

Mikrometrische vergleichend-anatomische Studien an den Knochenröhrchen.

(Mit 8 Textfiguren, I—XLIII. Tabellen und 1—84 Tafeln.)

Verfasst von: E. MÁTYÁS.

Mit den Dimensionen der Knochenröhrchen oder Osteonen (Biedermann) haben sich zuerst im Jahre 1903 zwei ungarische Gelehrte Prof. Kenyeres und Dr Hegyi beschäftigt (s. Lit. 2.). Wenn wir auf die seither erschienene Literatur einen kurzen Blick werfen, können wir uns davon sofort überzeugen, dass seither auf diesem Gebiete sehr wenig geleistet worden ist. Wer sich noch so wenig für die Arbeitsmethode der mikroskopischen Anatomie der Knochen interessiert, wird dennoch sofort einsehen, dass ein Grund dafür, warum das Vorwärtsdringen in diesem Wissensgebiet so schwer ist, besonders in den technischen Schwierigkeiten zu suchen ist. Es wird daher dem Leser klar sein, was ich an Zeit und an Geduld benötigt habe, bis ich die nahe fünfundzwanzigtausend Messungen an *Zeichnungen* ausgeführt habe, um mir durch mühsame Arbeit von sieben Jahren das wissenschaftliche Untersuchungsmaterial beschaffen zu können.

Mich drängte der Umstand zur Arbeit, dass die Lösung der mikroskopischen und mikrometrischen Anatomie der Knochen eine unumgängliche Forderung sowohl des Wissenschaft, als der Praxis sei. Archaeologen, Palaeontologen, Anthropologen, Biologen, besonders Descendenztheoretiker und vor allem gerichtliche Mediciner bekommen nicht immer hinreichendes Knochenmaterial dazu in die Hände, um daraus durch grobanatomische Merkmale die Art — von welcher das Knochenstück stammt — bestimmen zu können. Hier ist jeder — der unumgänglich Resultate haben will — notgedrungen darauf hingewiesen, Schliffe von den Knochenstücken zu machen und mit Hilfe der mikroskopischen Untersuchungen einen Ausweg finden zu können. Eine ferne Zukunftsfrage ist weiterhin ob man dort, wo die morphologischen Momente an ganzen Skeletten versagen: wo sich morphologisch keine Rassenunterschiede zeigen, solche mikroskopisch in der Haversausrüstung feststellen zu können.

Die bisher erschienenen Untersuchungen, vor allem aber die hier in dieser Arbeit vorgelegten deuten darauf hin, dass man

gewisse Hoffnungen in den erwähnten Forschungsrichtungen pflegen kann, ja dass sogar neue Gesichtspunkte bezüglich der Knochenmechanik in Erwägung gezogen werden müssen.

Schon die bisherigen Untersuchungen der Autoren erlauben uns die Behauptung, dass die Knochenröhrchen oder Osteonen als Grundlage für eine Knochendiagnose ausnützlich sind. Diese Untersuchungen, woran auch der Autor teilgenommen hat, schienen darauf hinzuweisen dass in dem *Verlauf* und *Dimensionen* der Haverskanäle artspezifische Unterschiede feststellbar sind. Wie ich aber im Laufe dieser Arbeit dieser Frage in systematisch ausgedehnten Untersuchungen nocheinmal nachgehen wollte, stellte sich heraus, *dass wohl die mikroanatomische Structur der Knochenkompakta, nicht aber die Dimensionen der Knochenröhrchen für Lösung solcher Bestrebungen geeignet sind.* Auf die für die Diagnose wichtige Structur der Knochenkompakta verschiedener Tiere kommen wir mit Prof. Demeter in einer anderen, grösstenteils schon fertigen Arbeit zurück, hier soll gezeigt werden, was für einen Wert die Dimensionsunterschiede, wenn darin Gesetzmässigkeiten feststellbar sind, für die Knochenmechanik haben.

Der eine Zweck dieser Arbeit ist auf dimensionelle Unterschiede zwischen menschlichen und tierischen Osteonen hinzuweisen, und andererseits hauptsächlich zu versuchen, neue Wege für die Knochenmechanik der Kompakta zu bahnen.

Die Untersuchungsmethode.

Den Grundstoff meiner Untersuchungen bildeten die Dimensionsunterschiede der Knochenröhrchen. Diesbezüglich habe ich alle messbare Werte berücksichtigt, und zwar 1. die Dicke der Osteonen, 2. den Kanallummendurchmesser, 3. die Dicke der Kanalwände — auch Speziallamellen oder Haverssche Systeme genannt — und 4. die Zahl der Knochenröhrchen in einem Quadratmillimeter. Wert 1. ist in den Tabellen als *Osteonsdicke*, Wert 2. als *Lumenbreite*, Wert 3. als *Wanddicke* eingetragen.

Für die Schriffe habe ich mit der Laubsäge feine auf die Querfläche senkrechte Blättchen ausgesägt und die Lamellen an beiden Seiten so weit geschliffen, bis sie Schreibpapierdick geworden sind. Die Schriffe kamen durch Xylol in Einschlussbalsam.

An den Schriffen habe ich meine vergleichend — anatomische Untersuchungen folgendermassen ausgeführt. Von den Schriffen

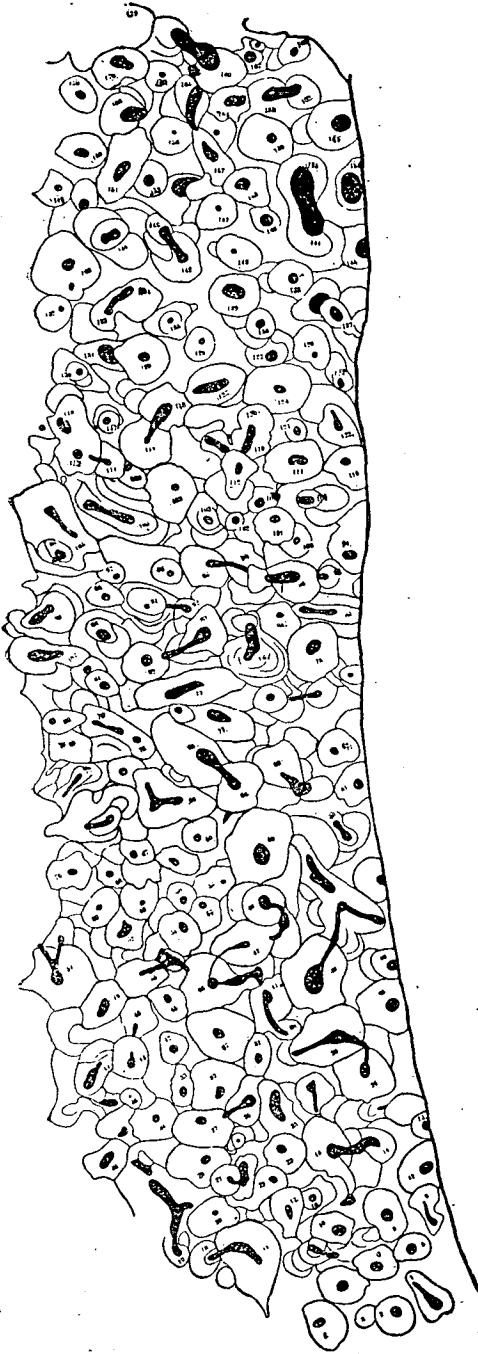


Fig. 1.

Homo, Femur, Ouerschiff von der Femurmitte.

machte ich bei einer genau hundertfachen Vergrößerung mit dem Edinger Zeichenapparat Zeichnungen oder Fotoaufnahmen. Dann habe ich die Schiffe beiseite gelegt und sämtliche Untersuchungen an diesen Zeichnungen ausgeführt. An dem $100\times$ Bild habe ich jeden, einmal schon in Rücksicht genommenen Osteon in der Reihenfolge nummeriert, wie es in der beigelegten Figur 1. zu sehen ist, wobei ich sicher war, dass ich sämtliche Haversse gemessen habe, dabei aber keiner zwei- oder dreimal in Betracht gezogen war. Im Mikroskope kennt man sich dagegen nicht aus, was gemessen, und was vergessen war. Ich habe bei meinen Untersuchungen bei Röhrenknochen von der Periferie ausgehend einwärts bis zur Markhöhle, bei Plattknochen bis zur Spangiose so grosse Parthien in Rücksicht genommen, die 160—190 Haversse enthielten. Warum ich von Gesichtsfeld zu Gesichtsfeld verschiedene Anzahl von Osteonen berücksichtigte und wa-

rum eben zwischen 160—190, erklärt sich daraus, dass ich neben den dimensionalen auch numerische Untersuchungen ausgeführt habe. Hier suchte ich bei einer $100\times$ Vergrößerung wie viele Haversquerschnitte in eine 1 dm^2 Zeichenfläche fallen: und die Zahl der Osteonen pro 1 dm^2 rückt gemäss ihrer Körperdicke zwischen 160 und 190 vor. Ich will bemerken, dass ich jeden Havers, der mit noch so geringen Körperteil in meinem Quadratdecimeter hineinfiel, mitgerechnet habe. Ich habe trotzdem eine einheitliche Grundlage für meine Betrachtungen dadurch geschaffen dass ich sämtliche Angaben auf die Grundzahl 160 umgerechnet habe.

An den $100\times$ vergrössertem Bildern habe ich sowohl mit der Längeneinheit als mit der Flächeneinheit Untersuchungen ausgeführt. Als Längenmass diente mir ein durchsichtiges Millimeterpapier und als Flächenmass ein 1 dm^2 Glasplatte. Einem Millimeter der Fotoaufnahme entsprach in der Wirklichkeit (im Schlicke) $10\text{ }\mu$., einem 1 dm^2 aber 1 mm^2 . An den Knochenröhrchen die in dem Schlicke schräg getroffen sind, habe ich immer die kürzeren Diameter gemessen, daraus ausgehend, dass die Haversse cylindrisch sind.

Diametrale Untersuchungen.

Hier wurde, wie schon erwähnt, *a*) der Diameter des Lamellensystems, *b*) der Kanaldurchmesser und *c*) die Wanddicke berücksichtigt. Wert $c = \frac{a}{2} - \frac{b}{2}$. Er wurde nicht gemessen, sondern gerechnet, weil die Kanäle nicht immer in der Mitte des Lamellensystems laufen. Da sich diese Werte bei den Kanälchen sowohl in einem Querschliff wie in den verschiedenen Regionen der Knochen verändern, können wir bei der Beurteilung dieser Veränderlichkeit 1. Minimal-, 2. Maximal-, 3. Häufigkeits- oder Mittelwerte für ganze Knochen und 4. Mittelwerte für Regionen in gleichen Abständen (sog. *Abschnittsmittelwerte*) berücksichtigen.

Die Angaben des Längenmessens habe ich Schliff für Schliff auf Tabellen zusammengestellt, wo in die erste Rubrik die laufenden Nummern, in die zweite die Werte des Diameter von dem Knochenröhrchen, in die dritte der Kanallumendurchmesser und in die vierte die Wanddicke eingetragen ist (Diese Tabellen machen den zweiten Teil meiner Arbeit, die in dem nächsten Heft

erscheinen werden). Die Ziffern der Tabellen bezeichnen in ihrer laufenden Reihe nicht Nachbarkanäle; ich habe nämlich die Ziffern für je ein Gesichtsfeld ihrer Grösse nach in Reihen geordnet, damit man unter ihnen die zum Vergleich nötigen Wertangaben leicht finden könne. Zugleich habe ich bezüglich der drei genannten Werte von jedem Schliff Häufigkeitstabellen verfertigt.

