

Die Feststellung der Röhrenknochen in den Gelenken und die Knochenform.

Von

A. Rauber

ao. Professor in Leipzig.

Mit 1 Holzschnitt.

Wenn man gegenwärtig zur Erklärung der mannigfaltigen Formen, die das Knochen- und Knorpelgerüst des Wirbelthierleibes aufzeigt, nicht sowohl auf die Untersuchung der physiologischen Leistungen dieser Systeme hingewiesen ist — denn sie setzen die bestehenden Formen schon voraus statt sie zu erklären —, sondern auf die vergleichend anatomische Beurtheilung des Formzusammenhanges innerhalb der Wirbelthierreihe einerseits, andererseits auf den deutero-genetischen (ontogenetischen) Entwicklungsprocess, so widerstrebt es nicht dem Inhalt und Wesen beider erklärender Richtungen, die Knochenformen mit Rücksicht auf die mechanischen Gesetze, die sich darin aussprechen, zu betrachten. Unterscheiden sich jene beiden Richtungen auch durch das Object der Forschung, so haben sie doch das gemeinsame Ziel, die Ursachen aller Gestaltung sowohl als ihrer Verschiedenheiten kennen zu lernen. Auch das Folgende liegt vollkommen im gemeinsamen Bereich beider. Denn ist die Leistung des Knochengerüstes für den Organismus wesentlich eine statische und mechanische, so werden seine Formen keine willkürlichen sein, sondern nur im Zusammenhang mit den physikalischen Gesetzen sich stammes-geschichtlich wie deutero-genetisch entwickeln müssen, die dessen Leistung bedingen; sie werden jenen Gesetzen nicht widersprechen dürfen.

Man kann noch weitergehen und behaupten, es werde, da das Knochengerüst zu einem wesentlichen Theil als passives Bewegungswerkzeug sich geltend macht, schon von vornherein ein inniges Verhältniss zwischen seiner Form und den Kräften der als actives Bewegungswerkzeug auftretenden Musculatur zu erwarten sein. Weiterhin wird deshalb auch das Princip der gegenseitigen Beeinflussung der Organsysteme und Organe, der Kampf der Organe um das Dasein, wie man es nennen könnte, der phyletischen Erklärung der vorhandenen Formen nicht widersprechen können, sondern als Theilerscheinung innerhalb der Gesamtentwicklung einen Platz finden.

Betrachtungen dieser Art sind nun insbesondere in dem Falle gerechtfertigt, wenn sie das Verständniss der Formentfaltung im Bereich des uns interessirenden Organsystems und der Metamorphosen desselben theils zu erweitern, theils zu erleichtern vermögen. So wird, um ein Beispiel zu gebrauchen, die Metamorphose des Brustflossenskeletes der Selachier zum Skelet der Vorderextremität der höheren Wirbelthiere, wie sie GEGENBAUR's Theorie aufstellte, nicht vor sich gegangen sein können ohne genaue, von Seiten der Natur vollzogene physikalische Rücksichtnahme des Wechsels der Knorpel- in die Knochensubstanz. Wäre doch eine Reduction, wie sie uns hier entgegentritt, und eine relative Verlängerung der gebliebenen Theile unmöglich zu Stande gekommen ohne Aenderung des Materials des Gerüstes. Mit dem Uebergang zur Verwendung der Knochensubstanz war der schaffenden Bewegung sofort die Möglichkeit viel grösserer Freiheit gegeben. Die physikalischen Eigenschaften des neuen Materiales gestatteten sofort die Production eines Formenreichthums und eine Formverwendung, welche der Knorpel niemals zugelassen hätte. Nur bei den Embryonen der Thiere mit knöchernem Gerüst sehen wir ihn noch ausgedehnt zur Verwendung kommen, während späterhin das Knochengewebe ihn grösstentheils verdrängt und nur an solchen Orten belässt, wo er seinen Eigenschaften gemäss nützliche Dienste leistet. Hier aber bleibt er bestehen selbst an den äussersten Knochenenden, ungeachtet der heftigen Einwirkungen, die ihn treffen, in der Rolle eines Puffers seine frühere morphologisch grössere Existenz noch fortsetzend.

Eine mechanische Form-Analyse der Knochen nimmt ihren einfachsten und zweckmässigsten Ausgangspunct von den Röhrenknochen. Es handelt sich demgemäss, da letztere vorzugsweise als Stützsäulen Verwendung finden, um die Aufgabe zuzusehen ob und inwieweit in der äusseren Gestalt der Röhrenknochen diejenigen For-

men realisiert sind, welche die Theorie der Strebfestigkeit erfordert. Für die Untersuchung eignen sich alle Röhrenknochen, die des Menschen vorzüglich darum, weil bei ihnen die Gelenkmechanismen am sorgfältigsten erforscht sind, während eine vergleichende Gelenklehre mehr oder weniger noch fehlt. Die unteren Extremitäten dienen mir für das Folgende als Grundlage.

Ueber die Strebfestigkeit der Knochen habe ich schon am Schlusse meiner Abhandlung über Elasticität und Festigkeit der Knochen eine kurze Mittheilung gemacht. Von einer weiteren Behandlung des Gegenstandes musste jedoch damals, da noch mehrere schwierige Punkte der Erledigung harrten, abgesehen werden. In dessen beschäftigte mich das interessante Verhältniss zu gelegener Zeit und vermag ich nunmehr die dort gelassenen Lücken auszugleichen.

Es folgen zunächst neue Versuche über die Strebfestigkeit von Knochenstäben mit Beziehung auf den Einfluss der Befestigungsart belasteter Säulen auf ihre Festigkeit. Hierauf finden der Einfluss der Form und die Säulen gleicher Strebfestigkeit Berücksichtigung, welcher eine Untersuchung der Gestalt der Röhrenknochen, ihrer Feststellung in den Gelenken und die abzuleitenden Schlussfolgerungen sich anreihen. Der Einfluss des Materiales liegt zu sehr auf der Hand, als dass er einer besonderen Auseinandersetzung bedurfte. Man berechne, welche Dicke z. B. das Oberschenkelbein des erwachsenen Menschen besitzen müsste, wenn es, gleiche Leistung als Stützsäule vorausgesetzt, aus Knorpel bestünde! Es wäre ein unförmlicher, unbrauchbarer Klumpen.

