ÜBER DAS SPRUNGGELENK

DER

SÄUGETHIERE UND DES MENSCHEN.

VON

PROF. Dr. KARL LANGER.

Mit 2 Tafeln.

VORGELEGT IN DER SITZUNG DER MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTL. CLASSE AM 17. JÄNNER 1856.

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

BEITRAG ZUR VERGLEICHENDEN ANATOMIE UND MECHANIK DER GELENKE.

Es ist mir immer aufgefallen, dass an Durchschnitten des Sprunggelenkes des Menschen, die nach Weber's Vorgange senkrecht auf die Drehungsaxe desselben (diese durch die Knöchel gedacht) gemacht werden, trotz der scheinbaren kreisförmigen Begrenzung der Durchschnittsflächen und der Congruenz der Sprungbeinsrolle mit der Tibia, dennoch bei den Beuge- und Streckbewegungen die Durchschnittsflächen beider Knochen nicht in einer Ebene bleiben. Immer ist während der Beugung, Dorsalflexion, die Tibiafläche nach aussen abgewichen, so dass sie an dem inneren Segmente vorne etwas hervorragte, am äusseren dagegen vorne die Sprungbeinsrolle etwas blossgelegt wurde. Die Durchschnittsebene der Tibia kreuzte die Durchschnittsebene des Sprungbeines.

Selbst nachdem ich möglichst genau die Drehungsaxe bestimmte, zeigten solche verticale Durchschnitte immer dieselbe Erscheinung; ich zweifelte nun nicht mehr an der Gegenwart einer eigenthümlichen mechanischen Vorrichtung, durch welche sich das Sprunggelenk von anderen Charnieren unterscheiden dürfte, und unternahm eine nähere Untersuchung desselben mit Berücksichtigung der bei Säugethieren vorkommenden Bildungen. Da es sich um eine seitliche Ablenkung der Flexionsebene handelt, so suchte ich insbesondere den Grund derselben zu ermitteln.

Die alleinige Kenntniss der Axe der Rotationsfläche genügt nicht zur vollständigen Charakteristik eines Charnieres; die Richtung der Flexionsebene, namentlich ihr Verhältniss zur Drehungsaxe ist von gleicher Wichtigkeit.

Um die Lage der Flexionsebene kennen zu lernen, wende ich folgendes Verfahren an: Ich schlage in den concaven Knochen einen eisernen Stift so ein, dass er nur wenig über den Knorpelüberzug hervorragt; führe dann diesen Knochen in seiner Flexionsexcursion auf und nieder, und ritze mit dem vorragenden Stifte auf der convexen Gelenksfläche des andern Knochens (der Rolle) den Weg ein, welchen der bezeichnete Knochenpunkt über den andern zurückgelegt hat. Zwei oder mehr so eingeschlagene Eisenstifte bilden ebenso viele einander gleichlaufende Linien. Ich gewinne durch dieses Verfahren die Durchschnittslinie, in welcher die Flexionsebene die Rotationsfläche kreuzt, und gelange dadurch nicht allein zur Kenntniss der vertical auf die Drehungsaxe gerichteten Profilprojection der Flexionsebene, sondern gewinne auch Kenntniss von der seitlichen Neigung derselben gegen die Drehungsaxe; ein Umstand, der bis jetzt nur wenig berücksichtiget wurde. Ich nenne diese Durchschnittslinie, weil sie den Gang eines Punktes über der Rolle markirt, die Ganglinie.

Wäre am Sprunggelenke des Menschen die Begrenzungslinie der senkrechten Durchschnittsfläche der Talusrolle zugleich die Ganglinie des Gelenkes, so müsste bei jeder Stellung desselben die Durchschnittsfläche der Tibia und die des Sprungbeines in einer Ebene liegen, was bei so angefertigten Durchschnitten des Ellenbogengelenkes auch der Fall ist, da seine Ganglinie ein Kreis ist, dessen Ebene senkrecht auf der Drehungsaxe der Oberarmsrolle steht.

Die Ganglinie des Sprunggelenkes weicht also aus der senkrechten Durchschnittsebene der Talusrolle ab. Um sich diese Abweichung bemerkbarer zu machen, stecke man am gestreckten Gelenke in der Richtung der senkrechten Durchschnittsebene des Fusses zwei Nadeln ein, eine am Rande der Gelenkfläche der Tibia, die andere am Rande der Gelenkfläche des Sprungbeines; wird dann das Gelenk gebeugt, so stehen die beiden Nadeln nicht mehr über einander, sondern neben einander; die im Schienbein befestigte ist nach aussen abgewichen; bei grossen knochigen Männern über 3 Millim.

Da die Ganglinie aus der kreisförmigen senkrechten Durchschnittsebene der Sprungbeinsrolle abweicht, so kann sie kein Kreissegment sein. Indem sie unter spitzigem Winkel um eine cylindrische oder conische Oberfläche aufsteigt, wird sie Abschnitt einer Wendellinie sein. Der Gang einer solchen Linie erklärt auch die seitliche Verschiebung beider Knochen an einander. Die freien seitlichen Ränder der oberen Sprungbeinsfläche und der Rist der beiden in der Richtung von vorne nach hinten verlaufenden Erhabenheiten dieser Gelenkfläche sind, weil durch den Gang des Gelenkes bestimmt, der genaue Ausdruck der Ganglinie desselben. Doch ist es bei dem geringen Umfange und der geringen queren Concavität der oberen Gelenkfläche der Talusrolle des Menschen schwerer, sich diese als Abschnitt einer Wendellinie vorzustellen; ich suchte mir daher dieses Verhältniss bei den Säugethieren klarer zur Anschauung zu bringen, namentlich an grösseren Thieren und solchen, deren Sprungbeinsrolle zwischen zwei grösseren Gelenkerhabenheiten rinnenförmig vertieft ist. Aus diesen Untersuchungen hat sich ergeben, dass die Ganglinie des Sprunggelenkes wohl bei allen Säugethieren Theil einer Wendellinie ist: die Sprungbeinsrolle daher bei ihrer cylindrischen oder conischen Grundgestalt Abschnitt einer Schraubenspindel, an der das Schienbein mit seiner concaven unteren Gelenkfläche als Schraubenmutter spielt.

Das Sprunggelenk des Pferdes ist am besten geeignet dieses Verhältniss zu erläutern und als Ausgangspunkt zu dienen, von dem aus dasselbe durch die Reihe der Säugethiere bis zum Menschen verfolgt werden kann.

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

Bekanntlich besteht die Sprungbeinsrolle des Pferdes aus zwei länglichen nach der Quere abgerundeten Erhabenheiten, welche in schiefer Richtung nach aussen und unten verlaufen und eine sehr vertiefte in gleicher Richtung verlaufende Rinne einschliessen. Diese Erhabenheiten bezeichnen schon die Richtung des Ganges, doch wurde die Ganglinie noch genauer nach obiger Methode über den Rist derselben verzeichnet. Man sieht wie diese Linie, weit entfernt in einer Ebene zu bleiben, sich immer mehr nach aussen abbiegt, daher keine in sich zurücklaufende Linie sein kann. Die Congruenz beider Knochen in jeder Stellung des Gelenkes spricht gegen eine Ellipse, welche durch eine schief über eine Cylinder-Oberfläche in derselben Ebene zurücklaufende Linie dargestellt würde.

Um des Verlaufes der Ganglinie noch sicherer zu sein, suchte ich diese zu ergänzen, und soweit als möglich zu verfolgen. Zu dem Zwecke machte ich von der Sprungbeinsrolle mehrere Gypsabgüsse, in denen sich die über die Erhabenheiten geritzten Ganglinien deutlich ausprägten. Parallel der Axe wurden die Abgüsse beschnitten und so an einander gepasst, dass die Ganglinien des einen Abgusses in die des andern fielen. Zwei Abgüsse ergänzten sich schon zu einem ganzen Schraubenumfange, und zwar in der Art, dass die Ganglinie der einen Erhabenheit nach einem gemachten Umgange in die Ganglinie der andern Erhabenheit auslief (Fig. 2 zeigt die Ergänzung zweier Abgüsse der rechten Rolle vom Panther). Ich erhielt also das Modell eines Schraubenstückes, an welchem die Ganglinie zwei ganze Touren mit constanter Neigung um die Axe machte. Die beiden Erhabenheiten der Rolle bildeten das Schraubengewinde; ihre Distanz, parallel der Axe gemessen, gibt die Ganghöhe; durch Anpassen mehrerer Abgüsse konnte die Schraube beliebig verlängert werden. Aus den so gewonnenen Modellen lassen sich die Eigenschaften dieser Schraube und der Ganglinie entnehmen. Es ist eine einfache Schraube, deren Ganghöhe etwas grösser ist als der Radius des äusseren Schraubenumfanges, so dass die Schraubenlinie gegen die Grundfläche in einem Winkel über 10° aufsteigt.

Betreffs der Windungsrichtung ist die Sprungbeinsrolle der linken Seite Segment einer rechtsgewundenen Schraube, die von rechts einer linksgewundenen. Diesen Bezeichnungen, rechts- und linksgewunden, liegt die conventionell in der Mechanik gebräuchlichere Bedeutung dieser Ausdrücke zu Grunde. Nach der Bezeichnungsweise von Listing ist die Rolle des linken Fusses laeotrop, die des rechten Fusses dexiotrop (mit den mnemonischen Kennzeichen λ und δ). Die Axe der Rolle steht senkrecht auf der Axe des Fusses, diese durch die Länge des Mittelfussknochens (Schienbein der Thierärzte) auf die Mitte des Fusses gezogen. Die Neigung der Ganglinie gegen die Fussaxe ist daher dieselbe, wie gegen die Grundfläche der Rolle. Die Axe des Fersenhöckers steht parallel der Fussaxe und rechtwinkelig auf die Drehungsaxe.

Die schief gestellte Erhabenheit der unteren Fläche des Unterschenkelknochens (Tibia) ist ein Segment des Muttergewindes, welches in der Furche zwischen den Erhabenheiten der Sprungbeinsrolle läuft.

Der Rist der beiden Gelenkerhabenheiten der Sprungbeinsrolle des Pferdes entspricht den Seitenrändern der oberen Gelenkfläche dieses Knochens beim Menschen und manchen Säugethieren; es wird daher auch die seitliche Randbegrenzung der Rolle die Krümmung der Ganglinie wiedergeben. Auch die Krümmung der Seitenflächen der Rolle, wo diese durch die Knöchel wie in einer Gabel eingefasst ist, wird durch die Gangweise so weit bestimmt sein, dass unabhängig von ihrer seitlichen Krümmung (in der Richtung

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

von oben nach unten) sie entsprechend der Ganglinie symmetrisch mit dieser in der Richtung von vorne nach hinten gekrümmt sein wird. Doch ist nur ausnahmsweise wegen der geringen Excursion des Sprunggelenkes so viel von den Seitenflächen entwickelt, dass man aus dem geringen Segmente allein genaues entnehmen könnte.