Um an einem Beispiel das Gesagte zu erläutern, besichtigen wir die Tabelle I., wo ein Querschliff aus dem Femur eines 19 jährigen Mannes bearbeitet ist. In der Tabelle sehen wir drei doppelte Kolumnen. Links ist in jeder Kolumne in Reihenfolge die Grösse der Masse, bei dem Lamellensystem und Kanallumen in 0.5 mm. Stufen unterschieden, bei der Wanddicke in 0.25 mm. Abständen eingetragen und links zeigen die entsprechenden Ziffern die Häufigkeit der betreffenden Osteonenwerte. In dieser Tabelle sind die Maximal- u. Minimalwerte fettgedruckt. Mittelwerte sind nach der gewöhnlichen Methode so ausgerechnet worden, dass die Längenmasse mit dem ihnen entsprechenden Häufigkeitswerte multipliciert, die so gewonnenen Ziffern addiert und schliesslich mit der in Betracht gezogenen Haverszahl dividiert worden sind.

Diese Tabelle zeigt uns die merkwürdige Tatsache, dass die Osteonswerte zwischen ziemlich weiten Grenzwerten variieren und dass die Frequenz der einzelnen Werte im Grossen und Ganzen den Variationsgesetzen entspricht, indem die häufigsten Werte gegen die Mitten der Reihe fallen, die seltenen aber gegen die Enden. Wir können also die dicken Osteone dem Mittelwert gegenüber als Plus, die dünnen als Minusvarianten unterscheiden.

Viel wichtiger als die Mittelwerte, waren die abschnittsweise zusammengezogenen Mittelwerte. Ich untersuchte z. B. die Häufigkeitswerte der Osteonendicke von Zehnergruppen, die der Lumen-durchmesser und Wanddicke in fünfer Gruppen, wodurch wieder neue Gesetzmässigkeiten im Knochenbau feststellbar waren. Solche Tabellen, die die Wertangaben einzelner Schliffgruppen zusammenfassen, sind am Schluss der einzelnen Gruppen zusammengestellt.

Einen unter allen Umständen bleibenden Teil meiner Arbeit bilden diese Tabellen, die als Anhang meiner Arbeit (s. Tab. I—XLI.) veröffentlicht werden. Vielleicht kann jemand — besonders dann, wenn mehrere Tierarten und mehrere Knochenstücke aus dem Skeletsystem bearbeitet werden — auch bessere oder andere Bedeutung dieser Resultate geben, als es mir bei der Bahnbrechung

gelungen ist. Ich stehe mit meiner Arbeit ganz an den Anfängen und ich sehe wohl wie gross die Aufgabe der Zukunft auf diesem Gebiet ist und wie schwer die Arbeit.

Ich bin ans Werk in drei Richtungen getreten: 1. untersuchte ich dieselbe Knochenpartie (die Femurmitte) von verschiedenen Organismen, 2. die verschiedenen Knochen desselben Organismus und 3. einen und denselben Knochen (femur) desselben Organismus systematisch in verschiedenen Abschnitten. Dem entsprechend gliedert sich meine Arbeit in drei Unterabteilungen (I., II., III.)

Tabelle I.

| Osteonsdicke in mm. | | Kanaldurchmesser (Lumenbreite) in mm. | | Wanddicke in mm. | |
|-------------------------|----------------|--|----------------|-------------------------|----------------|
| Die Grösse der Werte | Die Häufigkeit | Die Grösse der Werte | Die Häufigkeit | Die Grösse der Werte | Die Häufigkeit |
| 7 | 1 | 1.5 | 4 | 1.75 | 1 |
| 7.5 | 1 | 2 | 9 | 2 | |
| 8 | | 2.5 | 8 | 2.25 | |
| 8.5 | 2 | 3 | 13 | 2.5 | 5 |
| 9 | 3 | 3.5 | 5 | 2.75 | 1 |
| 9.5 | | 4 | 23 | 3 | 2 |
| 10 | 2 | 4.5 | 6 | 3.25 | 1 |
| 10.5 | | 5 | 22 | 3.5 | 3 |
| 11 | 2 | 5.5 | 6 | 3.75 | 2 |
| 11.5 | | 6 | 23 | 4 | 5 |
| 12 | 3 | 6.5 | 10 | 4.25 | 1 |
| 12.5 | | 7 | 16 | 4.5 | 2 |
| 13 | | 7.5 | 1 | 4.75 | 2 |
| 13.5 | 1 | 8 | 10 | 5 | 1 |
| 14 | 2 | 8.5 | 2 | 5.25 | 4 |
| 14.5 | 1 | 9 | 4 | 5.5 | 3 |
| 15 | 4 | 9.5 | | 5.75 | 3 |
| 15.5 | 3 | 10 | 1 | 6 | 4 |
| 16 | 4 | 10.5 | | 6.25 | 5 |
| 16.5 | 5 | 11 | 2 | 6.5 | 7 |
| 17 | 4 | 11.5 | | 6.75 | 5 |
| 17.5 | 4 | 12 | 1 | 7 | 13 |
| 18 | 7 | 12.5 | | 7.25 | 1 |
| 18.5 | 1 | 13 | 3 | 7.5 | 8 |
| 19 | 12 | 13.5 | | 7.75 | 3 |
| 19.5 | 1 | 14 | | 8 | 9 |
| 20 | 7 | 14.5 | 1 | 8.25 | |
| 20.5 | 2 | 15 | 2 | 8.5 | 8 |
| 21 | 7 | 15.5 | | 8.75 | 9 |
| 21.5 | 2 | 16 | | 9 | 9 |
| 22 | 9 | 16.5 | | 9.25 | 1 |
| 22.5 | 3 | 17 | | 9.5 | 6 |
| 23 | 11 | 17.5 | | 9.75 | 2 |
| 23.5 | | 18 | | 10 | 6 |
| 24 | 12 | 18.5 | | 10.25 | 2 |
| 24.5 | | 19 | 2 | 10.5 | 1 |
| 25 | 4 | 19.5 | | 10.75 | 1 |
| 25.5 | 1 | 20 | | 11 | 4 |
| 26 | 6 | 20.5 | | 11.25 | 3 |
| 26.5 | | 21 | | 11.5 | 5 |
| 27 | 2 | 21.5 | | 11.75 | 1 |
| 27.5 | 1 | 22 | | 12 | |
| 28 | 5 | 22.5 | | 12.25 | 5 |
| 28.5 | 2 | 23 | | 12.5 | 2 |
| 29 | 5 | 23.5 | | 12.75 | 2 |
| 29.5 | | 24 | | 13 | 2 |
| 30 | 7 | 24.5 | | 13.25 | 1 |
| 30.5 | 1 | 25 | 1 | 13.5 | 2 |
| 31 | 2 | 25.5 | | 13.75 | 3 |
| 31.5 | 2 | 26 | 1 | 14 | 1 |
| 32 | 5 | 26.5 | | | |
| 32.5 | | 27 | | | |
| 33 | 2 | 27.5 | | | |
| 33.5 | | 28 | | | |
| 34 | 2 | 28.5 | | | |
| 34.5 | | 29 | | | |
| 35 | 2 | 29.5 | | | |
| 35.5 | | 30 | | | |
| 36 | 2 | | | | |
| 37.5 | 3 | 36 | 1 | | |
| 38 | 1 | | | | |
| 39 | 1 | | | | |
| 40 | 1 | | | | |
| 50 | 1 | | | | |

I. Querschliffe aus der lateralen Femurmitte von verschiedenen Vertebraten.

In dieser Gruppe habe ich mathematisch entsprechende Partien des Femurs von Homo, von anthropoiden Affen von Caniden und Feliden und von einigen Unparhufern untersucht. Diese Schliffe haben mir gezeigt, dass sich die Masswerte innerhalb der einzelnen systematischen Gruppen nach der Körpergrösse richten. Körperlich je grösser und schwerer z. B. innerhalb der Katzenfamilie ein Tier im allgemeinen, also dem Mittelwerte nach ist, umso dicker sind die Osteonen, umso weiter ihr Kanallumen und umso dicker die Kanalwände, und dementsprechend umgekehrt umso weniger Haversse fallen in einem Quadratdecimeter (siehe Tabelle II.) Wenn wir aber die Tabelle II. auch in anderer Richtung durch-

Tabelle II.

| Der Schliff stammt. | Osteonsdicke in mm. | Lumenbreite in mm. | Wanddicke in mm. | Osteonszahl |
|---------------------|---------------------|--------------------|------------------|-------------|
| Homo femur | 21—23·5 | 4·6—6·3 | 8·1—8·6 | 10·8—12·6 |
| Pythecus sat. | 10·9 | 3·1 | 4·1 | 25·4 |
| Troglodytes niger. | 9·4 | 3·4 | 2·5 | 23·8 |
| Felis leo | 17 | 2·9 | 6·7 | 10·9 |
| Felis parduc | 13·6 | 1·8 | 5·9 | 19·1 |
| Lynx lynx | 11·8 | 2·9 | 4·5 | 26·7 |
| Felis dom. | 8·7 | 2·0 | 3·4 | 38 |
| Canis lupus | 11·4 | 2·1 | 4·6 | 12·5 |
| Canis fam. | 10·3 | 2·4 | 3·5 | 29·1 |
| Aequus cab. | 16·3 | 3·3 | 7·0 | 25·1 |
| Aequus asinus | 14·5 | 2·1 | 6·2 | ma ? |

Durchschnittswerte aus der Femurmitte verschiedener Tiere.

mustern, so werden wir sofort erfahren, dass nicht nur Speciesunterschiede innerhalb einer Familie oder Genus feststellbar sind, sondern dass auch die systematischen Gruppen gewisse generale Unterschiede aufweisen. Weil wir keinen Grund für die letztere Unterscheidlichkeit angeben können, nennen wir diese einfach systematische Unterschiede. Umso mehr an der Hand liegt eine Erklärung für die graduelle Veränderung der Knochenröhrchen innerhalb einer Familie oder eines Genus. Uns ist es eine selbstverständliche Sache, dass sich bei einem grösseren und schwereren Tier grössere, dickere und schwerere Knochen entwickeln, wie bei kleineren. Die Knochengrösse ist eine Funktion der mechanischen Inanspruchnahme. Der Knochenbau ist ein lamellöser. In der Knochenvergrösserung könnten seine Elemente, die Lamellen entweder durch Dickerwerden oder durch die Vermehrung ihrer Zahl teilnehmen oder durch beides zusammen. Eine Lamellenvermehrung könnte wieder auf drei Wegen erreicht werden: entweder vermehren sich die interstitiellen Lamellen und dabei werden die nicht mitveränderten Osteone locker, gewissermassen zerstreut, oder vermehren sich besonders die Speciallamellen in dem Haverschen System oder drittens tritt keine Veränderung in der Relation der Lamellen ein, sondern ein Knochen wird dadurch dicker und grösser, dass neue Osteone und zwischen denselben neue Interstitielle gebildet werden, kurz: als wenn sich nicht das histologische sondern das mikroanatomische Element vermehren würde. Eine Vermehrung der interstitiellen Lamellen in grösseren Knochen konnte nicht konstatiert werden. Es ist auch verständlich, da die Knochencompacta einen ausgesprochenen Röhrchenbau aufweisen, und was für das Element charakteristisch ist, das soll bei einer Veränderung des Elements mitverändert werden. Nun könnte man denken, dass die Knochenröhrchen bloss ernährungs physiologisch wichtig für die Knochen sind; dann würde für das Knochenwachstum auch eine Röhrchenvermehrung ohne Kaliberänderung hinreichend sein. Wenn wir aber sehen, dass in einem Knochen, der aus mechanischen Gründen an Kaliber zunimmt, auch seine charakteristischen Bauelemente an Dicke zunehmen, so können wir daraus keinen anderen Schluss ziehen, als dass diese Bauelemente aus solchen Gründen verändert worden sind, aus welchem Grund das ganze sich veränderte. *Demgemäss sind unserer Auffassung nach die Osteone in den Knochen nicht*

nur ernährungs-, sondern hauptsächlich mechanischphysiologische Elemente. Und dies ist auch selbstverständlich. Wenn für eine Menge von Knochen in mechanischer Hinsicht sein Röhrenbau von so sehr grosser Bedeutung ist, dann widerspricht apriori nichts der Auffassung, dass ein innerer Röhrenbau die mechanische Leistungsfähigkeit einer Röhrenwand nur erhöhen kann. Wenn ein Röhrenknochen, um mechanisch leistungsfähiger zu werden, sich in seiner Wand verdickt seinen Lumen aber zugleich erweitert, so steht mit diesem ganz parallel die Erscheinung, dass ein Osteon mit weiter gewordenen Haverslumen und verdickter Wand nur die mechanische Leistungsfähigkeit des Knochen erhöht und nichts anderes.

