

DIE
AKTIVE FLEXION
IM
UNBELASTETEN KNIEGELENK.

VON
HERMANN ZUPPINGER,
ZÜRICH.

Mit 17 Textfiguren und 12 Figuren auf Tafel 32/33.

Bei der Lösung rein arithmetischer oder geometrischer Probleme bieten sich gewöhnlich mehrere Methoden dar, welche alle eine übereinstimmende und erschöpfende Lösung liefern, und es bleibt lediglich der Auswahl des Untersuchenden überlassen, welchen Weg er einschlagen will. Ganz anders verhält es sich bei der Untersuchung komplexer, speziell organischer Verhältnisse. Hier wird nur äusserst selten es möglich sein, bei Innehaltung einer einzelnen Methode ein umfassendes Bild zu erhalten. Fast immer wird nur ein sehr beschränktes Gebiet aufgeklärt, und es bedingt schon aus diesem Grunde die Untersuchungsmethode eine Einschränkung der Fragestellung. Dazu kommt noch etwas anderes. Eine jede Untersuchungsmethode geht von einigen Prämissen aus, und es sind deshalb die Resultate von der Richtigkeit dieser Prämissen abhängig. Es kommt nun bekanntlich recht häufig vor, dass eine Voraussetzung einem Beobachter und zu einer bestimmten Zeit als durchaus selbstverständlich gelten kann, während sie später sich als irrig herausstellt. Endlich ist eine jede dieser Methoden mit gewissen Fehlerquellen behaftet, deren schädliche Wirkung auf das Resultat sich auf mühsamem Wege allerdings taxieren, aber nicht vollständig eliminieren lässt. Es wird deshalb immer wünschenswert sein, die Ergebnisse früherer Forschungen zu revidieren, sobald eine neue Methode hierzu sich bietet. Meistens lässt dem Thema sich eine neue Seite abgewinnen, die Fehler früherer

Methoden können vermieden werden, die Prämissen werden andere, und es werden so frühere Resultate entweder als irrig oder als zweifelhaft erkannt oder aber bestätigt. Die Geschichte der bisherigen Gelenkuntersuchungen ist in dieser Beziehung ganz lehrreich.

Die Gebrüder Weber, die zum erstenmal mit wissenschaftlicher Genauigkeit sich an die Bearbeitung der Gelenke machten, gingen von der Prämisse aus, dass die Bewegungen in den Gelenken sich um bestimmte, feste Achsen vollzögen, und dass die Art der Bewegung abhängig sei von der Gestalt der Gelenkoberflächen. Beim Kniegelenk freilich fanden sie, dass eine feste Drehachse hier nicht möglich sei, und statuierten dies als eine Ausnahme. Sie erkannten diese Unmöglichkeit aus dem Profil der Femurkondylen, welches sie als eine Spirale ansahen. Alle anderen Gelenke hielten sie für sogenannte „Umschlussgelenke“, d. h. solche, bei denen die eine Gelenkfläche der Abguss der anderen ist, und bei denen sowohl der eine wie der andere Teil um die nämliche Achse sich bewegen. Bei ihren Untersuchungen verwerteten sie hauptsächlich die anatomischen Verhältnisse, und bestimmten dazu ausserdem die Bewegungsamplituden und bei einigen Gelenken die Gelenkprofile. Von Fehlerquellen ist bei den Gebrüdern Weber nicht eigentlich zu reden, doch ist immerhin zu bedenken, dass die Untersuchungen an Leichen nicht ohne weiteres einen Schluss gestatten auf die Verhältnisse am Lebenden.

Hermann Meyer baute die Methode der Gebrüder Weber weiter aus. Er bestimmte die Gelenkprofile mit grosser Sorgfalt, und er giebt sowohl in seiner Statik und Mechanik als auch in seinem Lehrbuch der Anatomie die Lage der Gelenkachsen mit grosser Genauigkeit an. Wie die Gebrüder Weber so ging auch er von der Basis aus, dass die Gelenke sogenannte „Umschlussgelenke“ seien, und dass ihre Bewegungsform gänzlich von der Gestalt der Gelenkflächen abhängig sei. Er betont

denn auch, dass die beiden Gelenkflächen sich durchaus in „satter Berührung“ befinden. Ausser den Bewegungen am intakten Gelenke studierte Meyer wie die Gebrüder Weber die Bewegungen nach Durchtrennung einzelner Muskelgruppen und Bänder. Die Profile gewann er teils durch Projektion auf ein Fadennetz, teils und zwar hauptsächlich durch Gipsabgüsse nach frischen Gelenkflächen, durch welche es ihm gelang, den Umfang dieser Flächen bedeutend zu erweitern. Beim Kniegelenk speziell wich er vermöge seiner abgeänderten Methode von den Gebrüdern Weber ab und behauptete, das Profil der Femurkondylen sei keine Spirale, sondern aus je zwei Kreisbogen zusammengesetzt. Und während die Gebrüder Weber einfach sagten, „das Knie kann keine feste Achse haben“, behauptete Mayer, das Knie hat eine Achse für den Beginn der Flexionsbewegung und eine zweite für ungefähr die weiteren zwei Dritteile der Flexionsbewegung. Meyer führte also das Kniegelenk auf ein zweiphasiges Cylindergelenk zurück, wobei der Übergang von einer Phase zur anderen durch den elastischen Meniskus ermöglicht werden sollte. Auch Meyer hielt es für selbstverständlich, dass die Bewegungen um diese beiden Achsen sich vollzögen, gleichviel ob bei ruhendem Femur die Tibia sich bewege oder bei ruhender Tibia das Femur der bewegte Teil sei. Sehr viel später, im Jahre 1890, beschrieb dann H. v. Meyer seine Methode der Abformung in Gips, und es ergibt sich daraus, dass dieselbe nicht einwandfrei sei.

Ungefähr gleichzeitig verfolgte Henke das Prinzip der gemeinsamen Achse in seine äussersten Konsequenzen und gab ihm den schärfsten Ausdruck in seinem Grundsatz der „innigsten Berührung“.

Um das Jahr 1890 fand dann die Gefriermethode, nachdem bereits 1870 König nach derselben das Hüftgelenk studiert, ihre Anwendung auch auf die Gelenke, und damit erhielt die Theorie der „innigsten Berührung“ einen Stoss. Hans Virchow

und dann auch Braune und Fischer fanden, dass im Gegenteil die beiden Gelenkflächen sich nur in einem sehr kleinen Rayon berührten, dass die Berührungsstelle in verschiedenen Graden der Flexion sich verschiebt und dass die Berührung durch Belastung sich ausbreitet. Hermann v. Meyer erklärte damals ebenfalls, dass fast alle Gelenke Randpartien besäßen, die weder den geometrischen Anforderungen entsprechen, noch in mittlerer Stellung sich gegenseitig berühren. Diese Randpartien nannte H. v. Meyer „unreine“, versuchte aber nicht, den Zweck dieser Unreinheit zu erklären. Einige Jahre später bemerkte dann Tornier, dass allgemein die konkave Gelenkfläche grössere Krümmungsradien habe als die konvexe.

Es folgten darauf die Untersuchungen von Braune und Fischer, welche die Serienphotographien der bewegten Glieder zu Hülfe zogen und drei Punkte des bewegten Gliedes auf zwei Flächen projizierten. Es war ihnen dadurch möglich geworden, die Bahn der bewegten Punkte im Raume darzustellen. Braune und Fischer hatten bereits vorher erkannt, dass die Gelenkachsen in der Regel keine festen sind, sondern schwanken, und O. Fischer hat schon 1888 (Abhandl. d. k. sächs. Gesellschaft) die Bewegungen der Achse des Humero-Ulnargelenkes zum Gegenstand einer Untersuchung gemacht. Dass diese Achsenwanderung verschieden ist, je nachdem der Humerus fixiert und die Ulna bewegt ist, oder umgekehrt, ist allerdings nicht erwähnt. Bezüglich des Kniegelenks sagen Braune und Fischer in „Die Bewegungen im Kniegelenk“ 1891 S. 128: „Die Annahme, dass die Beugungsachse und die Tibia-Längsachse sich immer schneiden ist beim Kniegelenk vollständig zulässig“. Braune und Fischer gewannen, was wichtig ist, ihre Resultate am Lebenden.

Die heutige Darstellung der Gelenkfunktion ist nun der Hauptsache nach folgende: Dem Knie- und Kiefergelenk wird von vornherein eine gesonderte Stellung angewiesen. Bei den

übrigen Gelenken mit gekrümmten Flächen wird gesagt, dass die Gelenkflächen auf einander schleifen, und dass deshalb die Gelenkenden Teile von Rotationskörpern seien. Wenn dies richtig ist, so sind nur Ginglymus-Gelenke, Schraubgelenke, Sattel- und Ovoidgelenke und Arthrodien möglich. Nun sind aber die Bedingungen des vollkommenen Schleifens nur bei wenigen Gelenken verwirklicht. Es sind im Gegenteil mehrfach wesentliche Abweichungen von dem Typus des Schleifgelenkes vorhanden. Zusammengehalten werden die Gelenkflächen durch die Kapsel, durch gespannte Bänder und durch die Muskulatur. Bei den sogenannten einachsigen Gelenken können diese Bänder selbstverständlich nur an den Enden der Drehachse befestigt sein. Der Modus der Bewegung ist völlig gegeben durch die Gestaltung der Gelenkoberflächen, in der Art, dass glatte oder façonnirte Cylinder und Kegelmantel eine Bewegung in einer Ebene oder um eine Achse, Schraubgelenke eine gleichzeitige Verschiebung längs dieser Achse etc. bedingen. Der Umfang der Bewegung wird gegeben durch die Differenz zwischen den Umfängen der beiden Gelenkflächen und arretiert wird die Bewegung durch Knochenanschlag und Hemmungsbänder.

Eingeteilt werden die Gelenke in einachsige, zweiachsige und dreiachsige, und zwar liegen die Achsen für Flexion und Abduktion im Gelenkkopf, für die Rotation ungefähr in der Längsachse des bewegten Gliedes. Die Ligamente sollen ausschliesslich Haft- und Hemmungsapparate sein; eine andere Funktion kennt man nicht und bestreitet eine solche sogar.

Wie man sieht, bewegt sich die ganze Darstellung zwischen zwei Schwierigkeiten. Auf der einen Seite kann man sich von dem mathematischen Cylinder-, Schraub- und Kugelgelenk nicht frei machen, und auf der anderen Seite sich der Erkenntnis nicht verschliessen, dass die menschlichen Gelenke konstant wesentliche Abweichungen von den mathematischen Formen aufweisen. Die ganze Verlegenheit wird trefflich illustriert durch

das Dictum Gegenbauers: „Es war ebenso irrig, wenn manche eine zeitlang an die streng mathematische Ausführung der Gelenke glaubten, als es verfehlt wäre, diese Begriffe fallen zu lassen!“

Als Näherung hat ja die vorstehende Darstellung ihren Wert, auf Genauigkeit aber hat sie nur bedingten Anspruch. Es erheben sich auch sofort eine Reihe von Einwänden gegen sie, die sich nicht leichthin abweisen lassen. Einmal steht die Inkongruenz der konkaven oder konvexen Gelenkfläche in konträrem Gegensatz zu der Abhängigkeit der Bewegungsform von der Gelenkform, wenn nicht der Druck der Muskulatur und dgl., der eine innigere Berührung zu stande bringt, als hinreichende Erklärung acceptiert werden soll. Das geht aber nicht wohl an, weil durch diesen Druck eine rein geometrische Rotationsform eben doch nicht erzeugt wird. Ganz unerklärlich aber scheint mir das Fehlen der reinen Kugelform bei den Arthrodien, der reinen Cylinderformen bei den Ginglymusgelenken. Wenn man bedenkt, dass eine zwangsläufige Bewegung um eine feste Achse nur möglich ist, wenn die Gelenkflächen streng cylindrisch sind, so muss bei der Konstanz der Gelenk„unreinheiten“ sich die Überzeugung bilden, dass der Gelenkmechanismus doch ein anderer sei. Das Verhalten der Haftbänder bei den Ginglymusgelenken kann diese Überzeugung nur verstärken. Diese Haftbänder, Ligamenta collateralia können am Gelenkkopf nirgends als an den Enden der Achse befestigt sein; jede andere Befestigung macht die reine Winkelbewegung unmöglich. Nun sind ja diese Lig. collat. keine mathematischen Linien, sondern haben, um fest genug zu sein, eine gewisse Breite. Es ist nun nicht wohl möglich und wird auch nicht beobachtet, dass alle Fasern dieser Ligamente sich in einem einzigen Punkt anheften. Selbst das Ligamentum ulnare am Elbogen, dem am wenigsten unreinen Scharniergelenk, erfüllt die rein punktförmige Insertion am Humerus keineswegs.

Verwunderlich ist es nun nicht, dass in der Gelenktheorie Cylinder-, Schrauben- und Kugelgelenk immer noch herrschen.

Wir sind von Jugend auf gewohnt, jede Verbindung zweier Körper, die eine beschränkte Bewegung gestattet, für eines dieser Gelenke oder dann für eine prismatische Führung zu halten. Überall begegnen wir diesen Verbindungen, und die primitive wie die höchste Technik bedient sich dieser beweglichen Verbindungen.

Sobald aber durch Kombination mehrerer solcher allbekannter einfacher, beweglicher Verbindungen, z. B. zweier geradliniger Führungen oder einer solchen Führung mit 2 Scharniergelenken oder von 4 Scharniergelenken ein komplizierter Mechanismus entsteht, so reichen unsere rein durch Erfahrung erworbenen Kenntnisse nicht mehr aus, die nun entstehenden Bewegungen recht zu verstehen. Wir sehen wohl die Führungen und die Scharniere, wir sehen z. B., dass das eine Ende einer Stange sich geradlinig, das andere in einem Bogen bewegt, aber das Bewegungsgesetz der ganzen Stange zu verstehen ist Sache eines speziellen Studiums.

Ausser dem mangelnden Verständnis für diese Bewegungserscheinungen hat offenbar auch die scheinbare Bewegung der Glieder davon abgehalten, die Vorgänge in den Gelenken einer genauen Prüfung zu unterziehen. Es beschreibt dem Anscheine nach der *Processus styloides ulnae* einen Kreisbogen um eine Achse in der *Trochlea*, die Spitze der *Endphalanx* eines Fingers einen solchen um eine Achse im vorderen Ende der II. *Phalanx*. Es wird daraus als selbstverständlich geschlossen, dass es sich in beiden Fällen nur um reine Cylinder- (Winkel-, Scharnier- oder *Ginglymus*-) Gelenke handeln könne. Und doch ist weder dieser Schluss ohne weiteres zulässig, noch braucht die Beobachtung richtig zu sein. Ein Kreisbogen lässt sich eben von einer anderen Kurve von relativ geringer Krümmung durch blosses Anschauen nicht unterscheiden. In nebenstehender

Figur 1 z. B. beschreibt der Punkt C ein Stück einer Ellipse, doch wird man diese Kurve von einem Kreisbogen nicht unterscheiden können, wenn die Punkte A und B, die sich geradlinig bewegen, sehr nahe bei einander gelegen sind. Und je geringer die Exkursion des Punktes C ist, um so schwerer wird

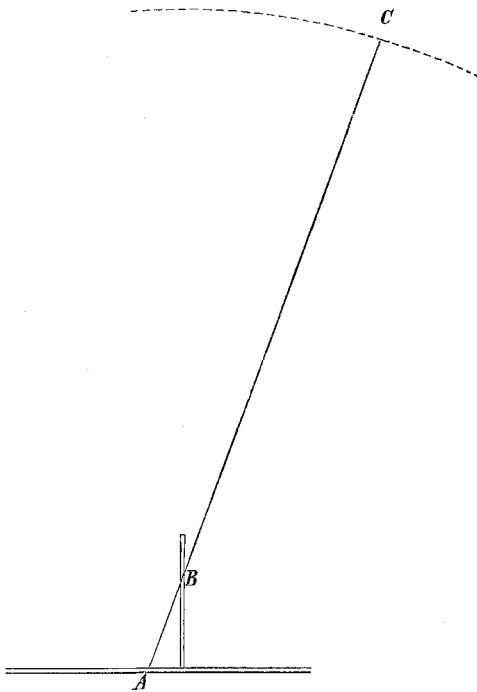


Fig. 1.

die Beurteilung der Kurve. Aber auch wenn die Bahn des Processus styloides ulnae wirklich ein Kreisbogen wäre (was sie wohl nicht ist), so ist der Schluss doch nicht statthaft, dass das Humero - Ulnargelenk ein Cylindergelenk sei. Kreisbogen kommen zu stande auch ohne Cylindergelenk oder etwas Ähnliches. In Figur 2 gleiten die Schenkel des rechten Winkels längs der beiden festen Punkte

A und B. Es beschreibt dann der Scheitel C des rechten Winkels einen Halbkreis und doch hat die ganze Anordnung mit einem Cylindergelenk nichts Gemeinsames. So viel scheint fest zu stehen, dass in der Gestalt der Gelenkflächen mit ihren „unreinen Partien“, und die sich nur unvollständig berühren, ebenso wenig wie in der Bewegungsform eine Nötigung liegt zur Annahme genauer Cylinder-, Schrauben- oder Kugelgelenke. Ungenaue Cylindergelenke aber

sind weder zweckentsprechend, noch sind sie überhaupt noch Cylindergelenke zu nennen. Ebenso verhält es sich mit den Schrauben- und Kugelgelenken. Die sogenannten zweiachsigen Gelenke gestatten nun zwei Bewegungsarten, entweder vermöge ihres Baues, oder weil es an einer Muskulatur fehlt, welche eine dritte Bewegung bewirkt. In letzterem Falle gilt das gleiche wie beim Kugelgelenk. Eine Annäherung ist aber eben doch etwas anderes als der Typus selbst.