In dieser Beziehung ist das Geschlecht *Bradypus* von besonderem Interesse, es ist meines Wissens das einzige Säugethier-Geschlecht, bei welchem die äussere Fläche der Sprungbeinsrolle im ganzen Kreisumfange entwickelt wäre. Sie ist nämlich zur Aufnahme des unteren, nach innen gegen die Rolle gebogenen, und zapfenartig frei vorspringenden Endes vom Wadenbeine zu einer ziemlich vertieften Grube ausgekehlt, deren Umfangsrand dem äusseren Rand der Rolle entspricht; da nun dieser Rand gleichzeitig Ganglinie des Gelenkes ist, so kann er vermög seiner Krümmungsverhältnisse nicht kreisförmig in sich zurücklaufen, sondern, da die Schraubenlinie des Sprungbeines nach aussen aufsteigt, weicht er immer mehr aus der Ebene seines Anfanges heraus ohne diesen zu erreichen; er bildet zwar keine ganze Windung, sondern hört am Vorderrande der Tibiafläche auf; dagegen machen die mit ihm um die Drehungsaxe symmetrisch gezogenen Linien in der Tiefe der äusseren Malleolargrube eine volle Windung, so dass im Ganzen die Wand dieser Gelenkgrube die Form eines trichterförmig eingerollten Blattes bekommt. Da wo der Umfang der Grube von seinem Anfange an der hinteren Peripherie der Rolle nach der Tiefe abweicht, hat der Knochen eine Spalte, die tief in die Substanz bis gegen den Grund der Grube reicht.

Die Abbildung Fig. 3 ist einem erwachsenen Exemplare von *Bradypus tridactylus* entnommen, dessen anderes Bein aber diese offene Spalte nicht zeigt, indem der Knorpelüberzug dieselbe bedeckte. Einen Einschnitt des Knochens habe ich unten an drei *Bradypus*-Skeleten gesehen, die Spalte in der Malleolargrube selbst constant aber nur bei jüngeren Thieren. Bei *Bradypus* ist also in der spiralig um die Drehungsaxe des Gelenkes angelegten äusseren Malleolarfläche die spirale Ganglinie der Talusrolle ganz wiedergegeben.

Auch betreffs der Mechanik dieser Schraubencharniere ist das Sprunggelenk des Pferdes ganz geeignet als Paradigma zu dienen, da das Sprungbein durch seine sehr straffen Bänder mit den übrigen Fusswurzelknochen vereiniget und dadurch jede andere störende Mitbewegung des Gelenkes möglichst ausgeschlossen ist. Blos Beuge- und Streckbewegungen können hier ausgeführt werden.

Der Umfang der Bewegung beträgt am Präparat 115°, kann also nahe einem Drittheile des Kreisumfanges gleich angenommen werden.

Bekanntlich federt dieses Gelenk; an einer bestimmten Stelle nämlich hat es eine so labile Lage, dass es durch den geringsten Impuls, je nach dessen Richtung, mit grosser Kraft in die Beuge- oder Strecklage zurückschnellt; dagegen nur mit immer wachsendem Widerstande dieser labilen Stellung zugeführt werden kann. Von den 115° kommen 35° auf den Abstand der labilen Lage von der extremen Streckstellung.

Da der Schraube dieses Sprunggelenkes ein Cylinder zu Grunde liegt, so ist hier, wie in den Cylindercharnieren, die Drehungsaxe eine fixe nicht verschiebbare, und die beiden Knochen unter allen Stellungen in den der Ganglinie gleichlaufenden Contactlinien vollkommen congruent. Auch die Richtung der Drehungsebenen beider Glieder zu einander wird ebenfalls wie dort von der Richtung der Drehungsaxe gegen die Axe der bewegten Knochen abhängig sein. In dieser Beziehung finden daher keine Unterschiede Statt zwischen Schrauben- und Cylinder-Charnieren. Charakteristisch aber für das Schraubencharnier ist

eine nach der Richtung der Drehungsaxe vor sich gehende seitliche Verschiebung der Knochen. Es wird nämlich bei fixirtem Fusse die Tibia in ihrer Drehungsebene nach aussen zu verschoben, wenn sie aus der Strecklage in die Beugelage geführt wird; umgekehrt bei der Streckung. Die Grösse dieser Verschiebung wächst im geraden Verhältniss mit dem Sinus des Neigungswinkels, unter welchem die Ganglinie der Rolle aufsteigt; steigt also mit der Ganghöhe der Schraube. Würde die Tibia als Schraubenmutter um die Sprungbeinsrolle eine vollkommene Umdrehung machen, so würde die seitliche Verschiebung genau den Werth der Höhe des Schraubenganges haben; beträgt dagegen die Excursion der Tibia nur ein Drittheil des Cylinderumfanges, so wird die Verschiebung nur dem dritten Theile der Ganghöhe entsprechen. Bei bekannter Excursionsweite eines Gelenkes und bekanntem Radius der Rolle lässt sich daher auch aus dem Werthe der Verschiebung die Neigung der Ganglinie gegen die Schraubenbasis ermitteln.

Messungen über die Grössen der Verschiebung lassen sich annähernd durch Markirung zweier Punkte vornehmen, die in der Streckstellung senkrecht auf die Drehungsaxe angebracht werden, einer an der Tibia, der andere an dem Sprungbeine. Im Maximo der Beugung stehen die Marken neben einander; die der Tibia ist die äussere.

Genauer habe ich den Grad der Verschiebung nach folgender Methode bestimmt. Ich zeichnete am unteren Ende der Tibia eines am Mittelfuss befestigten Gelenkes eine Querlinie, parallel mit der Drehungsaxe; construirte auf ihr eine Senkrechte. Ein mit einem Fadenkreuz versehenes Fernrohr wurde horizontal aufgestellt, das Fadenkreuz deckte die Linien am Schienbein; die richtige Aufstellung des Apparates wurde an einem zwischen dem Fernrohr und dem Gelenke aufgehängten Loth geprüft. Bei vorgenommenen Bewegungen der Tibia sieht man ihre Verticale parallel mit dem Lothe sich verrücken. Eine an der Horizontalen der Tibia verzeichnete Millimeter-Skala diente als Massstab, an welchem die Grösse dieser Verschiebung abgelesen wurde. An einem Pferde-Sprunggelenk betrug die Verschiebung bei einer ganzen Excursion 11 Millim., was ein Drittheil der Distanz beider Erhabenheiten der Talusrolle war. Die durch directe Messungen erlangte Grösse des Neigungswinkels und die Weite der Excursionsfähigkeit der Tibia stimmten mit diesem Resultate überein. Die stärkere Prominenz des äusseren Knöchels in der Beugestellung steht mit dieser Verschiebung in Verbindung.

Unter Berücksichtigung dieser seitlichen Verschiebung ergibt sich zum Unterschiede von einem Cylindercharniere, dass die Flexionsebene keine Ebene, sondern übereinstimmend mit der wendelartig verlaufenden Ganglinie ein Theil einer Wendelfläche ist.

Die Verschiebung bedingt auch die Unterschiede, die in der Anheftung der Lateral-Ligamente hier im Gegensatze von Cylindercharnieren beobachtet werden.

Es gibt bei Cylindercharnieren einzelne Faserbündel, welche beiderseits im Endpunkte der Umdrehungsaxe symmetrisch befestigt, bei jeder Lage des Gelenkes ihre Spannung gleichmässig erhalten. Diese Fascikel bilden den Mantel eines geraden Kegels, oder laufen in einer Kreisebene, je nachdem ihre centralen Befestigungspunkte an einem hervorragenden Tuberculum oder in der Ebene der Rollenbasis sich befestigen. Solche sind bei Schraubencharnieren undenkbar; denn sie würden, wenn sie an einem hervorragenden Höcker der Rolle entstehen würden, beiläufig den Mantel eines schiefen Kegels bilden, dessen längere Seiten nach der Seite gerichtet wären, nach welcher die Ganglinie abweicht; am äusseren Ligamentum nach hinten, am inneren nach vorne. Wären aber beide in ihrer Länge z. B. für die Strecklage accommodirt, so wäre für die Beugelage

das innere zu kurz, das äussere würde erschlaffen; und umgekehrt, wenn ihre Länge der Beugelage entsprechen würde; eine gleichzeitige Spannung der beiden Bänder bei freier Beweglichkeit des Gelenkes ist also nicht möglich, wenn diese ihren Ursprung beiderseits im Endpunkte der Umdrehungsaxe nehmen; oder überhaupt symmetrisch an der Rolle befestigt sind, wie dies an einem reinen Ginglymusgelenke stets der Fall ist.

Es ist unmöglich für ein Band-Fascikel einen Ansatzpunkt zu finden, bei dem dasselbe in allen Stellungen gleichmässig gespannt sein könnte. Wie bei den unreinen Charnieren (mit nicht congruenten Gelenkflächen) strahlen auch hier die Faserbündel der Lateralligamente nicht gegen einen Punkt der Rolle zusammen, sondern heften sich in einer Linie an, die mehr weniger der Ganglinie entspricht; die Fascikeln durchkreuzen sich, so dass die an der Rolle hinten befestigten am concaven Knochen vorne sich anheften, und umgekehrt, wodurch eine abwechselnde Spannung der einzelnen Bündeln jedes Lateral-Ligamentes bedingt, und dabei der feste Anschluss beider Knochen nur durch Spannung einzelner Bündeln erzielt wird; eine gleichzeitige Spannung aller Fasern eines Ligamentes ist da unmöglich. Die Durchkreuzung der Fascikeln eines Bandes unter einander ist dadurch geboten, dass Fasern, die an der Tibia z. B. hinten sich anheften, zu kurz für die Beugung wären, wenn sie auch an der Rolle hinten angeheftet wären.

Beim Pferde sind beiderseits zwei Lateralligamente, ein tieferes und ein oberflächliches; letzteres entspricht den *Ligamentis laciniatis*, als Verstärkungen der Aponeurose am Fussgelenke des Menschen; die tiefen sind die eigentlichen Lateralligamente. Die oberflächlichen tragen zur Festigkeit des Gelenkes wesentlich bei, ohne jedoch auf die Mechanik des Gelenkes einen eigenthümlichen Einfluss zu nehmen; sie sind der Strecklage accommodirt, erschlaffen daher bei der Beugelage. Das äussere tiefe Seitenband befestigt sich in grosser Ausdehnung entlang der Contactlinie des Sprungbeines mit dem Fersenbeine; wechselnd spannen sich seine Faserbündeln bei der Beuge- oder Streckbewegung. Das innere tiefe heftet sich schon am Fersenbein an, beiläufig in der Peripherie der Basis der Talusrolle, vor (unter) dem Endpunkte der Drehungsaxe; seine Länge ist der Streckstellung entsprechend.

Der Abstand der Befestigung des inneren Lateralligamentes am Fersenbein von seinem Tibialansatze ist bei extremer Flexion selbst mit Berücksichtigung der Abweichung der Ganglinie nach aussen kleiner, als bei der extremen Extension, daher in der Beugelage das Band erschlafft ist. Zwei Nebenfascikel, die hinten an der Rolle sich ansetzen, spannen sich bei der Flexion. Den höchsten Grad seiner Tension erreicht aber das Band, wenn es während des Ganges der Tibia den Endpunkt der Drehungsaxe deckt, weil es dann in den grössten Durchmesser des Kreises zu liegen kommt. In dieser Spannung des inneren tiefen Lateralligamentes liegt der Hauptgrund des Federns des Gelenkes, da das Band in dieser Stellung stark gedehnt, vermöge seiner Elasticität den Knochen bald nach vorn bald nach rückwärts herüber zu schnellen versucht. Fig. 5 ist die innere Seite des Pferdegelenkes mit den Ursprüngen der inneren Lateralligamente, *a*, *a* des tiefen, *b*, *b* des oberflächlichen, *a'* sind accessorische Fascikeln des tieferen Bandes, von dem sie als *Ligamenta tibio-tali postica* getrennt werden könnten. Die Tibia ist in der labilen Lage eingestellt; in dieser Stellung erreicht das innere tiefe Ligament die grösste Tension.