Wir haben in den bisherigen Betrachtungen bloss auf die Mittelwerte Rücksicht genommen. Nachdem aber genau die gleichen Mittelwerte bei den verschiedensten Verteilungen der Plus- und Minusvarianten herauskommen, wird interessant sein, zu untersuchen, wie sich die dünneren und dickeren Osteonen zu diesen Mittelwerten verhalten, wie sie in den verschiedenen Gesichtsfeldern verteilt sind.

Wenn wir aus unseren Messungen in den drei folgenden Tabellen die abschnittswise Mittelwerte vergleichend besichtigen, so stossen wir auf die eigentümliche Erscheinung, dass in dem Zahlenverhältnisse der dünnen und dicken Knochenröhren eine regelrechte Verschiebung stattfindet, indem nämlich je kleiner ein Tier innerhalb einer systematischen Gruppe ist, um so grösser wird relativ die Zahl der dünneren : dünnwandigen und dünnlumenigen Osteone sein ; kleinere Mittelwerte bei kleinen Tieren erhalten wir also nicht nur und nicht hauptsächlich dadurch, dass die Masswerte der mittelgrossen Osteone gesunken sind, sondern dass die Zahl der dünnen Osteone die Oberhand gewonnen hat. Diese Verschiebung in den Osteonrelationen können wir am besten so zum Gesetz formulieren, wenn wir die zahlenmässige Veränderung der kleinen und grossen Osteonen in der Flächeneinheit suchen. So stellt es sich bei der Tabelle III—V. heraus, dass mit der Vergrösserung der Osteonswerte regelrecht die Zahl der Osteone in einem Gesichtsfeld sinkt, dieses umgekehrte Verhältnis zeigen aber die dünnen Osteone nicht, denn ihre Zahl wächst parallel mit dem Zahlenwachstum der in einem Gesichtsfeld befindlichen Osteone.

Tabelle III.

| Der Schliiffstamm | 0-9·5 | 10-19·5 | 20-29·5 | 30-39·5 | 40-49·5 | 50-59·5 | Osteonszahl |
|-------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|
| Homo femur | 7 | 56 | 79 | 30 | 1 | 2 | 10·8—12·6 |
| Pythecus sat. | 73·3 | 76·6 | 11 | — | — | — | 25·4 |
| Troglodytes nig. | 97 | 60 | 2 | — | 1 | — | 23·8 |
| Felis leo | 17 | 91 | 43 | 6 | — | — | 10·9 |
| Felis parduc | 28 | 120 | 12 | 1 | — | — | 19·1 |
| Lynx lynx | 45 | 111 | 4 | — | — | — | 26·7 |
| Felis dom. | 111 | 53 | 1 | 1 | — | — | 38 |
| Canis lupus | 62 | 90 | 8 | — | — | — | 12·5 |
| Canis fam. | 94 | 65 | 3 | — | — | — | 29·1 |
| Aequus cab. | 4·5 | 122·4 | 36 | — | 0·9 | — | 25·1 |
| Aequus asinus | 18 | 117 | 26 | 6 | — | — | ma ?*) |

Zehnerklassen bezüglich der Osteonsdicke. Frequenz der Osteone in den verschiedenen Klassen. Unterschiede der mittleren Klassenwerte je 10 mm.

Tabelle IV.

| Der Schliiffstamm | 0-4·5 | 5-9·5 | 10-14·5 | 15-19·5 | 20-24·5 | 25-29·5 | 40-44·5 | 45-49·5 | Osteonszahl |
|-------------------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|
| Homo femur | 68 | 94 | 8 | 4 | — | 2 | 1 | 1 | 10·8—12·6 |
| Pythecus sat. | 139·5 | 17·1 | 0·9 | 0·9 | — | — | — | — | 25·4 |
| Troglodytes nig. | 150 | 8 | 1 | 1 | — | — | — | — | 23·8 |
| Felis leo | 144 | 13 | — | — | — | — | — | — | 10·9 |
| Felis parduc | 160 | — | — | — | — | — | — | — | 19·1 |
| Lynx lynx | 146 | 12 | 2 | — | — | — | — | — | 26·7 |
| Felis dom. | 164 | 3 | 1 | — | 1 | — | — | — | 38 |
| Canis lupus | 155 | 4 | — | — | — | — | — | — | 12·5 |
| Canis fam. | 155 | 6 | 1 | 1 | — | — | — | — | 29·1 |
| Aequus cab. | 130·4 | 17·6 | 1·6 | 1 | 1 | — | — | — | 25·1 |
| Aequus asinus | 162 | mi ? | — | — | — | — | — | — | ma ? |

Fünferklassen bezüglich der Lumenbreite. Frequenz der Osteone in den verschiedenen Klassen. Unterschiede der mittleren Klassenwerte je 5 mm.

*) Diese Angaben (mi ? : minimum, ma ? : maximum) und ebensowohl jene der Tab. v. XX, XXII sind während des Zusammenbruches v. I 1918. verloren gegangen.

Tabelle V.

| Der Schliff stammt | 0—4·75 | 5—9·75 | 10—14·75 | 15—19·75 | 20—24·75 | Osteonszahl |
|--------------------|--------|--------|----------|----------|----------|-------------|
| Homo femur | 26 | 101 | 45 | 5 | 3 | 108—12·6 |
| Pythecus saf. | 113·6 | 29·6 | 0·8 | — | — | 25·4 |
| Troglodytes nig. | 149 | 9 | 1 | — | — | 23·8 |
| Felis leo | 38 | 92 | 26 | 2 | — | 10·9 |
| Felis pardus | 53 | 96 | 7 | — | — | 19·1 |
| Lynx linx | 89 | 71 | — | — | — | 26·7 |
| Felis dom. | 145 | 18 | — | — | — | 38 |
| Canis lupus | 94 | 57 | 2 | — | — | 12·5 |
| Canis fam. | 138 | 24 | — | — | — | 29·1 |
| Aequus cab. | 19·2 | 115·2 | 17·2 | — | — | 25·1 |
| Aequus asinus | 38 | 106 | 12 | — | — | ma ? |

Fünferklassen bezüglich der Wanddicke. Frequenz der Osteone in den verschiedenen Klassen. Unterschiede der mittleren Klassenwerte je 5 mm.

Was für eine Bedeutung diese Verschiebung in den Mittelwerte, bzw. in der Zahl der kleinen Kanalröhrchen bedeutet, werden wir später anführen.

II. Schliffe aus verschiedenen Knochen eines Organismus.

a) *Homo, Röhren- und Plattknochen.*

Untersucht wurden die in der Tabelle VI. eingetragenen Knochen. Wir sehen hier, dass die Mittelwerte der Knochenröhrchen vom Knochen zu Knochen — natürlich innerhalb enger Grenzen — veränderlich sind. Die Tabelle zeigt, dass die Plattknochen gewissermassen aus dünneren Osteonen aufgebaut sind, als die Röhrenknochen. Wir bemerken die auffallende Tatsache, dass man sowohl die Röhrenknochen untereinander, wie die Plattknochen auf Grund der Knochenröhrchenwerte in eine Reihe ordnen kann, welche Reihenfolge im Grossen und Ganzen zugleich der Aufeinanderfolge der mechanischen Inanspruchnahme dieser Knochen entspricht. Diese Series der Knochen ist auch in der Hinsicht wertvoll, dass die seriale Folge für alle drei Werte der Knochenröhrchen ein-

heitlich und gleichförmig passt. Wir können also hier wiederholt mit grösster Wahrscheinlichkeit sagen, dass mit der Steigerung der mechanischen Inanspruchnahme sich die Kanäle erweitern und die Wände dicker werden. Selbsverständlich fallen dann immer weniger Knochenröhrchen in ein Gesichtsfeld bzw. Flächeneinheit, wie es aus der Tabelle leicht zu ersehen ist.

Tabelle VI.

| Der Schliff stammt | Osteonsdicke in mm. | Lumenbreite in mm. | Wanddicke in mm. | Osteonszahl | |
|--------------------|---------------------|--------------------|------------------|-------------|---------------|
| Homo tibia | 24·6 | 7·1 | 8·7 | 9·2 | Röhrenknochen |
| „ femur | 22·1 | 6·4 | 8·2 | 10·2 | |
| „ humerus | 21·1 | 5·1 | 8·4 | 9·2 | |
| „ radius | 20·9 | 4·2 | 8·4 | 9·2 | |
| „ ulna | 20·8 | 4·9 | 7·6 | 9·9 | |
| „ ph. digiti | 17·6 | 4·2 | 6·7 | 13 | |
| „ clavicula | 16·4 | 4·5 | 5·9 | 12 | |
| „ mandibula | 19·2 | 4·0 | 7·7 | 7 | Plattknochen |
| „ os frontale | 17·6 | 5·1 | 6·3 | 8·1 | |
| „ scapula | 16·1 | 4·0 | 6·1 | 12·1 | |
| „ costa | 14·3 | 4·7 | 4·7 | 14·7 | |
| „ vertebra | 14·2 | 3·4 | 5·3 | 21 | |
| „ os coxae. | 12·3 | 3·9 | 3·9 | 28 | |

Mittelwerte aus verschiedenen Knochen des Menschen von der mittleren Partie derselben.

Und wenn wir auch hier versuchen die abschnittsweise zusammengezogenen Mittelwerte auf Grund der Tabellen VII—IX. zu studieren, ergibt sich wieder der Gegensatz zwischen dünnen und dicken Knochenröhrchen. Ein reciprokes Verhalten nämlich zwischen Dickenwachstum und Flächenzahl der Kanäle kann bloss für die grösseren Osteone festgestellt werden, die Zahl der dünnen Kanäle vermehrt sich Schritt für Schritt mit der Zunahme der Röhrchen eines Gesichtsfeldes.

Tabelle VII.

| Der Schliff stammt | 0-9.5 | 10-19.5 | 20-29.5 | 30-39.5 | 40-49.5 | 50-59.5 | 60-69.5 | 70-79.5 | 80-89.5 | Osteonszahl |
|--------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|
| Homo tibia | 3 | 47 | 71 | 29 | 10 | 1 | 1 | 1 | — | 9.2 |
| „ femur | 7 | 56 | 79 | 30 | 1 | 2 | — | — | — | 10.2 |
| „ humerus | 1 | 59 | 72 | 21 | 4 | 1 | — | — | — | 9.2 |
| „ radius | — | 66 | 72 | 14 | 5 | — | — | — | — | 9.2 |
| „ ulna | 7 | 77 | 52 | 13 | 7 | 3 | — | — | 1 | 9.9 |
| „ ph. digiti | 20 | 83 | 49 | 12 | — | 1 | — | 1 | — | 13 |
| „ clavic. | 15 | 105 | 43 | 2 | — | — | — | — | — | 12 |
| „ mandibula | 16 | 78 | 47 | 14 | 2 | 3 | — | — | — | 7 |
| „ os front. | 19 | 100 | 24 | 6 | 5 | 4 | 1 | 1 | — | 8.1 |
| „ scapula | 20 | 97 | 36 | 5 | 1 | — | — | — | — | 12.1 |
| „ costa | — | 84 | 37 | 4 | — | — | — | — | — | 14.7 |
| „ vertebr. | 25 | 114 | 20 | 3 | 2 | — | — | — | — | 21 |
| „ os coxae | 34 | 115 | 9 | — | — | — | — | — | — | 28 |

Röhrenknochen

Plattknochen

Zehnerklassen der dem Kaliber nach verschiedenen Knochenröhrchen bezüglich der Osteonsdicke und ihre Frequenz in den menschlichen Knochen. Ergibt zwischen dem Mittelwerte der Nachbarklassen je 10 mm. Unterschied.