1. Einfluss der Befestigungsart der Säulen auf ihre Strebfestigkeit.

Unter Strebfestigkeit versteht man diejenige Festigkeit, welche ein säulenförmiger Körper seiner Zerknickung durch parallel mit der Längsaxe wirkende Druckkräfte entgegenstellt. Es ist hierbei ein solcher Körper, wie als bekannt vorausgesetzt werden muss, nicht allein auf seine rückwirkende Festigkeit, sondern auch auf Biegung in Anspruch genommen und gerade in dem Hinzutreten der Biegung ruht das Gefährliche der Anordnung. Bei zunehmender Länge oder Belastung tritt sehr bald der Zustand ein, dass der Einfluss der Biegung den der reinen Zusammendrückung übertrifft und

die Säule in Folge der Biegung zerknickt, bevor noch der Festigkeitswerth für reine Zerdrückung erreicht ist. Die Biegungsfähigkeit ist jedoch sehr verschieden je nach der Befestigungsart der Säule und ist letztere darum genauer in das Auge zu fassen.

Am einfachsten liegt das Verhältniss in folgender Anordnungsweise ¹⁾ :

I. Fall. (Fig. 1 des Holzschnittes der folgenden Seite.)

Die Säule, welche in ihrer ganzen Länge gleichen Querschnitt besitzt, wird an ihrem unteren Ende festgehalten, während ihr oberes belastetes Ende nach jeder Seite frei ausweichen kann. Die durch die eintretende Biegung am meisten gefährdete Stelle liegt unten, am Befestigungspunct der Säule. Man nennt diesen Punct den Bruchpunct oder Bruchquerschnitt.

II. Fall. (Fig. 2.)

Es ergibt sich sofort, dass, wenn man in Fall I das obere Säulenende bloß am seitlichen Ausweichen verhindert, ohne es einzuklemmen, die Biegungsverhältnisse eine bedeutende Aenderung erfahren, die auf die Festigkeit der Säulen sehr günstig zurückwirken muss. Während im vorigen Fall bei eingetretener Biegung das obere Säulenende am weitesten seitlich ausweicht, nähert sich diese Stelle nunmehr der Säulenmitte, der Hebelarm der Last ist ein kleinerer gewor-

¹⁾ Man vergleiche WEISBACH, Ingenieur- und Maschinenmechanik, die Tragkraft langer Säulen.

Bedeutet P die den Bruch herbeiführende Belastung, l die Länge der Säule, W das Biegemoment, wie es sich aus der Form des Querschnittes ergibt, E den Elasticitätsmodul der Substanz, so haben wir

$$\text{für Fall I} \quad P = \left(\frac{\pi}{2l}\right)^2 WE.$$

$$\text{- - II} \quad P = 2\pi^2 \frac{WE}{l^2}.$$

$$\text{- - III} \quad P = 4\pi^2 \frac{WE}{l^2}.$$

$$\text{- IV} \quad P = \pi^2 \frac{WE}{l^2}.$$

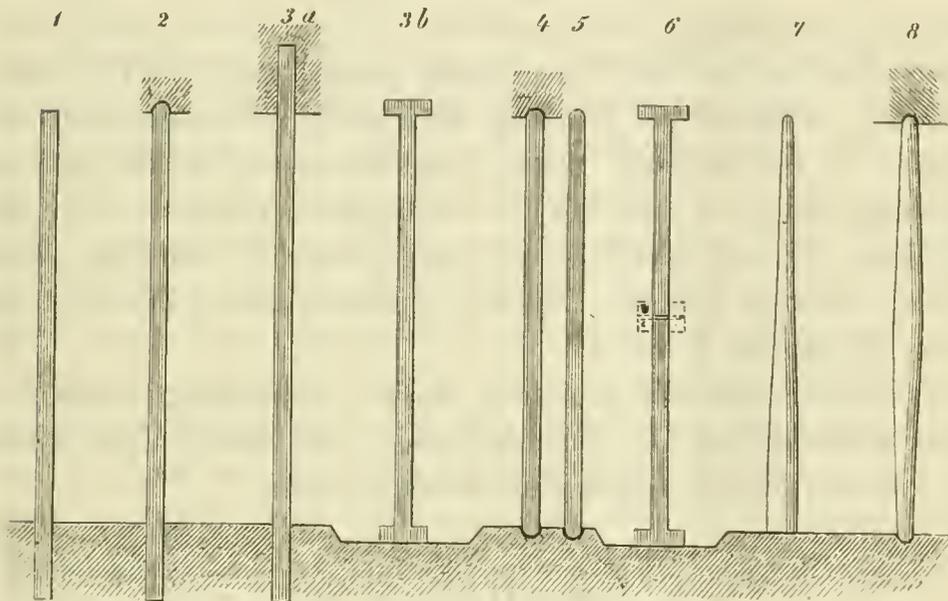
Bedeutet s die Seite des quadratischen Querschnittes, so ist $W = \frac{s^4}{12}$.

Elasticitätsmodul des Knochens rund $= \frac{2000 \text{ Kgr.}}{\square \text{ Mm.}}$; des Knorpels $= 0.875$.

den. Theoretisch erfährt die Strebfestigkeit der Säule durch diese Veränderung eine achtfache Steigerung gegenüber Fall I.

III. Fall. (Fig. 3a und 3b.)

Wird an derselben Säule nicht blos das untere, sondern beide Enden eingeklemmt, oder sind beide Enden rechtwinklig zur Axe begrenzt, so dass die Säule bei der Biegung sich an beiden Befestigungsstellen tangential an die Kraftrichtung anschliessen muss, so wird die Festigkeit die 16fache von Fall I. HODGKINSON'S Versuche ergaben 12malige Erhöhung. Der Bruchpunct liegt in der Mitte der Säule.