Neue Untersuchungen werden, wenn sie Resultate zu Tage fördern, die mit den bisherigen Vorstellungen im Widerspruch

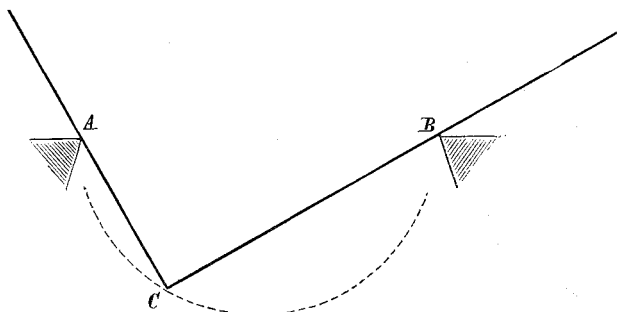


Fig. 2.

stehen, nur bedingte Rücksicht zu nehmen haben auf die Unterscheidungen in ein-, zwei- oder dreiachsige Gelenke. Ebenso sind die Begriffe des Ginglymus, des Schraub- und Kugelgelenkes problematisch geworden; die Axiome der innigsten Berührung und die ausschliessliche Schleifbewegung (ausser in Knie- und Kiefergelenk) brauchen nicht unter allen Umständen respektiert zu werden. Damit dürften denn auch die festen Gelenkachsen durch wandernde ersetzt werden, wie O. Fischer bereits vielfach betont hat. Es ist nicht unmöglich, dass dann das Kniegelenk aus seiner Ausnahmestellung heraustritt und ein Paradigma für die ganze Gelenkkinetik wird.

Meine Arbeiten.

I.

Ich selber habe seit 1899 meine Aufmerksamkeit dem Kniegelenk gewidmet. Ich versuchte zuerst, die Drehachse für die Flexion genauer zu bestimmen und zwar am Lebenden. Ich verfuhr dabei folgendermassen: Ich liess mir von Blech eine Vorrichtung machen, ähnlich der Raquette des Ballspiels. Der Stiel war breit und flach, die Öffnung des Ringes mit Geflecht bezogen. Auf die Haut am Kniegelenk klebte ich bedrucktes Papier und befestigte nun die Raquette so an der Tibia, dass der Condylus int. femoris durch die Maschen des Netzes sichtbar war. Ich machte das so, weil nach Meyer und allen Autoren die Drehachse im Femur zu suchen ist. Das Versuchsobjekt war bequem auf die Seite gelagert, und die Haut des Oberschenkels drängte ich etwas gegen das Knie, um Spannungen und Verziehungen der Haut zu vermeiden. Ich liess nun das Knie aktiv erst maximal strecken und dann langsam flektieren und erwartete den Punkt, um den die Drehung sich in jedem Moment vollzog, mit Hilfe des Netzes fixieren zu können. Der Drehpunkt sollte ja für kleine Bewegungen an seiner Stelle bleiben, wenn er auch für grössere Exkursionen eine Wanderung ausführte. Es sollte also nach der Auffassung der Gebrüder Weber die Drehachse sich ungefähr verschieben, wie die Achse eines Wasserwirbels. Nach Hermann Meyer allerdings hätte dieser Wasserwirbel erst stationär zu bleiben, dann eine kleine Wanderung abwärts auszuführen, um etwas weiter unten zum zweitenmal stabil zu werden. Die Beobachtung der Drehachse musste natürlich schwieriger sein als diejenige eines Wasserwirbels, weil Niveaudifferenzen hier fehlten. Immerhin mussten Faden und Knoten des Netzes auf einer Seite von einem Buchstaben des bedruckten Papiers sich abwärts, auf der gegenüberliegenden Seite sich aufwärts bewegen.

Ich war nun sehr erstaunt für den Anfang der Flexionsbewegung einen Drehpunkt am Femur überhaupt nicht finden zu können. Erst bei fortschreitender Flexion zeigte sich ein Drehpunkt, und bewegte sich schwankend in einem kleinen Bezirke, der ungefähr der Stelle entspricht, die Gebr. Weber und H. Meyer als Achse der letzten $\frac{3}{4}$ der Flexion annehmen. Die obere Meyersche Achse lag jedenfalls ausser dem Gebiet der sichtbaren Achsenbewegung. Nachdem ich die Sache vielmal wiederholt hatte, immer mit ungefähr gleichem Resultat, befestigte ich die Raquette am Oberschenkel und fand nun für den Beginn der Flexion einen Drehpunkt in der Tibia etwas unter oder in der Gelenkspalte. Wurde die Raquette auf der Aussenseite des Knies sowohl am Unterschenkel als auch am Oberschenkel befestigt, so zeigte sich wieder zuerst ein Drehpunkt im Unterschenkel oder in der Gelenkspalte, nachher erst im Oberschenkel. Die Sache war mir unverständlich, ich wusste nicht, ob die ganze auffallende Erscheinung einem Fehler in der Anordnung zuzuschreiben sei. Die Sache blieb dann liegen bis im folgenden Winter.

II.

Gelegentlich einiger Fälle von Zerreißung der Cartilago semilunaris medialis machte ich mich, gemeinsam mit Herrn Dr. Haemig daran, die Bahn eines Fussknöchels graphisch darzustellen. Zuerst legten wir den Patienten so auf den Bauch, dass der Unterschenkel samt dem Knie über die Tischkante vorragte, befestigten an dem Malleolus internus einen Schreibstift und stellten eine Zeichnungsebene in der Weise auf, dass bei der Flexion der Schreibstift mit derselben im möglichst grossen Umfange in Berührung blieb. Die Methode musste aus folgenden Gründen sofort wieder aufgegeben werden: Lag der Quadriceps femoris auf dem Tisch, so bedingte dessen Dickenzu- und -abnahme eine Hebung des ganzen Beines, sodass das Resultat

unbrauchbar wurde. Wurde der Oberschenkel soweit gehoben, dass er den Tisch nicht mehr berührte, so musste das Knie in dieser Stellung irgendwie fixiert werden. Das konnte nicht wohl anders geschehen, als durch Festklemmen der Femurkondylen. Diese Art der Fixation ist nun einesteils sehr schmerzhaft und anderenteils behindert sie die Flexionsbewegung direkt. Dazu kommt noch ein anderes Moment. Der frei hervorragende Unterschenkel nimmt in ganz kurzer Zeit eine Stellung ein, die sehr schmerzhaft empfunden wird und als normal nicht gelten kann. Wesentlich verschlimmert wird die ganze Anordnung, wenn der Apparat zur Befestigung des Schreibstiftes ein erhebliches Gewicht hat. Wir legten deshalb den Patienten auf die Seite, fixierten den Rumpf so gut wie möglich, schoben zwischen die beiden Beine ein grosses Reissbrett, auf welches der Condylus internus zu liegen kam. Der Schreibstift am Malleolus internus wurde in einem Gipsverband befestigt und das Reissbrett so eingestellt, dass während der ganzen Flexionsbewegung der Schreibstift damit in Berührung blieb. Zwischen Condylus internus und Reissbrett wurde eine Gummiplatte eingeschoben. Ein Wärter hatte mit der einen Hand das Becken, mit der anderen das untere Femurende festzuhalten.

Die Flexionsbewegung wurde nun meistens passiv, seltener aktiv, immer aber in einem Zuge gemacht. Die erhaltenen Kurven waren nun bereits ohne weitere Hilfsmittel von Kreisbogen zu unterscheiden. Die Biegung des Knies nahm ihren Anfang jeweils aus der maximalen aktiven Streckstellung; der Anfangsteil der Kurve zeigte fast immer eine sonderbare Eigentümlichkeit: die ersten $1-1\frac{1}{2}$ cm setzten sich scharf von der übrigen Kurve ab, dann erst rückte der Schreibstift in einem grossen Bogen nach rückwärts und aufwärts. Dieser grosse Bogen zeigte fast immer deutlich wechselnde Krümmungen und zwar sowohl bei aktiver wie bei passiver Flexion.

Es wurde nun von diesen Kurven je eine Äquidistante auf der konkaven Seite konstruiert. Als Distanz wurde der Abstand

des Schreibstiftes vom oberen Rande der Tibia gewählt. Die Äquidistante war eine Linie, die ungefähr dem Profil des Condylus femoris entspricht. In den Fällen, bei welchen ein Knacken hörbar oder fühlbar war, zeigte dieses Profil wie auch die Originalkurve eine Unebenheit.

Weiter wurden die Kurven in ca. 30 gleiche Teile geteilt und in der Mitte jedes Teils eine Normale errichtet und nun die Schnittpunkte je zweier aufeinander folgender Normalen markiert. Der erste Schnittpunkt lag immer tief, meistens in der Tibia, alle folgenden lagen im Condylus femoris oder in der Gelenkspalte und zwar zeigte sich dabei eine eigentümliche Erscheinung. Die aufeinander folgenden Schnittpunkte bilden zusammen vier oder fünf steile Wellenberge und Täler, die zum Teil aufeinander fielen. Die Wellen zeigten sich deutlicher bei passiver Bewegung, und wir zogen aus ihnen den Schluss, dass die Gleitbewegung im Kniegelenk nicht gleichmässig, nicht glatt verlaufe und zwar entweder weil die Antagonisten, die auch an passiver Bewegung sich immer beteiligten, in wechselnder Kontraktion sich befinden, oder weil die Gleitbewegung abwechselnd zu rasch vor sich ginge, um dann wieder die nötige Rollung sich vollziehen zu lassen.

Mit dieser Methode war nicht weiter zu kommen und zwar, weil es sich so nicht herausbringen liess, ob die Tibialängsachse in jeder Stellung mit der Bahn des unteren Endes den gleichen Winkel bilde. Das war ja der kritische Punkt der Untersuchung und konnte doch nicht als selbstverständlich angenommen werden.

III.

Anfang 1902 nun geriet zufällig ein Buch in meine Hände: das Lehrbuch der Kinematik von Reuleaux, 1875 und 1900. Schon bei der ersten flüchtigen Durchsicht sah ich, dass da ein Gebiet vor mir lag, das auch für den Mediziner, und zwar nicht nur für den Anatomen und Physiologen, sehr inter-

essant und wichtig ist. Je mehr ich dann das Buch studierte, desto mehr wuchs meine Bewunderung, und ich kann nicht umhin zu gestehen, dass ich erst durch Reuleaux zum Verständnis derjenigen Bewegungen gekommen bin, die nicht um eine feste Achse oder geradlinig sich vollziehen. Die neue Methode, die ich auf die Gelenkuntersuchungen anzuwenden im Begriffe bin, ist fast gänzlich eine Frucht der Reuleauxschen Kinematik.

Wenn nun auch diese Methode mir bis jetzt direkt kein exaktes positives Resultat geliefert hat, so ist sie doch geeignet, Licht in die schwierige Gelenkmechanik zu bringen, und deshalb empfehle ich das eingehende Studium der Reuleauxschen Kinematik aufs angelegentlichste. In thunlichster Kürze gebe ich hier im Auszug so viel, als zum Verständnis der vorliegenden Arbeit unumgänglich nötig ist.

I. Zeitweiliger Drehpunkt oder Pol.

Die Lage einer ebenen Figur (also auch des ebenen Schnittes oder der Projektion eines Körpers) in einer Ebene ist genau bestimmt, wenn zwei Punkte oder eine beiderseits begrenzte Gerade, die mit der Figur starr verbunden sind, ihrer Lage nach bestimmt sind. Es genügt deshalb vollständig, statt mit einer Figur, nur mit einer Geraden von bestimmter Länge zu arbeiten, wenn es sich um Bewegungen in einer Ebene handelt, und zwar sowohl hier bei der Begriffsentwicklung als nachher bei der Untersuchung der Gelenke.

Geht die Gerade $A_0 B_0$ Fig. 3 in die Stellung $A_{II} B_{II}$ über, so kann man sich die Bewegung zerlegen in eine Drehung um einen Punkt C_L , bis $A B$ parallel zu $A_{II} B_{II}$ geworden und dann in eine Parallelverschiebung. Die schliessliche Stellung $A_{II} B_{II}$ wird erreicht, wie auch der Drehpunkt gelegen sei. Wird z. B. Fig. 4 der Punkt C_{II} als Drehpunkt gewählt, so bleibt die

Drehung die nämliche, die Parallelverschiebung aber wird eine andere, sowohl was Richtung als auch Grösse betrifft. Es lässt sich deshalb erwarten, dass ein Punkt existiere, welcher als Drehpunkt benützt, eine Parallelverschiebung unnötig machen wird. In der That lässt ein solcher Punkt sich leicht finden. Verbindet man A_0 mit A_{II} und B_0 mit B_{II} und betrachtet diese Verbindungslinien als die Sehnen zweier konzentrischer Kreisbogen. Ihr gemeinsamer Mittelpunkt C wird gefunden, wenn auf die Mitten der beiden Sehnen $A_0 A_{II}$ und $B_0 B_{II}$ Senkrechte errichtet werden (Fig. 5). Ihr Schnittpunkt ist der gesuchte Punkt, um welchen gedreht, die Linie $A_0 B_0$ ohne Parallelverschiebung in die Stellung $A_{II} B_{II}$ kommt. Er wird Pol oder zeitweiliger Drehpunkt genannt. Der Beweis ergibt sich sofort aus der Kongruenz des Dreiecks $C_0 A_0 B_0$ und $C_0 A_{II} B_{II}$, aus der hervorgeht, dass Winkel $A_0 C_0 A_{II} = B_0 C_0 B_{II}$.

II. Polvieleck; Polbahn.

Nimmt die Linie $A B$ (Fig. 6) nacheinander die Stellungen $A_I B_I, A_{II} B_{II}, A_{III} B_{III}, A_{IV} B_{IV}$ etc. ein, so lässt sich für den Übergang aus der einen Stellung in die nächstfolgende je ein Pol oder zeitweiliger Drehpunkt bestimmen. Verbindet man die einzelnen Pole $c_I c_{II} c_{III}$ etc. miteinander der Reihe nach durch Gerade, so entsteht das Polvieleck, das sowohl offen als geschlossen sein kann. Geschlossen ist das Polvieleck, wenn die Linie $A B$ schliesslich wieder durch ihre Bewegung in die Anfangsstellung zurückgeführt wird. Werden zwischen je zwei benachbarte Stellungen unendlich viele Übergangsstellungen eingeschaltet und berücksichtigt, so verwandelt sich das Polvieleck in eine Kurve, die Polbahn.