Beide tiefere Ligamente befestigen sich am vorderen Höcker der Knöchel; indess die oberflächlichen am Fusse vor, am Schienbein hinter den tiefen sich anheften. Beiderlei Bänder kreuzen sich daher.

Wegen ihrer Befestigung an der Fusswurzel vor den tiefen Bändern ist die Erschlaffung der oberflächlichen Bänder bei der Beugung eine gänzliche, und da nur die hinteren Fascikeln der tieferen Bänder gespannt sind, ist das Gelenk in der Beugelage minder fest. Schlotternd kann jedoch selbst in der extremen Beugelage, trotz der Erschlaffung der meisten Bänder-Fascikeln, das Gelenke nicht sein, da einerseits der kräftige Muskeldruck die Knochen fixirt, andererseits die stark eminenten Erhabenheiten der Rolle eine Lateralbewegung verhindern.

Was das Verhältniss dieser Gelenkeinrichtung zur Musculatur und ihrer Leistung betrifft, so ergibt sich im Vergleich mit dem Mechanismus eines reinen Ginglymusgelenkes beim Schraubengelenk zu Gunsten der Musculatur offenbar ein mechanischer Vortheil.

Denkt man sich die Last des Leibes senkrecht abwärts gerichtet, so fällt sie bei dem horizontalen Stande der Drehungsaxe zugleich senkrecht auf diese; wäre das Gelenk ein Cylindergelenk mit gerader Gangrichtung, so fiele der Druck der Leibeslast parallel mit der Gangebene. Geht dagegen die Ganglinie (Flexionsebene) in schiefer Richtung auf die Axe, so wird ein Theil der Last als Normaldruck senkrecht auf die Ebene der Ganglinie fallen und durch die Resistenz der Rolle getragen; der Musculatur fällt nur mehr das relative Gewicht zur Last welches in der der Ganglinie gleichlaufenden Richtung sich fort zu bewegen strebt. Je mehr dabei die Resultirende des Gastrocnemius in die Richtung der Ganglinie fällt, desto grösser ist der Gewinn an Kraft, der sich in dem Verhältnisse günstig gestaltet, in welchem die Länge, der Schraubenlinie (Ganglinie) zu der Peripherie der Spindel (gerade Ganglinie eines Cylinder-Gelenkes) steht. Zieht man eine Linie von dem Zwischenraume der Oberschenkel-Condylen zum Fersenhöcker, der auswärts der Tibia gestellt ist, so dürfte diese Linie der Resultirenden des Gastrocnemius entsprechen. Ihre Richtung nähert sich bei verschiedenen Thieren, und verschiedenen Attituden bald mehr bald weniger der schiefen Gangrichtung des Gelenkes, wodurch also die gleichlaufende schiefe Gangrichtung des Gelenkes für die Musculatur ein günstigeres mechanisches Verhältniss erzielt, indess bei bestehender schiefer Richtung der Muskelresultirenden ein Charnier mit gerader (senkrechter) Gangrichtung einen entsprechenden Verlust an Kraft für die Musculatur bedingen würde.

Wie es scheint ist beim aufrechten Stande der vierfüssigen Säugethiere, wegen der halbgebeugten Stellung ihrer Glieder mehr die Musculatur in Anspruch genommen, als dies, wie Meyer erwiesen, beim aufrechten Stande des Menschen der Fall ist, wo das Tragen der Leibeslast, wenigstens grösstentheils, den Hemmungs-Apparaten der Gelenke zugefallen ist. Solche für die Musculatur mechanisch günstige Gangrichtungen der Gelenke erzielen dieselbe Ersparniss an Muskelkräften. Während am Ellenbogengelenk des Menschen eine kaum abweichende Gangrichtung sich findet, trifft man eine solche auch hier schon angedeutet beim Pferde und Rinde. Das Federn des Sprunggelenkes beim Pferde scheint für die Stabilität der Strecklage gleichfalls von Bedeutung zu sein.

In je grösserem Neigungswinkel daher, bei gleichbleibendem Umfange der Rolle, die Ganglinie von ihrer verticalen Richtung abweicht, desto mehr wird an Normaldruck gewonnen und das relative von der Musculatur zu tragende Gewicht vermindert; damit steht wohl in Verbindung die Verschiedenheit in der Grösse des Neigungswinkels bei verschiedenen Thieren. Ich finde dass solche, die den Fuss steil tragen, namentlich hochbeinige, wie das Pferd und Känguru, den grössten Neigungswinkel haben, hingegen der Mensch überhaupt die Sohlen-

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

gänger, eine weniger geneigte Gangrichtung haben, Bestimmtes kann aber nur der Vergleich mit der Richtung der Muskelresultirenden ergeben.

Während am Ellenbogengelenk zur Aufnahme des vorspringenden Ellenbogenhöckers in der Strecklage der Oberarm eine tiefe *Fossa supracondyloidea* besitzt, weicht die Tibia hier wegen der schiefen Gangrichtung des Gelenkes dem Fersenhöcker aus, und gewinnt dadurch gleichfalls an Umfang der Bewegung, die durch den stark vorspringenden Fersenhöcker gehemmt würde.

Dass diese Bildung der Sprungbeinsrolle nicht dem Pferde allein eigenthümlich sei, geht schon aus der schiefen Gangrichtung des Sprunggelenkes des Menschen hervor. Es handelte sich darum zu erfahren, in wie weit diese Form in der typischen Bildung des Säugethierskeletes begründet ist, und welche Abweichungen etwa vorkommen. Ich untersuchte zu dem Ende eine Reihe von Säugethierskeleten, und bin, wie gesagt, zu dem Resultat gekommen, dass die schiefe wendelförmige Gangrichtung des Sprunggelenkes allen Säugethieren typisch zukomme.

Die schiefe Richtung der Gelenkleisten, oder, wo diese nicht auffallend entwickelt sind, die schiefen Ränder der oberen Rollenfläche lassen darüber schon auf den ersten Blick keinen Zweifel aufkommen, und an grösseren Thieren kann man sich selbst die Ganglinie dadurch markiren, dass man mit der über die Rolle vorsichtig geführten Tibia einen Bleistift in Verbindung bringt. Die Lage der Drehungsaxe und die anatomischen Verhältnisse der Bänder können da wohl nicht mehr mit jener Genauigkeit ermittelt werden, die wünschenswerth wäre, aber nur am frischen Gelenke erzielt werden kann.

Ich finde diese schiefe Richtung der Ganglinie unter den Raubthieren beim Katzengeschlechte (Löwe, Panther, Katze), dann den Hundearten mit wenig geringerem Neigungswinkel als beim Pferde, beim Bären als Sohlengänger scheint mir der Neigungswinkel etwas geringer zu sein. Die Nager (Hase, Stachelschwein) schliessen sich im Ganzen an die Raubthiere an; Aguti mit seinem steil getragenen Fusse hat eine grössere, und der plantigrade Bieber die geringste Neigung. An die genannten schliesst sich *Hyrax* und *Tapyrus* an; letzterer mit einer Neigung, die jene des Pferdes beinahe erreicht. *Myrmecophaga jubata* hat eine Rolle mit geringer Neigung und dabei einen, im Verhältniss zur Grösse der Extremität geringen Durchmesser; letzteres fällt bei der kletternden *Myrmecophaga didactyla* besonders auf. Der langfüssige *Halmaturus* ist durch eine flache, scharf geränderte und sehr schiefe Rolle ausgezeichnet. Geringer ist die schiefe Gangrichtung der Talusrolle bei den Wiederkäuern und Schweinen, welche sich vor allen übrigen *Pachydermen* wesentlich durch die Form ihres Sprungbeines unterscheiden. *Hyrax* steht den Nagern, namentlich den Hasen am nächsten, *Tapyrus* und *Hippopotamus* den kurzfüssigen *Digitaten*. *Elephas* hat eine wenig gekehlte, bei dem geringen Umfange der Bewegung auch wenig umfangreiche Rolle, deren schiefe Gangrichtung, trotz der Kürze, aber mit der Steilheit des Fusses in Verbindung stehend, mindestens 10° beträgt. Von den Springern unter den Nagethieren untersuchte ich *Dipus*, und fand wie beim *Halmaturus* eine sehr schiefe Gangrichtung. *Dasypus* zeigt keine Eigenthümlichkeiten und schliesst sich den kurzzehigen Säugethieren an.

Von den meisten der untersuchten Thiere habe ich die Sprungbeinsrolle in Gyps abgegossen, und sie zu einem vollen Schraubenumfange zu ergänzen gesucht. Fig. 2 stellt einen solchen Abguss und die Ergänzung zur Schraube vom Sprungbein des Panthers vor. In Fig 1 ist die ganze rechte Fusswurzel desselben Thieres abgebildet. Fig. 4 ist die rechte Fusswurzel vom *Halmaturus giganteus*.

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

Diese Angaben sind, weil die Axen nicht mehr so genau ermittelt werden konnten, nur Schätzungen, doch glaube ich eine ziemliche Genauigkeit für sie in Anspruch nehmen und behaupten zu können, dass bei keinem Säugethiere der Neigungswinkel der Ganglinie gegen die Rollenbasis sich so klein herausstellt, dass diese zu einem Kreissegmente würde.

Bisher wurde als Grundgestalt der Sprungbeinsrolle ein Cylinder angenommen, dies ist beim Pferde und *Halmaturus*, wie es scheint, auch der Fall; doch zeigt die Rolle der meisten anderen genannten Thiere nach innen einen geringeren Umfang als nach aussen zu, so dass die Rolle in ihrer Grundgestalt eine konische Form mit nach innen gewendeter Spitze annimmt. Da bei der Flexion die Tibia nach aussen gegen die Basis der Kegelschraube, also gewissermassen schraubauf sich bewegt, so wird das Gelenk in der extremen Flexion wie festgeschraubt und die weitere Bewegung gehemmt.

Rücksichtlich des Umfanges der überknorpelten Sprungbeinsrolle ergaben sich einige auf die Grösse der Excursion Einfluss nehmende Unterschiede. Beim Elephanten finde ich ihn am kleinsten, nicht über $^1/_6$ eines Kreisumfanges, beim *Tapir* über $^1/_3$, beim Pferde ist er $^1/_2$, so auch beim Panther.

Betreffs der Lage der Drehungsaxe scheint diese bei den genannten Thieren kaum aus der horizontalen abzuweichen, doch nicht immer senkrecht gegen die Fussaxe gestellt zu sein, wo sie dann aussen eine nach hinten, doch wenig ablenkende Richtung bekömmt, die Axen beider parallel aufgesetzten Füsse bilden dann einen nach hinten offenen, sehr stumpfen Winkel. Wie es scheint senkrecht auf die Fussaxe, finde ich sie ausser beim Pferde auch noch beim *Halmaturus*. Von der Neigung der Axe und der schiefen Gangrichtung der Rolle hängt der Umstand ab, dass die Flexionsebene der Tibia mit der des Fusses sich kreuzt und in der Beugestellung das Knie über den äusseren Fussrand zu stehen kommt.