Tabelle VIII.

| Der Schliiff stamm | 0-4.5 | 5-9.5 | 10-14.5 | 15-19.5 | 20-24.5 | 25-29.5 | 30-34.5 | 35-39.5 | 40-44.5 | 45-49.5 | 50-54.5 | Osteonszahl |
|--------------------|-------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|
| Homo tibia | 58 | 71 | 24 | 4 | — | 3 | 1 | — | 1 | — | — | 9.2 |
| „ femur | 68 | 94 | 8 | 4 | — | 2 | — | — | — | — | — | 10.2 |
| „ humerus | 71 | 83 | 5 | 1 | — | — | — | — | — | — | — | 9.2 |
| „ radius | 110 | 43 | 3 | 3 | 1 | — | — | — | — | — | — | 9.2 |
| „ ulna | 105 | 35 | 9 | 5 | 1 | 3 | — | — | 1 | — | — | 9.9 |
| „ ph. digiti | 114 | 49 | 1 | 2 | — | — | — | — | — | — | — | 13 |
| „ clavicula | 97 | 62 | 5 | — | — | — | — | — | — | — | — | 12 |
| „ mandib. | 110 | 46 | 4 | — | — | — | — | — | — | — | — | 7 |
| „ os front. | 122 | 27 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 | — | — | 1 | — | 8.1 |
| „ scapula | 122 | 23 | 4 | 7 | — | — | — | — | — | — | — | 12.1 |
| „ costa | 111 | 38 | 8 | 2 | — | — | — | — | 1 | — | — | 14.7 |
| „ vertebra | 137 | 22 | 5 | — | — | 1 | — | — | — | — | — | 21 |
| „ os coxae | 123 | 28 | 5 | 3 | — | — | — | — | — | — | — | 28 |

Röhrenknochen
Plattknochen

Fünferklassen im Kaliber verschiedener Osteonen bezüglich der Lumenbreite und ihre Frequenz. Menschliche Knochen. Es gibt zwischen den Mittelwerten der Nachbarklassen je 5 mm. Unterschied.

Tabelle IX.

| Der Schliiff stamm | 0-4.75 | 5-9.75 | 10-14.75 | 15-19.75 | 20-24.75 | 25-29.75 | Osteonszahl |
|--------------------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|-------------|
| Homo tibia | 17 | 88 | 50 | 7 | — | — | 9.2 |
| „ femur | 25 | 101 | 44 | 5 | 3 | — | 10.2 |
| „ humerus | 20 | 96 | 36 | 5 | 3 | — | 9.2 |
| „ radius | 2 | 100 | 33 | 6 | 1 | — | 9.2 |
| „ ulna | 38 | 84 | 27 | 8 | 1 | 1 | 9.9 |
| „ ph. digiti | 55 | 81 | 27 | 2 | 1 | — | 13 |
| „ clavicula | 60 | 96 | 8 | — | — | — | 12 |
| „ mandib. | 41 | 79 | 32 | 4 | 4 | — | 7 |
| „ os front. | 58 | 83 | 13 | 2 | 1 | 1 | 8.1 |
| „ scapula | 65 | 80 | 11 | 1 | — | — | 12.1 |
| „ costa | 78 | 74 | 8 | — | — | — | 14.7 |
| „ vertebra | 76 | 82 | 5 | 1 | — | — | 21 |
| „ os coxae | 100 | 58 | 1 | — | — | — | 28 |

Röhrenknochen
Plattknochen

Fünferklassen im Kaliber verschiedener Osteonen, bezüglich der Wanddicke und ihre Frequenz. Knochen des Menschen. Es gibt zwischen den Nachbarklassen je 5 mm. Unterschiede.

Bemerkung. Die weniger zusammengezogenen Daten lassen die Gesetzmässigkeiten nicht so scharf erscheinen, als die Mittelwerte, was einestheils aus dem kleineren Maasse des Zusammenziehens, andererseits aus der, bei der Einstellungsänderung entstehenden Conturverschiebungen und den, nichts mehr corrigierbaren Irrthümern der Zeichentechnik erklärbar ist. Trotzdem sind auch hier ganz gut lesbar die, bei gleicher Verarbeitung der verschiedenen Schliiffgruppen übereinstimmenden Gesetzmässigkeiten so, dass ich es eben deshalb für überflüssig gefunden habe aus den einzelnen, nicht gerade treffenden Daten die Verschiebung einiger in die benachbarten Maassgruppen, was auf Grund des Gesagten höchstwahrscheinlich berechtigt ist.

b) *Lynx lynx* (Luchs), einige Röhren- und Plattknochen.

Einen wirklichen Wert werden die an menschlichen Knochen gewonnenen Resultate, beziehungsweise die damit verknüpften Folgerungen erst dann haben, wenn vergleichend histologische Untersuchungen auch an anderen Tieren zu gleichen Resultaten gelangen. Als eine Einführung dazu habe ich einige Knochen des Luchses untersucht. Und dieser Versuch, wenn auch noch so wenige Knochen berücksichtigt worden sind, führte zu ganz kongruenten Resultaten mit denen des Menschen. Eben daher, um nicht alles, was vorher unter a) bezüglich der menschlichen Knochen festgestellt worden ist, zu wiederholen, verweise ich den Leser auf die Tabellen X—XIII. an denen jeder selbst feststellen kann, dass sich die dimensionalen Werte der Knochenröhren gemäss der mechanischen Inanspruchnahme verändern.

Tabelle X.

| Der Schliiffstamm | Osteonsdicke | Lumenbreite | Wanddicke | Osteonszahl | |
|-------------------|--------------|-------------|-----------|-------------|-----------------|
| Lynx fibula | 14·4 | 2·8 | 5·7 | 19·2 | } Röhrenknochen |
| „ os metatarsale | 13·7 | 2·3 | 5·1 | 21·3 | |
| „ scapula | 12·2 | 2·4 | 4·8 | 39 | } Plattknochen |
| „ costa. | 10·5 | 2·2 | 4·0 | 47·9 | |

Durchschnittswerte der Osteonen bei Lynx.

Tabelle XI.

| Der Schliiffstamm | 0-9·5 | 10-19·5 | 20-29·5 | 30-39·5 | 40-49·5 | Durchschnittszahl d. Osteonen | |
|-------------------|-------|---------|---------|---------|---------|-------------------------------|-----------------|
| Lynx fibula | 27 | 112 | 21 | — | 1 | 19·2 | } Röhrenknochen |
| „ os metatarsale | 27 | 117 | 16 | — | — | 21·3 | |
| „ scapula | 39 | 113 | 8 | 8 | — | 39 | } Plattknochen |
| „ costa. | 77 | 77 | 5 | 5 | — | 47·9 | |

Lynx lynx. Zehnerklassen bezüglich der Osteonsdicke. Frequenz der verschiedenen Klassen. Unterschiede der mittleren Klassenwerte je 10 mm.

Tabelle XII.

| Der Schliff stammt | 0-4·5 | 5-9·5 | 10-14·5 | Durchschnittszahl d. Osteonen | |
|--------------------|-------|-------|---------|-------------------------------|--------------------|
| Lynx fibula | 140 | 17 | 2 | 19·2 | Röhren- knochen |
| „ os metatarsale | 154 | 6 | — | 21·3 | |
| „ scapula | 143 | 16 | — | 39 | Platt- knochen |
| „ costa. | 154 | 3 | 2 | 47·9 | |

Lynx lynx. Fünferklassen bezüglich der Lumenbreite, Frequenz der verschiedenen Osteonen. Unterschiede der mittleren Klassenwerte je 5 mm.

Tabelle XIII.

| Der Schliff stammt | 0-4·75 | 5-9·75 | 10-14·75 | Durchschnittszahl d. Osteonen | |
|--------------------|--------|--------|----------|-------------------------------|--------------------|
| Lynx fibula | 56 | 96 | 8 | 19·2 | Röhren- knochen |
| „ os metatarsale | 53 | 98 | 9 | 21·3 | |
| „ scapula | 88 | 69 | 3 | 39 | Platt- knochen |
| „ costa. | 108 | 50 | 2 | 47·9 | |

Lynx lynx. Fünferklassen bezüglich der Wanddicke. Frequenz der verschiedenen Osteonen. Unterschiede der mittleren Klassenwerte je 5 mm.

III. Homo Femur systematisch durchgearbeitet.

Da die oben beschriebenen Resultate uns mit der grössten Wahrscheinlichkeit zeigten, dass sich die Osteonen dimensional unter mechanischen Wirkungen gestalten, schien es mir notwendig und lohnenswert mein Arbeitsfeld auszubreiten, und einen Knochen, dessen mechanische Verhältnisse am klarsten an der Hand liegen, systematisch durchzuforschen. Dazu ist das Femur am geeignetesten. Leider, meine Kräfte reichten nicht aus, um alle vier Knochen-seiten bearbeiten zu können. Hier sind bloss die zwei wichtigeren Knochen-seiten, die lateralen und die ventralen Röhrenwände durchstudiert worden.

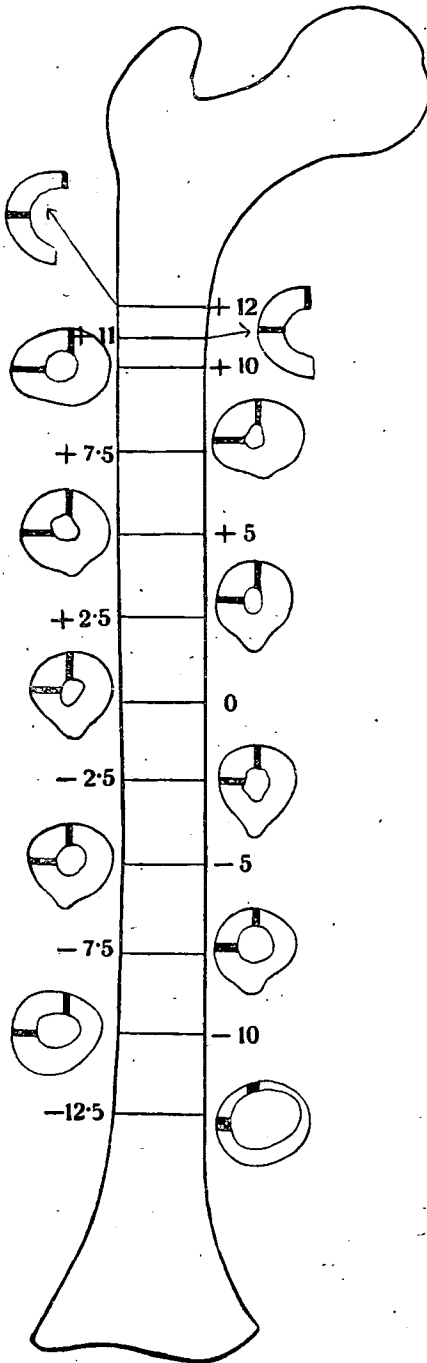


Fig. 2.