Das Polvieleck, resp. die Polbahn wird durch einen einzigen Punkt dargestellt, wenn der Drehpunkt während der ganzen Bewegung der nämliche bleibt. In diesem Falle beschreiben

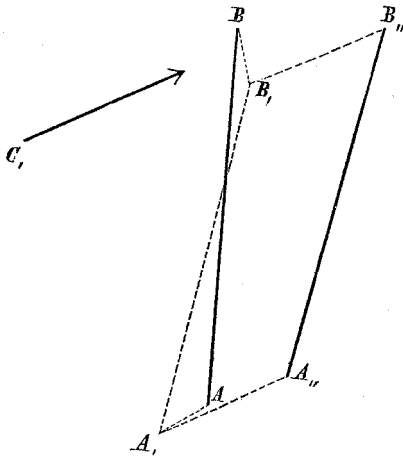


Fig. 3.

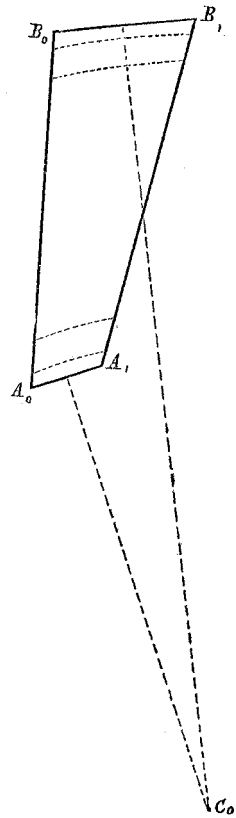


Fig. 5.

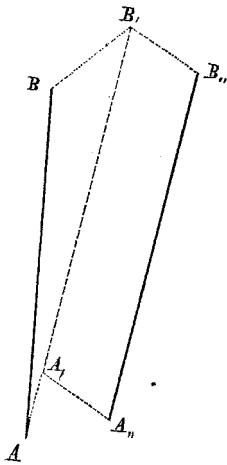


Fig. 4.



nicht nur A und B, sondern ein jeder Punkt, der mit der Linie AB starr verbunden ist, konzentrische Kreisbogen und umge-

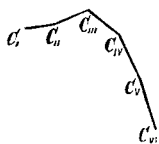
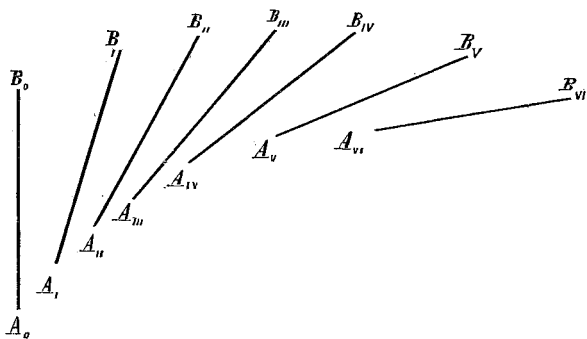


Fig. 6.

kehrt muss, sobald die Punkte A und B in konzentrischen Kreisbogen sich bewegen, ihr Drehpunkt ein fester sein.

III. Relativbewegung, gepaarte Polbahnen.

Aus den aufeinanderfolgenden Stellungen A B, A_I B_I, A_{II} B_{II} etc. war es möglich die Reihe der auf einander folgenden zeitweiligen Drehpunkte zu bestimmen. Umgekehrt ist es aber nicht möglich, aus dem Polviereck die Bewegung der Linie AB abzuleiten und zwar deshalb, weil nicht ersichtlich ist, um welchen Winkelbetrag in jeder Ecke des Polvierecks die Drehung auszuführen ist. Vollständig wird das Gesetz einer Bewegung erst dargestellt durch die gepaarten Polbahnen, deren Ableitung uns zunächst zu beschäftigen hat.

Bis hierher wurde einzig die Lageveränderung einer Linie resp. eines Körpers gegenüber früheren Stellungen betrachtet. Dabei wurde die erste Stellung der Linie als feststehend in der Zeichnung stehen gelassen; die Drehpunkte waren bei der Betrachtung unverrückbare Punkte der Bewegungs- oder Zeichen-

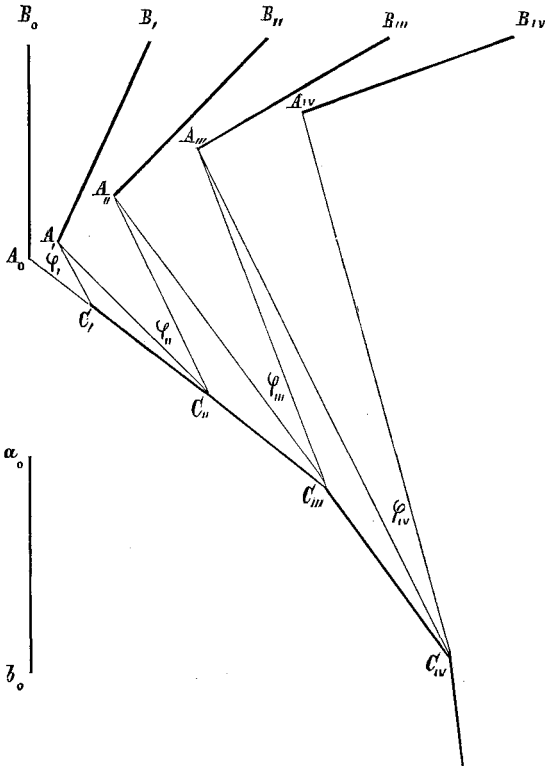


Fig. 7.

ebene, und es wurde deshalb wohl auch die Bezeichnung Pol gewählt. Befindet sich nun Fig. 7 in der Zeichnungsebene ausser der sich bewegenden Linie AB noch eine ruhende Linie a b, so ändert sich jedesmal, wenn Linie AB sich bewegt, ihre Stellung bezüglich a b. Da nun a b ebenso wie die Drehpunkte

von A B festliegen, so können dieselben als starr miteinander verbunden gedacht werden.

Nun kann die Stellung, die $A_I B_I$ gegen a b einnimmt,

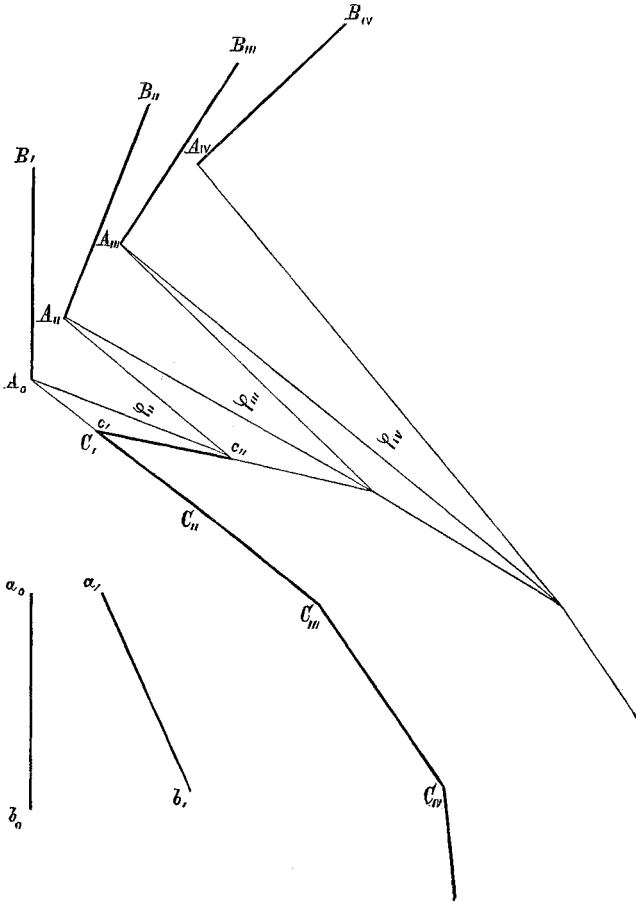


Fig. 8.

auch erreicht werden, wenn die Linie A B liegen bleibt und a b in die Stellung $a_1 b_1$ sich biegt. Um diese Verschiebung von a b nach $a_1 b_1$ zu bewirken, hat man einfach alle Linien der Fig. 7 mit Ausnahme der Linie $A_0 B_0$ um den Punkt C_1 so

zu drehen, bis $A_I B_I$ auf $A_0 B_0$ fällt. Die Linie $a b$, deren frühere Stellung vermerkt ist, kommt nun in die Lage $a_I b_I$, die Polbahn der C dreht sich gegen ihre frühere Stellung eben-

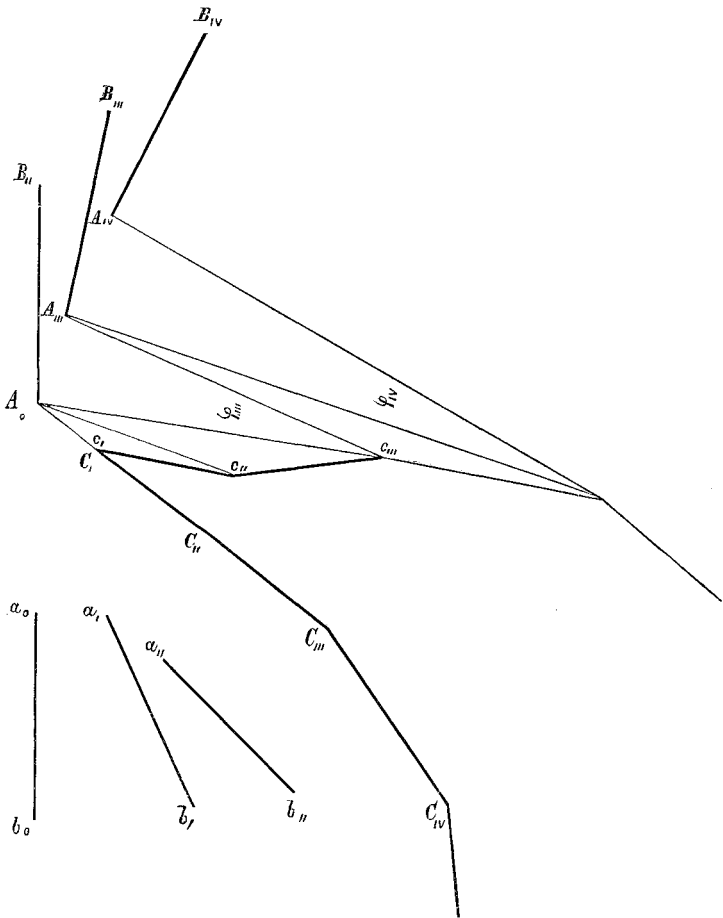


Fig. 9.

falls um den Winkel φ , um den Punkt C , ebenso rücken $A_{II} B_{II}$, $A_{III} B_{III}$, etc. gegen AB hin. Es entsteht so die folgende Fig. 8.

Für die Bewegung des $a_0 b_0$ nach $a_I b_I$ ist also wieder C_I

der Pol, die Linie $C_I C_{II} C_{III} C_{IV}$ hat sich ebenfalls um den Winkel φ gedreht.

Soll nun auch die Linie $A_{II} B_{II}$ auf $A_0 B_0$ fallen, so muss sie um die jetzige Lage von C_{II} um den Winkel φ_{II} gedreht

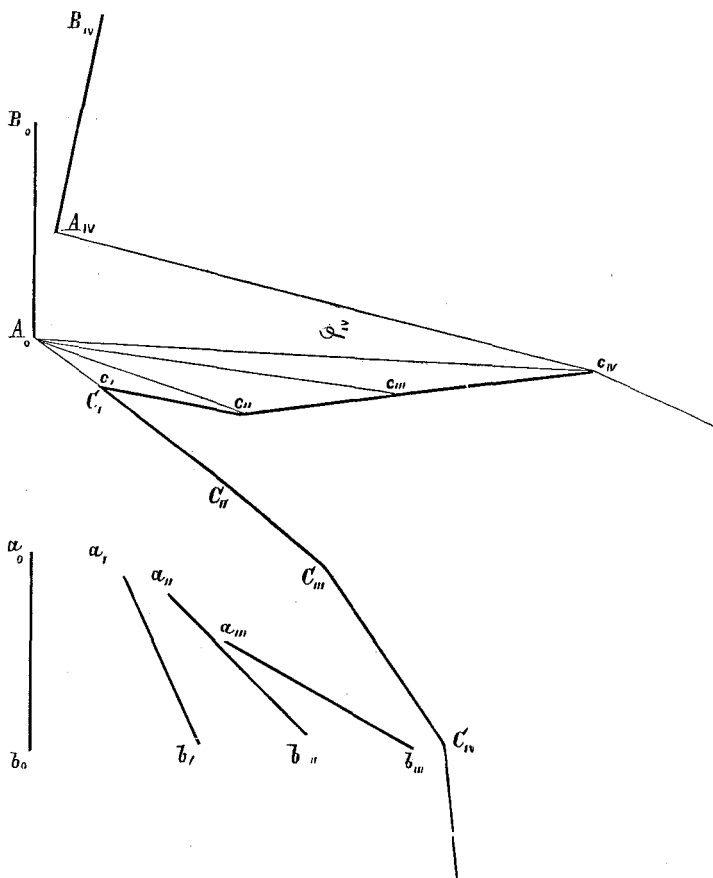


Fig. 10.

werden, und soll die relative Lage von $A_{II} B_{II}$ gegen $a_I b_I$ erhalten bleiben, so hat $a_I b_I$ die nämliche Drehung um den nämlichen Punkt auszuführen. Es werden also in Fig. 8 $A_{II} B_{II}$, $A_{III} B_{III}$ und die folgenden, ferner $a_I b_I$ und endlich der Teil der verschobenen Polbahn von c_{II} an, nach rechts, um den

Punkt c_{II} gedreht und zwar um den Winkelbetrag φ_{II} . Es kommt so die folgende Fig. 9 zu stande.

Drehpunkt für die Bewegung von $a_I b_I$ nach $a_{II} b_{II}$ ist also c_{II} , der von c_I gleich weit entfernt ist wie C_{II} von C_I .

In dieser Weise wird nun fortgefahren, bis das letzte $A B$ auf $A_0 B_0$ fällt; es werden gleichzeitig diejenigen Stellungen von $a b$ gefunden, die gegen $A B$ die gleiche Relativstellung haben, wie vorher $a b$ gegen die verschiedenen $A B$. Und gleichzeitig werden alle die zeitweiligen Drehpunkte von $a b$ durch die Konstruktion sichtbar. Die aufeinander folgenden Figg. 10 und 11 sollten das Verfahren verständlich machen.

Nach dem Vorstehenden ist es nun immer möglich aus der Bahn zweier Punkte eines sich bewegenden Körpers auch die entsprechenden Bahnen eines anderen Körpers zu finden für eine Bewegung, die die nämlichen relativen Stellungen beider Körper zu stande bringt. Ebenso gelingt es so immer, die Polbahnen sowohl für die erstere als auch für die zweite Bewegung zu konstruieren. Zugleich bildet sich bei dieser Untersuchung nun das Verständnis für die Bedeutung der Relativbewegungen und für das Wesen der Polbahnen.

Es wird nun, wenn auch nach einiger Mühe, vollständig klar, dass von zwei Körpern, die miteinander beweglich verbunden sind, der eine in einer anderen Weise sich bewegen muss, als der andere, damit sie eine Reihe von Stellungen gegeneinander einnehmen. Ist der eine Körper festgestellt, so bewegt sich der andere um eine Achse, welche in einer bestimmten Bahn wandert; diese Bahn ist ebenfalls ruhend und als mit dem festgestellten Körper starr verbunden zu denken. Wird nun der zweite Körper festgestellt, so bewegt sich der erste um eine Achse die sich in einer mit dem zweiten Körper verbundenen Bahn hält. Diese beiden Polbahnen rollen nun aufeinander und erzeugen so die durchaus bestimmte Bewegung der Körper. Sind die beiden Körper in gegenseitiger Berührung,

so wird an den Berührungsflächen resp. -punkten teils rollende teils gleitende Bewegung stattfinden, in den Polbahnen aber ist die Bewegung immer auf reine Rollung reduziert, Durch die Rollung zweier Kurven aufeinander wird bei Reuleaux ein jedes Bewegungsgesetz in unzweideutiger Weise dargestellt.

