur, die Walze stellt die Axencurve der Condylen vor, das Lineal den Frontalschnitt der Tibia in der Linie *ca* des Schema Fig. 11. Kniekt man beide nach der Richtung der Pfeile (beugewärts) gegen einander ein, so wird man das Lineal sich abwickeln, die Walze gleichzeitig auf ihm rollen sehen; Punkte des ersteren beschreiben Evolventen, Punkte des letzteren Cycloiden. Ein Punkt *F*, der mit der Walze unveränderlich verbunden ist, wird den Gang eines Condylus-Punktes, ein mit dem Lineal fest verbundener Punkt *T* den eines Tibia-Punktes vorstellen.



Das Spiel der Lateral-Ligamente in ihrem Verhältniss zur reinen Flexionsbewegung des Knies ist ganz einsichtlich; ihre Ansätze am Oberschenkel entsprechen ziemlich der Lage der Axencurve des Gelenkes. Ihr Ansatz sinkt mit der Beugung und erhebt sich mit der Streckung; im ersten Falle müssen sie daher erschlaffen, im zweiten gespannt werden. An dem breiten bandartigen *Lig-tum lat. int.* beobachtet man auch noch eine Art Faltung oder Umkrämpfen in der Beugelage. Der Grund davon ist, dass das Band in einer mit der Axencurve gleichlaufenden Linie am Knorren sich befestigt, seine Ansatzlinie daher aus der Lage *c* des Schema, Fig. 11, in die Lage *c'* kömmt. Die in der Strecklage entfaltenen Fasern werden sich in der Beugelage durchkreuzen, die vorderen die hinteren decken. An den strangförmigen äusseren Seitenbändern ist diese Faltung nicht so deutlich. Das Spiel der Kreuzbänder auch so weit es von der Flexionsbewegung abhängt, wird später besprochen werden.

Betreffs der zweiten Componente der combinirten Kniegelenksbewegung, nämlich der rotatorischen Bewegung, haben die eingangs beschriebenen Vorgänge beider ergeben, dass auch sie nicht rein drehend ist, sondern mit einem fortschreitenden Bewegungs-Elemente sich verbindet; dass die Axe für die einzelnen Drehungs-Phasen im Raume fortschreitet, und ein nach hinten und innen convexes Curvenstück umschreibt. Da diese Axen in die Tibia fallen, so werden die Ganglinien für diese Bewegung, durch die Gleitpunkte der Schenkelcondylen an den Tibiatellern zu ziehen sein.

Wird die Rotation rein, nach vollbrachter Flexion vorgenommen, so werden die mit der flexorischen Ganglinie in Contact stehenden Punkte des Condylus die Gleitpunkte sein, und kurze Ganglinien ziehen, welche von den flexorischen Contactlinien der Tibia zur Contactlinie für die combinirte Bewegung reichen, also kurze Bögen beschreiben, von höchstens 45° Excursionsweite. Begreiflich, dass nur Punkte an der hinteren Peripherie der Knorren die beschreibenden sein werden. So kann man sich die rotatorische Gangeurve für den inneren Knorren auf der vorderen Hälfte der Tibiafläche, für den äusseren Knorren an der hinteren Hälfte verschaffen. Werden dann die Lateralbänder zerschnitten, die nur Hemmungsbänder sind, daher nur auf den Umfang, aber nicht auf den Modus der rotatorischen Bewegung Einfluss nehmen, so können diese Ganglinien durch Drehung der Condylen in entgegengesetzter Richtung etwas fortgesetzt werden, an der Innenfläche nach hinten, an der äusseren nach vorne, nachdem man sich früher überzeugt hat, dass der zeichnende Stift auch am gelockerten Gelenke in die bereits gezogenen Ganglinienfurchen eingreift. Um diese Ganglinien einzuritzen, wurde die Beugung über 90° vorgenommen, und diese Lage des Gelenkes beim weiteren Versuche möglichst eingehalten. Diese Ganglinien sind Fig. 12 gezeichnet; man wird bemerken, dass sie mit den seitlichen Begrenzungen der Tibiaflächen ziemlich gleich gerichtet verlaufen.

Diese Ganglinien sind offenbar ebenfalls Abwicklungslinien u. z. von einer Curve, welche zwischen die beiden Tubercula, also in die *Eminentia intercondyloidea* hineinfällt. Bei dem geringen Umfange der Bewegung lässt sich vorerst nur vermuthen, dass beide Curven, im Einklange mit den sagittalen Curven, Spiralen sein werden. Rücksichtlich der Stellung der offenen Axen-

curve ist auch nur vermuthungsweise anzunehmen, dass ihr Polarende nach aussen, ihr Öffnungsende nach innen sehe. Für diese Lage derselben spricht nämlich der Umstand, dass die Kreuzbänder bei der Führung des *Condylus int.* nach vorne um einander sich winden, dagegen bei der Drehung mit dem *Condylus ext.* nach vorne sich abwinden. Im ersten Falle also das Maximum ihre Spannung erreichen, im zweiten Falle aber abgespannt werden. Bei den beiden Ganglinien lässt die bemerkbare Abnahme ihres Radius nach vorne, auch hier ihr Polarende erkennen, was mit dem besprochenen Modus der Bewegung ganz gut im Einklange steht, da der *Condylus int.* beim Vordrängen sich aufwickelnd verhält.

Es lässt sich unter diesen Voraussetzungen von der Tibia, die einem Knie mit regelmässigen Formen der Schenkelcondylen entnommen ist (Fig. 12), ein Schema entwerfen, das Fig. 13 darstellt. Die Ganglinien lassen sich da durch Ab- und Aufwicklung der Linie *A* und *B* mit ihren einzelnen Punkten beschreiben. *AB* stellt die Flexionsaxe der Schenkelknorren dar, die beim gestreckten Knie die Lage *AB*, im stark combinirt gebogenen die Lage *A'B'* annimmt. Die Ganglinie des inneren und äusseren *Condylus* sind in entgegengesetzter Richtung gewunden; während die einen durch Abwicklung der einen Halbaxe erzeugt werden, werden die anderen durch Aufwicklung der andern Axenhälfte beschrieben. Die spirale Contour der Seitenränder ist in dem Schema an der einen Tibiafläche angedeutet.

Weun man die rotatorischen Bewegungen der Tibia den Rotationen des Radius analog bezeichnen will, so kann man die Rotation der Tibia, bei welcher der *Condylus int. fem.* vortritt, die Pronation nennen; die Rotation, bei welcher der *Condylus ext. fem.* vortritt, die Supination heissen. Mit der Beugung combinirt sich also die Pronation, und mit der Streckung die Supination.

Wie das Schema lehrt, geschieht die rotatorische Bewegung der Schenkelcondylen nicht symmetrisch, zur Pronation nimmt die Halbaxe (Radius) des *Condylus int.* mit seiner Beweglichkeit ab, zur Supination nimmt sie zu: die entgegengesetzte Erscheinung zeigt der *Condylus ext.* Bei gleichem Excursions-Winkel macht ein symmetrischer Punkt des *Condylus ext.* einen grösseren Bogen, als der des *Condylus int.*

Der Gang dieser Bewegung auf die Horizontale projicirt, würde also im Wesentlichen mit dem Gange der Flexionsbewegung übereinstimmen.

Nach der eingangs gegebenen Übersicht der combinirten Bewegung im Knie und der eben einzeln dargestellten sie componirenden beiden Bewegungen, sind jetzt die Knochenformen mit Rücksicht auf die combinirte Bewegung zu entwickeln, um schliesslich zur Charakteristik dieser Bewegung selbst zu übergehen.

Da der *Condylus int. fem.* als gleitender, der wesentlich die Bewegung bestimmende Gelenktheil ist, so muss die Betrachtung der Knochenformen zunächst von ihm ausgehen.

Der beschriebene Verlauf der Ganglinie am *Condylus int.* hat sie als eine Art Schraubenlinie erkennen lassen; die Gelenkfläche dieses Condylus lässt sich also als eine Art Schraubenfläche auffassen, deren Grundriss, mit Rücksicht auf die sagittale Schrittecurve des *Condylus ext.* mindestens annähernd die logarithmische Spirale sein dürfte. Bestimmter liesse sich die Fläche des *Condylus int.* noch darstellen, wenn man die Erzeugungslinie derselben und ihre verschiedenen Lagen kennen würde, welche sie bei Beschreibung der Fläche einnimmt. Da die Contactlinie der Tibia im strengen Contacte über der Condylusfläche bei der Bewegung des Gelenkes weggleitet, so ist sie, wie ich schon erwähnt habe, als Erzeugungslinie der Condylusfläche anzunehmen. Sie bildet eine im Frontalschnitt nach abwärts seicht convexe Linie, die einerseits in den freien Rand der Tibiafläche, anderseits in das *Tuberculum int.* ausläuft.