Bei einigen Säugethieren tritt aber noch eine Neigung der Drehungsaxe gegen den Horizont auf. In diesem Falle ist sie stets aussen höher, so dass sie mit der horizontalen einen nach aussen offenen Winkel beschreibt. Da die Drehungsaxe im Sprungbein liegt, und dieses gegen den Fuss noch durch das untere Gelenk beweglich ist, so bestimmt die im unteren Gelenke mehr oder weniger bleibend angenommene Lage des Sprungbeins die Lage der Axe. Ist das Sprungbein nach innen gesenkt (pronirt), so wird dadurch die Axe des oberen Gelenkes aussen gehoben. Die äussere Fibularfläche des Talus bekommt eine nach obenzu gerichtete Lage, und der äussere Rand der oberen Rollenfläche läuft leistenförmig über den Rist und zeichnet die Ganglinie. Im Maximo dieser Bildung articulirt die Fibula mit einer unteren schief abfälligen Fläche mit dem Sprungbein, so dass die beiden Unterschenkelknochen nicht eigentlich eine Gabel bilden.

Eine sehr schiefe Lagerung des Sprungbeines finde ich bei *Phoca;* es steht das mit dem ausgezeichneten Schwimmvermögen dieses Thieres im Zusammenhange, da sich die Flexionsebene des Sprunggelenkes wegen der bleibenden Pronationslage des Sprungbeines im unteren Gelenke schief gegen den Horizont einstellt; bei der vollen Extensionslage ist der Plattfuss ganz einwärts gewendet.

Auch bei *Phalangista* ist die Fibularfläche des Talus aufwärts gewendet, beide Flächen jedoch von geringerem Umfange und kleiner Convexität, so dass besonders die Tibialfläche nahezu eben ist; gegen einander sind sie unter einem nur wenig stumpfen Winkel geneigt, und durch eine niedrige schief auf die Drehungsaxe gestellte Leiste (nämlich den äusseren Rand der Rolle)

geschieden. Die flachen Gelenksflächen deuten auf ein grosses, der Lebensweise dieses Kletterthieres zuständiges Drehungsvermögen in diesem Gelenke, dessen Axe in den Unterschenkel fällt.

Die mit der Zulässigkeit dieses Gelenkes um zwei vertical auf einander stehende Axen sich zu drehen, nothwendig verbundene Incongruenz beiderlei Knochen ist durch einen verschiebbaren Meniscus ausgeglichen, der das untere Ende der Fibula umsäumt; der convexe Rand desselben läuft entlang der mittleren Rollleiste (äusseren Rand der Rolle anderer Thiere), sein hinteres Ende verschmilzt mit dem *Ligamentum fibulare tali posticum*, das andere mit der Wand der Kapsel. Dasselbe Verhältniss finde ich auch bei *Didelphis*, dessen Gelenk ich näher untersuchen konnte; ich sehe hier zwischen Fibula und Tibia auch einen Fortsatz des Meniscus aufwärts gehen, und beide Knochen von einander scheiden. Die den beiden Unterschenkelknochen entsprechenden Synovialhöhlen communiciren über der Rolle nur durch die Öffnung des Meniscus. In Fig. 6 ist der rechte Hinterfuss von *Didelphis virginiana* abgebildet, um den Bau der oberen Rollenfläche des Sprungbeins zu zeigen. Die innere der Facetten ist die innere Malleolarfläche, die mittlere die Tibialfläche, die dritte ist die äussere Malleolarfläche. So viel mir bekannt, sind diese beiden die einzigen Säugethiere, welche ein umfangreiches Drehungsvermögen um eine verticale Axe mit einem Meniscus in diesem Gelenke besitzen. Nur bei den *Monotremen* scheint noch ein ähnliches Rotationsvermögen vorhanden zu sein.

Hat man einmal die schiefe Gangrichtung des Sprunggelenkes an Thieren kennen gelernt, so wird man diese auch beim Menschen nicht vermissen. Ich empfehle zu dieser Untersuchung Extremitäten grosser knochiger Männer zu wählen.

Die Versuche, die ich über die Richtung der Axe der Sprungbeinsrolle gemacht, zeigen, dass sie aussen nahe der Spitze der Fibularfläche, innen durch ein Höckerchen läuft, an welchem sich ein tiefes Fascikel des *Ligamentum laterale int.* befestigt. Etwas ober diesem Höckerchen finde ich eine Öffnung, die zum Durchtritte eines Blutgefässes dient (Fig. 11, *a*). Projicirt man durch beide Punkte über die Rolle eine Linie und untersucht ihr Verhältniss zur Ganglinie, die auf die früher angegebene Weise durch einen feinen Stift markirt wird, so sieht man, dass diese von der Geraden (d. h. Senkrechten auf die Drehungsaxe) im Maximo um etwa 8° nach aussen abweicht; sich daher dem allgemeinen Säugethier-Typus vollkommen anschliesst, ohne jedoch, bei dem geringen Umfange der Rolle, so eminent zu sein, wie es beim Pferde oder Känguruh zu finden ist.

Was die Lage der Drehungsaxe zur Längenaxe des Fusses betrifft, ist sie in dieser Beziehung sehr wechselnd, wegen der Beweglichkeit des Sprungbeines gegen den übrigen Fuss. Ich ziehe nach Weber die Fussaxe durch das Köpfchen vom zweiten Mittelfussknochen und den unten aufliegenden Höcker vom Fersenbein. Wird das Sprungbein bei senkrecht stehender Tibia durch Druck am Knie belastet, so dass das Höckerchen des *Caput tali* nicht über das *Os naviculare* hervorragt, so ist eine Neigung der Fussaxe gegen die Verticale der Drehungsaxe kaum bemerkbar; steht aber das Höckerchen des Talus vor, wie dies bei halber Beugung und unbelastetem Gelenke der Fall ist, so wird sich der Winkel der schiefen Gangrichtung mit dem Winkel der nun auch schief gegen die Axe des Fusses gelagerten Drehungsaxe summiren, und an Durchschnitten des Gelenkes die Eingangs erwähnte Ablenkung ergeben: sie wird um so auffallender sein, je mehr auch das untere Gelenk, und durch dieses das Sprungbein gegen den übrigen Fuss bewegt wird. Bei der Beugung geschieht die Ablenkung nach aussen, bei der Streckung nach innen.

Herm. Meyer hat in seiner Abhandlung über „das aufrechte Stehen" in Müller's Archiv 1853, pag. 9, zuerst auf die Form der Gelenkfläche der Talusrolle genau aufmerksam gemacht und gefunden, dass die Rolle nach vorne breiter ist als nach hinten, wodurch sie in der Beugelage zwischen den beiden Knöcheln eingeklemmt festgehalten wird. Diess scheint für den ersten Augenblick im Widerspruch zu stehen mit der oben besprochenen Verschiebung der Tibia nach aussen, da ja ihr Knöchel an sie fest angewachsen, sie daher bei dem Breiterwerden der Rolle nach vorne eher nach innen als nach aussen verschoben werden sollte, besonders da die innere Malleolarfläche der Rolle vorne nach innen sich ausbuchtet.

Um darüber ins Klare zu kommen, untersuchte ich zunächst die Form der Concavität der Unterschenkelknochen im Verhältniss zur Form der Sprungbeinsrolle, und machte zu dem Ende einen Abguss der Gabelpfanne, der natürlich kürzer in seinem Kreisumfange war als die Rolle; es stellte sich aber die vollkommenste Congruenz desselben mit jenem Theil der Rolle heraus, den die Unterschenkelknochen decken, wenn sie senkrecht über dem Fusse stehen; es reicht in dieser Lage der äussere Rand der Tibia genau bis an den Rand der Abstumpfungsfläche der äusseren Rollenkante. Die Abstumpfungsfläche selbst ist in dieser Lage mit keinem der Unterschenkelknochen in Berührung, sondern wird von den gespannten Fasern des *Ligamentum tibio-fibulare post.* gedeckt, welches gewissermassen zu dieser Abstumpfung führt.

Der Grund der grösseren Breite der Rolle vorne liegt darin, dass sie innen in mehr senkrechter Richtung auf die Drehungsaxe, aussen aber in der Richtung der Ganglinie abgegrenzt ist.

Wenn man von einer Schraubenspindel mit abgerundeten Gängen ein Segment, das beiläufig ein Viertheil ihres Umfanges beträgt, nach den angegebenen Richtungen abgrenzt, dann den schiefen nach der Wendellinie gerichteten Rand hinten abstumpft, so hat man sich damit das Schema einer Sprungbeinsrolle nachgebildet. Die innere Malleolarfläche, scheinbar im Widerspruche mit der nach aussen gerichteten Gangweise, stellt sich jetzt als die abgegrenzte Wand der seitlich steil abfallenden Schraubenwindung heraus. Die äussere Malleolarfläche als Seitenbegrenzung der Rolle ist auch entsprechend der Ganglinie symmetrisch mit dieser in der Richtung von hinten nach vorne gekrümmt, und entsprechend dem Umfange der Rolle beinahe in einem Viertelkreis entwickelt, daher stets im Contacte mit dem Malleolus; während der *Malleolus internus*, da er eine von dem Begrenzungsrande der inneren Malleolarfläche abweichende Gangrichtung hat, diese Fläche also hinten nicht in dem Umfange ausgeführt ist, der der Grösse der Rolle entspricht, sich bei der Streckung um so viel entfernen muss, als der Winkel beträgt, unter welchem die Ganglinie die Begrenzungslinie schneidet. Dass der *Malleolus internus* sich hier bei der Plantarflexion von der Rolle wirklich entfernt, sieht man bei Ansicht des Gelenkes von hinten her. Die ungleiche Länge der Knöchel ist Ursache der verschiedenen Form der ihnen entsprechenden Seitenflächen der Rolle, indem der äussere Knöchel die Drehungsaxe erreicht, der innere dagegen kürzer, die Axe unter sich durchtreten lässt. In Fig. 7 ist ein solches Schema der linken Sprungbeinsrolle entworfen, mit einem Neigungswinkel von 8°. *A* die Axe, *B* Richtung der Basis, *G* die Ganglinie, *D* innere Begrenzungslinie der Rolle. Zwei volle Umgänge der Schraubenspindel bilden nämlich eine Rolle, von welcher das Sprungbein nur ein Viertheil entwickelt an sich trägt; die Seitenflächen tragen die Malleoli, und werden daher durch deren Form in ihrer Ausdehnung und in ihrer seitlichen Krümmung bestimmt, indess ihre Krümmung von vorne nach hinten durch die Ganglinie bestimmt ist. Auch

die nach innen ablenkende, auffallend spirale innere Malleolarfläche bei *Echidna*, findet in der unsymmetrischen Begrenzung der Rolle ihre Erklärung.