IV. Fall. (Fig. 4.)

Wird die Säule weder am unteren noch am oberen Ende eingeklemmt, sondern sind ihre beiden Enden abgerundet und nur am seitlichen Ausweichen gehindert, während Biegungen der Enden Platz greifen können, so ist die Strebfestigkeit der Säule 4 mal so gross als im Fall I. Der Bruchpunct liegt in der Mitte.

Die folgenden beiden Fälle enthalten keine neue Befestigungsart, sondern lassen sich auf die vorausgehenden zurückführen. Sie sind jedoch bezüglich der Befestigungsart der Knochen gleichfalls von Bedeutung und finden hier ihre zweckmässigste Stelle.

Sind beide Enden der Säule nicht eingeklemmt, sondern abgerundet, beide Enden am seitlichen Ausweichen nicht gehindert, so folgt die einer Belastung ausgesetzte Säule dem Fall IV natürlich

nur so lange, bis die seitliche Ausweichung des oberen lastaufnehmenden Endes das Niederfallen der Säule bewirkt, ohne dass ein Bruch erfolgt (Fig. 5).

Stehen zwei gleich lange Säulen senkrecht aufeinander, so dass sie sich in der Mitte berühren, und ist oberes und unteres Ende der Säulencombination festgeklemmt, so ist Annäherung an eine einzige oder zwei Säulen von Fall III oder an zwei Säulen von Fall I gegeben, je nach der mittleren Befestigungsart (Fig. 6).

Es lag nahe, auch durch directe Versuche sich über den Einfluss der Befestigung auf die Strebfestigkeit zu unterrichten; umso mehr als die schon früher mitgetheilten Versuche dieser Art ihrer Anordnung nach Mischformen zwischen III und IV, doch näher an III liegend, darstellen. Die senkrecht begrenzenden Endflächen erscheinen daselbst als nicht ausgedehnt genug, um Fall III völlig zu entsprechen, während die fehlende Abrundung noch mehr von Fall IV entfernte. Es trat indessen schon diese Mischform bei der gebrauchten Stäbchenlänge so nahe an den Festigkeitscoefficienten der reinen Zerdrückung heran, dass von der Anordnung III weiterhin Abstand genommen werden konnte. Die hier mitzutheilenden betreffen dagegen die Anordnung I und IV.

Sämmtliche Stäbchen stammen aus der compacten Substanz eines frischen menschlichen Oberschenkelbeins, aus dessen Längsrichtung sie in genauer Weise geschnitten worden waren.

A. Befestigungsart I.

Zur allseitigen Feststellung des unteren Stäbchenendes diente ein für diesen Zweck hergerichteter Schraubstock. Die grösste Sorgfalt beanspruchte die genaue senkrechte Einstellung des Stäbchens. Dessen freies oberes Ende, welches abgerundet war, nahm einen mit einer Wagschale versehenen Bügel auf, in der Weise, dass es nach jeder Seite ungehindert ausweichen konnte. Die Unterfläche der Querplatte des Bügels trug in der Mitte eine leichte ausgerundete Vertiefung, mit welcher sie auf das abgerundete Stäbchenende zu liegen kam. Die Seitenspannen des Bügels hatten eine hinreichende Länge erhalten, um ihn sicher auf dem senkrecht gestellten Stäbchen balanciren zu lassen. Die Belastungen geschahen langsam steigend und mit möglichstem Ausschluss jeder Erschütterung.

Mit zunehmender Belastung erfolgte die Neigung des oberen

Endes nach einer der Seitenflächen und bei geringer Steigerung der Last, nachdem eine Neigung einmal eingetreten war, der Bruch des Stäbchens am unteren Ende. Die Bruchflächen erschienen zackig und waren nicht selten kleine Absplitterungen an denselben wahrzunehmen.

Freie Stäbchenlänge 30 Millimeter; quadratischer Querschnitt von 2 Mm. Seite.

9 Versuche. Der Bruch erfolgte je durch die Belastung mit 7.5, 7, 6.4, 8, 7.6, 7.2, 5.4, 7.4 u. 6.6 Kilogrammen; = 7 Kgr. im Mittel.

B. Befestigungsart IV.

Als Druckapparat diente der am genannten Ort früher beschriebene Druckhebel, auf welchen ich hier verweisen muss. Das senkrecht gestellte Stäbchen, dessen beide Enden abgerundet worden waren, ward von einem ausgerundeten Grübchen der eisernen Unterlage wie von einer Gelenkpfanne aufgenommen. Die Unterfläche des Hebels selbst trug an der Stelle der Berührung des Stäbchens gleichfalls eine mit einer rundlichen Vertiefung versehene, kleine eiserne Platte. Der Hebelarm sowohl, wie auch die Unterlage können nicht aus der Ebene der Druckrichtung ausweichen; demnach besitzt das Stäbchen die gewünschte Befestigungsart.

Die angegebenen Festigkeitswerthe sind die von den Stäbchen wirklich erlittenen. Der Bruchpunct lag mehr oder weniger genau in der Mitte der Stäbchen.

Stäbchenlänge 30 Millimeter, quadratischer Querschnitt von 2 Mm. Seite.

18 Versuche. Die Zerknickung erfolgte durch je eine Belastung mit

32.5, 35.2, 29.5, 32.5, 34.8, 25.4, 32.4, 26, 36.5,
29.2, 37, 24.8, 30.6, 32, 29.2, 36.5, 32.2 u. 34 Kilogr.
= 31.6 Kgr. im Mittel.

Auf reine rückwirkende Festigkeit¹⁾ untersuchte Würfel dessel-

¹⁾ Bei dieser Gelegenheit mag die Wahrnehmung eine Stelle finden, wie wenig die auf absolute Festigkeit in Querrihtung zum Verlauf der HAVERSI-
sehen Säulen in Anspruch genommene Compacta im Vergleich zu der auf Längs-
richtung beanspruchten zu leisten vermag. Querstäbchen, deren Herstellung
aus dem Humerus des Rindes gelang, ergaben einen Festigkeitscoefficienten ge-

ben Knochens ergaben einen Festigkeitscoefficienten von 16: ein Würfel von 2 Mm. Kante ertrug demnach 64 Kgr.;

eine 30 Mm. lange Säule von dem Querschnitt des Würfels, bei Befestigungsart IV = 31.6 Kgr.¹⁾;
eine ebensolche bei Befestigungsart I blos 7 -

Während dies Ergebniss der theoretischen Voraussetzung mit hinreichender Genauigkeit entspricht, so bleibt hinsichtlich der Befestigungsart III der wirkliche Festigkeitswerth hinter dem theoretischen zurück, wie die Berücksichtigung des Festigkeitscoefficienten für Zerdrückung deutlich macht. Uebertrifft doch dieser die Festigkeit des Stäbchens bei Befestigungsart IV nur um sie selbst.