Es waren daher ihre Einzellagen zu bezeichnen, in denen sie beim Gange des Gelenkes gegen die Condylusfläche eingestellt wird. Diese Einzellagen habe ich auf folgende Weise ermittelt. Zuerst indem ich am Gelenke entlang der Contactlinie mit einem feinen Meissel und Sägeblatt eine von der innern Seite der Tibia zugänglichen Spalte eingrub, und mit einer dünnen Messerklinge ihre momentanen Lagen in dem Überzugsknorpel des Condylus verzeichnete. Eine zweite Methode war folgende: Drei bis vier scharfe Stifte wurden an der Contactlinie in die Tibia eingeschlagen, das Gelenk gestreckt eingestellt, darauf absatzweise die combinirte Bewegung gemacht. Die Stifte zeichneten die Ganglinie und bei jedem Absatze der Bewegung konnte auch ihre Verbindungslinie (Contactlinie) leicht am Schenkelknorren bemerkt werden. Durch dieses Verfahren bekam ich nebst den Ganglinien zugleich sechs bis sieben Lagen der Contactlinie und damit ein Netz über der Gelenkfläche, erzeugt

durch die sagittalwärts verlaufenden Ganglinien als Leitlinien und die frontalwärts gerichteten Contactlinien als Erzeugungslinien.

Es handelte sich nun darum, aus den ermittelten Daten den Körper darzustellen, dem der *Condylus int.* als Theil angehört, also den *Condylus* zu ergänzen.

Zu dem Ende musste gegen die Incisur hin, die Fläche in der Richtung der Contactlinien erweitert werden. Ich machte in die *Condylus*fläche Einschnitte, welche in der Richtung der experimentell ermittelten Contactlinien-Lagen gezogen wurden; legte in diese, dünne gerade Stäbchen ein, und vervollständigte die erzeugte Fläche noch durch Anlagerung anderer Stäbchen in den Zwischenräumen der experimentell bestimmten Lagen.

Sämmtliche Stäbchen convergirten unter einander, je zwei kreuzten sich, aber nicht in gleicher Länge, die vorderen weiter vom *Condylus*-Rande weg, die hinteren dem Rande näher. Die Durchkreuzungspunkte lagen natürlich auch nicht in einer Ebene; jedes hintere Stäbchen deckte das vordere, der Streckseite zu liegende.

So bekam ich eine offene Kegelfläche, d. h. eine Schraubenfläche (wie sie Fig. 6 darstellt), deren Wende- oder Randcurve für die horizontale Projection von innen und oben nach aussen und unten abfällt, demnach eine Schraubenlinie bildet, die am rechten Knie rechts, am linken Knie links gewunden ist.

Damit gewann ich eine Übersicht der Form dieser *Condylus*fläche und bemerkte zugleich dass die Einzellagen der Contactlinien mit der Faserrichtung der Ansatzstücke des *Ligamentum cruc. post.* übereinstimmten und versuchte nun das Band in die Gelenkfläche, als Ergänzungsstück derselben, mit einzubeziehen; legte nun über die ermittelten Lagen der Contactlinie und deren Zwischenlagen statt Stäbchen, Bleidrahtstücke, die einerseits der *Condylus*fläche angepasst, und anderseits in die Richtung der Fasern des Kreuzbandes gebracht wurden. Nach solchen Präparaten sind die Fig. 8 und 10 gezeichnet. Das Band stellt eine gewundene Platte vor, entsprechend der Form, die es in der vollen combinirten Beugelage des Gelenkes annimmt. Wird die das Band darstellende Fläche wieder abgewunden, so nimmt das Band, und die *Condylus*fläche die Form an, welche in Fig. 7 abgebildet ist. Es

ist also das *Ligamentum cruc.* als Ergänzungsstück der Gelenkfläche des *Condylus int.* aufzufassen, und bildet einen veränderlichen Antheil derselben.

Wenn nach diesen Ergebnissen wohl kein Zweifel mehr darüber bestehen kann, dass die ganze Fläche eine Schraubenfläche mit spiraler Basis ist, so ist doch der Gesamtkörper noch nicht bestimmt, dem diese Fläche als Theil einzufügen ist. Einerseits weist nämlich die Convergenz der Contactlinien auf eine Verschmälerung (Spitze) des Körpers gegen die *Incisura intercondyloidea* hin, und andererseits spricht die Schraubentour der Ganglinie für einen nach innen vom *Condylus* liegenden Ausgangspunkt derselben, da die Öffnung der spiralen Ganglinie streckwärts nach aussen sieht, und die engeren Touren derselben rückläufig nach innen ablenken. Es würde die Bestimmung grössere Schwierigkeiten bieten, wenn nicht solche Körper in der Natur entwickelt vorkämen. Ich glaube hier auf die Schneckengehäuse hinweisen zu können. Abgesehen von der grösseren Ascension der Spirale dürfte die letzte ungedeckte Windung einer Ranella wegen ihrer grossen Ähnlichkeit mit der dargestellten *Condylus*form Anhaltspunkte zum Vergleiche bieten und die Formverhältnisse desselben erläutern. Die Gelenkfläche entspricht der Wölbung des Schneckenrohres, das Band dem Theil des Gehäuses, den man mit Unrecht zwar Spindel nennt, und das Rohr für den Siphon bildet.

Die Ganglinien würden mit den spiralen Relief-Zeichnungen am Rohr, und die Contactlinie als Erzeugungslinie mit den Wachstumsstreifen zu vergleichen sein.

Die Entstehung der Gelenkfläche lässt sich also auf das Bildungsschema conchoidaler Flächen bringen. Die Spindel der Schnecke, welcher der *Condylus int.* angehört, hätte die Richtung schief abwärts in den hinteren Theil des *Condylus ext.* und wäre sehr kurz, die Schale demnach flach ihre Spitze wenig über die innere Fläche des *Condylus* hervorragend. Die Windungsrichtung dieses schneckenförmigen Körpers wäre nach der technischen Bezeichnungsweise, am rechten Bein rechtsgängig, am linken Bein linksgängig.

Die Zunahme des Umfangs, welcher am Schneckenrohr in den grösseren Windungen bemerkbar, und der Vergrösserung der sich selbst stets geometrisch ähnlichen Erzeugungslinie zuzuschreiben ist, wird auch hier nicht vermisst; jenes dreieckige Stück Fläche, welches

dem Bande bis an seine scheinbare Wendecurve angehört, ist der Ausdruck derselben. Beim Pelikan, dessen Tarsalgelenk auch rotatorisch beweglich ist, ist die Fläche des *Condylus int.* streckwärts breiter (Fig. 14), die Zunahme der Fläche nimmt hier eine unveränderliche Gestalt an; am menschlichen Knie dagegen fällt dieses dreieckige Stück, um das die Fläche breiter geworden ist, in das Band, und die unveränderliche Gelenkfläche erhält äquidistante Begrenzungsränder. Die den Ganglinien entsprechenden Curven an diesem dreieckigen Flächenstücke müssen aus der Tiefe hervortretend und immer kürzer werdend gedacht werden. Die stetige Zunahme der Breite dieser Fläche ist zugleich der Ausdruck der Zunahme der Halbaxe des rotatorisch zur Streckung sich abwickelnden *Condylus internus*.

Das Stück der Contactlinie, welches als Erzeugungslinie die Gelenkfläche beschreibt, kann daher ohne grossen Fehler als unveränderlich in der Form, ja wenn man von dem nach der Incisur steil abfallenden Flächenstück absieht, als ebene Curve betrachtet werden.

Diese Darstellungsmethode lässt sich aber auf den *Condylus externus* nicht unmittelbar anwenden, weil er meist abwickelnd nur im hintern Umfange seiner Wölbung gleitend über der Tibia sich bewegt. Wie man nur kurze Ganglinien erzielt, so kann man auch nur höchstens drei oder vier Lagen der Contactlinien auf seiner Oberfläche verzeichnen, wie in Fig. 5, doch lässt sich aus ihnen schon so viel entnehmen, dass die eingelegten Stäbchen ihre Durchkreuzungspunkte immer näher am Rande der Gelenkfläche haben, je näher sie der Streckseite zu liegen. Fährt man aber in der Anlagerung der Stäbchen so fort, dass die nach vorne folgenden die hinteren decken und ihre Kreuzungspunkte immer näher an den Rand der Gelenkfläche anrücken, so bekommt man für diesen *Condylus* ebenfalls eine *Conchoidal*-Fläche, deren Wende- oder Randcurve (in der Projection) in demselben Sinn wie die des *Condylus int.* gewunden ist, jedoch asymmetrisch mit ihm nicht zur Öffnung des spiralen Grundkörpers ansteigt, sondern abfällt.