Homo, linkes Femur. Die numerierten Querlinien zeigen die entsprechenden Höhen des Oberschenkels, die systematisch bearbeitet worden sind. Die daneben stehenden Figuren zeigen das Querschnittsbild der entsprechenden Knochenhöhe nach vorne gebeugt. Von jedem Schließ wurden nur durch die mit schwarzen Bänder bezeichneten Teile durch die Messmethode bearbeitet, jedes horizontale Band entspricht hier der lateralen und jedes senkrechte der ventralen Mittelpartie der Femurwand. Die Querschnitte zeigen zugleich wie sich das Querschnittsbild des Femurs von Höhe zu Höhe verändert.

III. a. 1.

a) *Der Bau der lateralen und ventralen Femurwand eines 19 jährigen Mannes.*

Ich habe gemäss Fig. 2. Scheibchen in 2·5 cm. Entfernungen aus dem Femur ausgesägt. Der Ausgangspunkt war die linear ausgemessene Mitte des Röhrenknochens. Dieser Schliff wurde mit 0 bezeichnet, und von diesem nach oben mit + 2·5, + 5, + 7·5, + 10, nach unten - 2·5, - 5, - 7·5, - 10. Aufwärts habe ich noch auch von der Höhe + 11 und + 12 mm. Schriffe verfertigt.

Um aus den hier gewonnenen interessanten Resultaten nähere kenntnisse zu erhalten wolle der Leser auch hier vorerst die Tabellen XIV—XV., wo vorderhand die Mittelwerte für je einen ganzen Schliff angegeben sind, näher studieren. Man wird auch hier sofort klar darüber, dass sich die Knochenröhrchen gemäss der verschiedenen Höhen dimensional verschieden gestaltet sind. Es gibt Regionen mit durchschnittlich dickeren und andere mit durchschnittlich dünneren Osteonen. Weiterhin gibt es einen kontinuierlichen Übergang zwischen den Extremwerten. Die Veränderung der verschiedenen Werte ist auch hier ebenso einheitlich und gleichgerichtet wie wir es bei den oben genannten Untersuchungen sahen, weil jeder

Tabelle XIV.

| Der Schliff stammt von der Höhe | Osteonsdicke in mm. | Lumenbreite in mm. | Wanddicke in mm. | Osteonszahl |
|---------------------------------|---------------------|--------------------|------------------|-------------|
| +12 | 17·6 | 4·4 | 6·5 | 17·8 |
| +11 | 19·5 | 4·6 | 7·5 | 22·1 |
| +10 | 18·5 | 4·3 | 7·3 | 13·4 |
| +7·5 | 20·3 | 4·5 | 7·4 | 14·5 |
| +5 | 20·4 | 5·3 | 7·5 | 18·5 |
| +2·5 | 19·4 | 4·9 | 7·4 | 13·3 |
| 0 | 17·9 | 4·8 | 6·7 | 13·3 |
| -2·5 | 16·5 | 4·7 | 6·0 | 13·3 |
| -5 | 15·3 | 4·7 | 5·3 | 13·1 |
| +7·5 | 14·5 | 4·7 | 5·1 | 11·1 |
| -10 | 13·9 | 4·3 | 5·0 | 10·7 |
| -12·5 | 16·2 | 5·3 | 5·5 | 11·7 |

Mittelwerte aus der ventralen Femurwand eines 19 jährigen.

Tabelle XV.

| Der Schliff stammt von der Höhe | Osteonsdicke in mm. | Lumenbreite in mm. | Wanddicke in mm. | Osteonszahl |
|---------------------------------|---------------------|--------------------|------------------|-------------|
| +12 | 20·2 | 5·9 | 7·8 | 12·3 |
| +11 | 19·7 | 5·6 | 6·9 | 12·5 |
| +10 | 21·0 | 6·0 | 7·5 | 11·1 |
| +7·5 | 21·5 | 6·4 | 7·7 | 10·7 |
| +5 | 23·9 | 7·4 | 8·6 | 9·6 |
| +2·5 | 23·4 | 7·2 | 8·1 | 10·6 |
| 0 | 22·8 | 6·4 | 8·2 | 10·8 |
| -2·5 | 21·0 | 6·4 | 7·2 | 10·8 |
| -5 | 19·1 | 5·5 | 6·8 | 11·8 |
| -7·5 | 20·6 | 7·0 | 6·8 | 8·9 |
| -10 | 22·6 | 7·5 | 7·9 | 8·0 |
| -12·5 | 20·9 | 6·6 | 6·7 | 7·5 |

Mittelwerte aus der lateralen Femurwand eines 19 jährigen.

messbare Wert gleichbedeutend sinkt oder sich erhöht. Diese gleichsinnigen Veränderungen haben zur Folge, dass wir in den entsprechenden Knochenhöhen für die Osteonen harmonische Maximal- oder Minimalwerte feststellen können. Und zwar gibt es ein dominierendes Maximum, das in beiden Knochenhälften im gleichen Höhepunkt, in die Höhe $+ 5$ fällt und es gibt ausserdem noch zwei seitliche kleinere Maxima, die aber, wie es die fett gedruckten Ziffern in den Tabellen zeigen, nicht in beiden Knochen-seiten in der gleichen Höhe auftreten. Zwischen diese drei Maximalwerte sind zwei Minima eingeschaltet, die sich ventral und lateral ebenfalls nicht in gleichen Knochenhöhen entwickeln.

Wie die Verschiebung der Maximal-, Minimalwerte von der lateralen Wand, nach der ventralen gehend von der einen Querschnittsebene in die andere erfolgt, zeigt uns Fig. 3., wo wir die ganze ventrale Hälfte des Femurs von der Markseite her sehen. Links in der Fig. sind die Schliffflächen der lateralen Wand eingezeichnet und in der Mitte die der ventralen. Die dicken Pfeile zeigen die Wanderung der Maximal-, die dünnen die der Minimalwerte.

Diese Facta mit ihren gesetzmässigen Erscheinungen fordern eine Erklärung.

Wenn uns die oben ausgeführten Untersuchungen klar machen könnten, dass Knochenmechanik bezüglich der Belastung bzw. der mechanischen Inanspruchnahme mit der Knochenröhrchenmechanik gleich ist, so ist uns auch hier leicht verständlich, warum sich gegen die mittlere Region ein dominierendes Maximum der Röhrchen entwickelt.

Das Femur ist, wie bekannt, seiner Form nach nichts anderes, als ein innen leerer Stock, welcher sowohl beim Gehen, wie beim Stehen am Ende seines Griffes: am caput femoris excentrisch belastet wird. Diese Belastung des

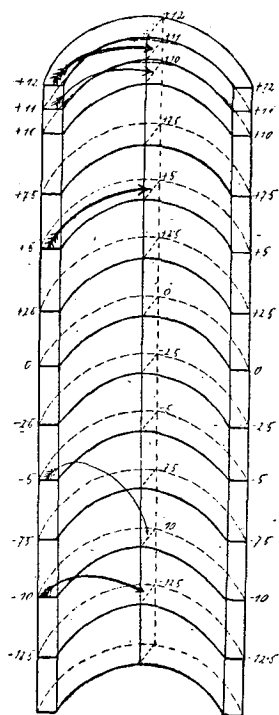


Fig. 3.

Die ventrale Hälfte der Femurwand von innen gesehen. (links ist lateral, rechts medial.)

am caput femoris excentrisch belastet wird. Diese Belastung des

cápüt femoris - verändert sich während des Ganges fortdauernd, sowohl in ihrer Grösse, als in ihrer Richtung. Beim Stehen wirkt die Körperhälfte von der medialen nach der lateralen Richtung hin, wogegen beim Gehen das ganze Körpergewicht mehr in der Sagittalebene, also mehr nach vorne wirkt. Auch die Einfassung der Femurenden ist in diesen beiden Richtungen eine andere. In der sagittalen Richtung, in der also das Femur beim Gehen mehr mechanisch in Anspruch genommen wird, ist ihre Einfassung an beiden Enden eine bewegliche, hingegen in lateraler Richtung oben eine bewegliche, unten eine fixe.

Aus der allgemeinen Mechanik ist es nun bekannt, dass wenn wir einen Stock oder eine Röhre — das ist gleich gültig — so belasten, dass seine beiden Enden beweglich sind, der Stock krümmt sich in einem Sinusbogen und bricht bei einer Überlastung genau in der Mitte *dass also die grösste mechanische Inanspruchnahme des Stockes in die Mitte fällt*. Wollen wir also einen Stock in seinem jeden Querschnitt gemäss seiner mechanischen Inanspruchnahme verfertigen, so würde er in der Mitte am dicksten ausfallen, bezgsw. das Rohr würde in der Mitte die dickste Wand haben. Wenn wir aber einen Stock unten unbeweglich einklemmen, dann fällt seine grösste Umbiegungsstelle nicht in die Mitte, sondern von dem unbeweglichen Ende weiter entfernt nach oben hin. Und diesen Fall sehen wir nun beim Femur in lateraler Richtung verwirklicht, da dieser im Kniegelenk in seitlicher Richtung unbeweglich ist.

Dreierlei Tatsachen sehen wir also hier nebeneinander. 1. Die Femurwand ist gegen ihrer Höhenmitte dicker als gegen die Epiphysis. 2. Die Knochenröhrchen sind gegen die Mitte (etwas höher) dicker als sonstwo. 3. Die mechanische Inanspruchnahme ist gegen die Mitte des Knochens (etwas höher) grösser als sonstwo. Ich glaube, uns hindert nichts daran, dass wir diese dritte Tatsache als die gleichsinnige Ursache der beiden vorderen bezeichnen.

Was nun die Existenz der kleineren, der zwei seitlichen, nicht so sehr ausgesprochenen Maxima und die zwei von ihnen eingefassten Minima anbetrifft, registriere ich jetzt bloss ihr Vorhandensein. Es bleibt ausgedehnteren Untersuchungen übrig festzustellen, inwiefern diese bei tierischen Femurs vorkommen und inwiefern ihre distale Lage mit den Kraftübertragungen von Knochen zu Knochen bezw. mit der ebenfalls endweisen Lage der Muskelinsertionen in Zusammenhang zu bringen sind.

Viel mehr lohnt sich die Aufmerksamkeit auf einem grundsächlichen Unterschied zwischen den Werten der Tab. XIV. und XV. zu richten. Wenn wir die Angaben gleicher Höhen aus der ventralen und lateralen Femurwand vergleichen wollen, so wird uns die Tatsache überraschen, dass wir keinen gleichen Wert links und rechts finden werden. Die Längenmasswerte sind in der lateralen Wand nicht nur überall grösser, als die Werte der entsprechenden Klasse in der ventralen Wand, sondern auch die engsten Kanallumen sind in der lateralen Wand dicker als die breitesten der ventralen Wände. Im Durchschnitt zeigen die einzelnen Werte folgende Unterschiede: in Osteonsdicke 40·7 mm., in Lumenbreite 21·4 mm., in Wanddicke 13 mm., und in der Zahl der Osteonen pro dm^2 43·2.