2. Einfluss der Form auf die Strebfestigkeit.

Der Voraussetzung nach hatten die bisher betrachteten Säulen in ihrer ganzen Länge denselben Querschnitt. Der Bruchpunct lag an bestimmt vorauszusehender Stelle. Man wird aber alsbald auf den Gedanken kommen, die Säule in der Weise herzustellen, dass nicht an einer Stelle ein gefährlicher Querschnitt besteht, sondern dass jede Stelle der Säule gerade denjenigen Querschnitt erhält, welcher ihrer Spannung entspricht. Die Maximalspannung und mit ihr die Wahrscheinlichkeit eines Bruches wird bei einer nach diesem Princip gestalteten Säule an allen Stellen derselben zugleich erreicht werden. Man wird dadurch, dass man Material von einer Stelle wegnimmt, an welcher es minder werth, und an eine Stelle bringt, die besonders ausgesetzt ist, mit demselben Material eine grössere Wirkung erzielen können. Oder man wird, wenn eine grössere Wirkung nicht erfordert ist, Material ersparen können. Unter allen Formen verlangt gerade die gewollte die geringste Menge an Stoff bei grösster Wirkung. Mit der Material-Ersparniss verbindet sich aber auch das geringere Gewicht. Es finden deshalb im Maschinenwesen Körper von gleicher Streb- oder Zerknickungsfestigkeit, ebenso wie Körper von gleicher Biegungsfestigkeit vorzüglich Anwendung.

gen Zerreißung von 4.8; bei Längsstäbchen dagegen betrug er 10.1 Kgr. auf den Quadratmillimeter.

Ein übereinstimmendes Verhältniss zeigen die früher angegebenen Werthe der Schubfestigkeit für beide Druckrichtungen, während die Unterschiede der rückwirkenden Festigkeit für verschiedene Druckrichtung sich weit geringer erwiesen hatten.

¹⁾ Um dieselbe Last zu tragen, müsste ein 30 Mm. langes Knorpelstäbchen einen quadratischen Querschnitt von rund 15 Mm. Seite besitzen.

Nach dem Vorausgehenden ist es aber leicht begreiflich, dass bei der Durchführung dieses Principes die Form der Säule sehr verschieden ausfallen müsse je nach der Befestigungsart, welche bei der Säule Verwendung gefunden hat.

So wird bei der Befestigung I, bei welcher der Bruchpunct unten an der Befestigung der Säule liegt, gerade diese Stelle am meisten der Stärkung bedürfen und nach bestimmten Gesetzen zunehmend weniger, je weiter wir an das freie Ende der Säule hinaufgelangen. Bei der Befestigung III und IV dagegen liegt der gefährliche Querschnitt in der Mitte der Säule und diese wird darum hier vorzugsweise durch zunehmenden Querschnitt gestärkt werden müssen. Die Berechnung der Querschnittsverhältnisse ist complicirt genug. Praktisch erhält die Säule am Befestigungspunct (bei Befestigungsart IV in der Mitte eine Stärke, welche gegen Zerknickung berechnet ist, während die Stärke des andern Endes gegen eine Zerdrückung gesichert wird. Beide Dimensionen werden durch eine einfache Curve mit einander verbunden, die im Befestigungspunct tangential zur Säulenaxe gerichtet ist (Fig. 7 und 8 des Holzschnittes).

Wirft man einen Blick auf Körper von gleicher Biegefestigkeit, so besitzt ein horizontaler Balken solcher Art, der an einem Ende eingemauert, am freien belastet wird, bei constanter Breite das Längenprofil einer Parabel. Ruht der Balken gleicher Breite mit beiden Enden auf und soll in der Mitte belastet werden, oder ruht er mit der Mitte auf und sind die beiden Enden gleich belastet, so erhält er das Längenprofil von 2 in der Mitte zusammenstossenden Parabeln.

Ein ähnliches Profil erhält man, wenn der Balken von gleichem Widerstand lauter kreisförmige Querschnitte erhalten soll. Und pflegt man auch in der Praxis letzteren Körper durch einen abgestutzten Kegel zu ersetzen, ebenso wie auch ersterer durch ebenflächige Träger ersetzt zu werden pflegt, so würde doch die schaffende Natur an solchen Ersatz nicht herantreten müssen.

Es kann nicht meine Aufgabe sein, auf den mathematischen Theil dieses Gebietes näher einzugehen. Ist doch in dieser Beziehung auf die Lehrbücher der Mechanik hinzuweisen.

Es erwächst dagegen allerdings die Aufgabe, die von der Natur verwendeten Knochensäulen mit Rücksicht auf die voranstehenden Auseinandersetzungen in Betrachtung zu ziehen.

So handelt es sich also darum, zuzusehen, von welcher Art die

Befestigung der Knochensäulen im Organismus selbst erscheint: sodann aber, in welcher Weise die Querschnittsverhältnisse an den natürlichen Knochensäulen geordnet sind.

Von vornherein wird man gern geneigt sein anzunehmen, dass die Natur die durch die Befestigungsart und den ungleichen Querschnitt gebotenen grossen Vortheile für Leistungsfähigkeit und Materialersparniss annehmen werde, ja annehmen müsse, wenn anders die übrige Oekonomie des Organismus es gestattet und die Belastungsbedingungen dieselben sind; denn sie selbst ist ja der Inbegriff aller Gesetze und kann sich nicht selbst umgehen.