Der *Condylus ext.* tritt in ein ähnliches Verhältniss zum Bande wie der *Condylus internus*, und die dreieckige Fläche, welche das Band bis an seine Wendecurve erzeugt, nimmt hier nach vorne ab. Wie bei der Rotation die Halbaxe derselben am *Condylus int.* zur

Streckung zunimmt, nimmt sie hier zur Streckung ab. Die Torsions-Form des Bandes fällt auch hier mit der Beugelage des Gelenkes zusammen (Fig. 8 und 9).

In den Fig. 9 und 10 sind die Condylen in combinirter Beugelage abgebildet. Würden sich die beiden Zeichnungen decken, so käme die scheinbare Wendecurve des hinteren Bandes auf das untere Ansatzstück des vorderen Bandes in der punktirten Linie knapp zu liegen; eines wickelt sich bei der Rotation vom andern ab.

In der Fig. 8 sind die Bänder in der Lage gezeichnet, die sie bei der reinen Biegung des Gelenkes annehmen, daher zwischen beiden Bändern ein Zwischenraum bleibt, der dem oben bemerkten freien Spielraum des Gelenkes entspricht und erst bei der nachfolgenden Rotation durch den innigen Contact zwischen *Condylus internus* und *Tuberculum internum* aufgehoben wird. Das Band des *Condylus ext.* ist, der besseren Übersicht willen, so gezeichnet, als ob es bis zum Streckende desselben reichen würde.

In das Schema eines Schneckengehäuses eingetragen, würde der *Condylus externus* ein der Spitze desselben zugekehrtes Flächenstück darstellen.

Die Bestimmung der Formen an der Tibia muss gleichfalls von der inneren Fläche ausgehen. An ihr muss sich jener Zapfen finden, um welchen die Condylen sich wickeln; und so viel lässt sich schon im vorhinein sagen, dass das *Tuberculum internum* Theil des Rotations-Zapfens ist, da der *Condylus int. fem.* bei der combinirten Bewegung stets gleitend an dem Tuberculum wie an der ganzen Fläche vorübergeht. Verfährt man jetzt mit der Tibia ähnlich wie vorhin mit dem Condylus, sägt in letzterem hinten eine Contactlinienlage ein, markirt durch den Spalt mit einem Messer ihren jedesmaligen Stand etwa drei bis viermal auf der Tibiafläche und legt Stäbchen ein, so erhält man eine den Lagerungsverhältnissen am *Condylus int. femoris* entsprechende Stäbchen-Gruppierung. Das vordere Stäbchen ist das längere, deckt das hintere und sein Durchkreuzungspunkt liegt mehr auswärts. Die Fläche wird also nach vorne breiter; die Contactlinienlagen entsprechen dem Tibiaansatze des *Ligamentum cruciatum anticum*, und wie für den *Condylus int. femoris* das hintere Kreuzband, so bildet für die innere Tibiafläche das

vordere Kreuzband das Ergänzungsstück der Gelenkfläche. Beide dieser Flächen sind mit einander congruent; die innere Tibiafläche bildet mit dem sie ergänzenden Meniscus einen Abklatsch des in der Strecklage eingestellten *Condylus int. femoris*. Die Wendecurve der Projection dieser Fläche fällt auch in das Kreuzband und hat schraubig verlaufend die Richtung von innen und unten nach oben und aussen, also dieselbe Richtung wie die Ganglinie des gestreckt eingestellten *Condylus*. Dass die Contactlinie, welche den knöchernen Antheil dieser Fläche ohne das *Tuberculum int.* erzeugt, als unveränderlich angenommen werden kann, dürfte hier wie für den *Condylus int. femoris* gelten; dass die Contactlinien beider Flächen congruent sind, ist sicher.

Um den Rotationszapfen der Tibia besser zu erkennen und den Einfluss der rotatorischen Bewegung auf ihre Formen genauer zu ersehen, dürfte es von Nutzen sein, einerseits die Bildung der menschlichen Tibia mit der des Tarsusknochens solcher Vögel zu vergleichen, deren Tarsalgelenk auch rotatorisch beweglich ist, und andererseits die Form dieser mit der Form der Knochen jener Tarsalgelenke zu vergleichen, die nur flexorisch beweglich sind.

Beim Flamingo, dessen Tarsalflächen in Fig. 15 vergrössert gezeichnet sind, laufen ihre beiden Seitencontouren nahezu parallel in sagittaler Richtung, beide Gelenkteller sind heinahe symmetrisch. Die beiden Seitenflächen des zwischen ihnen sich erhebenden nach der Streckseite gebogenen Fortsatzes sind oben gegen das Ende des Hakens verschmälert und übergehen nach unten unmittelbar im Sinne der räumlich gekrümmten Contactlinie geschweift in die tellerförmigen Tarsalgruben. Letztere sind rückwärts (nach hinten) durch schiefe convergirende Ränder begrenzt. Dieses Gelenk gestattet blos Flexionsbewegung. Beim Pelikan, dessen Gelenk auch Rotation zulässt, sind seine beiden Gelenkflächen, Fig. 16, seitlich oval begrenzt, der Hakenfortsatz zu einem abgerundeten schief nach aussen und beugewärts geneigten Zapfen geworden. Die innere Fläche nach beiden Richtungen concav, die äussere aber nur frontal concav, sagittal convex. Beide gehen auf den Haken über, aber nicht symmetrisch, sondern die innere Fläche streckwärts, die äussere Fläche beugewärts, gleichsam gewunden gegen sein oberes Ende, wo sich das Binnenband anheftet. Diese Form zeigt ganz deutlich den Einfluss der Rotation. In dem so umgestalteten Hakenfortsatze lässt

sich der Zapfen, um welchen die Rotation geschieht, nicht verkennen.

Denkt man sich den Zapfen, bis auf seine Basis, wo die Seitenfläche in die Teller übergeht, fehlend, so ist in den wesentlichen Theilen die Form der Tibia des Menschen gegeben, das *Tuberculum internum* wird sich als Rest dieses Zapfens erkennen lassen. Am Tarsalgelenk des Pelikans fehlt das *Ligamentum cruc. anticum*. Denkt man sich aber dieses Band am menschlichen Knie in Verbindung mit dem *Tuberculum internum*, seinem Ansatz, dabei aufgerollt, wie es die Fig. 9 darstellt, so dürfte es wohl kaum einem Zweifel unterliegen, dass dieses Band und das *Tuberculum internum* Ersatz für den Zapfen des Tarsusknochens sind, und zugleich als Zapfen für die Rotations-Bewegung des Knies zu halten sind. Ein Querschnitt dieses Bandes (durch Punkte in der Zeichnung angedeutet) würde also die Axencurve für die Rotation, als horizontale Projection der gesammten Kniebewegung vorstellen.

Aus der Zeichnung Fig. 9 ist auch das Verhältniss zu ersehen, in welchem die Gelenkfläche des *Condylus ext. femoris* und die innere Gelenkfläche der Tibia stehen. Beide ergänzen sich zu einem Körper, dessen Hälften im entgegengesetzten Sinne gedreht sind. Man kann sich einen solchen Körper damit erzeugen, dass man die symmetrischen Punkte zweier symmetrisch gestellter spiralen Stücke durch steife Fäden oder Stäbchen mit einander verbindet und beide Spiralen in entgegengesetzten Richtungen um die Axe der so erzeugten Walze im Sinne der Flexion dreht. Wird dabei auch noch die Axe im Sinne der Rotation gebogen, so ist die Ähnlichkeit noch grösser. Die Entstehung der Wendecurve, in der Zeichnung des hinteren Randes vom Bande, wird bei diesem Experimente ganz einsichtlich.

Wie an den Condylen, so werden auch an den Tibiaflächen veränderliche und unveränderliche Theile derselben unterschieden werden müssen; erstere gehören dem Bande, letztere der Knochendelle an. Die Concavität der innern Tibiafläche entspricht der concaven Hälfte des schematischen Körpers, dessen convexe andere Hälfte der *Condylus ext.* trägt.