Auch beim Menschen ist die äussere Peripherie der Rolle grösser als die innere; die Grundform der Rolle ist daher auch ein Kegel mit einwärts gerichteter Spitze. Da die Verschiebung nach aussen, also gegen den breiteren Theil der Rolle vor sich geht, so wird durch die Beugebewegung der Unterschenkel an die Talusrolle gleichsam festgeschraubt und die extreme Flexionslage gehemmt. Dieser Umstand wird in gleicher Weise, wie die vorne grössere Breite der Rolle, worauf Meyer aufmerksam machte, als Hemmniss der Flexion bei der Statik des Aufrechtstehens in Betracht kommen, und diese Attitude durch den Mechanismus des Gelenkes getragen, mit dem geringsten Muskelaufwande festzuhalten gestatten. Es wird durch diesen Apparat an der zum Tragen der Körperlast nöthigen Muskelkraft möglichst gespart, um sie der Bewegung zuwenden zu können.

Die im Ganzen trapezoidale Durchschnittsform der Rolle erlaubt bei der geringen Höhe der Schraubenwindungen eine kleine Drehbewegung um den *Malleolus externus* weil bei der Streckung der innere Knöchel gelockert wird. Diese Drehbewegung ist in der Streckstellung so lange gestattet, als die die Streckung hemmenden Bänder nicht das Maximum ihrer Tension erreichen, durch welche der Talus wieder an die Unterschenkelknochen angedrückt wird.

Welchen Einfluss die nach aussen schief gerichtete Flexionsebene des Unterschenkels auf die Mechanik des Gehens und Stehens habe, hat H. Meyer in seiner Abhandlung „das aufrechte Gehen" (Müller's Archiv 1853, pag. 365) auseinander gesetzt. Die oben besprochene Einrichtung des Sprunggelenkes macht die schiefe Lage der Flexionsebene unabhängig von der Lage des Astragalus, wodurch, selbst für den Fall als beide Füsse mit vorwärts gewendeten Zehen aufgesetzt, die Fussaxen daher mehr parallel sind, die Flexionsebenen dennoch sich schneiden werden. Ferner, wenn wir mit auswärts gewendeter Fusspitze gehen, und die Last des Leibes durch Streckung des hinten aufgesetzten Fusses auf den vorgesetzten Fuss übertragen, so geschieht das in einer Richtung, die wenn nicht ganz, doch beinahe senkrecht auf die Drehungsaxe des Sprunggelenkes des vorgesetzten Fusses fällt. Da die Axe durch die Dorsalflexion im unteren Gelenke immer mehr senkrecht auf die Fussaxe fällt, so würde, wenn die schiefe Richtung der Flexionsebene blos durch die Neigung der Drehungsaxe gegen die Mittelebene bedingt wäre, dieser mechanische Vortheil der schiefen Lage der Flexionsebene elidirt werden für den die Last des Leibes aufnehmenden Fuss, weil dieser im selben Momente gebogen wird, wo er die Leibeslast aufnimmt. Durch diese Einrichtung wird es überhaupt erst möglich, dass bei allen Attituden des Leibes die Flexionsebene eine schiefe Richtung bekömmt.

An den Bewegungen des Fusses gegen den Unterschenkel betheiligt sich wesentlich noch ein zweites Gelenk, nämlich das des Sprungbeines gegen die übrigen Fussknochen. Es tritt dieses Gelenk zu dem oberen in ein ähnliches Verhältniss, wie es Günther für die beiden Gelenke der Handwurzel früher schon beschrieben hat. Um eine bestimmte Excursion des Fusses auszuführen, betheiligen sich die beiden Gelenke bald wechselnd, bald gleichzeitig, meist aber in der Art, dass das Maximum der Bewegung in dem einen erst dann eintritt, wenn das andere ausgespielt hat. Durch die Reihe der Säugethiere verfolgt, sieht man die Summe der Flexionsbewegung des Fusses verschieden vertheilt, bald ist es das obere, welches eine grössere Excursion hat, während das untere zu einer straffen Amphiarthrose zurücksinkt, bald sind beide mehr gleichmässig beweglich. Dabei

ist nebst der verticalen Flexion auch noch die laterale Verschiebung und ihre Vertheilung auf die beiden Gelenke zu berücksichtigen.

Das Sprunggelenk der Wiederkäuer und des Schweines ist da wieder am meisten geeignet, die gegenseitigen Beziehungen der beiden Gelenke zu einander kennen zu lernen.

Messungen am präparirten Gelenke eines Rindes ergaben für die ganze Excursion der Beugung einen Winkel von 110°, von diesen wurden blos 15° ausschliesslich im oberen Sprunggelenke ausgeführt. Wenn die Tibia aus der extremen Streckelage in die Beugelage geführt wurde, und sie einen Winkel von 15° zurückgelegt hat, so beginnt schon allmählich die Beugung im unteren Gelenke, bis sich bei 55° die Tibia in Maximo ihrer Flexion einstellt. Die anderen 55°, also die Hälfte der ganzen Excursion wird im Tarsalgelenk beendigt.

Das Sprungbein des Rindes besteht aus zwei Rollen, die obere grössere articulirt mit der Tibia, die untere ist der Kopf des Sprungbeines. (Vergl. das ähnlich gebaute Sprungbein vom Schweine in Fig. 10 und 13.) Die Erhabenheiten der Schienbeinsrolle sind hoch, beinahe leistenförmig, die äussere höher als die innere. Die Erhabenheiten der Kopfrolle sind beinahe gleich. Die Fersenbeinfläche des Sprungbeines ist nicht concav wie sonst bei Säugethieren, sondern convex in der Richtung von vorne nach rückwärts. Der ganze Knochen bildet also beiläufig eine elliptische Rolle, die zwischen dem Fersenbeine einerseits und einem dem Vorderfusse angehörigen, dem Navieulare und Cuboideum entsprechenden Knochen andererseits eingekeilt ist. Er ist in diesem Raume um eine Axe beweglich, die durch die Vorderenden der beiden oberen Rollhügel gezogen werden kann (Fig. 10 *e*) und zugleich Axe ist der unteren Cylinderfläche, die die Gelenkverbindung mit dem Fersenbein herstellt. Die Zeichnungen Fig. 8 und 9 sind Entwürfe der inneren und äusseren Seitenansicht eines linken Gelenkes, worin gerade Durchschnitte, die die beiden inneren und äusseren Rollhügel des Talus schneiden, eingetragen sind. *c* ist die Axe der Fersenbeinfläche und Drehungsaxe des ganzen Knochens, *a* bezeichnet die Lage der oberen, *b* die Lage der unteren Axe. Fig. 8 ist in Maximo der Flexion des oberen Gelenkes, Fig. 9 in Maximo der Extension beider gezeichnet.

Man ersieht aus der Form des Taluskopfes, der hier zu einer Rolle geworden ist, dass die sogenannte Pro- und Supination des Fusses hier ganz elidirt ist. Blos eine Flexion mit lateraler Verschiebung ist möglich.

Die Veranlassung, durch welche das Sprungbein bei dieser Bewegung an die Tibia zur Mit- und Folgebewegung sich anschliesst, wird theils durch den Bandapparat, theils durch eine eigenthümliche Vorrichtung am äusseren Knöchel gegeben.

Nebst dem beiderseitigen oberflächlichen Bandapparat geht innen vom Knöchel der Tibia ein Band zur hinteren Peripherie des Sprungbeines, das hinter der Drehungsaxe des oberen Gelenkes sich ansetzt. Fig. 8 *α*: ein zweites geht zum Fersenbein, Fig. 8 *β*. Nach aussen ist ein in der Tiefe gelegenes *Ligamentum fibulare tali posticum*, Fig. 9 *γ*, dessen Ansätze sich ähnlich verhalten, wie am inneren oberen. Diese beiden Bänder hemmen, wegen ihrer excentrischen Befestigung, die Flexion und fixiren das Sprungbein an die Tibia; bei fortgesetzter Spannung der Beugemuskeln wird die Bewegung der Tibia an den nun fest an sie angeklemmten Talus übertragen, wobei seine Drehungsaxe *c* zum Hypomochlion wird.

Dieser Mechanismus würde blos eine Folgebewegung des Sprungbeines veranlassen; doch wird schon vor der Einstellung der Tibia in die extreme Flexion durch die Vorrichtung am äusseren Knöchel eine Mitbewegung des Sprungbeines eingeleitet. Bekanntlich ist der äussere Knöchel des Unterschenkels vom Rind ein Rudiment der Fibula, welches höchstens

im Alter mit der Tibia verwächst, sonst nur durch eine Knorpelfuge und straffes Periost mit ihr vereinigt ist. Dieses Fibularrudiment hat an seiner inneren, dem Sprungbein zugewendeten Fläche einen vorspringenden keilförmigen Fortsatz, der unter dem äusseren Rollhügel des Talus in einer Rinne desselben läuft. Er ist gekrümmt. Seine obere Fläche adaptirt sich in ihrer Krümmung der Krümmung des äusseren Rollhügels vom Sprungbein, ist also Abschnitt eines mit ihm concentrischen Kreises (?), die untere Fläche des Keiles dagegen ist Abschnitt eines kleineren Kreises, dessen Centrum vor dem der Rollhügel liegt. Indem sich die Peripherien beider Kreise vorne einander nähern, bekömmt der Knochen eine keilförmige Gestalt; sein schmäleres Ende sieht nach vorne. In Fig. 9 ist ein Durchschnitt des *Malleolus externus* und des äusseren Theiles vom Fersenbein dargestellt; man sieht zwischen Tibia und Calcaneus den eingeschobenen Keil, dessen hinteres Ende noch mit der Tibia in Verbindung steht. Auch vorne an der Tibia ist noch ein Stückchen des Fibularrudimentes zu sehen. Die untere Fläche des Keiles läuft auf der oberen Fläche eines Fortsatzes des Fersenbeines, der in der äusseren vertieften Fläche der Sprungbeinsrolle liegt. Diese ist also wegen der Convergenz beider Knöchel gegen einander fest eingekeilt, und fällt erst durch Ablösung des Fibularrudimentes aus seiner Verbindung mit der Tibia leicht heraus.

Bei den Bewegungen der Tibia nach der Beugerichtung drängt sich dieser keilförmige Fortsatz der Fibula immer mehr zwischen die vorragenden Rollhügel und den Fortsatz des Fersenbeines, wodurch das Sprungbein hinten gehoben und der Drehung um seine Axe allmählig zugeführt wird.

Entsprechend der Axe, um welche sich das Sprungbein rotirt, ist es an das Fersenbein durch einen kurzfaserigen straffen Bandapparat befestigt, der dem *Apparatus ligamentosus* des *Sinus tarsi* entspricht, und durch seine Torsion die Rotation des Sprungbeines um seine Axe hemmt. Hier ist also dieser Bandapparat Hemmung für die Flexionsbewegung. An der inneren Seite wird diese Hemmung durch ein *Ligamentum talo-naviculare* hervorgebracht, welches Fig. 8 *δ* am Endpunkte der Umdrehungsaxe der Kopfrolle entsteht und radienförmig zum Kahnbeine hinzieht. Wird bei der Beugung das Sprungbein um seine Axe *c* gedreht, so bewegt sich der Ursprung dieses Bandes nach hinten und zieht auch das Naviculare nach hinten gegen das Fersenbein. Der Zwischenraum zwischen Naviculare und Fersenbein, gleichsam die Pfanne für das Sprungbein, wird dadurch kleiner, entsprechend dem kürzeren Durchmesser *d* des Sprungbeines, der nun bei der extremen Flexionslage in diesen Raum zu liegen kommt. Das Nähern des Kahnbeines ist desshalb möglich, weil es innen nicht ganz das Fersenbein erreicht, wie die punktirten Begrenzungslinien beider Knochen in der Zeichnung zeigen, und nach aussen beide Knochen durch eine nach hinten schief absteigende Gelenkfläche articuliren (Fig. 9), die eine Verschiebung in dieser Richtung zulässt.