Nun sind die Röhrenknochen nicht bloß als Stützsäulen oder Horizontalträger thätig, sondern dienen auch der Ortsbewegung. Auch die phylogenetische Betrachtungsweise tritt hier in ihr Recht. Bei den niederen Wirbelthieren, ja selbst bei den Wassersäugethieren dient das Flossenskelet bloß zur Fortbewegung. Wenn als typische Belastung auch die Spannung der Muskulatur sich herausstellen sollte, die anerkannt wenigstens von grossem Einflusse ist, so würde hiermit das Belastungsverhältniss keine wesentliche Aenderung erfahren.

Dies kann also nicht hindernd in den Weg treten, die Röhrenknochen nach den genannten beiden Richtungen zu untersuchen. Da die übliche Formbeschreibung dem vorliegenden Zwecke nicht vollständig Rechnung trägt, so sei es gestattet, vom Schienbein und Oberschenkelbein des Menschen nur gerade Das mit wenigen Worten zu berühren, was der Zweck erfordert, während alle anderen Einzelheiten vermieden werden sollen.

3. Form des Schien- und Oberschenkelbeins.

Wie an der Wirbelsäule des Menschen die querovalen Wirbelkörper des Hals- und Lendensegmentes ein auf dem Querschnitt gleichschenkelig dreieckiges Brustsegment zwischen sich fassen, so übertrifft auch bei dem Schienbein der quere Durchmesser beider Enden den pfeilrechten, während im ausgedehnten Mittelstück das Ansteigen des pfeilrechten Durchmessers so sehr hervortritt, dass dieser den queren sogar übertrifft.

An einem normal gebauten Schienbein von 340 Millimeter Länge (zwischen beiden Gelenkflächen), das ich vor mir habe, verhält sich der grösste quere Durchmesser des oberen Endes zum pfeilrechten wie 82 zu 58; die gleichen des unteren Endes wie 62 zu 45;

mit Hinzurechnung des äusseren Knöchels ist letzteres Verhältniss 72 zu 45. Die Zahlen bedeuten Millimeter.

Auch die Anordnung der Durchmesser der Gelenkflächen zeigt ein ähnliches Verhalten.

Der kleinste Querschnitt des dreiseitig prismatischen Säulenschaftes liegt nicht in der Mitte des Schienbeins, sondern seinem untern Ende näher, in der Gegend des Beginnes des untern Längendrittels. Der Querschnitt ist an dieser Stelle nahezu ein rechtwinkeliges Dreieck mit abgerundeten Ecken, dessen Hypotenuse der medialen Schienbeinfläche entspricht. Was die beiden andern Seiten betrifft, so liegt die eine, mit Bezug auf die natürliche Lage des Schienbeins äussere, fast pfeilrecht, die andere, hintere dagegen quer. Die Höhe des Dreiecks beträgt 23, die Basis 20 Mm. Das Markloch ist ein Oval von 12 und 10 Mm. Durchmesser, das sich leicht nach aussen und vorn neigt.

Wenn es nun auch zu weit führen würde, sämtliche bedeutende Querschnitte eines in dieser Absicht zerlegten Schienbeins im Einzelnen zu beschreiben, so dienen jene doch, der natürlichen Lage entsprechend nebeneinander aufgestellt, in sicherster Weise dazu, ein scharfes Gesamtbild der Zusammensetzung der ganzen Säule zu verschaffen. Der Uebergang jenes kleinsten Querschnittes in die beiden Endformen erfolgt in abweichender Weise. Nach aufwärts wächst zunächst die Höhe des dreieckigen Querschnittes und erreicht langsam steigend in der Gegend der Tuberosität ihre grösste Ausdehnung mit 45 Mm., ebensoweit vom oberen Rand des Knochens entfernt. Die Basis nimmt anfänglich, in einer Strecke von 50 Mm. etwa überhaupt nicht zu, um sodann bis zur Tuberosität gleichmässig zu wachsen.

Von hier an bis in die Nähe des oberen Endes des Knochens erfährt die Länge der Basis eine rasch steigende Zunahme und gelangt in einer Strecke von gegen 30 Mm. zu der oben angegebenen Dimension, während zugleich die vordere Kante sich mehr und mehr abflacht und mit dem obersten Theil der früheren Basis des Querschnittes nach hinten zurückweicht.

Das wichtige oberste Endstück des Knochens (*Margo infraglenoidalis*, *HEXLE*), welches die Gelenkflächen trägt, ist ein kurzes, etwa 16 Mm. hohes Prisma von unregelmässig ovaler Umfassungslinie und den genannten Durchmessern. An seinem untern Rand nehmen die begrenzenden Curvensehaaren der wachsenden aneinanderfolgenden Querschnitte einen zur Knochenaxe tangentialen Ver-

lauf. Dasselbe gilt, um es gleich hier zu bemerken, von der unteren Hälfte des Oberschenkelbeins, dessen begrenzende Curvensehaaren denjenigen des Schienbeins im Allgemeinen symmetrisch gegenübergestellt sind. Die tangirende Strecke ist an letzterem Knochen ausgedehnter und durch die Epicondylenwülste zugleich etwas verdeckt.

Das deutlichste Bild des Curvenverlaufs der Oberflächen beider Knochen geben Frontalschnitte der letzteren, die nahe der hinteren Knochenfläche geführt sind; desgleichen Projectionen.

Von der Stelle des kleinsten Querschnittes des Schienbeins nach abwärts geht der dreiseitige Querschnitt allmählig über in einen unregelmässig ovalen, indem zunächst die innere und äussere Seite sich convex vorwölben, während der äussere Winkel bis zum Ende deutlich bleibt. Die äussere Seite erfährt schliesslich eine halbmondförmige, das Wadenbein aufnehmende Einbiegung.

In Bezug auf den Curvenverlauf der Spongiosablätter im Schien- und Oberschenkelbein verweise ich auf die von H. MEYER gegebene Schilderung; desgleichen hinsichtlich der gegenseitigen Stellung der Gelenkaxen.