Die Bedeutung des Einschnittes hinter dem *Tuberculum internum* ergibt sich ebenfalls aus der Zeichnung; er fällt in die scheinbare Wendecurve des Bandes.

Die äussere Tibiafläche frontal concav ist durch eine mitten sehr dick aufgetragene Knorpelschichte sagittal mehr oder weniger convex, also sattelförmig; nach hinten fällt sie ziemlich steil ab, wie dies auch an der entsprechenden Gelenkfläche des Tarsusgelenkes vom Pelikan zu bemerken ist. Die frontal gebogene Contactlinie des *Condylus extern. fem.* behält zu dieser Fläche in sagittaler Richtung dieselbe Richtung bei, da aber der Condylus sich abhebt und nicht gleitet, so fällt die sagittale Concavität weg, die nun von dem, wegen Raumerfüllung der Gelenkhöhle gleitend nachrückenden Meniscus getragen wird.

Indem der *Condylus int.* zur Beugung an der innern Tibiafläche vorrückt, bewegt er sich zugleich schrauben-auf (conf. Fig. 9); der *Condylus externus*, der rotatorisch die entgegengesetzten Bewegungen ausführt, wird sich am Rotationszapfen schrauben-ab bewegen, daher an der Tibia nach hinten sinken und die Neigung dieser Fläche erzeugen. Beide Gelenkflächen der Tibia verhalten sich also gegen einander wie zwei in entgegengesetzter Richtung laufende Wendeflächen, welche am linken Beine innen links gewunden, aussen rechts gewunden sind.

Das *Tuberculum externum* fällt nicht in den Rotationszapfen, wie das *Tuberculum internum*, es scheint mit der grössten sagittalen Erhabenheit der Fläche den Höhepunkt der Wendefläche anzudeuten, von wo aus nach vorn hin die Gelenkfläche in entgegengesetztem Sinne abfällt. Diese Fläche wäre daher ähnlich den seitlichen Gelenkflächen am zweiten Halswirbel, welche nach Henke's Nachweise von der frontalen Leiste verkehrt schraubig abfallen. Die äussere Gelenkfläche am linken Knie wäre der linken Fläche am Epistropheus, die des rechten der rechten ähnlich gebaut. Das Spiel der Kreuzbänder spricht für eine solche Wendeleiste.

Da die Contactlinie Erzeugungslinie der Gelenkflächen ist, so muss noch sie bei der Beschreibung berücksichtigt werden. Im Schema des Marabu-Gelenkes Fig. 21 der vorigen Abhandlung ist die Contactlinie sagittal dargestellt, sie ist in dieser Projection eine spirale Curve, welche von der Spitze des Hakenfortsatzes, heugewärts convex, bis zum grössten Sagittalschnitte des Condylus läuft.

Da sich die Curve auch der frontalen Wölbung der Condylen anpasst, so ist sie eine räumliche Curve. Ihre Form auf die horizontalen Tarsal-Dellen des Tarsus vom Flamingo eingezeichnet, stellt Fig. 15 dar; es wird daraus ersichtlich, dass die Curve vom grössten Sagittalschnitte aus auf dem Randstücke des Tarsaltellers wieder ansteigt, mit dem vom Haken absteigenden Stücke in sagittaler Ebene sich deckt aber nicht mehr die Höhe wieder erreicht, da sie nur theilweise, über die seitliche von der Incisur abgewendete Condylusfläche, sich aufbiegt. Man kann also an ihr zwei Stücke unterscheiden: eines dessen Hauptkrümmung in die sagittale Ebene fällt und dem Hakenfortsatze angehört, und ein Stück, das den Tarsustellern angehört, in die horizontale fällt und nach vorne convex ist. Die Contactpunkte der einzelnen Sagittalschnitte dieser Condylen und die Contactlinie sind am Schema ermittelt worden; natürlicher Weise ist physisch unter Contactpunkt und Contactlinie deren nächste Umgebung zu verstehen.

Rücksichtlich des menschlichen Knies werden die beiden Stücke der Contactlinie des Marabu-Gelenkes, das eine auf das betreffende Kreuzband, das andere auf den unveränderlichen Theil der Tibia- oder Condylusfläche fallen. Dieses zweite Stück wird die Knochenflächen umschreiben und constant in seiner Krümmung sein; das andere wird eine wechselnde Krümmung nach Stellung und Form dieser Bänder haben. Da die Bänder die Zunahme der Flächen bedingen, ihre Fasern also bald kürzer, bald länger in die Fläche fallen, so ist klar: dass ihre Auf- oder Abwicklung über oder von einander oder die Windung der ganzen Bänder die Lage des zweiten die Knochenfläche beschreibenden Stückes bedingt. Es wird sich daher z. B. die innere Tibiafläche in ihren Horizontalcontouren mit der Contactlinie beschreiben lassen, wenn man sie mit einer Bandfaser in Verbindung denkt, diese über die scheinbare Wende- oder Randcurve des vordern Bandes als Evolute aufgewickelt denkt und nun gegen die Streckseite abwickelt. Die Bandfaser wird das dreieckige Flächenstück des Bandes, die Contactlinie die Contouren der Knochenfläche erzeugen. Doch muss, um auch die Concavität dieser Fläche zu erhalten, die Contactlinie dabei flexorisch um eine mit ihrer Sehne parallele Linie gedreht werden. Im ersten Moment der Abwicklung wird sie convex nach hinten gerichtet den hinteren Rand der Tibiafläche ergeben, mitten in der Bewegung

mit der Convexität abwärts gerichtet die Tiefe der Tibia-Pfanne aushöhlen, und am Ende der Bewegung den schiefgestellten nach vorne convexen Rand derselben bilden. Es ergibt sich daraus, dass wenigstens der vordere Rand der innern Tibiafläche, so wie auch der mit ihm congruente schiefe vordere Rand des *Condylus int. fem.* die Contactlinien sind. Diese kann daher von hier aus direct, z. B. mit einem Bleidrahtstücke abgenommen werden und da die Ganglinie durch das Gleiten der Contactlinienpunkte erzeugt ist, die Ganglinie daher die Führungslinie ist, so wird die Contactlinie als Erzeugungslinie entlang der Ganglinie bewegt, die Gelenkflächen beschreiben.

Ist der *Condylus int. fem.* gestreckt und sein Band, wie später gezeigt wird, ganz aufgewickelt, also ohne Wendecurve, so wird die Wendecurve des *Ligamentum cruciatum ext.* oder *anticum* die Lage der Evolute angeben, von der seine grösste Ganglinie abgewickelt wurde. Da es sich aber hier nicht allein um Linien oder ebene Flächen handelt, sondern um Wendeflächen, so wird die Curve, von der sich die Bandfaser mit der Contactlinie abwickeln muss, als räumliche Curve anzusehen sein. Dass, abgesehen von der grossen Zahl für Wendeflächen überhaupt möglicher Evoluten, die für die Contouren der innern Tibiafläche und des *Condylus int. fem.* speciell als Evolute angesehene scheinbare Wendecurve des vorderen Kreuzbandes eine Art Schraubenlinie ist, lehrt die Ansicht der Fig. 9.

Wenn man die Formen der Gelenkskörper auf die beiden Bewegungsebenen projicirt, so wird man finden, dass ihre sagittalen Curven von den Ganglinien der Flexions-Bewegung, die horizontalen von den Ganglinien der rotatorischen bestimmt sind.

Die Tibiaflächen haben also rotatorisch bestimmte Contouren, der *Condylus internus*, dessen Ganglinie räumlich gekrümmt ist, ist wegen der umfangreichen Flexionsbewegung besonders sagittal gebogen, und seine Seitencontouren nach der rotatorischen Ganglinie geschweift.

Der äussere Knorren, der nicht gleitend, sondern mehr abwickelnd in der Rotation an der Tibia sich bewegt, ist aussen mehr sagittal begrenzt, sein der Incisur zugewendeter Rand rotatorisch, doch in entgegengesetzter Richtung so weit geleitet, dass er divergirt und mit dem äusseren Rande das Breiterwerden seiner Gelenkfläche in der Richtung nach vorne bedingt. Daher die Incisur vorne schmaler, hinten breiter, daher auch die Divergenz der Condylen

nach der Beugeseite und ihre Asymmetrie. Das Prominiren des *Condylus ext.* ist bloß bedingt durch die Patellarfläche, da der Umfang des innern Knorrens in sagittaler Richtung bei weitem der grössere ist; er als gleitender Gelenktheil bestimmt den Umfang der Bewegung und wegen seines grösseren Contactes mit der Tibia ist er auch vorzüglich der Träger der Leibeslast.