Der merkwürdigste Unterschied fällt uns aber dann ins Auge, wenn wir die Zahl der auf eine Flächeneinheit fallenden Osteondurchschnitte und ihr Verhältnis mit dem Maximal-Minimallängenwerte vergleichen. In der lateralen Wand stehen die Verhältnisse den früher Erfahrenen entsprechend: wo sich im Durchschnitt dicke Röhrrchen befanden, dort kommen in eine Flächeneinheit wenige, also gegenüber maximalen Längenmasswerten minimale Flächeneinheitswerte. In der ventralen Wand aber gehen Längenmass- und Flächeneinheitswerte parallel nebeneinander, von durchschnittlich dünneren Röhrrchen fällt eine geringere Zahl auf eine Flächeneinheit als von durchschnittlich dickeren. Das beste Beispiel, um dieses gegensätzliche Verhältnis demonstrieren zu können, bekommen wir, wenn wir die Angaben der ventralen Wand von der Höhe + 5, mit denen der lateralen Wand in der Höhe + 12 vergleichen; hier sehen wir kaum einen merklichen Unterschied in den Dickenwerten der Knochenröhrrchen und trotzdem fallen auf der einen Seite 18·5 auf der anderen bloss 12·3 Röhrrchen in gleiche Gesichtsfelder.

Dieser eigentümlichen Erscheinung können wir erst dann nachgeben, wenn wir gemäss unserer üblichen, oben schon benützten Methode auch hier untersuchen, wie sich numerisch die dünneren und dickeren Knochenröhrrchen zahlenmässig in den verschiedenen Regionen des Femurs verhalten. Deswegen betrachten wir in den sechs Tabellen XVI—XXI. die abschnittsweise zusammengezogenen Werte etwas näher.

Tabelle XVI.

| Der Schliff stammt von der Höhe | 0-9·5 | 10-19·5 | 20-29·5 | 30-39·5 | 40-49·5 | 50-59·5 | Osteonszahl |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| +12 | 18·0 | 70·2 | 50·4 | 6·3 | 1·8 | — | 17·8 |
| +11 | 16·0 | 77·0 | 52·0 | 16·0 | 2·0 | — | 22·1 |
| +10 | 25·0 | 72·0 | 48·0 | 10·0 | 2·0 | 2 | 13·4 |
| +7·5 | 20·0 | 56·0 | 51·0 | 26·0 | 7·0 | 1 | 14·5 |
| +5 | 15·3 | 60·3 | 55·0 | 15·3 | 1·8 | 0·9 | 18·5 |
| +2·5 | 30·5 | 47·9 | 55·5 | 22·89 | 2·2 | — | 13·3 |
| 0 | 49·9 | 38·0 | 49·5 | 17·3 | 0·9 | — | 13·3 |
| -2·5 | 49·8 | 50·8 | 47·4 | 6·7 | 4·7 | — | 13·3 |
| -5 | 47·0 | 54·0 | 42·0 | 7·0 | 1·0 | — | 13·1 |
| -7·5 | 66·0 | 49·0 | 28·0 | 11·0 | 1·0 | — | 11·1 |
| -10 | 46·0 | 78·0 | 23·0 | 6·0 | 1·0 | † | 10·7 |
| -12·5 | mi ? | ma ? | ma ? | ma ? | ma ? | ma ? | 11·7 |

Homo, femur, 19 jährig, ventrale Wand. Zehnerklassen bezüglich der Osteonsdicke, Frequenz der einzelnen Klassen. Unterschiede zwischen den mittleren Klassenwerten je 10 mm.

Tabelle XVII.

| Der Schliff stammt von der Höhe | 0-9·5 | 10-19·5 | 20-29·5 | 30-39·5 | 40-49·5 | 50-59·5 | Osteonszahl |
|---------------------------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| +12 | 1·04 | 72·8 | 71·76 | 10·4 | 4·16 | — | 12·3 |
| +11 | 2·07 | 70·2 | 63·9 | 9·4 | 0·9 | — | 12·5 |
| +10 | 2·61 | 64·38 | 76·56 | 15·65 | 0·87 | — | 11·1 |
| +7·5 | 3·6 | 49·5 | 77·4 | 22·5 | 2·7 | — | 10·7 |
| +5 | 1·0 | 44·0 | 79·0 | 33·0 | 3·0 | 3·0 | 9·6 |
| +2·5 | 1·8 | 47·7 | 77·7 | 25·2 | 6·3 | 0·9 | 10·6 |
| 0 | 6·3 | 50·4 | 71·1 | 27·0 | 0·9 | 1·8 | 10·8 |
| -2·5 | 1·0 | 66·0 | 78·0 | 10·0 | 2·0 | 1·0 | 10·8 |
| -5 | 4·0 | 83·0 | 66·0 | 7·0 | — | — | 11·8 |
| -7·5 | 2·0 | 79·0 | 58·0 | 18·0 | 4·0 | 1·0 | 8·9 |
| -10 | 5·1 | 59·1 | 60·1 | 26·5 | 5·1 | 3·06 | 8·0 |
| -12·5 | 3·0 | 72·0 | 71·0 | 11·0 | 6·0 | 1·0 | 7·5 |

Homo, femur, 19 jährig. Laterale Wand. Zehnerklassen bezüglich der Osteonsdicke, Frequenz der einzelnen Klassen. Unterschiede zwischen den einzelnen Klassen je 10 mm.

Tabelle XVIII.

| Der Schliff stammt von der Höhe | 0-45 | 5-95 | 10-145 | 15-195 | 20-245 | 25-295 | 30-345 | 35-395 | Osteons- zahl |
|---------------------------------------|-------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| +12 | 90·0 | 76·0 | 5·0 | — | — | — | — | — | 17·8 |
| +11 | 86·0 | 74·0 | 2·0 | — | — | 1·0 | — | — | 22·1 |
| +10 | 99·0 | 54·0 | 4·0 | 1·0 | — | 1·0 | 1·0 | — | 13·4 |
| +7·5 | 96·0 | 49·0 | 3·0 | — | — | — | — | — | 14·5 |
| +5 | 74·0 | 81·0 | 10·0 | 2·0 | — | — | — | — | 18·5 |
| +2·5 | 75·0 | 66·0 | 9·0 | 1·0 | — | — | — | 1·0 | 13·3 |
| 0 | 110·0 | 51·0 | 4·0 | 1·0 | — | — | — | — | 13·3 |
| -2·5 | 95·0 | 63·0 | 9·0 | 1·0 | 1·0 | — | — | — | 13·3 |
| -5 | 90·0 | 58·0 | 6·0 | 4·0 | 1·0 | — | — | — | 13·1 |
| -7·5 | 80·0 | 67·0 | 5·0 | — | — | — | — | — | 11·1 |
| -10 | 96·0 | 55·0 | 8·0 | 2·0 | — | — | — | — | 10·7 |
| -12·5 | 82·0 | 68·0 | 8·0 | 1·0 | 1·0 | 2·0 | — | — | 11·7 |

Homo, Femur, 19 jährig, ventrale Wand. Fünferklassen bezüglich der Lumenbreite, Frequenz der einzelnen Klassen. Unterschiede zwischen den mittleren Klassenwerten je 5 mm.

Tabelle XIX.

| Der Schliff stammt von der Höhe | 0-45 | 5-95 | 10-145 | 15-195 | 20-245 | 25-295 | 30-345 | 35-395 | 40-445 | 45-495 | Osteons- zahl |
|---------------------------------------|------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------------|
| +12 | 48·8 | 99·0 | 10·4 | — | 1·04 | — | 1·04 | — | — | — | 12·8 |
| +11 | 54·9 | 81·0 | 9·9 | — | 1·8 | — | — | — | — | — | 12·5 |
| +10 | 46·8 | 106·0 | 9·9 | — | — | — | — | — | — | — | 11·0 |
| +7·5 | 34·2 | 85·6 | 15·3 | 1·8 | 0·9 | 0·9 | — | — | 0·9 | — | 10·7 |
| +5 | 12·0 | 125·0 | 21·0 | 2·0 | — | 1·0 | — | — | — | — | 9·6 |
| +2·5 | 44·1 | 89·1 | 15·3 | 2·7 | 3·6 | 1·8 | — | — | 0·9 | 0·9 | 10·6 |
| 0 | 61·2 | 84·6 | 7·2 | 3·6 | — | 1·8 | — | 0·9 | — | — | 10·8 |
| -2·5 | 37·0 | 106·6 | 13·0 | 2·0 | 1·0 | — | — | — | — | — | 10·8 |
| -5 | 64·0 | 89·0 | 5·0 | — | 2·0 | — | — | — | — | — | 11·8 |
| -7·5 | 30·0 | 103·0 | 27·0 | — | 1·0 | 1·0 | — | — | — | — | 8·9 |
| -10 | 47·9 | 82·0 | 23·4 | 5·1 | 1·02 | 1·02 | — | — | — | — | 8·0 |
| -12·5 | 46·0 | 92·0 | 20·0 | 4·0 | — | — | — | — | — | — | 7·5 |

Homo, Femur, 19 jährig, laterale Wand. Fünferklassen bezüglich der Lumenbreite, Frequenz der einzelnen Klassen. Unterschiede zwischen den mittleren Klassenwerten je 5 mm.

Tabelle XX.

| Der Schliff stammt von der Höhe | 0-4·75 | 5-9·75 | 10-14·75 | 15-19·75 | Osteons- zahl |
|---------------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------------|
| +12 | 59·2 | 78·0 | 21·6 | 1·8 | 17·8 |
| +11 | 42·0 | 84·0 | 28·0 | 8·0 | 22·1 |
| +10 | 45·0 | 83·0 | 25·0 | 6·0 | 13·4 |
| +7·5 | 44·6 | 76·3 | 38·1 | 1·09 | 14·5 |
| +5 | 39·7 | 87·3 | 27·2 | 5·8 | 18·5 |
| +2·5 | 51·9 | 51·9 | 44·5 | 11·6 | 13·3 |
| 0 | 65·6 | 50·9 | 37·2 | 4·9 | 13·3 |
| -2·5 | 62·6 | 69·1 | 23·8 | 4·3 | 13·3 |
| -5 | 85·0 | 56·0 | 16·0 | 1·0 | 13·1 |
| -7·5 | 111·3 | 25·4 | 20·1 | 3·18 | 11·1 |
| -10 | 97·0 | 44·0 | 18·0 | — | 10·7 |
| -12·5 | mi ? | ma ? | ma ? | ma ? | 11·7 |

Homo, femur, 19 jährig, ventrale Wand. Fünferklassen bezüglich der Wanddicke, Frequenz der einzelnen Klassen. Unterschiede zwischen den einzelnen Klassen je 5 mm.

Tabelle XXI.

| Der. Schliff stammt von der Höhe | 0-4·75 | 5-9·75 | 10-14·75 | 15-19·75 | 20-24·75 | Osteons- zahl |
|--|-------------|--------------|-------------|------------|------------|------------------|
| +12 | 37·4 | 101·9 | 16·6 | 5·2 | — | 12·3 |
| +11 | 34·3 | 103·8 | 20·5 | 1·9 | — | 12·5 |
| +10 | 24·9 | 98·4 | 33·5 | 0·9 | — | 11·1 |
| +7·5 | 23·9 | 103·9 | 30·3 | 2·7 | — | 10·7 |
| +5 | 24 | 81·0 | 48·0 | 6·0 | 2·0 | ·96 |
| +2·5 | 25·6 | 98·8 | 33·2 | 5·7 | 0·9 | 10·6 |
| 0 | 19·5 | 90·9 | 39·6 | 4·5 | 2·7 | 10·8 |
| -2·5 | 30·0 | 103·0 | 21·0 | 3·0 | 1·0 | 10·8 |
| -5 | 36·0 | 105·0 | 17·0 | 1·0 | — | 11·8 |
| -7·5 | 51·0 | 81·0 | 27·0 | 3·0 | — | 8·9 |
| -10 | 34·6 | 78·5 | 35·0 | 4·2 | 2·0 | 8·0 |
| -12·5 | 34·0 | 103·0 | 22·0 | 3·0 | 1·0 | 7·5 |

Homo, femur, 19 jährig, laterale Wand. Fünferklassen bezüglich der Wanddicke, Frequenz der einzelnen Klassen. Unterschiede zwischen den einzelnen Klassenwerten je 5 mm.