Während das Schienbein an seiner vorderen Kante eine leicht S förmige Längenbiegung besitzt, im Uebrigen aber einen fast geraden, nur leise auswärts gebogenen Körper darstellt, zeigt das Oberschenkelbein eine doppelte Längskrümmung, deren eine seinen Körper, die andere die Neigung des Halses zum Körper betrifft. Die Ebenen, in welchen beide liegen, krenzen sich bekanntlich fast rechtwinkelig. Die erstere, nach vorne convexe Krümmung ist an normalen Knochen ziemlich gleichmässig über den ganzen Körper vertheilt. Letztere dagegen ist eine starke, in extremen Fällen einem rechten Winkel sich nähernde Einknickung des oberen Knochenstückes gegen den sogenannten Körper, bei deren Ausgleichung ein vor mir liegendes, dem obigen Schienbein zugehöriges Oberschenkelbein 465 Mm. Länge besitzen würde.

So wichtig sich die genannte Winkelstellung beider Abtheilungen des Knochens für die Auffindung der Architectur der Spongiosa auch erwiesen hat, so trübt sie einigermassen das reine Bild der Säule, welches sich ergeben würde, wenn beide Theile dieselbe Axenrichtung hätten. Der Umfang der Regio intertrochanterica würde geringer sein, als es jetzt der Fall ist. Es ist deshalb gut, wenigstens in Gedanken jene Correction vorzunehmen und sich das Bild der nicht geknickten Säule vorzustellen.

Im Uebrigen ist nur zu erwähnen, dass ein über dem kleinen Trochanter angelegter Querschnitt ein unregelmässiges Polygon darstellt, dessen quere Ausdehnung die pfeilrechte übertrifft 48 : 38. Der grösste Querdurchmesser eines durch die Epicondylen geführten Querschnittes verhält sich zum grössten pfeilrechten wie 90 : 69. Der Querschnitt ist eine trapezoide Figur, mit Einbiegung der hinteren und vorderen Seite, mit Ausbiegung der Seitenlinien.

Unterhalb des kleinen Rollhügels nimmt der Querschnitt elliptische Form an (34 : 30), mit schief nach vorn und innen gerichteter langen Axe; geht bald darauf in einen nahezu gleichschenkelig dreieckigen über (Basis vorn, Spitze hinten; Basis 28, Höhe 32), um im unteren Drittel der Knochenlänge allmählig in die genannte trapezoide Form auszulaufen. Letzteres geschieht dadurch, dass die Spitze des dreiseitigen Querschnittes am unteren Drittel in eine mehr und mehr sich verlängernde Linie auszieht.

Das Lumen des elliptischen Querschnittes ist ein Oval von 15 und 12; das des dreiseitigen ein solches von 13 und 10 Mm.: die langen Axen fallen mit denen des äusseren Querschnittes zusammen.

Vom Halse des Knochens ist nur auf den grossen Umfang seiner Ansatzfläche an den Körper des Knochens sowie auf die Höhe seines Querschnittes (40 : 28) hinzuweisen. Der pfeilrechte Durchmesser des Kopfes beträgt 53, der verticale 50 Mm.

Die angegebenen Dimensionen genügen, um für die folgende Betrachtung greifbare Anhaltspunkte zu gewähren.

Wiewohl man weiss, dass die Spongiosa wesentlich als eine Aufblätterung der Compacta, oder letztere als eine Zusammendrängung der Spongiosa zu betrachten sei, so schien es mir doch wünschenswerth, über den Substanzverbrauch in verschiedenen Höhen der beiden genannten Knochen einen directen Aufschluss zu erhalten.

Zu diesem Zweck wurden beide Knochen in 40 Mm. hohe Querabschnitte zerlegt und blos die letzten Gelenkflächentheile ausgeschlossen. Von einer Wägung frischer Querabschnitte war von vornherein Umgang zu nehmen; sie wurde vielmehr nach vollständiger Ausglühung der einzelnen Stücke vorgenommen und ist geeignet ein ungefähres Bild der Materialvertheilung zu geben.

Schienbein: Von der Mitte des Margo infraglenoidalis bis zur Nähe der unteren Gelenkfläche. 8 Stücke von 40 Mm.

Höhe. Nach geschehener Calcinirung wiegen dieselben in von oben nach abwärts laufender Reihenfolge:

17.1, 16, 15.7, 15.5, 14, 12.8, 11.1 u. 9.5 Gramm.

Oberschenkelbein: Vom kleinen Trochanter bis zu den Epicondylen 8 Stücke der genannten Höhe. Die calcinirten Querabschnitte wiegen, gleichfalls in von oben beginnender Reihenfolge:

18.3, 19, 19.5, 19.5, 19.2, 18, 18.2 u. 20.5 Gramm.

4. Vergleichung der Befestigungsart und Form der Röhrenknochen mit dem theoretischen Schema.

Die Art der gegenseitigen Befestigung der Knochen ist keineswegs in der vollkommenen Einfachheit gehalten, wie in dem anfänglich auseinandergesetzten Schema; es nehmen vielmehr mehrere Factoren an der Bildung derselben Theil. Bloss diejenigen äussersten Knochen oder Knochencombinationen, welche die Verbindung des Körpers mit dem Boden bewerkstelligen, haben eine einfache Art der Befestigung an den Boden: eine durch mehrere Knochenpunkte begrenzte Fläche bildet hier die Basis, auf welcher das ganze übrige Gerüst sich erhebt, während sie selbst beweglich mit dem Boden verbunden, ja in ihren einzelnen Abschnitten beweglich ist. Doch sehen wir von dieser zwar einfachen aber formbestimmend äusserst wichtigen Befestigungsart des Fusses an den Boden ab und wenden uns an die Befestigung der Knochen unter sich, sei es der das Fuss skelet zusammensetzenden oder der von ihm selbst getragenen, so wird die Befestigung im Sinne des Schema bestimmt einmal durch:

- 1) die Grösse und Form der sich berührenden Knochenflächen, die als Kapitalbildung anzutreten pflegt;
- 2) durch Bandapparate (Kuppelung) und unter Vermittelung der Körperlast ansprechende Gelenkmechanismen;
- 3) durch den Luftdruck, welcher einer Entfernung der Gelenkflächen voneinander entgegentritt;
- 4) durch den Tonus und die willkürliche Contraction von Muskeln. Sie stellen einen oberhalb gelegenen Knochen auf einen stützenden unterhalb gelegenen dadurch fest, dass sie lebenden Tauen gleich die Knochen in grosser Länge mantelförmig umgeben, den oberen auf den unteren theils nieder-

pressend, theils balancirend. Vermöge des vorhandenen Muskeldrucksinnes kann das geringste Herausfallen aus der Gleichgewichtslage sofort bemerkt und von den Muskeln corrigirt werden.