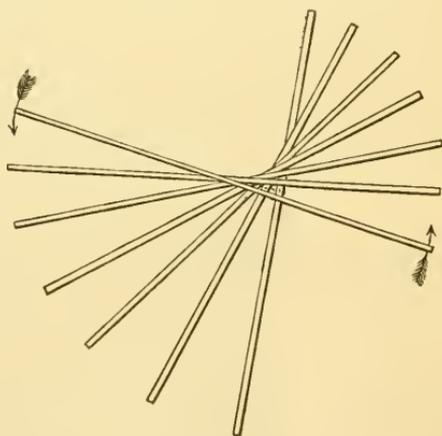
Die beschriebenen Formverhältnisse und Vorgänge beim Gange des Gelenkes lassen die Bedingungen der combinirten Bewegung des Knies in einer Auf- und Ab-Windung der beiden Kreuzbänder über einander und in einer wechselnden Torsion und Detorsion ihrer Fasern erkennen. Die Gelenkflächen sind im Sinne der Torsions-Anordnung der Bandfasern geformt. Das Band des inneren Condylus (hinteres Kreuzband) ist hinten an der Tibia befestiget, das des äusseren Condylus vorne; sie kreuzen sich in einem beinahe rechten Winkel und sind dabei ziemlich kurz, Umstände, welche schon sehr bald mit der Torsion und Aufwicklung zum Maximo der Spannung der Bänder führen müssen. Fertigt man sich mit ähnlicher Anordnung der Theile ein Modell dieses Bandapparates an, torquirt den dem hinteren Bande entsprechenden Strang, und wickelt ihn um den anderen im Sinne der combinirten Flexion herum, so wird der Strang durch seine Torsion und die Aufwicklung verkürzt und dabei an dem anderen Strange nach abwärts rollen, so dass, wenn seine Berührungspunkte markirt würden, er an dem als Axenkörper wirkenden Strange eine dreieckige Fläche zeichnen würde, deren vorderer Begrenzungsrand schraubig nach innen und vorne abfallen würde. Hätte man mit dem sich abwickelnden Strang einen zeichnenden Stift verbunden, so würde er auf der Horizontalen gewiss keinen Kreis, sondern eine Curve zeichnen, die nach vorne immer mehr sich krümmt; und wären die Bedingungen so gegeben, dass die sich torquirenden und aufwickelnden Bandfasern als Radii in geometrischer Progression an Länge abnehmen, so würde der zeichnende Punkt eine logarithmische Spirale beschreiben.

Dass die Stellung der das Knie bildenden Knochen wesentlich auf diese Torsions- und Aufwicklungsweise Einfluss nehmen werden, ist einsichtlich und damit auch die Möglichkeit für Störungen in den Formverhältnissen und der Bewegungsweise des Gelenkes gegeben. Abwicklungslinien werden die Curven, nach

denen die Gelenktheile geformt sind, gewiss immer bleiben; die Grenzen aber innerhalb welcher sie schwanken können, ohne den Mechanismus des Gelenkes wesentlich zu beeinträchtigen, lassen sich vom anatomischen Standpunkte wohl erst mit Hilfe pathologischer Befunde näher bestimmen.

Das Charakteristische der combinirten Kniebewegungen gegenüber der rein flexorischen Bewegung ist durch die Torsions- oder Schraubenform der Gelenksflächen bedingt. Der Effect der Schraube geht hier nicht auf eine laterale Verschiebung aus, wie bei den Schraubencharnieren, sondern auf eine Wendung des beweglichen Knochens. Die im Raume fortschreitende Axe bleibt nicht zu sich selbst parallel wie bei den Tarsalcharnieren der Vögel und der reinen Flexionsbewegung im Knie, sondern ihre Einzellagen kreuzen sich unter einander zugleich mit Änderung des Niveaus. Indem sich nämlich bei beweglichem Oberschenkel die zur Beugung sinkende Flexions-Axe des Gelenkes mit um einen Zapfen (des *Ligam. cruc. anticum*) aufwickelt, beschreibt sie eine Wendefläche, deren Form und Entstehung das beigedruckte Schema versinnlicht.

Die Wendecurve ihrer horizontalen Projection fällt mit der Schraubenlinie zusammen, welche (im obigen Experimente) die vorderen Berührungspunkte des sich aufwickelnden Stranges am anderen markirten, und die in Fig. 9 die punktirte Curve am



vorderen Kreuzbände andeutet. Die innere Halbaxe beschreibt die eine nach vorne concav abfallende Hälfte dieser Fläche, die äussere Halbaxe die andere nach hinten abfallende Hälfte.

Die Wege, welche einzelne Punkte der Gelenksknochen zurücklegen, können daher auch nicht in eine Ebene

fallen, sie müssen Curven im Raume sein; die Flexionsebene wird daher keine Ebene, sondern eine windschiefe Fläche sein. Die Unterschiede im Gange von Punkten des *Condylus int.* und *Condylus ext.* lassen sich schon theilweise ersichtlich machen, wenn man an einem approximativen sagittalen Durchschnittsschema dieser Wendeflächen die sagittale Axencurve für den *Condylus ext.* über den Durchschnitt der äusseren nach hinten abfallenden Wendel abrollen lässt, für den innern Knorren unten an der Wendel nach vorne abrollt und den Gang ihrer oder mit ihr verbundener Punkte mit Hilfe von Strohpapier zeichnet. Das überwiegende sagittal fortschreitende Element in der Bewegung des *Condylus ext.* ist in dieser Curve deutlich ausgeprägt. Die am *Condylus int.* bei der combinirten Bewegung eingeritzte Ganglinie gibt in ihrer seitlichen Schweifung das Mass ab für die rotatorische Excursion. Dass gerade die Schlussrotation zur Streckung bei voller Steifung des Knies so auffallend wird, ist der Verlängerung der von der *Eminentia int.* und dem *Ligamentum cruc. ant.* zur Streckung sich abwickelnden also sich verlängernden inneren Halbaxe zuzuschreiben; denn mit dem Radius wächst bei gleichem Excursionswinkel der Bogen der Excursion.

Der Bandapparat des Kniegelenkes zerfällt bekanntlich in die *Ligamenta lateralia* und *cruciata*. Die Anordnung der beiden Bänderpaare ist so getroffen, dass Spannung und Erschlaffung wechselnd für die verschiedenen Gelenkeslagen bald das eine bald das andere Paar trifft, das Gelenk daher trotz der Incongruenz, in jeder Lage wenigstens von einem Bänderpaar beherrscht, Contact und Festigkeit heibehält. Die Maximal-Spannungen der beiden Bänderpaare sind zugleich die Hemmungsmittel übergreifender Excursionen des Gelenkes. Nebst dem wechselnden Tensions-Grade der einzelnen Paare der Bänder ist auch noch ein Wechsel in den Spannungsverhältnissen der Faserbündel jedes einzelnen Bandes zu bemerken; das Spiel beider Bänderpaare lässt sich als Torsion und Detorsion jedes einzelnen Bandes und als Auf- und Abwicklung beider Bänder eines Paares um einander bezeichnen. Torsion und Detorsion trifft beide Paare gleichzeitig, in der Auf- und Abwicklung wechseln die zwei Paare ab.

Betrachtet man diese Bänder zunächst als vier Stränge, so findet man, dass sie in den extremen Lagen, je zwei gegen einander gekreuzt, nicht parallel zu einander stehen; sie sind über einander aufgewickelt, und zwar in entgegengesetzter Richtung, so dass wenn man das eine Paar aufdrehen wollte, das andere sich zudrehen würde. Wollte man z. B. in der Strecklage die *Ligamenta cruciata* von einander abwickeln und sie parallel zu einander stellen, so müsste der äussere Knorren vorn über nach einwärts rotirt werden, das schief nach vorn geneigte *Ligamentum lat. ext.* würde dagegen wieder um das mehr perpendicularär gestellte *Laterale int.* aufgerollt werden, die Durchkreuzung der Seitenbänder würde zunehmen. Wickelt man dagegen die beiden Seitenbänder von einander ab, was bei der combinirten Beugung geschieht, so wickeln sich dagegen wieder die beiden *Ligamenta cruciata* stärker über einander auf. Am linken Knie sind die Kreuzbänder rechts aufgewickelt, die Seitenbänder in gestreckter Lage linksgängig gekreuzt. Hebt man also z. B. in der Strecklage die Gegentorsion der *Ligamenta lateralia* mit ihrer Durchschneidung auf, so hat man nebst einer Erweiterung der Streckbewegung der Einwärts-Drehung des Oberschenkels oder Auswärts-Drehung des Unterschenkels die Grenze genommen, die *Ligamenta cruciata* werden sich parallel einstellen, das Gelenk ist vollkommen gelockert; wird es beim Oberschenkel gehalten, so sinkt die Tibia wegen Abwicklung der Kreuzbänder von einander und Contact und Festigkeit des Gelenkes ist aufgehoben. Der *Condylus ext. femoris* kömmt auf die innere Tibiafläche zu stehen, der *Condylus int.* gleitet ganz über die Tibia nach hinten weg.