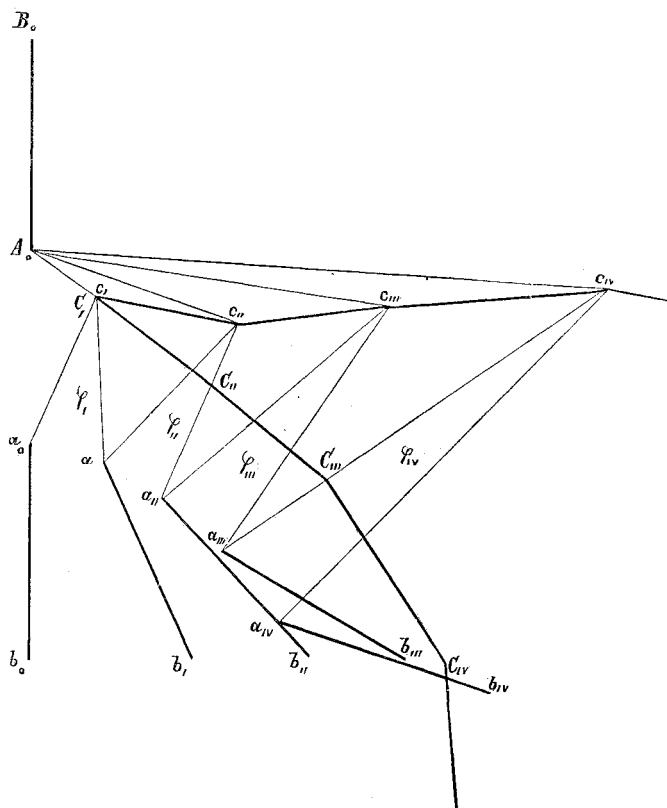


Fig. 11.

Einfacher ist die ganze Sache bei den Bewegungen der Cylindergelenke, den ebenen Bewegungen im Kugelgelenk, den auf eine horizontale Ebene projizierten Bewegungen einer vertikalen Schraube. Bei diesen sind die Relativbewegungen beider Konstituenten gleichartig und konzentrisch, beide Polbahnen

reduzieren sich auf einen Punkt. Reuleaux nennt sie daher konaxiale Verbindungen. Auf diese passt die Bezeichnung „einachsiger Gelenke“ der Anatomen, von denen bisher aber nicht nachgewiesen ist, ob ihre Bewegungen in einer Ebene um eine feste oder um zwei wandernde Achsen sich vollziehen.

Da die ganze kinematische Darstellung den meisten Lesern ungewohnt sein wird und ferner zum Verständnis des Folgenden durchaus unentbehrlich, will ich hier das Nötige noch an einem Beispiel erläutern. Am instruktivsten freilich ist die Anfertigung

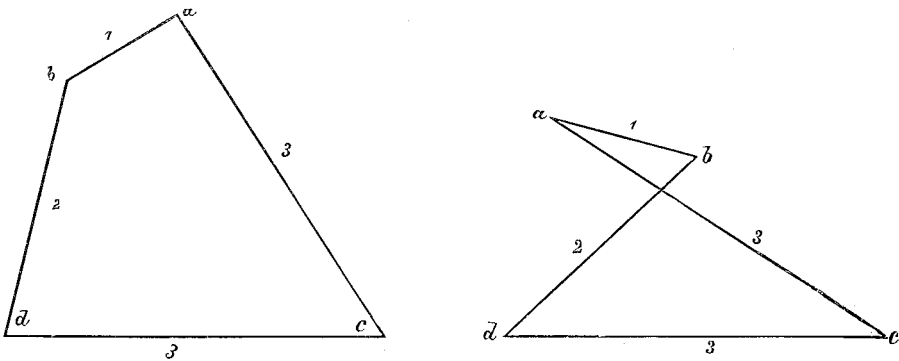


Fig. 12.

und das Studium von Modellen, wozu ich jedem, der für die Sache sich näher interessiert, dringend rate.

In einem Viereck, Fig. 12 a und b, dessen Seiten der Reihe nach 1, 2, 3 und 3 Einheiten lang seien, und die in den Ecken durch Charniere miteinander verbunden seien, soll das Bewegungsgesetz der gegenüberliegenden Seiten 1 und 3 untersucht werden. Die Aufgabe wird dadurch sehr einfach, dass die Enden der bewegten Seite stets Kreisbogen beschreiben. Der bloße Anblick des Vierecks a b c d zeigt, dass die Seiten a c und b d sowohl in ihrer Verlängerung ausserhalb des Vierecks, als auch zwischen ab und cd sich schneiden können. Im letzteren Falle wäre das Viereck geschränkt. Ebenso sieht

man ohne Mühe, dass die Seite a b sowohl ihre äussere als auch die innere Seite der Zeichnung gegen die Seite c d kehren kann, während c d immer die gleiche Seite gegen a b kehrt. Es muss also eine ganze Reihe von relativen Stellungen der Seite a b gegen c d möglich sein, und diese werden erhalten sowohl durch

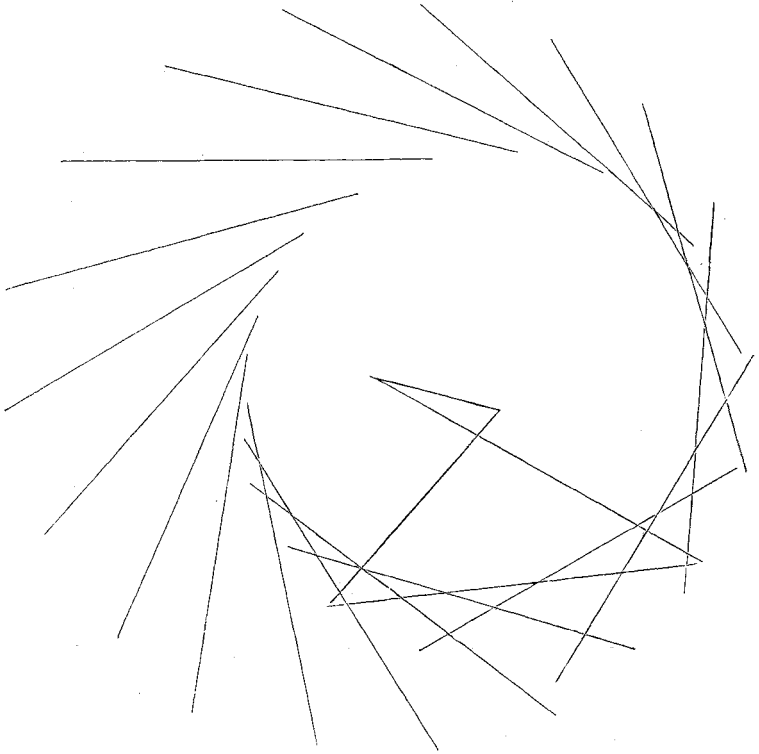


Fig. 13.

Relativbewegungen von a b gegen das festgestellte c d, als auch durch Relativbewegungen von c d gegen das festgestellte a b.

Oben wurde die eine Relativbewegung aus der anderen abgeleitet und ebenso aus der letzteren auch beide Polbahnen. Das geschah dort, um die Möglichkeit einer solchen Ableitung unter allen Umständen und ferner um die Abhängigkeit

der beiden Relativbewegungen und der beiden Polbahnen, und zwar einer jeden der letzteren von der anderen und den beiden ersten und umgekehrt, darzuthun. In der vorliegenden Aufgabe ist es viel einfacher, eine jede Relativbewegung und jede Polbahn direkt zu bestimmen. Das kann ja geschehen, aber der Zusammenhang und die Abhängigkeit ist nie aus den Augen zu verlieren.

Um zuerst die Relativbewegungen von c d kennen zu lernen, wird a b festgestellt, Fig. 13. Es kann dann c sich nur im Kreise um a bewegen, d um b . Da nun c und d zugleich

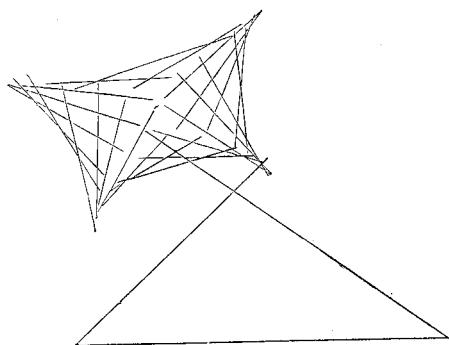


Fig. 14.

die Endpunkte der Seite c d sind, so müssen sie beständig gleich weit voneinander entfernt sein. Die Konstruktion sämtlicher Stellungen von c d oder auch die Darstellung der Relativbewegung von c d gegen a b ergibt sich daraus von selbst. In der Richtung des sich bewegenden Uhrzeigers, ausgehend von der ersten Stellung des Punktes d wird der Kreis um b in kleine Abschnitte gestellt und die Teilpunkte nach der nämlichen Richtung mit Punkten auf dem Kreise um a verbunden, die je um 3 Einheiten d. h. um c d von ihnen entfernt sind. Das Feld, das von c d bestrichen wird, ist eine ringförmige Figur; c d kehrt immer die nämliche Seite gegen das ruhende a b .

Wird hingegen $c d$ festgestellt, so ergeben sich in gleicher Weise die Bewegungen von $a b$, Fig. 14; a bewegt sich auf einem Kreisbogen um c , b auf einem solchen um d , ihr Abstand voneinander bleibt unveränderlich der gleiche. Es ist auffallend, wie sehr die Bewegungen von $a b$ von denjenigen von $c d$ verschieden sind, und doch erzeugen beide die gleichen

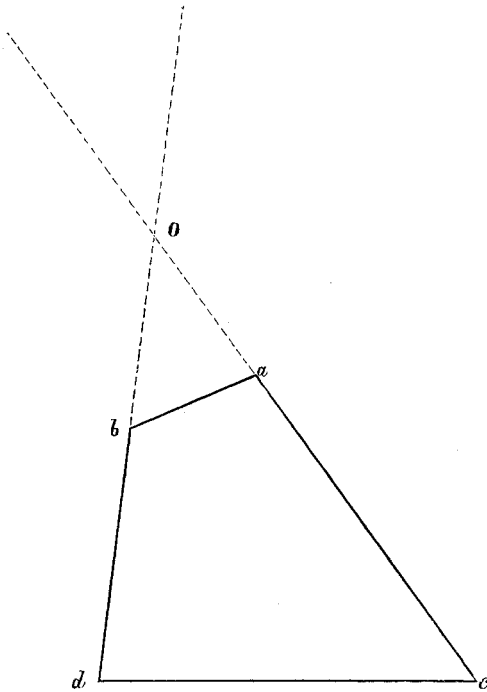


Fig. 15.

Stellungen der beiden Linien gegeneinander. Das bestrichene Feld ist nun ein Viereck mit konkaven Seiten, das gänzlich auf einer Seite der ruhenden $c d$ liegt.

Die Bestimmung der Polbahnen geht bei dem in Frage stehenden Beispiel besonders leicht, wie immer, wenn die Endpunkte der bewegten Linie Kreisbogen beschreiben. Der Drehpunkt für die momentane Bewegung der Linie ist, wie oben

gezeigt, der Durchschnittspunkt der Normalen auf die beiden Punktbahnen. Bei kreisförmigen Bahnen, wie hier, ist das also der Durchschnittspunkt der Radien der beiden Kreisbogen. Für die Stellung Fig. 15 bei ruhenden c d und sich bewegenden a b ist 0 der momentane Drehpunkt, weil c 0 senkrecht auf der Bahn von a , d 0 senkrecht auf der Bahn von b steht. Auf diese Weise ist es leicht die Polbahn für die Relativbewegungen von a b zu finden; sie ist eine geschlossene ovale Kurve, die als mit c d starr verbunden zu denken ist. Fig. 16.

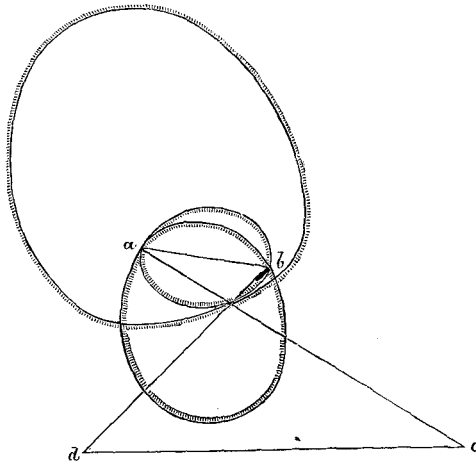


Fig. 16.

Ebenso ergibt sich die Polbahn für die Relativbewegungen von c d als geschlossene Kurve mit einer Schleife, die mit a b starr verbunden ist. Diese zweite Polbahn rollt in der ersten Fig. 16 oder die erste um die zweite, und, indem jede von ihnen die mit ihr verbundene Linie mit sich führt, entstehen alle überhaupt möglichen Stellungen der beiden Linien gegeneinander. Es ist einleuchtend, dass der Berührungspunkt beider Polbahnen jedesmal der momentane Drehpunkt sowohl der einen wie der anderen Relativbewegung ist, ferner die eine

wie die andere Polbahn um diesen momentanen Drehpunkt um den nämlichen Betrag sich dreht, während die andere ruht. Trotzdem bewegt sich eine Polbahn resp. die mit ihr verbundene Linie ganz anders als die andere, eben weil die anders gestaltete Kurve anders rollt, zumal auf einer wieder anders gestalteten Bahn.

Das Kniegelenk.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich nun, dass, wenn die Bahnen zweier Punkte des Unterschenkels in einer Ebene gegeben sind, aus denselben nicht nur die Polbahn des Unterschenkels bei ruhendem Oberschenkel, sondern auch die Polbahn des beweglichen Oberschenkels gegen den ruhenden Unterschenkel abgeleitet werden kann, wenn die Bewegung in einer Ebene und ohne Rotationen um die Längsachse verläuft, d. h. bei der reinen Flexion.

Aus den beiden Punktbahnen wäre bereits direkt zu erkennen, dass das Kniegelenk kein konaxiales, d. h. weder Ginglymus noch Schraubgelenk ist; unmittelbar würde sich ergeben, in welcher Weise die Relativbewegungen des Unter- und des Oberschenkels voneinander sowohl verschieden als auch abhängig sind. Mit einem Wort, es würde sich das ganze Gesetz der in einer Ebene erfolgenden Flexion ergeben.

O. Fischer kannte diese Verhältnisse genau genug, als er 1897 schrieb, es sei ein Unterschied, ob in einem Gelenke der eine oder der andere Teil sich bewege. Ferner: „Es giebt nur wenige Gelenke, bei denen die beiden Relativbewegungen genau übereinstimmen; die Relativbewegungen sind voneinander abhängig, aber oft schwer abzuleiten. Besser würden sie durch direkte Beobachtung ermittelt“. Immerhin scheint es, dass O. Fischer unter Relativbewegungen nicht genau das nämliche verstanden hat, wie Reuleaux. Uud mit der Frage, durch

welche Mittel der Zwangslauf erreicht werde, hat er sich nicht befasst.

Zur Gewinnung der Bahnen zweier Punkte des Unterschenkels selbst oder eines mit demselben verbundenen Körpers in einer Ebene sind zwei Forderungen aufzustellen.

1. Der Unterschenkel muss sich komplan d. h. in einer Ebene bewegen und zwar ohne gleichzeitige Drehung um seine Längsachse.
2. Der Oberschenkel muss vollständig ruhig bleiben.