In der extremen Strecklage des oberen Gelenkes fällt die Richtungslinie der Tibia hinter die Drehungsaxe *c* des Sprungbeines; ein in der Richtung der Tibia gehender Druck keilt daher den längeren Durchmesser des Sprungbeines in seine veränderliche Pfanne ein und hemmt jede Flexion im unteren Gelenke, was für die Stabilität der Strecklage nicht ohne Einfluss ist. Eine Beugung im unteren Gelenke führt nothwendig auch eine Beugung im oberen mit sich.

Nach demselben Plane ist auch das Sprunggelenk des Schweines gebaut, nur ist der keilförmige Fortsatz der hier ganz entwickelten Fibula nicht so tief in das Sprunggelenk eingesenkt, daher er sich erst nahe nach vollendeter Beugung der Tibia an den oberen Fersenbeinfortsatz anstemmt.

Andeutungen dieses Apparates am äusseren Knöchel finden sich auch schon unter den Nagern beim Hasen, wo das untere Fibularende mit dem Fersenbein in gelenkiger Verbindung steht. Auch bei *Hyrax* finde ich eine ähnliche Bildung.

Wegen des geringeren Umfanges der Flexionsbewegung im oberen Gelenke ist auch die schiefe Gangrichtung am oberen Sprunggelenke des Rindes minder auffallend, doch wahrnehmbar. Deutlicher ist sie schon beim Schweine auszunehmen. Da die Flexionsbewegung auch auf das untere Gelenk übertragen ist, musste ihre schiefe Gangrichtung mit der seitlichen Verschiebung gleichfalls dort auftreten; am Schweinsfuss ist auch diese schiefe Richtung der Kopfrolle deutlicher als am Rinde, da scharfe Leisten vorspringen, und diese die Gangrichtung markiren (Fig. 10). Dass sie dem Rinde nicht fehlt, geht schon aus dem Umstande hervor, dass man bei der Beugung im unteren Gelenke den inneren Rollhügel des Sprungbeinkopfes nach innen sich vordrängen sieht.

Im oberen Gelenke hat die Gangebene eine schief nach aussen, im unteren eine schief nach innen gehende Richtung, wodurch bei der extremen Flexion der *Malleolus externus* aussen, das *Caput tali* innen hervorragt. Der Grund dieser Verschiedenheit in der Gangrichtung beider Gelenke liegt in der Drehung des Sprungbeines. Wenn das Sprungbein nach Fixation der Tibia durch anhaltende Spannung der Flexoren die Bewegung fortzusetzen sucht, so bildet es einen zweiarmigen Hebel, dessen Hypomochlium seine Drehungsaxe *c* ist, die quer auf der Fussaxe liegt. Sein Längendurchmesser liegt schief auf dieser Axe; oben ragt die Rolle aussen, unten der Kopf nach innen vor. Die Schienbeinsrolle geht bei der Beugung nach vorne und aussen, die Kopfrolle nach hinten und innen. In voller Umdrehung um seine Axe würde dieser Knochen mit seinen Enden zwei Parallelkreise in umgekehrter Richtung beschreiben, der äussere würde nach vorne begonnen, der innere nach hinten ausgeführt werden. Diese Kreise würden senkrecht auf die Axe gestellt sein, wenn die Gangrichtung eine gerade wäre, da aber die obere Rolle einen schief auswärts gerichteten Gang hat, muss die untere Rolle eine schief einwärts gewendete Gangrichtung einhalten. Die obere Rolle ist am linken Fuss eine rechtsläufige Schraube (laeotrop nach Listing), daher die Ganglinie der Kopfrolle desselben Fusses Abschnitt einer linkslaufenden (dexiotropen nach Listing) Wendellinie sein muss; und umgekehrt am rechten Fusse.

Die Axen beider Rollen sind unter einander nicht parallel, sondern convergiren nach innen gegen die Drehungsaxe des ganzen Sprungbeines. Wären sie parallel, dabei die Ablenkung oben und unten, und die Hebelarme des Sprungbeines gleich; so würde in der Richtung des Fusses gegen die Tibia nichts geändert; wegen ihrer Convergenz nach innen aber neigen beide ein wenig mit ihren Flexionsebenen nach aussen zusammen; kaum dass dadurch aber bei der Strecklage die hintere (untere) Seite des Fusses nach innen bemerkbar gewendet wäre. Eine eigentliche Drehung des Fusses mit Wendung seiner Sohle ist in diesen Gelenken nicht ausführbar.

Eine ausgiebige Wendung des Plattfusses um das Sprungbein kann auf zweifache Weise zu Stande kommen. Entweder es wird der Fuss unabhängig von seiner Flexionsbewegung um eine mit seiner Länge mehr weniger gleichlaufenden Axe gedreht, die durch den Kopf des Sprungbeines geht; in welchem Falle der Kopf entsprechend der Axe kugel- oder kegelförmig geformt sein könnte. Nur wenn er auch in der Richtung von vorne nach rückwärts

gekrümmt ist, könnte das Sprungbein auch Flexionsbewegungen ausführen; dann müsste aber diese Queraxe durch seinen Mittelpunkt durchgehen, und das Fersenbein diese Bewegungen mitmachen, oder durch eine schief nach vorne abfallende Gelenkfläche ein Auf- und Niedergleiten desselben an sich gestatten. Rotations- und Flexionsbewegung wären da auf zwei vertical auf einander gestellte Axen vertheilt.

Eine andere Art Wendung des Plattfusses vereint mit der Flexionsbewegung um dieselbe Axe wird dadurch zu Stande kommen können, dass die Axe der Flexionsbewegung nicht quer, sondern schief auf die Fussaxe und den Horizont gestellt ist, wodurch die Flexionsebene eine Neigung gegen den Horizont bekömmt. Wenn, ohne das obere Gelenk zu berücksichtigen, nur die Axe des Sprungbeinkopfes schief nach aussen und hinten gerichtet ist, so wird, wenn der Fuss in diesem Gelenke eine Plantarflexion macht, die Sohle einen zugleich nach innen gerichteten Gang nehmen, und diese Wendung um so ausgiebiger sein, je mehr die Drehungsaxe zugleich aussen schief gegen den Horizont sich neigt.

Im ersten Falle geschieht die Rotation um eine Axe, die die Flexionsbewegung ausschliesst, im zweiten Falle geschehen beide Bewegungen um dieselbe Axe. Dass aber Rotation und Flexion jede um eine besondere Axe des Sprungbeines vor sich gehen würden, ist in der Reihe der Säugethiere ohne Beispiel. Der Kopf des Sprungbeines ist immer nur um eine Axe gekrümmt. Je vollkommener die eine Bewegungsweise in diesem Gelenke, beschränkter ist die andere.

Bei *Bradypus* ist eine Rotation mit Ausschluss jeder Flexion, sie geschieht um eine, nach der Länge des Sprungbeines liegenden Axe, die mit der Fussaxe einen nach innen offenen spitzigen Winkel bildet. Die beiden unteren Gelenksverbindungen des Sprungbeines tragen Flächen, welche vollkommen symmetrisch um diese eine Axe angelegt sind. Das Köpfchen ist quer abgerundet, vorne flach-kugelig; die Fersenbeinfläche rinnenförmig quer auf die Axe gekehlt, in Verbindung mit einer convexen schmalen Leiste des Fersenbeines. Durch diese Leiste und das Köpfchen vom Talus ist die Axe zu ziehen. Da das Fersenbein fest mit den übrigen Fusswurzelknochen verwachsen ist, so ist jede Flexions-Excursion aus diesem Gelenke beseitiget, auf deren Kosten die vollkommenste Rotation sich entwickelt hat, die überhaupt bei Säugethieren beobachtet wird.

Die zweite Art Rotation, die im Vereine mit der Flexion um eine schief gestellte Drehungsaxe ausgeführt wird, findet sich typisch bei allen Säugethieren, selbst der oben besprochene Fall bei *Bradypus* lässt sich auf diesen, wie später gezeigt wird, zurückführen. Die Plantarflexion im unteren Gelenke führt zur Einwärtswendung der Sohle, die Dorsalflexion führt die Sohle in die horizontale zurück; der äussere Fussrand kann wenig nur gehoben werden. Diese Rotation bedingt eine solche Richtung der unteren Sprungbeinsaxe, dass diese aussen mehr zurück weicht, wodurch die Bewegungsebene den äusseren Fussrand schneidet, und um so schiefer den Horizont nach innen gerichtet schneiden wird, je mehr die Axe aussen auch gegen den Horizont sich neigt.

Die schiefe Richtung der Ganglinie gegen die Drehungsaxe am Sprungbeinkopfe, die bei horizontaler Lage der letzteren nur eine Lateralverschiebung bedingt und die Neigung der Flexionsebene gegen den Horizont nicht ändert, kömmt bei der schiefen Lagerung der Axe gegen den Horizont wohl auch in Betracht, da sie die Flexionsebene noch mehr nach innen ablenkt.

Beide Bewegungsexcursionen im unteren Gelenke, die Rotation und die Flexion in der Profilprojection, geben, wie es scheint, überall eine gleiche Summe von

Beweglichkeit, die aber je nach der Lage der Axe in ungleiche Theile getheilt ist. Hat die Axe des *Caput Astragali* die Lage, dass sie bei 45° gegen die Fussaxe und gegen die Horizontale geneigt ist, so sind die Excursionswinkel beider Bewegungen einander gleich, und es ist durch diese Stellung der Axe bereits die Möglichkeit gegeben, die Plattfüsse einander gegenüber zu stellen. Eine grössere Neigung scheint auch kaum bei *Bradypus* zu sein, in der den übrigen Säugethieren Parallellagerung des Astragalus. Wo eine vollständige Wendung des Plattfusses bei diesem Winkel der Axe nicht ganz gelingt, liegt dies an der Hemmung der freien Beweglichkeit des Sprungbeines durch seine Verbindung mit dem Fersenbeine. Die Varianten, die daher in der Lagerung der Axe des Kopfes zu finden sind, liegen zwischen 45° Neigung und der Horizontalen.

Da beim Schweine und den Wiederkäuern die Drehungsaxe des Sprungbeinkopfes beinahe quer auf die Fusslänge und horizontal liegt, so ist eine Wendung des Plattfusses hier kaum zu bemerken. Die Bewegung in der Verticalprojection ist die beinahe allein mögliche. Diese Flexionsbewegung des Sprungbeines bedingt hier eine in demselben Sinne gekrümmte Verbindungsfläche mit dem Fersenbeine. Ihre convexe Rollfläche ist Abschnitt einer Cylinderoberfläche mit querer Axe, der eine concave Gelenkfläche des Fersenbeines gegenüber steht. Würden diese beiden Axen in einander fallen, so hätte das Gelenk des Kopfes eine umfangreiche Excursion, sie liegen aber über einander, durch einen beim Rinde etwa 3 Linien betragenden Zwischenraum getrennt, und es kommt dadurch zu der oben besprochenen Hemmung der Bewegung.