Es stehen also die Seitenbänder ebenso in Beziehung zur Rotation, wie die Kreuzbänder, als Hemmungsapparat derselben.

Die *Ligamenta lat.* sind weniger über einander aufgewunden, als die *Lig. cruc.* Bei der gegebenen Excursionsfähigkeit des Gelenkes bleiben die Kreuzbänder in der sagittalen Projection immer gekreuzt, die Seitenbänder überschreiten aber von der Streck- zur Beugelage des Gelenkes ihre parallele Lage, erschlaffen dadurch und winden sich dann neuerdings bei combinirter Beugung, doch in entgegengesetzter Richtung wieder über einander auf, kreuzen und spannen sich, überschreiten die Mittelstellung, winden sich also in der gegebenen Excur-

sionsweite des Gelenkes zweimal in entgegengesetzter Richtung über einander auf.

Die *Ligamenta lat.* sind also auch Hemmungsbänder für die combinirte Beugung, nicht blos für die Streckung. Sind sie durchschnitten, so nimmt die Auswärtsdrehung des Unterschenkels, mit Überwindung des Widerstandes der Kreuzbänder, zu.

Da das innere Seitenband wegen dem Gleiten des innern Knorrens weniger erschlafft, als das äussere, dessen Condylus in sagittaler Richtung so weit excurriert, dass das Band mit seinem Schenkelansatz in einem Winkel von etwa 40° vor- und zurückpendelt, so ist das innere Seiten-Band gleichsam das Axenband, um welches sich das äussere herumwindet. Bei den Kreuzbändern ist es wieder das dem äussern Knorren angehörige vordere Band, welches für die Aufwindung beider den Axenkörper vertritt; es ist central befestiget. Das sich auf- und abwindende hintere Kreuzband ist excentrisch an der Tibia angeheftet. Dieselbe Rolle, welche je zwei Bänder in Bezug auf die ganze Schenkelrolle, spielen je ein *Ligamentum cruc.* und ein *Lig. lat.* in Bezug auf einen Condylus. Sie stehen zu einander in den Grenzlagen immer gekreuzt, doch ist die Excursionsweite des *Condylus ext.* viel grösser, als die des *internus*.

Das Auf- und Abwinden je eines Bänderpaares ist also hauptsächlich durch die Rotation bedungen. Die Torsion jedes einzelnen Bandes in seinen Fasern begleitet dagegen hauptsächlich die Flexionsbewegung. Mit der Beugung werden die Bänder in ihren Fasern torquirt, mit der Streckung detorquirt. Dabei wird das vordere Kreuzband bei der reinen Beuge-Bewegung mehr erschlafft als das hintere Band, weil sein Schenkelansatz durch die Beugung dem Tibiaansatz genähert wird, dagegen der vorne an die Incisur fallende Schenkelansatz des hinteren Kreuzbandes bei der Beugung gehoben, also vom Tibiaansatz etwas entfernt wird.

Bei blosser Torsion ihrer Fasern liegen beide Bänder nicht straff an einander, die Knochen gewinnen Spielraum, um in jedem Beuge-Momente mit Aufwicklung der beiden Bänder über einander die mögliche Rotations-Excursion nachträglich auszuführen.

Vergleicht man die Torsions-Richtungen (in der Beuge-lage beider Bänder, Fig. 8), so bemerkt man, dass sie in entgegengesetzter Richtung aufgedreht sind. Das *Ligamentum cruc.* des

Condylus int. ist nach hinten, das des *Condylus ext.* nach vorne torquirt.

Die Ansätze am Schenkel fallen ebenfalls ungleich aus, das hintere ist vorne an die Incisur, das vordere hinten an das Beugestück des äusseren Knorrens befestiget. Wird daher eine Streckbewegung vorgenommen, eine Bewegung, die beide Condylen zwar in gleichem Sinne vollführen, dabei aber den Ansatz des vorderen Bandes nach unten und vorne, den des hinteren Bandes nach oben und hinten, also ungleich dirigiren, so werden beide Bänder im entgegengesetzten Sinne sich umkrämpfen, das eine nach vorne, das andere nach hinten in seinen Fasern sich winden, welche Bewegung an beiden Bändern zur Detorsion ihrer Fasern führt. Wie hier der ungleiche Ansatz die gleichmässige Veränderung in den ungleich angeordneten Bänderfasern, so erzielt wieder das Ungleichmässige in der Bewegungsrichtung der sich rotirenden Condylen die gleichen Veränderungen in den verkehrt torquirten Bändern. Beide wickeln sich zur Pronation des Unterschenkels auf, zur Supination wieder ab, natürlich wird sich das eine rechts, das andere links aufwickeln.

Aus der beschriebenen Anordnungsweise der Bänder als Ganzes und ihrer Fasern ergibt sich, dass nur selten das ganze Band sich spannt (so die *Ligamenta lat.* in der Strecklage), die Spannung vielmehr eine fortschreitende ist von Faserbündel zu Faserbündel. Welche der Bündel in speciellen Fällen gespannt, welche erschlafft sein werden, dürfte leicht zu bestimmen sein.

Wird bei sehr gelockerten oder gar durchschnittenen Seitenbändern die Streckung bis zur Einknickung des Kniees nach vorne fortgesetzt, so winden sich durch die unvermeidliche Supinationsrotation die beiden Kreuzbänder noch mehr von einander ab, da aber ihr Parallelismus über die Excursionsfähigkeit des überhaupt noch verwendbaren Gelenkes hinaus fällt, so kann diese volle Abwicklung beider Bänder auf den normalen Bau des Gelenkes keinen bemerkbaren Einfluss nehmen. Weil aber die Detorsion der Fasern des einzelnen Kreuzbandes mit der normalen Strecklage ihr Maximum erreicht, so kann es geschehen, dass bei gelockerten Seitenbändern und damit bedingter grösserer Excursionsweite des Gelenkes die Torsion der Fasern des Kreuzbandes neuerdings, aber in entgegengesetzter Richtung beginnt. Es kehren sich

dann nach Überschreitung der Grenzlage die Bewegungs-Verhältnisse des Gelenkes ganz um; die Rotations-Axe rückt dem *Tuberculum ext.* immer näher, der *Condylus ext.* wird zum gleitenden, der *Condylus int.* zum abwickelnden Gelenktheile; es kehren sich mit der verkehrten Torsion der Bänder die Gangrichtungen um, die Ablenkung nach aussen wird zur Ablenkung nach innen; der *Condylus ext.*, zur Streckung ansteigend, sinkt wieder nach Überschreitung der Streckgrenze.

Ich habe schon oben bei Besprechung der äussern Tibiafläche darauf hingewiesen, dass sie nur das Grenzstück ist zweier in entgegengesetzten Richtungen schranbig abfallender Flächenstücke. Ich glaube auch das Eingangs besprochene dreieckige, einwärts der Längsleiste liegende, der Incisur zu sehende Flächenstück des *Condylus ext.* (Fig. 1) in diesem Sinne deuten zu müssen, und es als Rudiment einer von da in entgegengesetzter Richtung abfallenden spiralen Schraubenfläche ansehen zu sollen. Wie am *Condylus ext.* vorne, so ist auch am *Condylus int.*, aber hinten, ein Rudiment eines in entgegengesetzter Richtung gehenden Flächenstückes angesetzt. Ich meine das über der äussersten Grenzlage der Contactlinie beugwärts aufsteigende dreieckige Flächenstück, welches, mehr oder weniger deutlich entwickelt, schief nach aussen ablehnt (Fig. 5). Die in entgegengesetzter Richtung über der Grenzlage beginnende neue Torsion der *Ligamenta cruciata* bedingt eine neue Spannung ihrer Fasern, namentlich der hinteren am hinteren Kreuzbände, welche einer weiteren Excursion des Gelenkes streckwärts nur dann Raum lässt, wenn die Kreuzbänder sich von einander abwickeln, was nur mit einer Rotation des *Condylus internus* nach hinten ausführbar ist. In diesem Umstande und in dem streckwärts zunehmenden Contacte zwischen *Condylus* und *Tuberculum internum* liegt das Zwingende für die Schlussupination zur Streckung. Je mehr die *Ligamenta lateralia*, namentlich das äussere, erschlafft sind, desto umfangreicher wird die Schlussrotation zur Streckung sein. Schneidet man das *Ligamentum lat.* am Cadaver durch, so kann man mit dieser erweiterten Streckung und Supination des Unterschenkels eine Stellung der Beine hervorbringen, wie sie bei knieengenen Leuten zu sehen ist.