Das Postulat, dass die Flexion in einer Ebene verlaufe, ist beim Kniegelenk nicht genau erfüllt; doch ist die Abweichung so gering, dass sie bei einer Untersuchung, die an und für sich nicht Anspruch auf mathematische Genauigkeit machen kann, wohl vernachlässigt werden kann. Tatsächlich erfolgt übrigens die Flexion doch in einer Ebene, so bald diese Ebene horizontal gewählt wird. Lässt man die Flexion längs einem horizontalen Reissbrett, d. h. in Seitenlage ausführen, so drückt schon das eigene Gewicht des Unterschenkels und Fusses diese nieder, ohne dass subjektiv eine Alteration der Bewegung empfunden wird.

Mehr Schwierigkeit verursachen die Rotationen des Unterschenkels. Zwar die Rotationen des Unterschenkels bei gebeugtem Knie könnten wohl ausser acht gelassen werden, da sie nicht zwangsläufig mit der Flexion verbunden sind, auf die äussersten Flexionsstellungen müsste dann aber doch verzichtet werden. Anders verhält es sich mit der Rotation des Unterschenkels nach innen beim Beginn der Flexion. Diese Rotation ist von der Flexion untrennbar, und ist je nach dem Bedürfnis schätzungsweise in Rechnung zu bringen oder dann gänzlich zu eliminieren.

Am schlimmsten steht es wohl mit der Fixation des Femur. Es ist zu stützen gegen Verschiebung und Drehung in allen drei Dimensionen und bietet keine Angriffspunkte ausser der

an Haut. Ein Druck, der durch Haut und Weich-
en Knochen sich wirksam fortsetzt, ist einesteils
anderenteils stört oder hemmt er die normale aktive
Für eine reine Untersuchung ist namentlich unstat-
kollateralen Bänder und auf die Muskeln einen
ruck auszuüben. Ein Versuch am eigenen Knie
die Störung durch solchen Druck zum Bewusstsein
entators. Am wichtigsten ist es zu verhindern: die
rückwärtsbewegung des unteren Femurendes, die
abwärtsbewegung und die Rotation um die Längs-
murs.

Die letztere schützt nach Beginn der Flexion der
el, bei gestreckter Stellung die Aufmerksamkeit und
Untersuchungsobjektes. Auf- und Abwärtsbewegung
hindern durch Beckenfixation. Betreffend die Vor-
schiebung ist zu bedenken, dass bei der Flexion
des Knies besteht nach vorn sich zu bewegen, bei
n nach rückwärts. Die Vorwärtsverschiebung des
nur zu verhindern durch einen Widerstand, der den
ylen innerhalb und ausserhalb der Patella und dem
entgegengesetzt wird. Um Schwankungen zu unter-
igt meist ein leichter Druck mit der Hand gegen
te des Knies. Das Wesentlichste und die
ngung für das Gelingen ist aber ein intelli-
aufmerksames, feinfühliges und geübtes
n. Es ergibt sich aus dem Gesagten, warum ich
es Objektes mit horizontaler Zeichnungsebene für
rhältnis ansehe.

noch zwei Quellen von Ungenauigkeiten zu er-
Konstruktion der momentanen Drehpunkte bringt
dass man fast gänzlich mit den Scheiteln sehr
el zu thun hat. Die Normalen auf die Bahnstücke
h Bogen gefunden, die sich unter spitzen Winkeln

schneiden, diese Normalen selbst schneiden sich wieder unter spitzen Winkeln. Die Dicke der Bleistiftspitze und die Führung des Bleistiftes können Fehler von einem Millimeter und mehr ergeben.

Dazu kommt weiter die Dicke der Linien der beiden Punktbahnen. Bleistift eignet sich zum Zeichnen der Punktbahnen nicht, spitzer Bleistift zerreisst unter der Belastung durch den Fuss auch festes Zeichenpapier, kurze stumpfe Bleispitzen geben breite Linien und versagen plötzlich. Kleine Nägel mit flach erhabenen Köpfen zerreißen ebenfalls das Papier. Befriedigende Resultate erhielt ich erst mit Polsternägeln mit halbkugeligen Knöpfen, während unter dem Zeichenpapier ein Bogen graphitirtes Papier befestigt war. Die gewonnenen Linien haben aber eine Breite von 1—1,5 mm und sind geeignet die Ungenauigkeit zu vermehren. Es blieb mir nichts übrig als viele Aufnahmen zu machen, zu verarbeiten und zu vergleichen. So gelingt es, gröbere Fehler auszuschalten, und wenn es auch nicht möglich ist, exakte Polbahnen zu erhalten, so gewinnt man doch genügende Klarheit über die Kinetik des Kniegelenkes.

Aufnahme der Punktbahnen.

Auf einem sehr festen mit einer Woldecke gepolsterten Tisch wurde das Objekt auf die rechte Seite gelagert, Rumpf etwas nach vorn gebeugt, rechter Ellbogen auf den Tisch, das rechte gebogene Knie emporgezogen. So wird eine recht breite Basis gewonnen. Ein grosses Reissbrett, das einen grossen graphitirten Papierbogen trägt, wird zwischen die Beine geschoben und so befestigt, dass bei der Flexion der Condylus int. des linken Femur und die Schreibvorrichtung am Unterschenkel fortwährend auf dem Brett bleiben und die Flexion gleichmässig verlaufen kann. Dazu muss die Ebene des Reissbrettes durch das rechte Tuber ischii gehen und bei horizontaler Sagittalebene nach hinten und etwas nach oben geneigt sein.

Die Schreibvorrichtung, die ich zuerst verwendete, besteht aus einem prismatischen Holzklotz, der auf der Unterfläche bei zwei diagonal gegenüberstehenden Ecken die Polsternägel trägt. Auf der oberen Fläche ist durch zwei Sägeschnitte eine tiefe V-förmige Rinne angebracht. An der einen Fläche der Rinne ist eine dünne Holzschiene befestigt, die der Innenfläche der Tibia anzuliegen hat. Diese Einrichtung wurde durch feste Bindetouren so am Unterschenkel angebracht, dass der innere Malleolus nicht mehr in der Rinne lag.

Später änderte ich die Vorrichtung so ab, dass Rotationsbewegungen des Unterschenkels nicht registriert werden konnten. Das wurde dadurch erreicht, dass der Unterschenkel in eine Rinne gelegt wurde, die aussen und innen rechtwinkligen Querschnitt hat. Im Klotz wurde eine \sqsubset -förmige Rinne ausgearbeitet und oben an deren Rändern drei kleine Rädchen angebracht. Auf diese Rädchen wurde dann der Unterschenkel mit seiner Rinne gelegt. Gegen longitudinale Verschiebung war Fürsorge getroffen. Es ist das die Verwendung der Figur 2, zu der ich genötigt war, weil das offene Lager zu viel Reibung gemacht hätte. Dieser zweite Apparat entsprach den Erwartungen und war namentlich frei von dem Fehler des Abhebens des einen Schreibnagels.

Es wurden nun hinter dem Rücken Sandsäcke aufgeschichtet und der Wärter setzte sich vor den Mann. Erst hob er das Bein etwas auf, bis ein reiner Papierbogen über dem graphitierten befestigt war. Dann übergab er mir den Fuss und fasste bei fest aufgesetztem Ellbogen mit der linken Hand den Hüftbeinkamm, mit der rechten Hand hielt er eine 1 cm dicke Korkplatte vorn an den Condylus int. femoris, dicht neben der Patella. Ich selber liess den Mann sein Knie kräftig strecken, liess dann den Fuss auf das Reissbrett nieder und nun wurde, während ich von hinten das Femur leicht andrückte, die Flexion

in einem Zuge aktiv ausgeführt. Dann wurde das Bein wieder gehoben, das Papier gewechselt und neue Kurven aufgenommen.

Extensionskurven wurden einige hergestellt, aber nicht weiter verarbeitet; sie wichen von den Flexionskurven ab, sei es, dass die Fixation des Knies so nicht genügte, sei es, dass die Extension wirklich anders abläuft als die Flexion.

Kurven passiver Bewegungen habe ich so nicht gemacht.

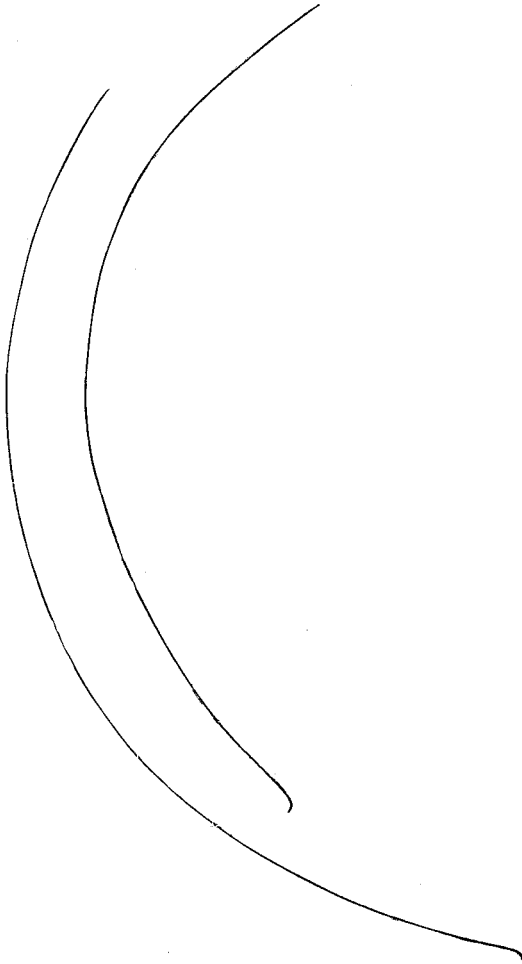
Verarbeitung der Kurven. Bis die nötige Übung allseits erreicht war, gelangen viele Aufnahmen nicht und eine Anzahl, die ich als gut ansah, zeigten sich später doch als fehlerhaft. Kurven, die Verwerfungen aufwiesen, konnten sofort ausgeschieden werden. Andere gaben bei der Konstruktion weit auseinanderliegende, unregelmässig zerstreute Drehpunkte¹⁾. Erst als der zuletzt benützte Mann sein Knie lieh, kamen Kurvenpaare zu stande, die sich grossenteils genau decken und auch die Drehpunkte gleich gruppiert ergeben. Damit war denn auch die Sicherheit gewonnen, dass die Fehler nicht mehr zu grosse sein konnten.

Bei der Betrachtung eines Kurvenpaares (Fig. 17) kann sofort behauptet werden: das sind weder konzentrische Kreisbogen noch Kreisbogen überhaupt. Es ist also das Kniegelenk keine konaxiale Verbindung, sondern die Tibiabewegungen vollziehen sich um eine Polbahn, die als mit dem Femur fest verbunden zu denken ist; die Bewegungen des Femur verlaufen um eine Polbahn, die mit der Tibia verbunden ist. Die Relativbewegungen von Unter- und Oberschenkel sind also verschieden. Ob das Knie eine zwangläufige Verbindung ist oder nicht, wird sich aus der Konstanz oder Veränderlichkeit der Bewegungen resp. der Polbahnen ergeben.

1) Hoch am Femur liegende Drehpunkte, sowie die Annahme, der Drehpunkt in der Tibia gehöre mit zur typischen Knieflexion, veranlassten mich anfangs, einen Mechanismus anzunehmen, der sich nachher als unmöglich erwies.

Teilt man die äussere Kurve in gleiche Teile von z. B. 5 cm und trägt von den Teilpunkten die Distanz der Zeichennägel

Flexion



Extension

Fig. 17.

(bei mir 185 mm) auf die innere Kurve ab, so erhält man eine Einteilung auch der inneren Kurve. Werden nun die äusseren

mit den inneren Teilpunkten der Reihe nach durch gerade Linien verbunden, so stellen diese Linien eine Serie von Stellungen des Zeichenapparates resp. der Tibialängsachse dar. Die Winkeldrehung der Tibialängsachse verteilt sich nun nicht gleichmässig auf die ganze Bahn.

Wird je auf die Mitte des ersten Teilstückes der äusseren und der inneren Kurve eine Normale errichtet, so gibt deren Schnittpunkt den Drehpunkt für die Bewegung an, welche die ersten Kurventeile erzeugt hat. Ebenso werden die Drehpunkte für die anderen paarweise zusammengehörigen Teile der beiden Kurven gefunden. Aus denjenigen Kurven, die nicht weit zerstreute Drehpunkte ergaben und miteinander schön übereinstimmen, hat sich nun als wichtigstes Resultat herausgestellt:

Die Drehpunkte für die Flexionsbewegung der Tibia bei ruhendem Femur befinden sich anfangs in der Gegend der vorderen Gelenkspalte, zum Teil sogar in der Tibia; von ca. $25-30^{\circ}$ an um den Mittelpunkt der hinteren Partie der Femurkondylen herum.

Deutung der Kurven.

Die kleine Abknickung im Anfang der inneren Kurve ist kein integrierender Teil der Flexionskurve und muss noch gesondert besprochen werden. Dieses Stück deutet allerdings auf einen Drehpunkt in der Tibia hin, allein er findet sich auch oft, wenn die Flexion aus einer mittleren Stellung ihren Anfang nimmt und ferner fehlt es, wenn bei Beginn der Flexion nicht die maximale aktive Extension ausgeführt wird. Es giebt eben verschiedene Extensionsstellungen. Ausser der hier beobachteten Extension durch maximale Muskelanspannung, bei welcher die Insertion des Ligamentum patellae etwas nach oben, der hintere tibiale Gelenkrand etwas nach hinten sich verschiebt (normal beim durchgedrückten Knie, pathologisch sehr gewöhnlich bei

Knietuberkulosen), beobachtet man eine geringe Verschiebung der Tibia, resp. eine geringe Rückwärtsverschiebung des Femur beim Genu recurvatum paralyticum. Ähnliche kleine Stellungen-eigentümlichkeiten, welche die übrige Zwangsläufigkeit durchbrechen, scheinen auch bei halbgebeugtem Knie vorzukommen. Die Flexionsbewegung des unbelasteten Knies führt nun nicht durch diese verschobenen Stellungen durch und kann nicht aus denselben beginnen, sie sind also der Flexion selbst fremd. Dies eigentümliche Verhalten, das an Fingergelenken ebenfalls sehr ausgesprochen vorkommt, gestattet eine Akkommodation an verschiedene Beanspruchungen und benimmt den Gelenken die automatenhafte Steifigkeit.

Der folgende Abschnitt der beiden Kurven ergibt, wie bereits bemerkt, Drehpunkte im Gelenk selbst und zwar in dessen vorderer Partie. Die Lage dieser Drehpunkte deutet darauf hin, dass diese initiale Flexion, im Betrage von beiläufig 20° sich durch reine Rollung im Gelenk vollzieht. Da nun gleichzeitig die Rotation sich abspielt, die in den Kurven nicht zum Ausdruck gelangen konnte, so ist die Beurteilung dieser Stelle vorläufig kaum möglich. Immerhin ist darauf aufmerksam zu machen, dass nach meinen Kurven es bereits recht unwahrscheinlich ist, dass der scheinbare geometrische Mittelpunkt des vorderen Profiltails der Femurkondylen zugleich Pol für die Tibiabewegungen bei beginnender Flexion sei, wie H. Meyer glaubte.

Der übrige grösste Teil der Kurven weist endlich auf einen Drehpunkt oder eine Polbahn hin, die im hinteren Teil der Femurkondylen gelegen ist, in der Gegend, die Gebr. Weber als Mittelpunkt des hinteren fast cylindrischen Teiles der Femurkondylen angegeben haben. H. Meyer hat den nämlichen Punkt als hintere Flexionsachse bezeichnet.

Es wird nun zu untersuchen sein, welches Organ oder welche Kraft es bewirkt, dass die aktive Flexion nach der

initialen Partie so und nicht anders verläuft. Vielleicht zeigt sich denn auch, ob diese Flexionsbewegung der Tibia sich um eine feste oder um eine wandernde Achse vollzieht.