Die Kenntniss der Mechanik des unteren Sprunggelenkes der Wiederkäuer und Schweine führt zum Verständniss dieses Gelenkes beim Menschen.

Indem beim Menschen das Sprungbein durch die extremen Flexionsbewegungen der Tibia zur Mitbewegung eingeladen wird, dreht sich dieser Knochen nicht mehr um eine quere Axe wie beim Rinde, sondern um eine schiefe, nach aussen und hinten gerichtete. Nach neueren Angaben zieht Herm. Meyer die untere Drehungsaxe des Astragalus aus dem oberen Rande des *Caput Astragali* gegen die Mitte des unteren hinteren Randes des Calcaneus. (Lehrbuch der physiologischen Anatomie des Menschen 1856, pag. 139.) Es wird bei dieser Bewegung des Talus der *Malleolus externus* bei der Streckung schief nach innen gehoben, bei der Beugung schief nach aussen gesenkt. Es geschieht aber die Bewegung des Sprungbeines wie beim Rinde auch beim Menschen gewiss um zwei Axen, von denen die eine dem Fersenbeingelenke, die andere dem Kahnbeingelenke zugehörig ist. Beim Rinde fällt die Axe des Fersengelenkes in das Sprungbein, da dieses die convexe Gelenkfläche trägt, beim Menschen in das Fersenbein, da dieses, vielleicht wegen des festeren Aufruhens des Astragalus, die beiderseits schief abfallende concave Gelenkfläche trägt. Diese bildet den Abschnitt eines Kegels, dessen Spitze dem *Sustentaculum tali* zugewendet ist, und dessen Axe von hier aus gegen die Mitte der äusseren Fläche des Calcaneus gerichtet ist. Die Ganglinie hat übereinstimmend mit dem oberen Sprunggelenke eine schief auswärts gehende Richtung. In Fig. 16 ist auf die obere Fläche des Fersenbeins in horizontaler Projection die Axe und die Gangrichtung eingezeichnet. Wenn auf die bekannte Weise mit einem Stift vom Navieulare aus die Ganglinie am Kopfe des Astragalus markirt wird, so sieht man wie diese nach der Länge seiner Gelenkfläche läuft; zieht man mit Rücksicht auf die schiefe Gangrichtung die Axe des Kopfes, so hat sie mit der vorigen beinahe parallel die Richtung durch den Hals in den *Sinus Tarsi* bekommen. Wenig vor dem Ende der inneren Malleolarfläche und senkrecht unter der Anheftung des

Ligamentum fibulare calcanei am Fersenbein sind ihre Durchtrittspunkte. Betreffs ihrer Neigung zur Fussaxe, bildet sie mit ihr einen Winkel von 45°; gleiches Verhältniss in Neigung zeigt sie gegen den Horizont. Wenn man auf eine Unterlage eine Linie zieht, auf diese eine zweite unter 45° geneigte, und legt den Fuss bei belasteter Tibia so darüber, dass die Längslinie durch das Köpfchen des zweiten Mittelfussknochens und den unten aufliegenden Fersenhöcker (die Fussaxe) gedeckt wird, so zeigt die unter 45° gezogene zweite Linie die möglichste Übereinstimmung ihrer Richtung mit der Lage beider unteren Axen des Sprungbeines. In Fig. 11 sind an einem linken Astragalus des Menschen alle Axen in horizontaler Projection gezeichnet. *F* Richtung der Fussaxe in der Lage bei aufrechtem Stande, *a* Axe des oberen Gelenkes, *b* Axe des Taluskopfes, *c* Axe des Fersenbeingelenkes. Beiderlei Gelenkflächen des Astragalus und Calcaneus sind vollkommen congruent, und in genauem Contacte dann, wenn die Tibia die Stellung hat, die ihr beim aufrechten Stande zukömmt. In dieser Lage sind beide Axen parallel. Jede Lageveränderung des Sprungbeines stört den Parallelismus der Axen und stört den innigen Contact der drei Knochen. Bei jeder Plantarflexion neigt sich die Axe des *Caput tali* immer mehr der Fussaxe zu, wodurch gegen Ende dieser Bewegung die Flexion abnimmt, die Rotation dagegen zunimmt. Anfangs dagegen ist die Flexion die ausgiebigere Bewegung. Der Astragalus wird bei der Dorsalflexion über die schief aufsteigende Fläche des Fersenbeines nach aussen und etwas nach vorne geschoben, bei der Plantarflexion nach innen und hinten verschoben, und die äussere Malleolarfläche mehr aufwärts gewendet. Diese Verschiebungen des Talus bewirken die Spannung der Ligamente und leiten die Hemmung ein, welche, wegen Übertritts der Bänder von den Unterschenkelknochen über den Talus zum Calcaneus, auch die Bewegung im oberen Gelenke einzustellen vermag.

Die Duplicität der Axen des ganzen Astragalus hindert die Rotation und Flexion des Kopfes, und beschränkt sie auf eine geringere Excursion als durch den Neigungswinkel der Axe zu erwarten wäre. Ohne Zuhülfenahme anderer Gelenke kann der Mensch beide Sohlen einander nicht vollkommen zuwenden.

Den beiden Bewegungen des *Caput Astragali* im unteren Gelenke liegt daher nur eine Axe zu Grunde, die Rotation ist Mitbewegung der Flexion. Auf Kosten der ersteren ist die Winkelexcursion der letzteren verringert. Beide Bewegungen erleiden durch die ausserhalb der Axe des Capitulum liegende Fersenbeinaxe eine um so grössere Hemmung, je mehr beide Axen sich kreuzen und je weiter aus einander sie liegen. Die Bewegungen des unteren Gelenkes sind wieder Folgebewegungen der Flexion im oberen Gelenke, gewissermassen Fortsetzungen derselben.

Je näher also beide unteren Axen des Sprungbeines einander liegen, desto weniger ist die Fersenbeinverbindung den Bewegungen des *Caput Astragali* hinderlich. Das grössere Rotationsvermögen des Fusses der Affen hat hauptsächlich darin seinen Grund. So weit ich nämlich die Form des Sprungbeines bei den Affen zu untersuchen Gelegenheit hatte, fand ich überall ein im Verhältniss zur Breite der Sprungbeinsrolle bedeutend verlängertes Capitulum, wodurch dieses auf einen langen Hals zu sitzen kömmt. Fig. 12 ist das linke Sprungbein von einem *Cercopithecus*, die grössere Länge des Knochens im Verhältniss zu seiner Breite bringt natürlich beide schief liegenden Axen einander näher, ohne dass die Neigung der Axen gegen die Fussaxe wesentlich geändert würde. Selbst der menschenähnlichste Affe, der *Chimpanse*, von welchem ich nur ein junges Exemplar untersuchen konnte, zeigte gegenüber

der menschlichen Bildung eine Verlängerung des Sprungbeines. Das untere Gelenk wird also beim Affen dadurch beweglicher, verliert aber damit die Stabilität, die zum aufrechten Stande erforderlich ist.

Ein gänzliches Zusammenfallen der Fersenbeinaxe mit der Axe des *Caput Astragali* ist nur bei *Bradypus* zu finden. Die schmale Kante des Fersenbeines ist dort gar nicht geeignet den Unterschenkel stabil in aufrechter Lage zu tragen; wie der Fuss von oben her belastet wird, wendet sich das Sprungbein nach innen, und der gekrümmte Fuss legt sich auf seinen äusseren Rand auf. Der Astragalus nimmt eine Plantarflexionslage als Mittellage an. Die Drehungsaxe des Köpfchens ist dadurch der Fussaxe näher gerückt, und schliesst nun jede Flexionsbewegung aus. Die äussere Malleolarfläche kömmt nach oben zu liegen, und wird desshalb von Cuvier in seinem „Ossemens fossiles" die obere Fläche des Sprungbeines genannt.

Aus der Anordnung der Musculatur ist bereits die Einheit der Bewegungen des Fusses durch Weber nachgewiesen worden. Die Extensoren und Flexoren des Sprunggelenkes sind zugleich die Pro- und Supinatoren desselben. Dasselbe Resultat ergibt sich auch aus den Anordnungen des Gelenkes. Eine besondere, von der Flexions- verschiedene Rotationsaxe des Fusses existirt bei keinem Säugethiere; im unteren Astragalusgelenke werden die Bewegungen des oberen nur ergänzt. Der Mensch hat in dieser Beziehung eine Mittelbildung, deren ein Extrem im Fusse der Wiederkäuer und Schweine, das andere im *Bradypus* gegeben ist. Bei ersteren ist die Rotation, bei letzteren die Flexion des unteren Astragalusgelenkes beinahe gänzlich elidirt. Im Menschen sind beide vereint, doch jede vermindert. Erst die Summe der Excursionen beider wird der Grösse der Flexion im ersteren, und der Grösse der Rotation im anderen Falle gleichkommen. Die Affen nähern sich in dieser Bildung dem *Bradypus*, ohne die Flexion gänzlich zu verlieren; die Nager und Carnivora der Bildung der Wiederkäuer, ohne aber das Rotationsvermögen gänzlich einzubüssen, da bei diesen Thieren die Axe des *Caput Astragali* aus der queren Richtung ein wenig abweicht.

Es dürfte aufgefallen sein, dass bei den Wiederkäuern und Schweinen die Axe der *Articulatio talo-calcanea* durch das Sprungbein gehe, der Knochen daher unten convex gekrümmt sei, während bei den übrigen Säugethieren die Axe dieses Gelenkes durch das Fersenbein geht, die Convexität dieses Gelenkes also am Fersenbein lagert. Die Grenzen dieser Verschiedenheit weichen jedoch nicht über die typische Säugethierbildung des Sprungbeines hinaus. Es steht, wie bekannt, dieser Knochen des Menschen mit dem Fersenbeine durch zwei Gelenkflächen in Verbindung, die eine ruht auf dem Körper auf, die zweite auf dem *Sustentaculum tali*. Bald ist nun bei Thieren die eine, bald die andere in grösserem Umfange entwickelt. Die beim Menschen grössere hintere Gelenkfläche fehlt bei Wiederkäuern und Schweinen, und ist da nur durch einen rauhen, nicht überknorpelten Einschnitt angedeutet, der gerade unter der Rolle liegt. Es genügt Fig. 13, 14, 15, welche die untere Seite dreier rechter Sprungbeine vom Schweine, Hasen und Löwen darstellen, zu besehen, um den Übergang der einen Bildung in die andere zu entnehmen. Die convexe untere Fersenfläche des Talus vom Schweine und den Wiederkäuern ist die Gelenkfläche des *Collum capituli* vom Astragalus des Menschen. In allen Figuren sind die Bezeichnungen gleichlautend. *a* die untere Fläche der Rolle, *c* das *Collum capituli*, *b* das Capitulum selbst.