Es wäre vielleicht für den Chirurgen von Interesse, die Anatomie des *Genu varum* und *Genu valgum* im Sinne der besprochenen

mechanischen Verhältnisse namentlich mit Bezug auf die Rotation einer Revision zu unterwerfen; gewiss würden sich dabei auch weitere Anhaltungspunkte ergeben für die Deutung dieser rudimentären Flächenstücke. Für den experimentirenden Chirurgen werden sich auch aus dem beschriebenen Spiele der Bänder die Bedingungen ableiten lassen, unter denen das einzelne Band dem Riss zugänglich gemacht werden kann.

Nebst den beschriebenen, so zu sagen Hauptfasern gibt es noch accessorische Bündel der Kreuzbänder, die zu den Knorpeln gehen. Statt des bekannten *Ligamentum cruc. post. accessorium* geht manchmal an der vorderen Seite des hinteren Kreuzbandes ein Bündel zum äusseren Zwischenknorpel, in welchem Falle dann die beschriebene Anordnungsweise des Bandes scheinbar gestört ist.

Das Binnenband im Tarsalgelenke der storchartigen Vögel ist morphologisch identisch mit dem *Ligamentum cruc. post.* Es ist in diesen bloss flexorisch beweglichen Gelenken auch ein Hemmungsapparat für die excessive Streckung. Es besteht da bloss aus parallelen Fasern. Beim Pelikan (Fig. 14) besteht es schon aus zwei Platten mit diagonal sich kreuzenden Fasern, es ist also schon torquirt, doch in umgekehrter Richtung gegenüber dem hinteren Kreuzbande im Knie; es wird zur Beugelage detorquirt, und kann daher nur für die Streckung ein Hemmungsband sein. Ein dem *Ligamentum cruc. ant.* entsprechendes Band fehlt beim Pelikan.

Die Ursache der Incongruenz in der Beugelage am reinen Abwicklungs-Charniere der Tarsalgelenke der Vögel ist in dem Umstande zu suchen, dass die Tibiaflächen mit dem nach grösserem Radius gebogenen Streckstücke des Condylus congruent in der Beugung die mit kleinerem Radius beschriebenen Beugestücke der Condylen zu tragen haben. An diesen kleinen Gelenken genügten kleine Ausgleichsmittel, um den Binnenraum des Gelenkes zu erfüllen und den Contact herzustellen. Die Nachgiebigkeit der faserknorpeligen Gelenksüberzüge und wenig vorspringende Falten und Säume reichen hin, die Incongruenz auszugleichen. An dem grossen Kniegelenke des Menschen, dessen Beweglichkeit noch durch eine zweite Excursions-Richtung vermehrt wurde, sind grössere Ausgleichsmittel nothwendig.

Die Ansicht der Fig. 9 dürfte entnehmen lassen, dass auch am Knie die innere Gelenkfläche der Tibia der Strecklage der Condylen congruent gekrümmt ist, also hier dieselbe Ursache der Incongruenz eintritt wie beim reinen Charnier. Weil dann der gehogene, mit der Tibiafläche jetzt incongruente Knorren rotirend auf ihr gleitet, ihm daher der die Incongruenz ausgleichende Saum folgen muss, so wird dieser frei verschiebbar, grenzt sich von der Kapsel ab und wird zum Meniscus. Die Verschiebung des inneren Meniscus wird aber in den Fällen noch grösser, wenn bei grösserer Excursionsweite der Streckung der *Condylus internus* mit immer grösser werdendem Radius sich einzuzwängen sucht und eine seiner Normalen entgegengesetzte Gangrichtung einschlägt und der *Condylus externus* nach vorn und abwärts gleitet. Die nach vor- und rückwärts fortschreitende (rollende) Bewegung ist am *Condylus int.* immer noch kleiner als am *Condylus ext.*, wesshalb der äussere Meniscus viel mehr sich verschiebt als der innere. Zerlegt man die beiden Bewegungen des Knies, so ist die Bemerkung von H. Meyer ganz richtig, dass der *Condylus ext.* seine Ginglymus-Bewegungen am Knorpel ausführt, und die Rotation zwischen den Knorpel und die Tibiafläche fällt.

Für die Unabhängigkeit des Kniegelenkes von den Bewegungen der Patella ist der von Singer beschriebene Fall von angeborener Verrenkung beider Kniescheiben ein neuer Beweis. Ob die Grundcurve der Patellarfläche des Oberschenkels eine Fortsetzung der Grundcurven der Condylen, abgesehen vom Niveau, oder eine Curve mit selbstständigem Pole sei, muss ich unentschieden lassen; dass ihre Ganglinie von der der Condylen winklig ablenkt, ist dem lockeren Verbande der Patella mit der Tibia zuzuschreiben. Die Tibia verfolgt den ihr von den Krümmungsverhältnissen der Condylen vorgezeichneten Weg, die Patella folgt dem geraden resultirenden Muskelzuge des *Quadriceps femoris*. Die winklige Einbiegung der Strecksehne bei gesteihtem Knie ist, wie das H. Meyer schon gezeigt, Folge der unvermeidlichen Schlussrotation der Tibia, durch welche die *Spina tibiae* nach aussen gewendet wird. Der nach aussen erhöhte Rollenrand der Patellarfläche verhindert das Ausgleiten der Patella. Beim Pferd und Rind ist der innere Rand der

Patellarrolle erhöht. Die von der beim Menschen verschiedene Stellung des Ober- und Unterschenkels gegen einander bei aufrechtem Stande des Thieres, die aus diesem Grunde verschiedene Richtung des Muskelzuges gegen das Axensystem der Condylus-Rolle dürfte dieses abweichende Verhältniss erklären. Ich muss noch bemerken, dass mir die längere Patellarrolle dieser Thiere ganz den Eindruck gemacht, als ob sie eine der Gangweise an den Condylen entgegengesetzte Richtung hätte. Möglich, dass auch die von Malgaigne und Robert beim Menschen an der Patella beschriebenen durch eine Querleiste getrennten Facetten die Bedeutung zweier in entgegengesetzter Richtung schief gewendeten Flächenstücke haben. Die obere hätte dann die Gangrichtung der Condylen, die untere die der Patellarrolle. Die Querleiste wäre dann eine Wendeleiste, wie die grösste frontale Erhabenheit an den Gelenkflächen des *Epistropheus*.

Erklärung der Abbildungen.

Alle Figuren beziehen sich auf das linke Bein.

Fig. 1—4. Oberschenkelrolle von unten.

Fig. 1 und 2 normale Form. In Fig. 1 die Gang- und Contactlinien am *Condylus internus*, wie sie der Versuch direct ergeben hat; am *Condylus externus* deutet die punktirte Linie die Richtung der Leiste an (sie sollte weniger gegen den inneren Rand geführt sein).

Fig. 3 und 4 Varianten, Fig. 3 bei Knieenge, Fig. 4 wahrscheinlich von einem knieweiten Individuum.

- „ 5. Oberschenkelrolle von der Beugeseite mit den Gang- und Contactlinien. Die Bänder schematisch gehalten, der Streckform entsprechend.
- „ 6. *Condylus internus* mit den Contactlinien und ihnen entsprechend angefügten Stäbchen.
- „ 7. Form des *Condylus internus* schematisirt, mit detorquirtem Bande.
- „ 8. Schema beider Condylen mit den Kreuzbändern, letztere in der reinen Beugeform. Das vordere Kreuzband über seinen Ansatz bis nach vorne in seiner gesetzmässigen Faseranordnung fortgeführt. *Die Wende- oder Rand-Curven in der horizontalen Projection der Bandfasern.
- „ 9 und 10. Das Kniegelenk von oben nach Abtragung eines Condylus mit dem entsprechenden Kreuzbände und den Contactlinien; beide in der combinirten Beugelage, doch ist die reine Beugung über die normale Excursionsweite. die Rotation auf 45° angenommen. Die Kreuzbänder etwas idealisirt.