Die wesentliche Beanspruchung des Skelettes ist diejenige auf seine rückwirkende Festigkeit, auf seine Tragfähigkeit. Dieser Beanspruchung kann beim Kniegelenk nur genügt werden, wenn die überknorpelten Gelenkflächen von Tibia und Femur beständig in Kontakt bleiben. Ausser dem Bandapparat ist es noch die gespannte Muskulatur und der Luftdruck, die die stetige Berührung im unbelasteten Knie erhalten. Der Luftdruck wirkt insofern, als er jeder Vergrösserung des Gelenkbinnenraumes einen Widerstand entgegengesetzt. Da aber verschiebbares Füllmaterial reichlich vorhanden ist, so kann die Bedeutung des Luftdruckes zur Aufrechterhaltung der Berührung keine grosse sein. Sehr kräftig wird dagegen das Gelenk zusammengehalten durch die aktiv oder elastisch gespannte Muskulatur. Aber weder die Muskulatur noch der Luftdruck noch die Belastung sind im stande der Bewegung eine bestimmte Form zu geben; alle drei würden eine Menge von Stellungen und Bewegungen gestatten, die thatsächlich nicht vorkommen. Auch die Gestalt der Gelenkflächen kann nicht das Moment sein, das den Umfang und die Art der Bewegung allein, oder mit der Muskelanordnung zusammen bestimmt. Denn die Profile der Gelenkflächen, wie sie am Knie sich finden, verlangen durchaus nicht eine bestimmte Mischung oder Abwechslung von Gleit- und Rollbewegung, viel weniger bedingen sie noch irgend eine Rotation. Und die Muskulatur könnte in ihrer Anordnung in jeder Phase der Flexion ebenso wohl eine Gleit- wie eine Rollbewegung erzeugen.

Die Gebr. Weber haben bereits 1836 nachgewiesen, dass einzig der Bandapparat die Ursache der eigentümlichen Bewegung der ebenso eigentümlich geformten Gelenkflächen sein könne.

Um die Sache anschaulich zu machen, geht es nicht mehr an, jedes Band für sich gesondert zu betrachten, wie es bisher üblich ist und neustens wieder gefordert wird. Nur das Zusammenwirken mehrerer Elemente ist im stande solche komplizierte Bewegungen zu bedingen, und das Verständnis dieses Zusammenwirkens ist weit entfernt von der Kenntnis der einzelnen Elemente. Es ist auch gleich darauf hinzudeuten, dass mit den Bezeichnungen: Haftbänder, Verstärkungsbänder, Hemmungsbänder die Bedeutung der Bänder keineswegs erschöpft ist, oder vielmehr, dass mit diesen Bezeichnungen ihre Hauptfunktion am Kniegelenk, nämlich diejenige als Glieder kinematischer Ketten, gar nicht angedeutet ist.

Von Bedeutung für die Art der Bewegung und als Bestandteil des Bandapparates zu betrachten, ist jeder Bindegewebe-strang, der bei der Bewegung sich spannt. Solche Stränge giebt es wohl noch einige, die keinen Namen führen, wie ja der Begriff der benannten Ligamente gerade am Knie nicht unbedeutend gewechselt hat. Bei einer schematischen Behandlung wie der vorliegenden können selbstverständlich nur diejenigen Bänder berücksichtigt werden, die durch ihre Festigkeit zugleich auch ihre Wichtigkeit dokumentieren. Diese Bänder spannen sich nicht gleichzeitig durch ihre ganze Masse, sondern die Spannung wandert von einem Rande zum anderen. Darauf kann hier wieder nicht wohl Rücksicht genommen werden, sondern es müssen diese Bänder als mathematische Linien zur Verwendung kommen, wobei aber nie zu vergessen ist, dass die ganze Darstellung nur eine näherungsweise und schematische sein kann.

Die Bänder des Kniegelenkes, die hier in Frage kommen, sind: das tibiale und das fibulare Seitenband, das vordere und das hintere Kreuzband. Leider fehlen bis jetzt die Angaben über Längen und Breiten der Bänder, über ihren Verlauf bei bestimmten Gelenkstellungen und was von grösster Bedeutung wäre, die gegenseitigen Lagen ihrer Insertionen. Die Herren

Prof. Ruge und Felix, Zürich hatten die grosse Güte mir nicht nur das nötige Material zu überlassen, sondern auch mir einen Sagittalschnitt durch ein frisches Knie anfertigen zu lassen. Damit war ich dann im stande die Projektionen dieser Ligamente auf eine Ebene zu zeichnen, die parallel zur Flexions-ebene läuft. Dabei wurden einfach die Mitten der Bandinsertionen aufgenommen.

Es ergibt für das tibiale Seitenband eine Länge von 10 cm, obere Insertion oberhalb dem Meyerschen hinteren Drehpunkt. Das Ligament verläuft am gestreckten Knie nach abwärts und etwas nach vorwärts.

Das fibulare Seitenband, 5 cm lang, verläuft nach abwärts und hinten, bildet in Streckstellung mit dem tibialen Band einen Winkel von ca. 35° , inseriert sich am Femur unterhalb dem Meyerschen hinteren Drehpunkt.

Die Dimensionen der Kreuzbänder und ihrer Insertionen sind
 vorderes Band 3,4 cm, hinteres Band 5 cm.

Abstand der unteren Insertionen 5 cm, der oberen Insertionen 1,7 cm.

Es sind das die Verhältnisse 2:3:3:1, wie ich sie oben bei Fig. 12—16 benützt habe.

Diese 4 Bänder lassen sich zu 6 Paaren kombinieren, nämlich:

- | | | | |
|---|---------------------|-----|-------------------------|
| 1 | Cruciatum ant. | mit | Cruciatum post. |
| 2 | „ | „ | „ Collaterale tibiale. |
| 3 | „ | „ | „ Collaterale fibulare. |
| 4 | Cruciatum post. | „ | „ Collaterale tibiale. |
| 5 | „ | „ | „ Collaterale fibulare. |
| 6 | Collaterale tibiale | mit | Collaterale fibulare. |

Jedes dieser Paare bildet mit den zwischen ihren Anheftungen befindlichen Abständen ein verschiebbares Viereck, das im stande wäre, eine zwangsläufige Bewegung zu bedingen. Da aber ein Band nur in gespanntem Zustande eine mechanische Bedeutung hat, so fallen die 4. und 5. Kombination ausser Be-

tracht, weil ihre Bestandteile nicht gleichzeitig gespannt sind. Die 6. Kombination wird genügend berücksichtigt durch die Betrachtung der 2. und 3.

Für die letzten 3 Viertel der aktiven Flexion können nun bloss diejenigen Ränder den Bewegungsmodus bestimmen, die gespannt sind. Das sind die *Cruciata*. Merkwürdigerweise gehen nun die Autoren, die hier hauptsächlich in Frage kommen, die Gebr. Weber und H. Meyer, stark auseinander.

Gebr. Weber stellen das Verhalten der *Cruciata* so dar: Beide Kreuzbänder sind von der Extensions- bis zur Flexionsstellung so gespannt, dass die Summe ihrer Einzelspannungen beständig ungefähr die nämliche bleibt. Die Verteilung der Spannung wechselt nun in der Weise, dass bei der Streckstellung das Anterius scharf gespannt, das Posterius schlaffer ist; bei zunehmender Beugung nimmt die Spannung des Posterius zu, während diejenige des Anterius sich vermindert. Innerhalb jedes Kreuzbandes wandert zugleich mit zunehmender Beugung die stärkste Spannung aus den vorderen Fasern in die hinteren. Bei maximaler Streckung soll das Posterius sich wieder etwas spannen.

H. Meyer dagegen schreibt: „In Streckstellung sind sowohl *Cruciata* wie *Lateralia* gespannt; das *Cruciatum post.* ist in Beuge- und Streckstellung stets gespannt; das *Cruciatum post.* ist während der Schlussrotation scharf gespannt und bildet, wie es scheint, die Achse für die Rotation. Das *Cruciatum anterius* ist in der Beugung sehr schlaff; es wirkt als Hemmungsband gegen die Rotation“.

Der Darstellung der Gebr. Weber muss ich durchaus beitreten, nur scheint mir die neu eintretende Spannung des *Cruciatum posterius* nicht der Streckbewegung in ihrem letzten Stadium, sondern einer Übertreibung derselben anzugehören. Sicher aber ist wohl, dass das *Cruciatum anterius* auch bei flektiertem Knie gespannt bleibt.

Für den Teil der Bahnkurven, deren Drehachsen sich im hinteren Teil der Femurkondylen befinden, d. h. für die letzten 3 Viertel der Flexionsbewegung, sind die beiden Kreuzbänder gespannt oder kinetisch wirksam, die Seitenbänder unwirksam.

Werden nun die Kreuzbänder als Linien, ihre Insertionen als Punkte dargestellt, so ist es leicht, deren Polbahnen oder deren Relativbewegungen zu finden; oder vielmehr sie sind bereits gefunden, Fig. 16. Die Polbahn der Tibiabewegung ist ein Bogen, der von der femoralen Anheftung des Cruciatum posterius sich nach abwärts und hinten zu derjenigen des Anterior hinzieht und sich dann nach hinten oben erhebt. Die Polbahn der Femurbewegung ist ein flacherer Bogen, der den ersten berührt und auf ihm rollt. Beide sind in Figur 16 angedeutet.

Diese tibiale Polbahn fällt nun gerade in den kleinen Bezirk, der aus der Verarbeitung der beiden Bahnkurven sich ergeben hat. Wenn ich nun daran erinnere, dass die Polbahnen, die sich aus den Kreuzbändern ergeben, nur eine Annäherung bedeuten sollen, weil eben für die Bänder mathematische Linien substituiert waren, so kann ich nun mit allem Recht diese Bänderpolbahn an die Stelle der tibialen Polbahn setzen. Denn ausser den beiden Kreuzbändern ist, wie ich bereits gezeigt habe, nichts vorhanden, das die Form der Bewegung bestimmen könnte. Unterstützt wird diese Behauptung durch weitere Beobachtungen.

Einem bestimmten Paar Polbahnen entsprechen und genügen eine Menge von Gleitflächenpaaren, zu deren Darstellung Reuleaux verschiedene Methoden angiebt. Konstruiert man nach einer dieser Methoden oder auch empirisch in geeignetem Abstände die Gleitflächen zu den Polbahnen der Kreuzbänder, so erhält man ein Profil, das von der hinteren Partie der Femurkondylen nicht zu unterscheiden ist.

Vereinigt man zwei Brettchen durch zwei Stäbchen in den Verhältnissen, wie sie die Kreuzbänder unter sich und gegen Femur und Tibia zeigen, so entsteht ein bewegliches Modell, dessen Bewegung die nämliche zu sein scheint, wie am Knie von leichter bis vollständiger Flexion.

Versieht man ein Brettchen, das nach Röntgenbild die Form eines Femurcondylus erhalten hat, mit der tibialen Polbahn, ein anderes Brettchen von der Form der Tibia mit der femoralen Polbahn und lässt beide Polbahnen auf einander rollen, so ist Niemand im stande die Bewegung von der im Knie zu unterscheiden. Auffallend und massgebend ist dabei, dass „Tibia“ und „Femur“ fast beständig in Berührung bleiben und niemals sich wesentlich voneinander entfernen.

Soviel hat nun die direkte Anwendung der Reuleauxschen Kinematik ergeben. Die Ausbeute scheint unbefriedigend, denn aus den Bahnkurven war es nicht möglich, genaue Polbahnen zu erhalten. Unter Ausschaltung der unwirksamen Faktoren gelang es dann, für den grösseren Teil der Flexion, nicht aber für den Anfang, ein Paar Polbahnen zu konstruieren, die aber wieder nur eine Annäherung sind. Der Hauptgewinn ist aber anderswo zu suchen; er besteht in der gänzlich veränderten Auffassung von dem Wesen der Gelenkbewegung. Diese neue Auffassung wird künftig auch die übrigen Methoden fruchtbarer machen und erlaubte mir auch, sofort in der Untersuchung fortzufahren.

IV.

Um einen Einblick in die intimeren Vorgänge im bewegten Kniegelenk zu gewinnen, fertigte ich eine Anzahl von Radiographien eines Knies in verschiedenen Stellungen an. Die Bilder fielen recht überraschend aus; ich erkannte aber sofort, dass ihre Deutung nicht möglich sei, ehe das Wesen der Roll- und Gleitbewegung präziser festgestellt wäre. In der Gelenk-

litteratur finden sich diese beiden Arten der Bewegung häufig genug erwähnt, aber eine Definition der Begriffe oder eine Darstellung der Effekte dieser Bewegungen habe ich dort nirgends finden können. Bei Reuleaux ist allerdings die Rollbewegung gründlich genug abgehandelt und anschaulich gemacht, ihre Applikation auf Gelenktheorie bleibt aber dem Physiologen resp. Anatomen überlassen. In dem, was über Gleitung zu wissen nötig ist, lässt dann auch Reuleaux im Stich und ich kann mich, so viel ich sehe, nicht an bereits bestehende Darstellungen halten.

Unter Rollung, Abwicklung versteht man diejenige Bewegung zweier Kurven oder Flächen, durch welche der gemeinsame Berührungspunkt nach der nämlichen Seite um den nämlichen Betrag verlegt wird. Soll der Berührungspunkt innerhalb einer Ebene wandern, wie hier der Einfachheit halber angenommen wird, so müssen die Kurven selbstverständlich komplan sein, d. h. ganz in der nämlichen Ebene liegen; die Flächen müssen sogenannte Cylinderflächen mit parallelen Achsen sein und es kann deshalb ihre Bewegung ebenso gut durch zwei lineare Kurven dargestellt werden. Die auf einander rollenden Linien können Kurven sein, sie können einander die Konvexitäten zukehren oder die Konvexität der einen kann gegen eine Gerade oder gegen die Konkavität der anderen gekehrt sein; niemals aber darf der Krümmungsradius der Konkavität kleiner sein als derjenige der korrespondierenden Konvexität der anderen Kurve, wenn wenigstens die Forderung der kontinuierlichen Berührung festgehalten wird.

Es ist nun ohne weiteres ersichtlich, dass, wenn zwei Körper mit ihren Profilen auf einander rollen, gleichzeitig mit der Wanderung des Berührungspunkt eine Winkelbewegung der beiden Körper sich vollzieht. Die Relativbewegungen der beiden Körper sind aber immer ungleich. Das Profil je des einen Körpers ist die Polbahn für die Rollbewegung des anderen. Da

eine Verschiebung der Profile aneinander mit dem Wesen der Rollung unvereinbar ist, so ist der Umfang der Rollung bestimmt durch die Länge des kürzeren Profiles. Die Winkelbewegung dagegen ist von der Länge der Profile gänzlich unabhängig, sondern richtet sich gänzlich nach der Gestalt der Profile.

Rollt ein Profil (selbstverständlich ein konvexes) auf einer Geraden, so ist die Winkeldrehung gleich dem Winkel, den die Normalen auf dem ersten und dem letzten Berührungspunkte des gekrümmten Profiles einschliessen. Rollen zwei konvexe Profile aufeinander, so beträgt die Winkeldrehung der Körper gegeneinander die Summe der beiden Winkel, welche die Normalen des ersten und letzten Berührungspunktes je eines Profils einschliessen. Bei der Rollung eines konvexen Profiles auf einem konkaven ist die Winkeldrehung die Differenz dieser beiden Winkel.

Eine Beziehung besteht zwischen der Winkeldrehung und der Schnelligkeit, mit welcher der Berührungspunkt auf beiden Profilen wandert. Je näher die Mittelpunkte zweier sich berührender Profilelemente sich rücken, desto geringer wird die Zunahme der Winkeldrehung und desto grösser wird die Schnelligkeit des wandernden Berührungspunktes. Fallen die beiden Mittelpunkte zusammen, so wird die letztere Schnelligkeit unendlich gross, die Winkeldrehung gleich Null. Es ist aber ein Irrtum, wenn Gebrüder Weber meinen, es höre dann der Unterschied zwischen Rollung und Gleitung auf.