Wenden wir uns zum besonderen Falle und zunächst zum Schienbein, seine Befestigungsart und zugleich seine Form mit prüfendem Blicke musternd.

Die auf der Sprungbeinrolle liegende Gelenkfläche des Schienbeins besitzt, auch insoweit sie nur wirklich tragende Fläche ist, einen grösseren Querschnitt als die dünnste Stelle der Schienbeindiaphyse. Sie besitzt insbesondere einen grösseren Querdurchmesser (wie er der Kürze wegen hier heissen mag) als irgend eine Dimension jener dünnsten Stelle beträgt. In Folge dessen leistet sie für die Feststellung nach der queren Richtung (gegen ein seitliches Ueberfallen des Schienbeins um eine pfeilrechte Gelenkaxe) mehr, als wenn sie jenen kleinsten Querschnitt besitzen würde. Die Führungslinie des Sprungbein-Ginglymus ist dagegen zu sehr gekrümmt, als dass die grössere pfeilrechte Dimension der Schienbeingelenkfläche gegenüber jenem kleinsten Querschnitt für die Feststellung in Frage kommen könnte, vielmehr ist der Zweck dieser Anordnung gerade die Beweglichkeit des Ginglymus bei hinreichendem pfeilrechtem Durchmesser der Schienbeingelenkfläche und unter genügender frontaler Feststellung. Von der Drehbewegung in diesem Gelenk kann hier abgesehen werden.

Die Wirkung des grösseren Querdurchmessers der genannten Gelenkfläche des Schienbeins (die an Fall 3*b* erinnert, wenn hier selbst das Stäbchen an seiner Basis nicht allseitig, sondern nur beiderseitig verbreitert gedacht wird) erhält eine bedeutende Verstärkung durch die das Schien- und mit ihm verbundene Wadenbein auf das Fuss skelet befestigenden seitlichen Bandapparate und ist hierüber sowie über die Wirkung des Luftdruckes, welcher dem seitlichen Ueberfallen des Schienbeins über das Sprungbein, worauf es hier ankommt, ein grosses Hinderniss entgegenstellt, dem Bekannten nichts hinzuzusetzen. Die Malleolen wirken übrigens bei der Anspannung der Seitenbänder wie kleine dem Schienbein angefügte Hebel.

Bezüglich der feststellenden Muskeln ist zu bemerken, dass ihre Hauptmasse, wie zur Ausführung der Ginglymus-Bewegung, so auch zu deren Hemmung und zur Feststellung der Knochen in dieser Ebene dient. Hierbei ist von Bedeutung, dass die feststel-

lenden Muskeln nur mit dem geringsten Theil ihrer Masse vom unteren Ende des Knochens entspringen, sondern dass die Hauptursprungspuncte am oberen Ende, ja selbst am höherstehenden Knochen angreifen und sich weiterhin über ausgedehnte Flächen der Knochenwände erstrecken. Ihre wirklichen oder functionellen Insertionspuncte am Fuss skelet aber erhalten zum Theil (Soleus, Gastrocnemius) einen bedeutenden Horizontalabstand vom fraglichen Gelenk. Beide Umstände erscheinen von hohem Werth für die das Schien- und Wadenbein auf dem Fuss skelet feststellende Thätigkeit der Muskeln.

Als feststellendes Moment ergibt sich schliesslich noch die durch die Körperlast ausgelöste Einkeilung des Sprungbeinkörpers in die Malleolengabel (H. MEYER).

Was die Form des unteren Schienbeinendes, abgesehen von der Stützfläche des Gelenkes, weiterhin betrifft, so ist der grösste Querschnitt des unteren Knochenendes beträchtlich ausgedehnter, als jene Fläche, und, da der äussere Knöchel hier nothwendig in Rechnung gebracht werden muss, wiederum vorzugsweise in querer Richtung. Er ist, wie oben angegeben, ein quergestelltes Oval von 72 und 45 Millimeter Durchmesser. Dieser grössere Querschnitt setzt sich gegen die dünnste Stelle des Schienbeins nicht scharf und plötzlich ab; sondern von seiner gesammten Peripherie, insbesondere von den Knöcheln aus verläuft eine sanft axial geneigte Curvenschaar theils gegen jenen kleinen Querschnitt aufwärts, theils, soweit es den äusseren Knöchel betrifft, zum Körper des Wadenbeins.

Es bedarf nicht einer Auseinandersetzung, dass durch die genannte Umfangszunahme die Widerstandskraft gegen das biegende Moment der Strebfestigkeit, besonders in frontaler Ebene, vermehrt werde. Ist auch die Spongiosa der beiden Knochenenden wesentlich nur eine Aufblätterung, so bedarf es nicht mehr des Beweises, dass dem hiedurch gesetzten grösseren Querschnitt trotzdem die grössere Sicherheit gegen Biegung angehöre.

Welche Bedeutung kommt nun aber dieser Form des unteren Knochenendes im Sinne des Schema zu? Man wird nicht umhin können, auch der oberen mächtigeren Hälfte des Knochens zum Zweck einer solchen Bestimmung seine besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden und damit den Knochen als Ganzes zu betrachten.

Fasst man den Knochen als Ganzes in das Auge, in seiner auf dem Gewölbe des Fuss skelets aufgerichteten Stellung, umgeben vom

Bandapparat und den feststellenden Muskeln, so möchte es vielleicht einen Augenblick befremdlich erscheinen, dass nicht der untere, sondern der obere Theil dem Knochen das Hauptgepräge gebe. Man könnte meinen, es müsse das untere Ende, da es das befestigte sei, die besondere Stärke besitzen. Es wird aber alsbald eine andere Erwägung den Platz behaupten.