Fig. 9 *Condylus externus* mit dem *Ligamentum cruc. anticum* in seiner Beziehung zur inneren Tibiafläche. Punktiert die Projection der rotatorischen Axencurve angedeutet.

Fig. 10 der *Condylus internus* mit dem *Ligamentum cruc. posticum*. Die extremen Lagen der rotatorisch sich abwickelnden Flexions-Axe der Condylen mit a und a' bezeichnet.

- „ 11. Sagittaler Durchschnitt des *Condylus externus* und der Tibia in der Strecklage, mit dem Schattenriss des gebogenen Oberschenkels. cA die sich abwickelnde Axenlinie der Tibia. c Axen-Curve der Condylen (Evolute der Randeurve des *Condylus externus*). c' ihre Beugelage. β stets gleitender Contact-Punkt der Tibia. α Beugelage des Oberschenkel-Punktes a , gegenüber dem fixen Tibia-Punkt b . Zur Beugung des Oberschenkels muss sein auf Strohpapier abgenommenes Abbild der Art an der Tibia bewegt werden, dass seine ebenfalls zu übertragende

Axencurve auf der Tibialinie cA nach unten abgerollt wird. Soll die Tibia bei fixirtem Oberschenkel bewegt werden, muss ihre Axenlinie cA von der nun fixen Axencurve c abgewickelt werden.

Fig. 12. Tibiaflächen mit den rotatorischen Ganglinien und Contactlinien.

- „ 13. Ihr Schema mit der Evolute der Ganglinien als projectirte rotatorische Axencurve, und den extremen Lagen der rotatorisch sich an ihr abwickelnden Condylus-Axe. C Lage der Contactlinie für die reine Flexion, C' für die combinirte Bewegung.
- „ 14. Tarsusgelenk vom Pelikan, gebogen von der Streckseite (hinten).
- „ 15. Tarsusflächen vom Flamingo (den Tibiaflächen des Knies entsprechend), vergrößert, mit dem beugewärts (vorne) liegenden Hakenfortsatz von oben. Innen die Contactlinie.
- „ 16. Tarsusflächen vom Pelikan, ebenfalls vergrößert. Da die Tarsusgelenke die Beugeseite nach vorne haben, müssen Fig. 15 und 16 gewendet werden, um mit den Tibiaflächen des menschlichen Knies in parallele Lage gebracht zu werden.

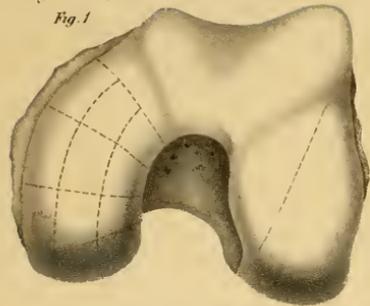


Fig. 1



Fig. 4

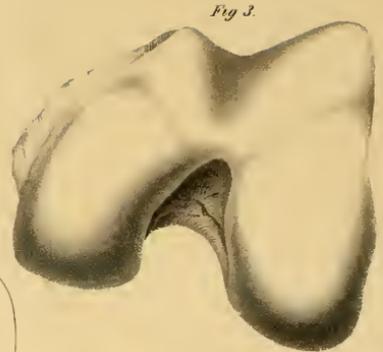


Fig. 3.

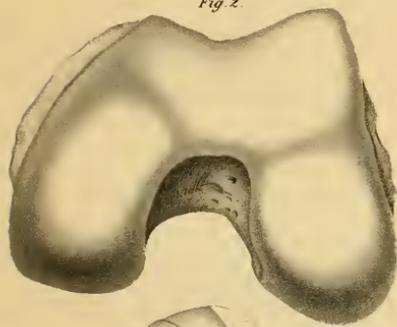


Fig. 2.

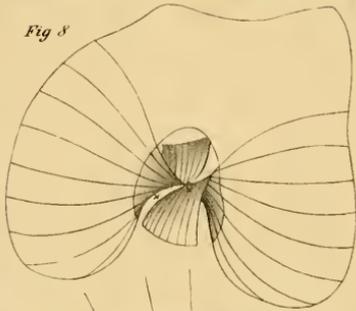


Fig. 8

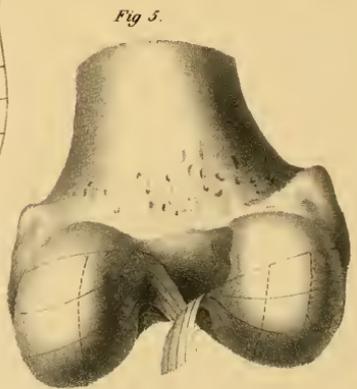


Fig. 5.

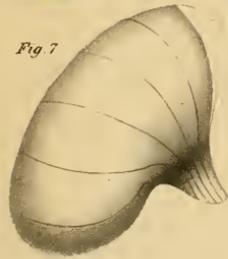


Fig. 7

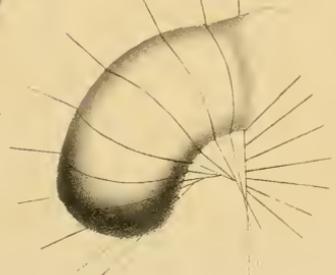
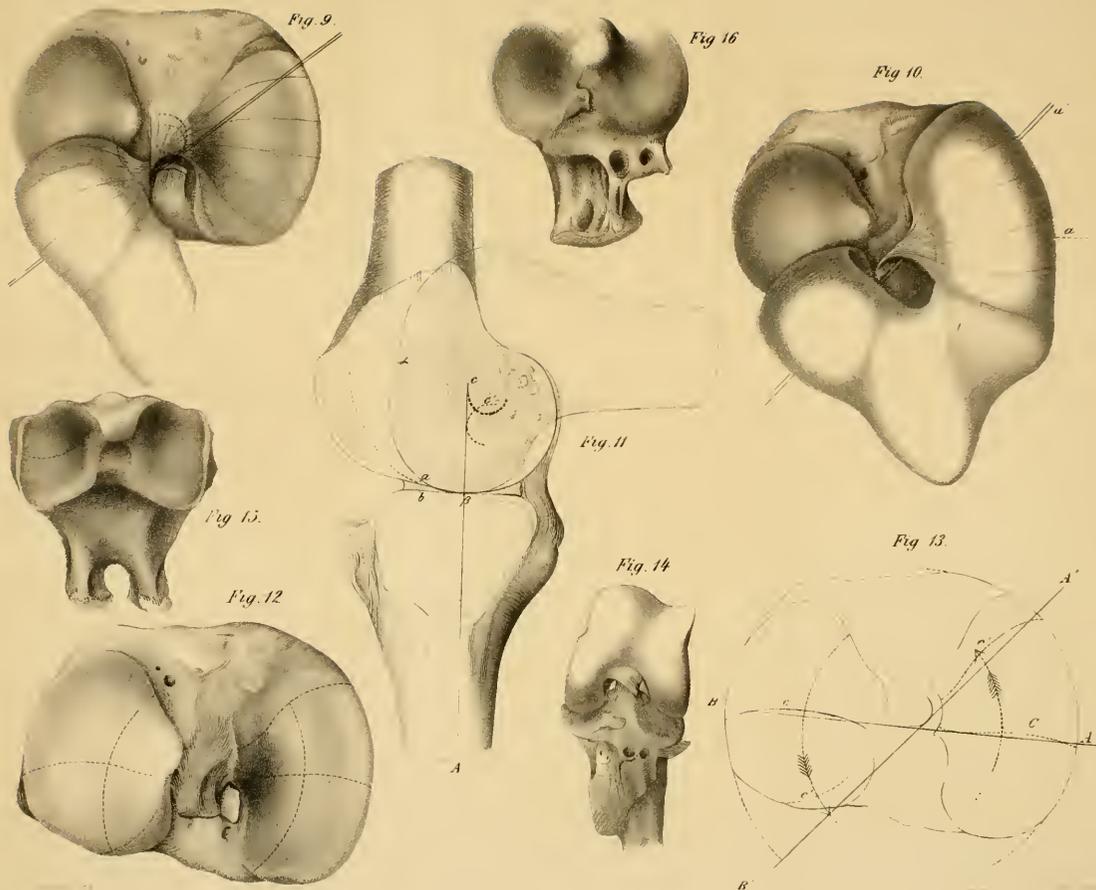


Fig. 6.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1858

Band/Volume: [32](#)

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

Artikel/Article: [Das Kniegelenk des Menschen. Dritter Beitrag zur vergleichenden Anatomie und Mechanik der Gelenke. \(Mit 2 Tafeln\). 99-142](#)