Unter Gleitung, Schleifbewegung versteht man die Bewegung, bei der ein Punkt eines Profils längs dem anderen Profil unter stetiger Berührung hingleitet. Soll die Gleitbewegung in einer Ebene erfolgen, so müssen die Profile komplan sein.

Auch über Konvexität und Konkavität der Profile gilt das nämliche wie bei der Rollung. Es ist in die Augen springend, dass zwischen zwei Profilen zwei Gleitbewegungen möglich sind,

nämlich die Gleitung eines Punktes des ersten Profils längs dem zweiten und die Gleitung eines Punktes des zweiten Profils längs dem ersten Profil. Diese zwei Gleitungen sind vollständig unabhängig und verschieden voneinander. Es ist an und für sich gleichgültig, ob das Profil, das der Berührung immer den nämlichen Punkt bietet, oder dasjenige, das über eine Punktreihe, eine Strecke hin berührt wird, als das bewegte oder das ruhende bezeichnet wird. Da ich glaube, in dieser Sache noch freie Hand zu haben, möchte ich das erstere als das sich bewegende, das letztere als das ruhende gelten lassen, um künftig Verwirrung zu vermeiden. Nur bei der Besprechung der Polbahnen der beiden Gleitbewegungen muss vorübergehend das Verhältnis umgekehrt werden.

Eine kleine Überlegung zeigt sofort, dass für den Modus der Gleitbewegung einzig das ruhende Profil bestimmend ist. Das gleitende Profil leiht der ganzen Aktion ja nur einen Punkt, und es ist deshalb völlig gleichgültig, ob dieser Punkt einer geraden, ob er einer konvexen oder einer konkaven Stelle angehöre, sofern dadurch nicht die Gleitung überhaupt unmöglich wird. Ebenso ist unschwer zu erkennen, dass die Polbahn für die Bewegung des gleitenden Profils nur die Evolute des ruhenden Profils sein kann. Wird für einen Augenblick das gleitende Profil als das ruhende gedacht und das sonst ruhende als bewegt, so ist die Polbahn dieses letzteren diejenige Tangente an jener Evolute, welche normal auf dem Berührungspunkt steht. Es ist also bei der Gleitbewegung immer das ruhende Profil (das bestrichene) mit seiner Evolute fest verbunden zu denken, das gleitende (das mit konstantem Punkt berührt) mit der Tangente an jene Evolute. Indem dann die Tangente an der Evolute rollt, bewirkt sie die Gleitung des Profils.

Im jeweiligen Berührungspunkt der gleitenden Profile bilden die Normalen der letzteren Eine gerade Linie. Während der Gleitung wandert nun der Berührungspunkt am ruhenden Profil;

dadurch macht das bewegte Profil eine Drehung um einen Winkel, der demjenigen gleich ist, den die Normale des ersten Berührungspunktes mit derjenigen des letzten einschliesst.

Sowohl die Rollung als jede der beiden Gleitungen kann nun nach links oder nach rechts erfolgen und es kann sich ferner Rollung mit einer Gleitung, sowie eine Gleitung mit der anderen kombinieren. Ich mache hier nur darauf aufmerksam, dass gleiche Beträge der beiden Gleitungen nach der nämlichen Seite den nämlichen Effekt hervorbringen, wie eine Rollung nach dieser Seite. - Es kann deshalb jede Mischung als eine Summe oder Differenz von Gleitungen dargestellt werden.

Zu erwähnen ist noch, dass der Unterschied zwischen den beiden Gleitbewegungen aufhört, wenn die beiden Profile sich nicht in einem Punkte, sondern längs einer Strecke berühren.

Betrachtet man nun die tibiale und die femorale Gelenkfläche des Knies, so überzeugt man sich leicht, dass reine Rollung aus der Streckstellung nur eine sehr geringe Winkelbewegung oder Flexion zu stande brächte. Ebenso würde, wenn der vordere Rand der tibialen Fläche längs dem Femurprofil nach hinten glitte, die Flexion ungenügend ausfallen. Eine Gleitung des Femurs längs der tibialen Fläche nach hinten, brächte sogar eine Hyperextension zu stande. Dagegen würde eine Rollung nach hinten mit gleichzeitiger Gleitung des Femur nach vorn eine ausgiebige Flexion ermöglichen. Und so ist die Sache von Gebrüder Weber an bis heute immer dargestellt worden; überall heisst es, die Femurkondylen rollen bei der Flexion nach hinten und gleiten zugleich nach vorne aus.

Sieht man sich die Bewegungen am toten Knie bei freigelegter Gelenkspalte aber intakten Ligamenten an, so ist es freilich recht schwierig zu sagen, wie die Stellungsänderung sich macht. Viel übersichtlicher sind die Röntgenbilder, bei denen alles, was nicht Knochen ist, in Wegfall kommt.

Die Bilder I—VIII stellen das mediale Kniegelenk von der Streckstellung bis zur äussersten aktiven Flexionsstellung dar. In I berührt die Vorderkante der Tibia das Femur an seiner Facette, in II nach einer Flexion von ca. 12° trennt sich bereits die Tibia von der Facette, welche nun sofort sich nach oben entfernt, und der Berührungspunkt ist schon fast in die Mitte der tibialen Gelenkfläche rückwärts gewandert. Von da ab bis VIII bleibt die Mitte der tibialen Fläche in Berührung mit dem medialen Condylus femoris, während die Facette sich weit nach oben und vorn entfernt hat. Das heisst nun: Aus der Streckstellung findet unter Rollung im medialen Gelenk eine Beugung von ca. $10-12^{\circ}$ statt, von da wird die Flexion bis zu Ende besorgt durch Gleitung der tibialen Gelenkmitte längs dem medialen Femurcondylus nach hinten. Polbahnen für die initiale Rollung sind die vordere Hälfte des tibialen Profils und das korrespondierende Stück des femoralen Profils. Polbahn für die Gleitung der Tibia ist die Evolute des medialen Femurcondylus, für die Relativbewegung des Femurs: die Tangente an diese Evolute.

Damit wären nun die Polbahnen für die reine Flexion im medialen Gelenk mit aller wünschbaren Genauigkeit gefunden. Die Polbahnen des Abschnittes III haben hier ihre Korrektur gefunden, durch welche offenbar die Wanderung der Spannung innerhalb der Ligamente zum Ausdruck kommt.

Vom lateralen Gelenk liegen hier nur die vier ersten Stellungen bei; die folgenden zeigen keine merkliche Abweichung von der entsprechenden medialen. Nach den Bildern IX—XII dauert im lateralen Gelenk die Rollung merklich länger, d. h. bis eine grössere Beugung erreicht wird. Nachher erfolgt ebenfalls Gleitung der Tibiamitte längs des Condylus femoris nach hinten. Für die Rollung liegen im äusseren Gelenke die Verhältnisse günstiger, weil das Tibiaprofil gegen die

Mitte zu wieder eine Konvexität zeigt; diese gestattet eine Fortsetzung der Flexionsbewegung durch Rollung.

Die Polbahnen für die reine Flexion im lateralen Gelenk sind wieder die vorderen Hälften der Gelenkprofile für die Rollung, Evolute des lateralen Condylus und Tangente für die Gleitung.

Es ist nun gänzlich unmöglich, dass die mediale Gelenkfläche der Tibia nach hinten gleite, während zugleich die laterale sich in rollender Bewegung befindet, ohne dass neben der Flexionsbewegung auch eine Rotation der Tibia stattfindet. Es muss bei dieser Rotation, der sogenannten (Schluss- und) Öffnungsrotation die gleitende mediale Tibiaseite um die rollende laterale herumgehen, die Achse der Rotation muss also im lateralen Gelenk oder allenfalls lateralwärts ausserhalb des Gelenkes gesucht werden. Es war mir von meinen Studentenjahren an bis jetzt immer unbegreiflich, wie man behaupten kann, der Condylus lateralis wandere bei dieser Rotation um den Condylus medialis herum. Am magern lebenden Knie überzeugt man sich doch leicht durch Inspektion oder Palpation, dass der mediale Gelenkrand der Tibia am Ende der Streckbewegung sich etwas vorwärts, nicht aber der laterale Rand sich rückwärts schiebt. Am toten abgedeckten Knie wie an den Präparaten habe ich ebenfalls etwas anderes nie gesehen. Auch die Form der tibialen sowohl als namentlich der femoralen Gelenkflächen passt einzig und allein zu einer Rotationsachse im hintern äussern Teil des lateralen Gelenkes. Die Rotation der Tibia bei gebogenem Knie, die nicht zwangsläufig ist, hat mit dieser Bemerkung nichts zu schaffen.

Frägt man sich nun, durch welche Anordnung diese Tibiarotationen an den Beginn der Flexion und das Ende der Extension geknüpft seien, so bietet sich eine Erklärung, die, so weit ich sehe, genügend ist. Betrachtet man die Röntgenbilder VIII—I der Reihe nach, also die aufeinander folgenden Stel-

lungen bei der Extensionsbewegung, so sieht man, dass die Berührung zwischen Tibia und Femur bis zu Bild III beständig zwischen die tibialen Anheftungen der Kreuzbänder fällt. Daraus folgt mit Notwendigkeit, dass bis zu der Stellung III, d. h. während die Tibia vorwärts gleitet, beide Cruciate gespannt sind. Sobald aber der flacher gekrümmte Teil des Condylus die Tibia berührt, findet die Gleitung in einer Richtung statt, die das Cruciatum posterius erschlaffen, das Anterius stärker spannen muss. Nach bisheriger Auffassung würde das Cruciatum anterius hier Hemmungsband gegen weitere Streckung. Das ist nun entschieden unrichtig: durch die Anspannung des Anterius wird nur endlich die Gleitung unmöglich, dafür aber rückt nun der Berührungspunkt an Tibia und Femur nach vorn, d. h. es entsteht Rollung. Im lateralen Gelenk tritt die Rollung früher ein, weil hier auch das kurze feste Lateralband sich straff anspannt und weitere Gleitung verhindert. Das lange mediale Seitenband setzt einer Gleitung nur sehr geringen Widerstand entgegen. Nun wäre aber auch eine Rollung im medialen Gelenk nicht ausführbar, wenn nicht zugleich die tibiale Insertion des Cruciatum ant. sich nach aussen bewegte, in einem Bogen um die femorale Insertion des nämlichen Bandes als Mittelpunkt. Damit ist nun keineswegs gesagt, dass die Rotationsachse durch diese femorale Insertion gehe, einzig die tibiale Insertion bewegt sich um dieselbe, jeder andere Punkt der Tibia hätte nun noch mehrfache Bewegungsfreiheit. Zwangsläufig wird die Rotation erst durch die Wirkung des gespannten Collaterale fibulare. Wird das Femur als feststehend gedacht, so muss, damit noch etwas Rollung ausgeführt werden kann, die tibiale Anheftung des vordern Kreuzbandes im Bogen nach vorn und aussen, die fibulare Anheftung des Laterale ganz wenig nach innen wandern, oder auch ruhig bleiben. Die (ebenfalls wandernde) Rotationsachse befindet sich in der hintern äussern Gelenkpartie und ist leicht geometrisch aus den

Massen der Bänder und Knochen zu konstruieren und auch experimentell nicht schwer zu finden.

Bei der Flexion vollzieht sich Rotation und Flexion einfach in Umkehrung.

Einige Worte sind noch den Bändern, den Gelenkprofilen, den Knorpeln und der Muskulatur zu widmen, da dieselben hier in etwas heterodoxer Weise verwendet worden sind. Gegenüber der kurrenten Gelenktheorie, welche die Formgebung der Bewegung dem Gelenkprofil zuschreibt und den Bändern die ausschliessliche Aufgabe zuteilt, die intraartikuläre Berührung zu sichern und der Bewegung bestimmte Grenzen zu setzen, habe ich mich hier bemüht zu zeigen, dass den Bändern, wenigstens des Kniegelenks, noch eine andere Funktion obliegt. Diese Funktion, die Leitung der Bewegung, alteriert etwas die Bedeutung des Gelenkprofils und ist übrigens von so kapitaler Wichtigkeit für die Kinetik der Gelenke, dass ich vorschlagen möchte, den nichtssagenden Ausdruck „accessorische oder Hilfsbänder“, die aber beide mehr oder weniger die Vorstellung des Überflusses erwecken, so weit je die Berechtigung vorliegt, durch „Führungsbänder, Ligamenta conductoria“ zu ersetzen. Da ein Ligament nur in gespanntem Zustande Führungsband sein kann, so ist ja auch seine Wirkung als Haftorgan unangefochten; für das Verständnis des Kniegelenkes ist aber die Leitung der zwangsläufigen Bewegung bei weitem prädominierend.

Ein Hemmungsband habe ich bei der Darstellung der aktiven Flexion nicht verwendet, weder für die Flexion noch für die Rotation. Dass die aktive Flexion weder durch Band noch durch Anschlag gehemmt wird, ist nicht im mindesten zweifelhaft, weil passiv die Flexion noch bedeutend weiter geführt werden kann. Und zwar keineswegs um ein neues „Hypomochlion“, wie H. Meyer meint, sondern weiter um die Evolute der Kondylen und zuletzt durch etwas Rollung. Die Hem-

mung für die aktive Flexion erfolgt vielmehr dadurch, dass die Zugrichtung der Flexoren sich dem Drehpunkt nähert, mit anderen Worten, weil die Flexoren ihren toten Punkt fast erreicht haben.

Zur Hemmung der Streckbewegung soll seit den Zeiten der Gebr. Weber das Einrücken eines grösseren Radius vector in die Richtung der Seitenbänder dienen. Eine solche Einrichtung würde jeder, der Verständnis für Mechanik hat, nicht als annehmbar bezeichnen, denn sie würde enorme Anforderungen an die Seitenbänder stellen; wären diese fest genug, so wäre sie vorzüglich geeignet zum Festklemmen, aber schwer wieder zu lösen. Aus den Röntgenbildern ist aber leicht ersichtlich, dass erstens in der Gegend der Seitenbänder die Gelenkspalte in Streckstellung erweitert und zweitens ein Anschlag des vorderen Tibiarandes an die Facetten des Femur vorhanden ist. Das Wort Anschlag ist hier um so eher gerechtfertigt, als die Rollung eine sehr kurze ist und die fast kongruenten vorderen Profile von Tibia und Femur fast momentan zusammenklappen. Mit der Extension ist selbstverständlich auch die Rotation arretiert. Aber auch hier spielt die Annäherung an die Totlage eine Rolle sowohl in Bezug auf die Richtung der Strecksehne als auf die Beanspruchung beim Aufrechtstehen. Wie aus den Röntgenbildern ersichtlich, ist bei der Streckstellung der Berührungs- oder Drehpunkt zu vorderst im Kniegelenk und es bilden die 2 Dreiecke, den die Seitenbänder mit den Anschlägen bilden, den Verschluss.

Alle Bänder am Kniegelenk sind freilich in gewissem Sinne Hemmungsbänder, nämlich gegen abnorme Bewegungen, so z. B. das mediale Seitenband gegen eine schliessliche Rollung um die Vorderkante der Tibia. Dass übrigens Hemmungsbänder im bisherigen Sinne vorkommen, soll durchaus nicht bestritten sein; ich meine aber, dass sie nicht hindern sollten, andere Hemmungen zu sehen oder anzuerkennen.

Während nun am Knie die Bänder die Bewegungen leiten, entsprechen die Profile der Forderung, jene Bewegung einerseits nicht zu hindern und andererseits beständig so in Berührung zu bleiben, dass die führenden Bänder beständig aktionsfähig, d. h. gespannt seien. Beide Aufgaben der Profile werden erleichtert durch den knorpeligen Überzug der Profile und die Zwischenlagerung der Menisci. Beide dienen als Druckorgane und sind Correlata zu den Zugorganen, den Ligamenten. Es ist interessant, bei Gebr. Weber die Bemerkung zu lesen, die sich später wohl nicht wieder findet: die Zwischenknorpel dienen dazu, das Gelenk straff zu erhalten und sie wirken wie eine Druckfeder etc. Aus dem Gegeneinanderwirken der Zug- und Druckorgane ergibt sich ein eigentümliches Gleichgewicht, wie beim Balancier einer Uhr. Man hat es fälschlich labiles Gleichgewicht genannt (es ist ein stabiles Gleichgewicht, das sich dem indifferenten sehr nähert). Sein Vorzug ist die leichte Beweglichkeit.