Eine geringe Rotation des Fusses ist auch im oberen Gelenke möglich, wenn die Drehungsaxe der oberen Rolle schief gegen die Fussaxe sich einstellt. Da aber, wenn das Sprungbein im unteren Gelenke beweglich ist, diese Axe nur nach innen in den Horizont

fällt, so hat diese Bewegung mit der im unteren den entgegengesetzten Sinn. Ist wie bei manchen Thieren, *Phoca*, *Bradypus*, das Sprungbein in geneigter (Pronations-) Lage bleibend eingestellt, so hat die Flexionsebene des oberen Gelenkes eine nach aussen schief gegen die Horizontale gewendete Richtung. Doch erreicht diese Drehung nie den Umfang der unteren, daher die Sohlen bei voller Strecklage des ganzen (beider) Gelenkes immer eine nach innen gerichtete Lage haben. Das obere ist beinahe ausschliesslich ein Flexionsgelenk. Die ausnahmsweise umfangreichere Drehung dieses Gelenkes um die Verticale der Tibia wurde oben bei *Phalangista* und *Didelphis* besprochen.

Beide Gelenke ergänzen sich; daher das Sprunggelenk mit Recht ein combinirtes Gelenk genannt werden kann. Indem ich vergleichend in meine Untersuchungen die Reihe der Säugethiere einbezogen habe, ist es mir noch gelungen, die schiefe Gangrichtung als typische Eigenthümlichkeit desselben für die Säugethiere und den Menschen nachzuweisen. Diese auf Grund einer regelmässigen Wendellinie mit constanter Steigung vor sich gehende Gangweise lässt sich noch in anderen, und zwar nicht allein an Säulen- und Kegelgelenken mit Bestimmtheit nachweisen. Möge dieser Versuch ein bisher unbeachtetes Moment in die Lehre von den Gelenken einzuführen mindestens Veranlassung geben, der Anatomie und Mechanik der Gelenke neue Kräfte zu gewinnen.

ERKLÄRUNG DER ABBILDUNGEN.

TAFEL I.

Fig. 1. Rechte Fusswurzel vom Panther.

Fig. 2. Zwei Gypsabgüsse seiner Sprungbeinsrolle zu einem Schraubenstück ergänzt.

Fig. 3. Linke Fusswurzel vom *Bradypus tridactylus*. Das Sprungbein in der den anderen Säugethieren parallelen Lage.

Fig. 4. Rechte Fusswurzel von *Halmaturus giganteus*.

Fig. 5. Rechtes Sprunggelenk vom Pferde mit den Ansätzen der inneren Lateralligamente und Bezeichnung seiner Bewegungsexcursion.

Fig. 6. Rechte Fusswurzel von *Didelphis virginiana*.

Fig. 7. Schema einer einfachen Schraubenspindel, welche der Sprungbeinsrolle des Menschen zu Grunde liegt. *A* die Axe. *B* Basis. *G G* Ganglinie.

TAFEL II.

Fig. 8. Linkes Sprunggelenk vom Rind. *c* die Axe der Fersenbeinfläche. *a* Axe der oberen Rolle, *b* Axe des *Capitulum Astragali*, α, β, δ Lateralligamente, *d* kurzer, *D* langer Durchmesser des Sprungbeines.

Fig. 9. Dasselbe Gelenk von aussen. *a*, *b*, *c* die Axen des Astragalus, γ *Ligamentum fibulare tali.*

Fig. 8 und 9 in halber natürlicher Grösse.

Fig. 10. Linkes Sprungbein vom Schweine, von oben gezeichnet. *A*, *C*, *B* Axen des Knochens.

Fig. 11. Linkes Sprungbein vom Menschen. *A*, *B*, *C* seine Axen, *F* die Fussaxe bei belasteter Tibia.

Fig. 12. Linkes Sprungbein von einem *Cercopithecus*.

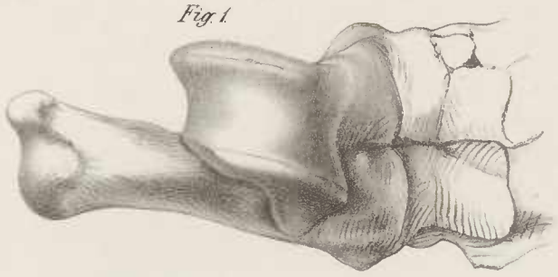
Fig. 13. Untere Seite des rechten Sprungbeines vom Schweine.

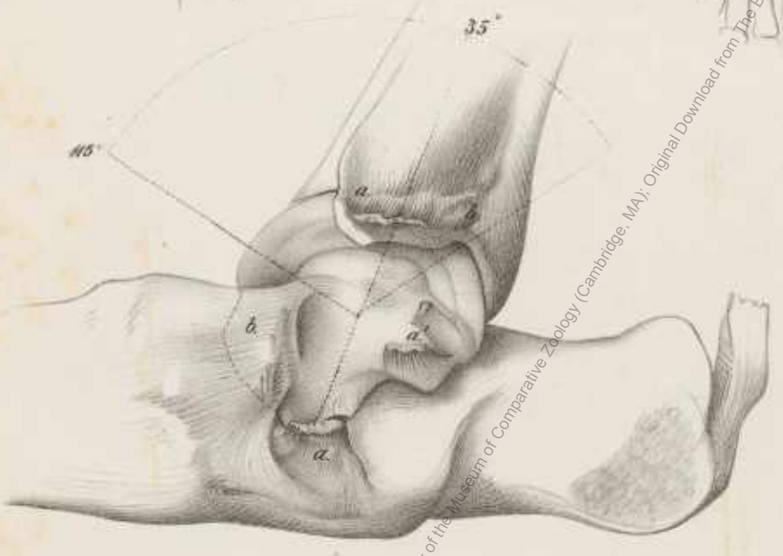
Fig. 14. Dasselbe vom Hasen.

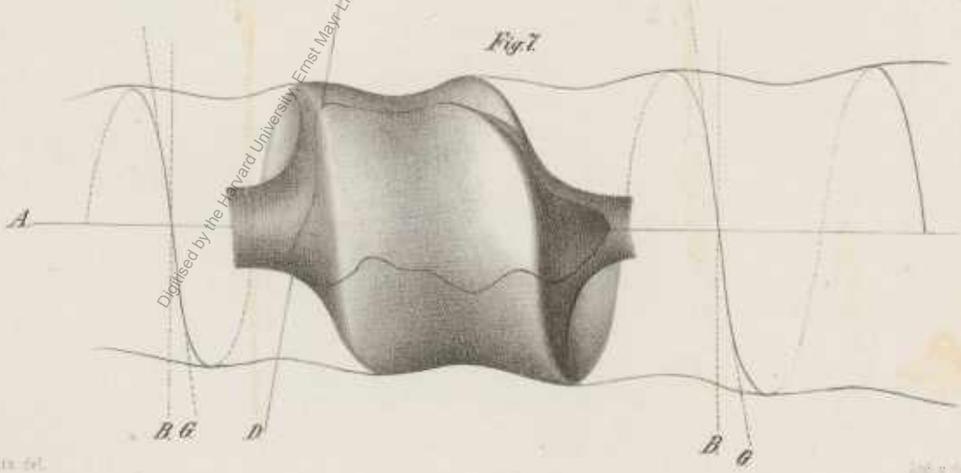
Fig. 15. Dasselbe vom Löwen. *a*, *b*, *c* bezeichnen in allen drei Figuren die entsprechenden Flächen.

Fig. 16. Linkes Fersenbein vom Menschen mit seiner Axe und den Ganglinien seiner oberen Gelenkfläche.

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





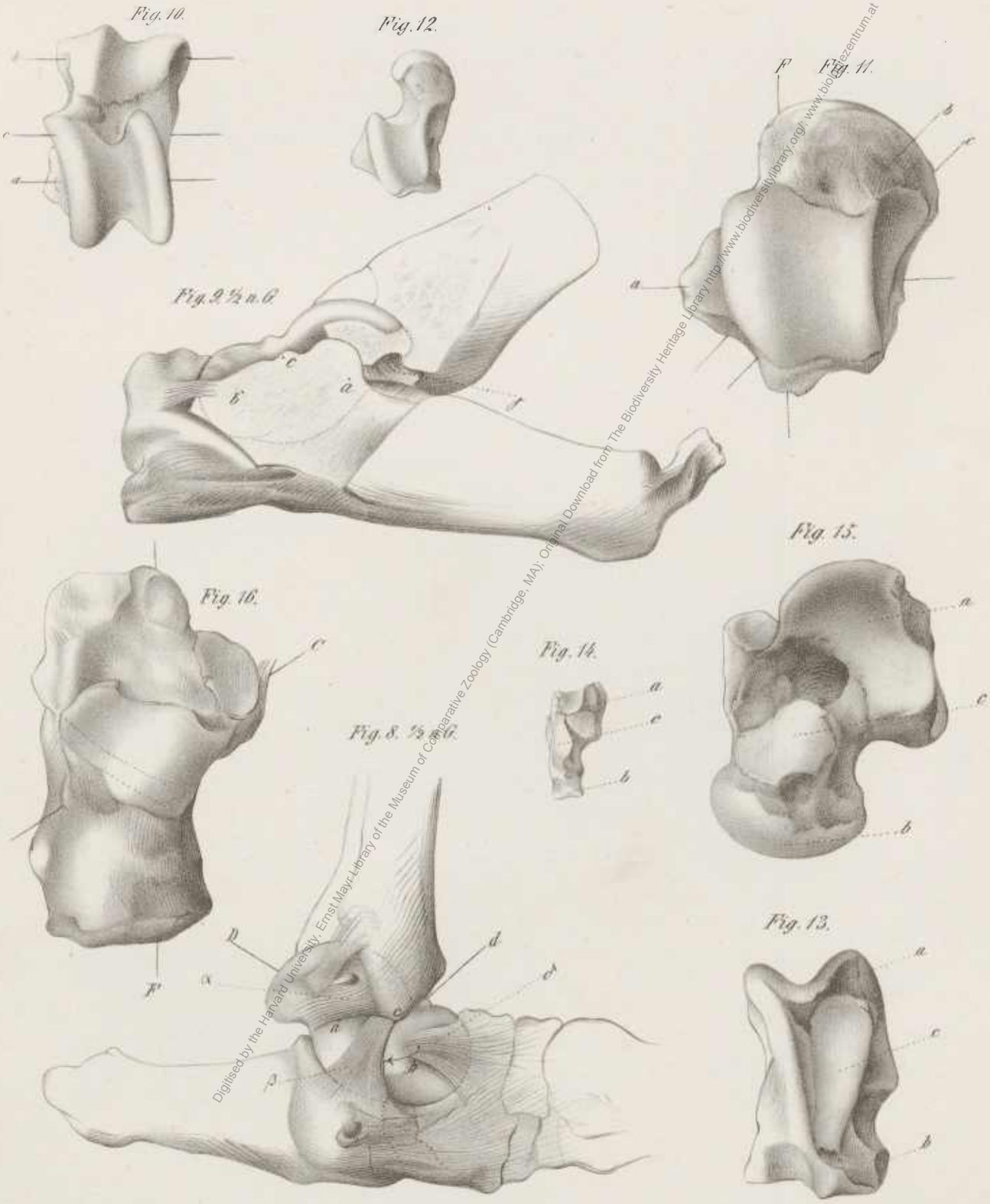


Hermann v. Eckr del.

Denkschriften der k. Akad. d. Wissensch. mathem. naturw. Cl. XII Bd. 1856.

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

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



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

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1856

Band/Volume: 12_2

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

Artikel/Article: Über das Sprunggelenk der Säugethiere und des Menschen. (Mit II Tafeln) 1-20