Bezüglich der lateralen Seite werden wir sofort bemerken, dass wo hier — unseren bisherigen Erfahrungen entsprechend — Masswerte der Röhrenteile zugenommen haben, dort verschwanden die dünnen Röhren und vermehrten sich die verhältnissmässig dicken Röhren. So demgemäss sehen wir in den Tabellen XVII., XIX. und XXI. in der ersten Kolumne, in der Kolumne der kleinen Werte immer kleine Ziffern und innerhalb dieser kleinen Werte also innerhalb der ersten Kolumne ein Minimum, wo ein Minimum in der Zahl der Knochenröhren (rechts in der Tabelle) und ein Maximum, wo ein Maximum der Osteonen zu verzeichnen ist. Demgegenüber sehen wir in den Tabellen der ventralen Seiten (XVI., XVIII., XX.) in der Kolumne der kleinen Werte im allgemeinen auffallend grosse Ziffern stehen, dass also hier die dünnen Röhren auf Kosten der dickeren sich auffallend vermehrt haben. Und das Merkwürdige ist weiterhin, dass hier innerhalb dieser Kolumne die Ziffernmaxima dorthin fallen, wo rechts die Röhrendurchschnittszahl ein Minimum aufweist. Selbstverständlich kann diese minimale Osteonszahl in der Gesichtsebene bei einer maximalen Zahl der dünnen Röhren bloss in dem Falle bleiben, wenn neben den dünnen wenig dicke Röhren auftreten, und das ist auch der Fall, weil die Tafeln gegenüber den maximalen dünnen Werten bezüglich der dicken Röhren immer minimale Ziffern aufweisen.

Nach diesen Erfahrungen wird für uns vom grossen Interesse sein, zu wissen, ob die durchschnittlich dünneren, beziehungsweise im allgemeinen dünneren Röhren in den Knochenquerschnitten sich von den durchschnittlich dickeren auch topographisch absondern oder nicht. Um das festzustellen, schien mir unter den verschiedenen gemessenen Werten am geeignetsten die Verteilung der Osteone auf je einer Flächeneinheit zu untersuchen. Um das auszuführen, verfertigte ich die Tabellen XXII. und XXIII. Diese Tabellen ahmen in ihrer Form die Femurwand nach. Links ist die äussere Wand des Femurs, rechts die Markseite. Die einzelnen Zifferngruppen bezeichnen die entsprechenden Knochenhöhen, woher der Schliff stammt, die kleinen Quadrate entsprechen einem Quadratdecimeter, den ich als Einheit bei diesen Untersuchungen benützte. Diese kleinen quadratischen Gesichtsfelder sind in den entsprechenden Knochenhöhen so in eine Gruppe zusammengestellt, dass dadurch gewissermassen auch die Wanddicke des Femurs

Tabelle XXII.

+12

| | | | |
|----|----|----|----|
| 17 | 20 | 14 | 17 |
| 20 | 20 | 15 | 17 |
| 7 | 12 | 33 | 22 |

+11

| | | | | |
|----|----|----|----|----|
| 26 | 20 | 22 | 17 | 15 |
| 23 | 29 | 32 | 31 | 6 |

+10

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | | | |
| | | | | |

+7.5

| | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|
| 25 | 9 | 12 | 24 | 12 | 5 |
| 14 | 12 | 16 | 19 | 14 | 7 |
| 26 | 13 | 15 | 15 | 14 | 10 |

+5

| | | | | | |
|----|----|----|----|----|--|
| 20 | 12 | 12 | 11 | 11 | |
| 19 | 13 | 12 | 11 | 5 | |
| 26 | 15 | 12 | 11 | 10 | |

+2.5

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

0.4

| | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|
| 18 | 17 | 12 | 10 | 11 | 6 |
| 33 | 23 | 17 | 9 | 9 | 7 |
| 24 | 13 | 13 | 8 | 11 | 10 |

-2.5

| | | | | |
|----|----|----|----|----|
| 21 | 22 | 12 | 9 | 9 |
| 21 | 12 | 12 | 9 | 6 |
| 13 | 7 | 12 | 11 | 11 |

-5

| | | | | |
|----|----|----|----|---|
| 24 | 11 | 11 | 11 | 7 |
| 45 | 10 | 11 | 11 | 8 |
| | 11 | 11 | 11 | 1 |

-7.5

| | | | |
|----|----|----|----|
| 19 | 11 | 10 | 10 |
| 20 | 20 | 10 | 11 |
| 22 | 13 | 11 | 9 |

Tabelle XXIII.

+12

| | | | | | | |
|---|---|----|----|----|----|---|
| | 5 | 10 | 22 | 15 | 11 | 7 |
| 7 | 7 | 16 | 20 | 13 | 15 | |

+11

| | | | | | | |
|---|---|----|----|----|----|---|
| 4 | 9 | 19 | 15 | 17 | 12 | 3 |
| 4 | 9 | 16 | 18 | 22 | 13 | |

+10

| | | | | | | | | |
|---|---|----|----|----|----|----|----|---|
| 5 | 8 | 10 | 10 | 12 | 21 | 13 | 17 | 8 |
| 8 | 9 | 9 | 11 | 13 | 16 | 16 | 10 | 3 |

-7.5

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|----|----|----|----|----|----|---|
| 6 | 9 | 7 | 11 | 15 | 12 | 17 | 15 | 12 | 4 |
| | 6 | 9 | 6 | 11 | 12 | 14 | 15 | 15 | 8 |

+5

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|----|----|----|----|----|---|
| | 9 | 6 | 9 | 10 | 14 | 13 | 11 | 10 | 3 |
| 7 | 7 | 9 | 7 | 10 | 15 | 10 | 13 | 10 | |

+2.5

| | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| | 12 | 11 | 10 | 10 | 14 | 11 | 12 | 10 | 7 |
| 9 | 10 | 10 | 10 | 13 | 12 | 19 | 11 | 9 | |

0.2

| | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 10 | 9 | 8 | 12 | 11 | 13 | 16 | 12 | 2 |
| 7 | 11 | 13 | 14 | 13 | 16 | 19 | 9 | 2 |

-2.5

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|---|---|
| 9 | 10 | 10 | 12 | 16 | 15 | 5 | 6 |
| 10 | 10 | 10 | 11 | 14 | 13 | 8 | |

-5

| | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|---|---|
| | 11 | 12 | 13 | 16 | 14 | 6 | 3 |
| 10 | 10 | 10 | 17 | 18 | 13 | 4 | |

-7.5

| | | | | |
|----|----|----|----|---|
| 16 | 12 | 14 | 11 | 6 |
| 10 | 10 | 11 | 12 | |
| 10 | 4 | 8 | 7 | 4 |

10 | 9 | 8 | 8 | 7

-10

| | | | |
|----|----|----|---|
| 14 | 12 | 11 | 4 |
| 8 | 16 | 11 | 4 |
| 19 | 23 | 10 | 8 |
| 16 | 17 | 11 | 1 |

-10

| | | | | |
|----|----|---|---|---|
| 14 | 6 | 4 | 7 | 1 |
| 13 | 8 | 7 | 6 | 1 |
| 15 | 7 | 6 | 6 | 5 |
| 17 | 13 | 6 | 3 | 7 |

-12.5

| | | | |
|----|----|----|---|
| 18 | 15 | 11 | 4 |
| 28 | 11 | 7 | 2 |
| 17 | 11 | 7 | 8 |
| 16 | 8 | 9 | 6 |

-12.5

| | | | | |
|---|----|----|----|---|
| 8 | 12 | 9 | 6 | 2 |
| 5 | 10 | 10 | 9 | 5 |
| 9 | 11 | 14 | 9 | |
| 9 | 16 | 16 | 8 | |
| 3 | 13 | 11 | 6 | |
| 9 | 12 | 12 | 6 | |
| 6 | 9 | 5 | 3 | |
| 7 | 6 | 7 | 13 | |
| 6 | 9 | 5 | 6 | |
| 9 | 4 | 3 | 4 | |
| | 4 | 5 | 7 | |

Die zwei Tafeln zeigen, wie sich die dünnen bezgsw. dicken (fette Ziffern in dicken Rahmen) Osteonen in den nacheinanderfolgenden Höhen des Femurs verteilen. Links die äussere, rechts die innere (Marksseite) Wand. Die links stehenden Ziffern zeigen die entsprechenden Höhen, wenn fett gedruckt: zugleich die Maximal-, wenn petit die Minimalstellen. In der Höhe +2.5 und +10 leere Klassen, weil die entsprechenden Schiffe und Zeichnungen in dem Zusammenbruch 1918 verloren gegangen sind.

versinnlicht ist. Auf der wentralen Femurseite habe ich jene Quadrate, wo weniger als 12 Osteonen sich befanden, an der lateralen, hingegen jene die weniger als 10 Röhrrchen enthalten als solche Felder bezeichnet, die die durchschnittlich dickeren Röhrrchen enthalten. Um die Lage der dicken Knochenröhrrchen besser hervorzuheben, habe ich diese, entsprechend der früheren Bezeichnungsmethode, in dickern Rahmen mit fettgedruckten Ziffern bezeichnet.



Und wenn wir nun nach diesen orientierenden Worten diese Tabellen durchmustern, so wird uns sofort auffallen, dass die mehr dünneren und die mehr dickeren Knochenröhrchen in der Länge der Femurwand wirklich topographisch gesondert verlaufen. In der vorderen Femurwand sind ventral in auffallend breiter Lage durchschnittlich dünne Röhrchen und nur markseits dicke. In der lateralen nehmen die dünnen Osteone eine mittlere Lage ein, verlaufen aber in einer Wellenlinie, deren grösste Entfernung von der Aussenseite mit den dominirenden Röhrchenmaximum zusammenfällt.

Wir sind noch nicht so weit, dass wir all diese Struktur- und Architekturerscheinungen mechanisch motivieren könnten. Nur eines ist klar vor mir. Die Femurwand ist vorne am dünnsten, hinten am dicksten. Ein zufolge der Körperlast einem Druck ausgesetzter Femur ist — wie allbekannt — fortwährend einem Umbiegen ausgesetzt und zwar in einer Weise, wobei die vordere Röhrenwand einen Zug, die hintere einen Druck erleidet. Aus der Mechanik ist bekannt, dass mechanisch äquale Zug- und Druckleistungen nicht durch gleichdicke Zylinder derselben Materie erreicht werden, sondern dass zu gleicher Zugleistung immer dünnere Zylinder nötig sind. In einem gebogenen Röhrenzylinder wird die Aussenseite mit der gleichen Kraft gezogen, mit welcher die innere gedrückt wird. Das gilt auch für unser Femur, und wie in dem Organismus alles und immer mit einem minimalen Kraft- und Materieaufwand geleistet wird, ist es selbstverständlich, dass das Femur ventral: auf seiner Zugsseite dünner ist als dorsal: auf seiner Druckseite.

Uns hindert weiterhin nichts daran, der, auf die ventrale Femurwand im ganzen geeigneten Erklärung auch auf seine Teile eine Gültigkeit zu geben. Wir denken folgenderweise. Einem Zug ausgesetzte dünne Wand verliert von ihrer Zugfestigkeit gar nichts, wenn sie selbst an der dem Zug mehr ausgesetzten äusseren Seite aus hinreichend zugfesten dünnen Röhrchen aufgebaut ist. Sie wird aber durch die feinen Röhrchen leichter und elastischer.

Und damit haben wir — glaube ich — eine hinreichende Erklärung dafür gegeben, weshalb in der ventralen Wand bei gleicher Durchschnittszahl der Werte überwiegend mehr dünne Knochenröhrchen auftreten, als in der lateralen.