Die Muskelanordnung am Kniegelenk zeigt einige bemerkenswerte Eigentümlichkeiten. Die tiefe Insertion der Strecksehne bei hohen Anheftungen der Flexoren bedingt die Möglichkeit, je nach Bedürfnis eine andere Stelle der tibialen Gelenkfläche mit dem Femur in Kontakt zu bringen. Es geschieht dies nachweisbar teils durch kleine Rollungen im Gelenk, teils um Achsen, die in der Tibia selbst liegen. Diese kleinen Accommodationsbewegungen werden sichtbar z. B. bei forcierter Extension, ferner bei der Kurvenaufnahme, wenn während der Bewegung der Schreibapparat plötzlich durch ein Gewicht beschwert wird. Die so erzielten Sekundärstellungen durchbrechen die strenge Zwangsläufigkeit, sind aber ohne Zweifel sehr zweckentsprechend.

Die Patella hebt die Strecksehne vom Femur ab und modifiziert ihre Richtung nicht unwesentlich. Es wird dadurch das statische Moment der Streckmuskulatur gesteigert und nament-

lich verhindert, dass dieses Moment nicht fast Null werde, wenn die Flexionsachse ihre vorderste Lage erreicht hat. Nebenbei bemerkt scheint diese Bedeutung allen Sesamknochen zuzukommen.

H. Meyer führt als Auswärtsrotatoren den Biceps und den Quadriceps auf, letzteren unter Betonung des vorn nach aussen absteigenden Verlaufes seiner Sehne. Der Biceps nun kann niemals die Schlussrotation bewirken, weil er gegen die Rotationsachse verläuft. Vom Quadriceps lässt sich höchstens sagen, dass er bei der Flexionsbewegung als Antagonist zur Einwärtsrotation etwas mithilft und bei der Streckbewegung die Auswärtsrotation nicht verhindert. Reichlich vertreten sind die Einwärtsrotatoren, und es könnte das Fehlen der Auswärtsdreher befremden. Die Totlage für die Flexoren nach vollendeter Eversion und die sehr günstige Stellung für die Extensoren vor derselben erklären dieses Verhältnis vollständig. Gegen Schluss der Streckung steht das Ligamentum cruc. anterius noch ziemlich frontal, und die Extensoren, die seine tibiale Insertion nach vorne mitnehmen, müssen damit auch die Drehung um die femorale Anheftung des Bandes bewirken, anders kann auch die Extension gar nicht vollendet werden. Nach vollständiger Auswärtsrotation aber verläuft das Cruciatum anterius sagittal und fällt in die Richtung der Flexoren. Diese werden dadurch ausser stand gesetzt, die Tibia einwärts zu rotieren und es haben die eigentlichen Rotatoren einzutreten.

Ergebnisse.

1. Die aktive Flexion im Kniegelenk inklusive Schlussrotation verläuft zwangsläufig, doch ist die Zwangsläufigkeit keine ganz strenge.

2. Das Knie ist kein konaxiales Gelenk, d. h. die Relativbewegungen der Tibia sind verschieden von denen des Femur.

3. Die Flexionsbewegung setzt sich im medialen wie im lateralen Gelenke zusammen aus einer Rollung und einer nachfolgenden Gleitung der Tibia längs den Femurkondylen.

4. Die Rollung im lateralen Gelenk ist grösser als im medialen und es ergibt sich daraus mit Notwendigkeit die Schlussrotation.

5. Die Polbahnen für die Rollbewegung sind die vorderen Partien der tibialen und femoralen Gelenkprofile, für die Gleitbewegungen die Evoluten der Femurkondylen mit ihren Tangenten. Die Achse für die Rotation geht durch die hintere äussere Partie der tibialen Gelenkfläche.

6. Der Zwangslauf wird dirigiert von den jeweilen gespannten Bändern.

7. Die Bänder werden in entsprechender Spannung erhalten durch die Form der Gelenkprofile.

8. Die Gelenkknorpel und Menisci sind die Druckorgane, die Correlata der Bänder, welche Zugorgane sind.

9. Die Hemmung der Extension erfolgt der Hauptsache nach durch Anschlag, diejenige der aktiven Flexion durch Annäherung an den toten Punkt.

10. Auswärtsrotatoren für die Schlussrotation giebt es am Knie nicht.

11. Die Patella vergrössert das statische Moment der Extensoren.

Zum Schlusse erfülle ich die angenehme Pflicht, den Herren Professoren Stoll, Ruge, Felix und Zschokke für die gütige Überlassung von Litteratur, Herrn Dr. Haemig für seine Mittheilung in 1900 meinen verbindlichen Dank auszusprechen.

6. Juni 1903.

Nachtrag.

Die vorstehende Arbeit ist entstanden lediglich unter dem Einfluss meiner Reminiscenzen aus dem Anatomieunterricht, den ich 1867—69 bei Prof. H. Meyer (Zürich) erhielt, und demjenigen meines recenten Studiums der Reuleauxschen Kinematik. Die gesamte angegebene Litteratur sah ich erst durch, nachdem „meine Arbeit“ abgeschlossen war. Sie hat meine Arbeitsweise, meine Ergebnisse und meine Auffassung, so viel ich weiss, nicht alteriert, kommt aber in der schriftlichen Darstellung einigermaßen zu ihrem Recht. Es erklärt sich aus diesem Verfahren die ganz unvollständige Berücksichtigung früherer Arbeiten, und andererseits ergibt sich daraus, dass „meine aktive Flexion im Kniegelenk“ vom Standpunkte des Mechanikers aus als eine Anwendung der Reuleauxschen Kinematik, resp. der Poinsoischen Sätze, vom Standpunkte des Anatomen aus als eine selbständige Leistung gelten kann.

Dieses Verfahren des nachträglichen Litteraturstudiums hat nun seine Vorteile und Nachteile: unabhängiges Arbeiten, allerdings mit einem starken individuellen Moment und die Isolation von fremden Ideen.

Es hat nun ein Leser meines Manuskriptes mich darauf aufmerksam gemacht, ich hätte bei der Aufstellung der Evolute als Bahn der Flexionsachse bei Bewegung der Tibia die Arbeiten Langers¹⁾ und Bugnions²⁾ erwähnen müssen. Er that das

1) Sitzungsberichte der k. k. Akademie XXXII. 1888.

2) Bugnion, E., Le mécanisme du genou. Recueil inaug. de l'université de Lausanne 1892.

augenscheinlich teils der Vollständigkeit halber, hauptsächlich aber um diesen beiden Autoren die Priorität zu wahren. Ich bin dem Herrn dafür zu Dank verpflichtet, dass er mich nötigte, die wundervolle Arbeit Langers zu lesen, die mir einen hohen Genuss verschaffte. Dagegen war es gänzlich unnötig, meine Priorität zu bestreiten.

Es wird ja niemand, am wenigsten ich, in Zweifel ziehen wollen, dass Langer bereits 1858, als ich noch ein Knabe war, die Evoluten der Femurkondylen als die Polbahnen der tibialen Flexionsbewegungen erkannt hat, die Normale in den Kontaktpunkten als die Polbahnen der femoralen Flexionsbewegungen. Ebenso steht fest, dass Bugnion 1892 diese Langersche Darstellung aufgenommen und teilweise reproduziert hat; dabei ist dann allerdings die Polbahn für die Femurbewegung und die Verschiedenheit der Relativbewegungen verloren gegangen. Bei dieser Gelegenheit sei mir gestattet zu erwähnen, dass ich bereits im Sommer 1868 in einem schriftlichen Aufsatz die Ansicht aussprach, die Flexionsachse dürfte doch eher längs der Condylusevolute wandern, als wie H. Meyer erklärte, einen Sprung machen. Meine damalige Ansicht war aber eine unklare, instinktive. Im folgenden Jahre hörte ich Balth. Luchsinger, dem nachmaligen Physiologieprofessor in Zürich, die nämliche Vermutung aussprechen; keiner von beiden kannte wohl die Arbeit Langers. Anfangs 1902 kam ich nun nach dem Studium Reuleaux unter Verwendung des mir längst geläufigen Begriffes der Evolute und unter Entwicklung der Gleitbewegung dazu, ganz unabhängig von irgend welcher fremden Arbeit, zu meiner Aufstellung der beiden Polbahnen für den Teil der Flexion, der durch reine Gleitung sich vollzieht. Bei Langer ist umgekehrt die Evolute und ihre Tangente das Primäre, aus dem er das Profil, die Ganglinie des Condylus ableitet. Dass die Flexionsachse in der Evolute und in der Tangente nur dann wandern kann, wenn ein und die nämliche

Tibiastelle längs dem Condylusprofil gleitet, das hat Langer noch nicht erkannt, ebensowenig Bugnion, und es fehlen deshalb bei Beiden auch die Polbahnen für die Rollung (bei Langer „Abhebung“), welche den Beginn der Flexion bildet.

Eine grosse Genugthuung war für mich die exakte Übereinstimmung meiner Deutung meines Röntgenbildes mit den Langerschen Beobachtungen. Man vergleiche meine Darstellung mit folgenden Stellen: pag. 114. „Nur ein sehr beschränkter Teil der Tibia, der im Umkreise des Kontaktpunktes liegt, bewegt sich gleitend über den Condylusflächen in der ganzen Exkursionsweite des Gelenkes. Die streckwärtsliegenden Punkte der Tibia heben sich mehr oder weniger, früher oder später von den Condylusflächen ab, je nachdem sie weiter vom Kontaktpunkt entfernt liegen oder ihm näher stehen. Bei der Bewegung des Oberschenkels gleitet die ganze hintere Peripherie über den Kontaktpunkt der Tibia weg“. pag. 112. „Da der äussere Condylus sich gleich vom vordern Rand der Tibia abhebt“

Also genau wie bei mir: „Vor dem Kontaktpunkt Abhebung, Rollung, hinter dem Kontaktpunkt Gleitung; am innern Condylus mehr Gleitung als am äussern, am äussern mehr Rollung als am innern. Dass das ohne gleichzeitige Rotation nicht sein kann, darauf habe ich oben hingewiesen.

Bei Bugnion sind die Bänder durchaus Haft- und Hemmungsorgane, darüber hinaus nichts, conform der allgemeinen Darstellung. Bei Langer sind wenigstens die Cruciata ausserdem Teile der Gelenkflächen, eine Auffassung, die gewiss zu rechtfertigen ist. Von einer kinetischen Bedeutung der Ligamente findet sich auch hier keine Spur. Ich bemerke hier noch, dass die von mir entwickelte Wirkung der Kniebänder nichts anderes ist, als die Konsequenz des allgemein gültigen Satzes

von der Aktion und Reaktion; das Band kann nicht gespannt, gezogen werden, ohne dass es selber zieht.

Die Schlussrotation ist bei Langer und Bugnion nur kurz berührt, ihr zwangsläufiger Anschluss an die Extension nicht erklärt.

Mit der unabhängigen Rotation habe ich mich nicht befasst, wogegen sie bei Langer den Hauptgegenstand der Betrachtung bildet. Langer lässt sie dadurch entstehen, dass das Lig. cruciatum post. längs dem Umfange des Cruc. anterius wie um einen festen runden Zapfen rollt. Bugnion hat die Sache unglücklich nachgeahmt, indem er die Tangente (vermutlich die Flexionsachse) an der gemeinsamen Evolute der Gleitfurchen auf dem Tibia rollen lässt. Wie eine solche Rollung möglich oder gar notwendig ist, ist nicht ersichtlich. Zudem sind die Gleitfurchen bei Bugnion zwei nicht konzentrische Kreisbogen und können als solche eine gemeinsame Evolute nicht haben.

Bei Langer stimmt die Sache auch nicht recht. Er braucht eine Rollung am hinteren äusseren Umfang des Cruciatum ant., das er als feststehend betrachtet, und doch bleibt das Cruciatum post. immer an der inneren hinteren Seite des Anterius. Diese Schwierigkeit fällt sofort weg, sobald man vorgeht, wie ich es bei der Flexion gethan habe. Projiziert man auf die Ebene des Tibiatellers diese Insertionen der Kreuzbänder bei gebeugtem Knie, so erhält man die vier Ecken eines geschränkten Viereckes. Die Polbahn des Femurstückes, das zwischen den beiden femoralen Insertionen liegt, hat die Form und Lage, wie Langer sie braucht und ebenso die Polbahn für die Bewegungen der Tibia. Es rollt dann freilich nicht mehr das Posterius auf dem festen Anterius, sondern das Anterius macht eine kleine Exkursion und trotzdem das Posterius immer hinten von ihm bleibt, wandert ihr Kreuzungs-(Berührungspunkt) in einer Kurve, die der Langerschen und Bugnionschen ähnlich ist. Dasjenige,

was nun rollt, sind die beiden Polbahnen, die aber nicht Evolute und Tangente sein können, sondern zwei Kurven sind.

Auch dieser kleine Exkurs ist geeignet, meine Darstellung zu unterstützen und zeigt, dass mein Auszug aus Reuleaux keineswegs unnütz war.

3. November 1903.

Zu den Röntgenbildern.

In der Extensionsstellung stemmt sich der vordere tibiale Gelenkrand an die Facetten der femoralen Gelenkflächen; hier ist die Gelenkspalte am engsten und erweitert sich nach hinten. Vermutlich rücken bei der Streckstellung die Semilunarknorpel etwas nach vorn und füllen die hinten weiter werdende Gelenkspalte aus.

Derjenige Teil der femoralen überknorpelten Fläche, die sich vorn oberhalb der Facetten befindet, kommt mit der tibialen Gelenkfläche niemals in Berührung; über sie verschiebt sich nur die Gelenkkapsel.

Im Anfang der Flexionsbewegung rollen Tibia und Femur so weit aufeinander nach rückwärts, bis die Berührungsstelle, die engste Stelle der Gelenkspalte, in die Mitte der tibialen Gelenkfläche nach hinten gewandert ist. Dabei erhebt sich die Facette vorn vor dem tibialen Gelenkrand, aber ohne sich nach vorn zu verschieben.

Die Rollung dauert im medialen Gelenk bis eine Winkeldrehung von $12-15^{\circ}$ erreicht ist. Im lateralen Gelenk vollzieht sich eine Winkeldrehung von $25-30^{\circ}$ durch reine Rollung. (Fig. I, II, III, IX, X, XI.)

Von da an gleitet die Mitte der tibialen Gelenkfläche längs der femoralen nach hinten und zwar sowohl im lateralen wie im medialen Gelenk. (Fig. III bis VIII, XI, XII.)

Es gleitet demgemäss die mediale tibiale Gelenkfläche bereits nach hinten, während die laterale noch rollt, d. h. bei der Schlussrotation bewegt sich bei ruhendem Femur die mediale tibiale Gelenkfläche um die laterale herum, bei ruhender Tibia wandert der mediale Condylus um den lateralen herum.

Litteraturverzeichnis.

1. Weber, Wilh. u. Ed., Mechanik der menschl. Gehwerkzeuge. 1836.
 2. Meyer, H., Lehrbuch der Anatomie. 1861.
 3. — Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes. 1873.
 4. Fick, A., Gelenke in Hermanns Handbuch der Physiologie. 1879.
 5. Braune, W., u. Fischer, O., Die Bewegungen des Kniegelenks. Abh. d. k. sächsischen Gesellsch. d. Wissenschaften. 1891.
 6. Fischer, O., Über Gelenke von zwei Graden der Freiheit. Archiv für Anat. u. Entwicklungsgesch. 1897. Suppl.
 7. Tornier, Gust., Über das Entstehen der Gelenkformen. Arch. f. Entwicklungsmechanik. 1894/95.
 8. Hermann, L., Lehrbuch der Physiologie. 1900.
 9. Reuleaux, F., Lehrbuch der Kinematik. 1875 und 1900.
-