Dem in der That treffen wir zwar am Knicende des Knochens im Allgemeinen wieder die querovale Form des Querschnittes; doch sind die Dimensionen beträchtlich grösser geworden. Das beständige Wachsen des Querschnittes vom unteren Längendrittel des Knochens an nach aufwärts ist allerdings zu auffallend, als dass es nicht das besondere Augenmerk auf sich ziehen müsste als Träger einer Bedeutung, gegenüber welcher die geringere Verbreiterung des unteren Knochenendes in den Hintergrund tritt und fast vernachlässigt werden zu können scheint. Der Sinn dieses Verhältnisses ist denn auch thatsächlich ein leicht zu erkennender: er beruht darin, dass das Knie, als Vereinigungspunct der beiden Hauptsäulen des Extremitätenskelets, des Schien- und Oberschenkelbeins, die Function besitzt, die beiden grossen Knochen zu einer einzigen Knochensäule zu verschmelzen, während zugleich die Möglichkeit besonders einer Beugung gegeben sein sollte.

Man werfe einen Blick auf Fig. 8 des Holzschnittes um sofort zu bemerken, dass durch das Knie der tibiofemorale Knochensäule eine Annäherung an einen Körper von gleicher Strebfestigkeit gegeben ist, der am oberen und unteren Ende zwar in seiner Lage erhalten, aber nicht festgeklemmt wird. Sollte eine Säule von der Länge beider Knochen ihren Zweck als Stützsäule erfüllen, während sie weder auf dem Boden, noch weniger an dem entgegengesetzten Ende befestigt war, so ist klar, dass die Mitte, als die Stelle des gefährlichsten Querschnittes, bei dieser Anordnung (Fig. 4) einer besonderen Stärkung bedurfte. Die vorzugsweise Verstärkung liegt in frontaler Ebene; einer Einknickung in einer solchen war auch vor Allem vorzubeugen. Die Beugeleistung beider Knochen geht nebenher und vermehrt die Gebrauchsweise der Extremität vor Allem für die Zwecke der Ortsbewegung. Durch sie aber durfte die Hauptleistung, als eine einzige Säule zu dienen, nicht in Frage gestellt werden. So sind denn auch beide Knochen und ihr Vereinigungspunct wesentlich auf Streckstellung berechnet und construirt und müssten ähnlich gestaltet sein, auch wenn sie nicht durch ein

Gelenk von einander geschieden wären. Vielleicht geben Fälle langdauernder Anchylosirung des Kniegelenkes hierüber eine Bestätigung.

Das Fuss skelet aber erscheint bei dieser Betrachtungsweise einfach als ein unterer Anhang des Schien- und Wadenbeins. Diese beiden Knochen in Verbindung mit dem Fuss skelet bilden zusammen die untere Hälfte der auf dem Boden beweglich aufruhenden grossen Knochensäule. Den Knochen des Fusses kommt bei der überwiegenden Länge und Bedeutung der andern in statischer Beziehung nur eine untergeordnete Rolle zu. Das untere Ende des Schienbeins zeigt diejenige Verbreiterung, deren es zu einer leistungsfähigen Verbindung mit dem Fusse bedarf. Seine Feststellung auf der Sprungbeinrolle und damit auf dem Fuss skelet ist nur eine relative, da letzteres seinerseits selbst nur sehr bewegliche Verbindung mit dem Boden besitzt, die mit der Stabilität der Grundplatte Fig. 3*b* nicht zu vergleichen ist. Hier ist zu erinnern an diejenigen Thiere, die nur mit dem vordersten Ende des Mittelfusses den Boden berühren. Gerade entgegengesetzt verhält sich die Befestigungsart von Bäumen, deren Stamm seinen grössten Querschnitt nicht in der Mitte, sondern an der Basis besitzt, mit welcher er sich fest in den Boden einsenkt; desgleichen von niederen festsitzenden Thieren, wenn sie nicht etwa schwingen sollen. Sowie dagegen bei Thieren die Fusswurzel und der Mittelfuss selbst wiederum die Rolle einer Stützsäule zu übernehmen hat, muss die Verbindung mit dem Schien- und Wadenbein an Stärke gewinnen.

Es ist nicht das Schienbein an sich, nicht das Oberschenkelbein an sich ein Körper von gleicher Strebfestigkeit — solche Körper gibt es nicht —, sondern nur in Bezug auf ihre Befestigung an ihre Umgebung und ihre Beanspruchung.

Nicht um grosse Gelenkflächen zu erhalten — im Gegensatz zu der üblichen Ansicht — pflegen die Knochenenden grossen Querschnitt zu haben, sondern die Grösse des Querschnitts ist die Wirkung statischer Gesetze. Die Gelenkenden der verschiedenen Knochen zeigen darum nicht denselben, sondern sehr verschieden grossen Querschnitt und trifft die Gelenkbildung auch nicht beständig mit grösserem Querschnitt zusammen; in einem solchen Zusammentreffen aber ist die Verbindung des statischen mit dem mechanischen Moment der Bildung des Extremitätenskelets ausgesprochen.

Aehnliche Verhältnisse lassen sich an der oberen Extremität des Menschen nachweisen, wiewohl sie nur Muskelspannungen unterworfen ist. Es würde über die gewünschte Grenze dieser Untersuchung hinausgehen, alle Fragen zu berühren, die sich an diesen Umstand knüpfen. So sei es auch vermieden, die Wirbelsäule, so leicht es ist, auf dieselben Principien zu prüfen. Es genügt, die Form der grossen Röhrenknochen der unteren Extremität des Menschen auf ihre statische Bedeutung untersucht und mit den Gesetzen der Statik in Einklang stehend gefunden zu haben.

Inwiefern der Verwendung dreiseitiger Querschnittsformen bei der Bildung der Röhrenknochen ein zu Grunde liegendes Motiv beizumessen sei, ist bereits in meiner früher angeführten Schrift in Erwägung gezogen worden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Gegenbaurs Morphologisches Jahrbuch - Eine Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte](#)

Jahr/Year: 1877

Band/Volume: [3](#)

Autor(en)/Author(s): Rauber August

Artikel/Article: [Die Feststellung der Röhrenknochen in den Gelenken und die Knochenform. 87-105](#)