Nicht so leicht ist eine Erklärung für die kompliziertere Struktur der lateralen Seite zu geben. Im allgemeinen können wir



nur sagen, dass diese Seite unter der Wechselnden Wirkung des Zuges und Druckes steht, in dieser Richtung ist auch die Knochen-einfassung eine andere als in sagittaler Richtung und vielleicht mit diesen komplizierten Verhältnissen steht ihr verwickelterer. Aufbau im Zusammenhang. Hier werden wir erst dann Äusserungen machen können, wenn wir an verschiedenen Objecten ein hinreichendes Vergleichungsmaterial gewonnen haben und in der Beurteilung der Knochenstrukturen nicht nur einen toten (Belastung, Bewegung) sondern auch der lebenden Mechanik (solche sind die mechanischen Wirkungen der Muskeln, Capsulae und Ligament) Platz geben.

Ein geschlossenes Ganzes würde diese Arbeit erst dann bilden und auf die Frage der Knochenbau, könnten wir erst dann eine hinreichende Antwort geben, wenn wir Zeit und Gelegenheit dazu zur Verfügung hätten mit der gleichen Genauigkeit auch die anderen zwei Knochenseiten systematisch durcharbeiten. Da es mir an Zeit mangelte, konnte ich diesbezüglich nur einen kurzen Einblick in den Knochenbau gewinnen, indem ich mindestens eine, die mittlere (0) Querschnittsebene systematisch durcharbeitete. Ich kann keinen besonderen Grund dafür geben, warum ich eben diese Ebene gewählt habe.

III. a. 2.

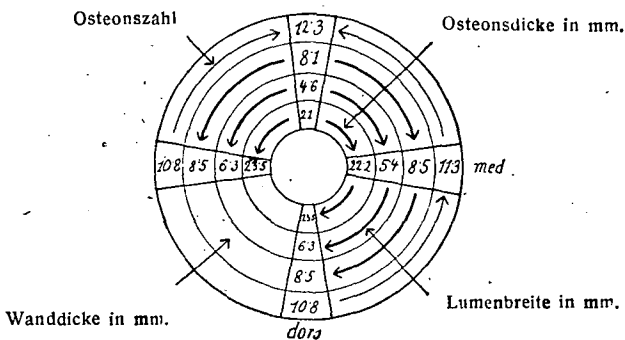
Schliffe aus der mittleren Höhe des Femurs.

Hier wurde der mediale Sector mit O_1 , der laterale mit O_2 , der dorsale O_3 , und der ventrale mit O_4 bezeichnet. Um die Durchschnittswerte der verschiedenen messbaren Bauteile anschaulich zu machen, konnte ich hier mit einem Ober- und Untereinanderlegen der Angaben nicht auskommen, sondern ich musste mich der Gestaltung der Untersuchungsebene aneignen und demgemäss die Resultate auf eine Kreisfläche auftragen.

In der Tabelle XXIV. sind die Änderungen der Durchschnittswerte in der Weise veranschaulicht, dass in dieselbe Zone der Herkunft entsprechend (ob sie sich auf die laterale, oder ventrale Hälfte bezogen) immer gleiche Werte kamen; und zwar von aussen nach innen in der Reihe: 1. Durchschnittszahl der Osteone auf der Flächeneinheit, 2. Wanddicke der Knochenröhrchen,

3. Kanallumendurchmesser, 4. Osteondurchmesser. Die krummen Pfeile zeigen uns anschaulich, wie alle Masswerte der Osteone von der ventralen Seite sowohl der lateralen wie der medialen nach zunehmen, und ein weiteres Zunehmen von der medialen nach der dorsalen Seite hin. Selbsterständlich nimmt die Zahl der Osteone Schritt für Schritt mit dem Steigen ihrer diametralen Werte ab, wie wir das von der umgekehrten Richtung der Pfeile der betreffenden Zone sofort bemerken. Das weist im allgemeinen darauf hin, dass in der Querschnittsebene in dorsolateraler Richtung die Osteone immer umfangreicher werden.

Tabelle XXIV.



Die Veränderung der Durchschnittswerte der mittleren Femurpartie in allen vier Segmenten. Die krummen Pfeile zeigen in welcher Richtung die Werte zunehmen.

Um auch hier die eventuelle Verteilung der dickeren und dünneren Knochenröhrchen festzustellen, untersuchte ich auch hier abschnittsweise das Benehmen und die Verteilung der einzelnen Werte. In den Tabellen XXV., XXVI., XXVII. sehen wir das Resultat dieser Zusammenstellung. In der äusseren Zone sehen wir die Osteonendurchschnittszahl der betreffenden Viertel; diese Ziffern sind in allen drei Tabellen gleich und auch gleich mit dem der Tab. XXIV. In der Nacheinanderfolge der Zonen a), b), c), d), e) stehen von innen nach aussen jene Klassenwerte, die in den früheren Tabellen von rechts nach links folgten und zwar bei dem Osteonsdurchschnitt von 0 angefangen je 10 mm. jede Klasse, bei dem Lumendurchmesser und Wanddicke je 5 mm. jede Klasse. Wenn wir die einzelnen Radialfelder betrachten, sehen wir, dass die einzelnen Werte auch hier um einen Mittelwert variieren, in der

der dickeren oder dünneren Osteone gegenüber den Maximalwerten ist das gleiche, wie wir es zuletzt bei der lateralen Wand erfahren haben: Mit Abnahme der Osteonzahl in der Flächeneinheit erhöhen sich alle messbaren Werte bei den dicken Osteonen, bei den dünnen hingegen verringern sich dieselben.

Wenn wir nun hier auf Grund dieser Resultate das Querschnittsbild des Femurs in seiner mittleren Höhe rekonstruieren wollen, so bekommen wir ein eigentümliches Bild, das uns Fig. 4. zeigt. Hier sind die Stellen wo sich durchschnittlich dünnere Osteonen befinden leer, wo die dickeren sind, punktiert.

Wir sehen hier das Merkwürdige, dass die verschiedenen Knochenröhrchen in dem Femurquerschnitt zwei excentrische Zonen aufbauen, als wenn das Femur aus zwei excentrischen Zylindern zusammengesetzt wäre, deren medioventrale Wand noch dazu dicker ist als die laterodorsale.

Vollständig wird diese Assymetrie dadurch, dass lateral und dorsolateral noch eine rinnenartige appositive Schichte aus dicken Röhren darauf kommt (siehe Fig. 4.). Wenn wir von der laterodorsalen Seite gegen die dorsomediale eine Linie gezogen denken, wie in der Fig. 3. zu sehen ist, so teilen wir dadurch das Femur in zwei entgegengesetzte ungleiche Teile.

Was für einen Sinn dieser Bau aus excentrischen Zylindern mit assymetrisch verdickten Wänden hat und inwiefern diese Teile Veränderungen in dem Verlauf des Femurs ausgesetzt sind, darauf eine Antwort zu geben, bleibt ausgedehnteren Untersuchungen vorbehalten. Hier können wir bloss im Allgemeinen soviel sagen, dass die Centrumverschiebung der Zylinder und ihre einseitige

Fig. 4.

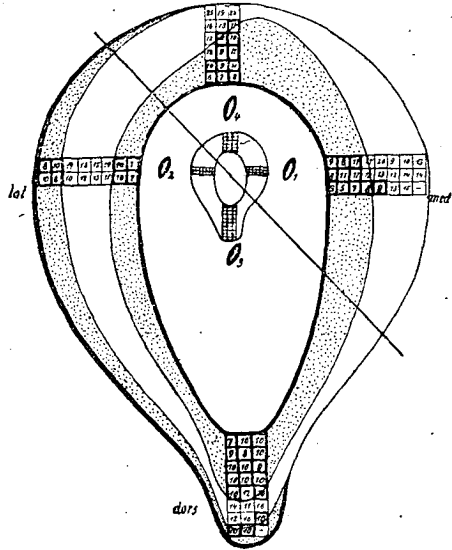


Fig. 4. Querschnittsbild des Femurs in seiner Mitte. Punktiert ist die Zone der dickeren Osteone.

Verdickung ebensowohl die Lage der appositiven Schichte — wie Fig. 5. zeigt — der excentrisch wirkenden Belastung des Femurs und auch jener Wirkungsrichtung entspricht, welche die Belastung und die Bewegung des Femurs resultiert. Von der lateralen Wand haben wir nun schon gesehen, dass dort Zylinderwände und die Appositionsschichte ihre Lage bezgsw. Dicke im Verlauf des Knochen verändern. Diese Veränderung sind aber Gesetzmässigkeiten unterworfen, nämlich wo in der einen Schichte Maximalwerte auftreten, dort erscheinen in der anderen minimale usw.

III. b.

Schliffe aus der lateralen Femurwand eines 8 jährigen Knaben.

Hier wollte ich diese Femurseite ebenso systematisch untersuchen, wie oben bei dem 19 jährigen. Die Schliffe wurden hier entsprechend ihrer Höhenlage mit -7.5 , -5 , -2.5 , 0 , $+2.5$, $+5$, $+7.5$ bezeichnet. Die Tabelle XXVIII. zeigt uns, dass ein minimum-maximum System der Haversröhrchen auch hier vorhanden ist, wenn auch nicht so expressiv wie bei dem 19 jährigen. Wenn wir die Angaben dieser Tabelle mit der XXIX.*), die die entsprechenden früher schon besprochenen Werte des 19 jährigen Femurs wiedergibt, vergleichen, so werden wir sehen, dass nicht viel beträchtliche Unterschiede bezüglich der messbaren Werte zu verzeichnen sind. Immerhin sieht man, dass die Dimensionen mit dem Alter zunehmen, vor allem aber, dass sich die relative Lage der maximal-minimal Systeme mit dem Alter verändert.

Wenn wir untersuchen, ob die Röhrchen in ihren verschiedenen Dimensionen auch hier variiren und ob auch hier durchschnittlich dünnere und dickere Gruppen der Osteone festzustellen sind, mögen wir dazu die Tabellenpaare XXX. : XXXI., XXXII. : XXXIII.,

*) Diese Tabelle, und ebensowohl die folgenden Tabellen XXXI., XXXIII. und XXXV. sind mit unseren früheren XV., XVII., XX. und XXI. identisch.

Fig. 5.

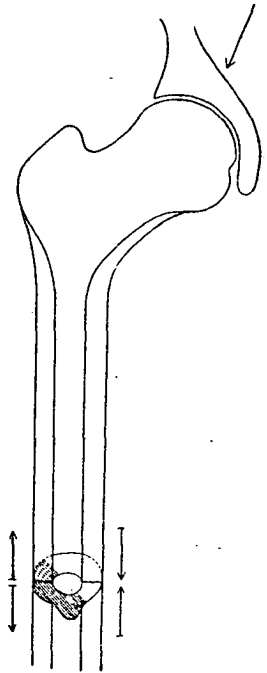


Fig. 5. Die Fig. 3. in die Femur eingezeichnet. Die Pfeile zeigen die Kräfte-wirkung.

XXXIV. : XXXV. vergleichen, wo die entsprechenden Werte des 8 und 19 jährigen einander gegenüberstehen. Der Vergleich wird sofort zeigen: 1. dass die kleineren u. grösseren. Werte auch hier unterscheidbar sind, 2. dass die Veränderung derselben entsprechend, wie die bei dem 19 jährigen erfolgte, 3. dass auch die Grenzwerte gleich sind, indem sich (auf das 100×100 bezügliche Bild) vergrösserte die Dicke der dünnen Knochen-röhrchen zwischen 0—20 mm. die Wanddicke zwischen 0—10 und der Lumendurchmesser zwischen 0—5 bewegt. Mit 20 mm. Dicke, 5 mm. Lumendurchmesser und 10 mm. Wanddicke fangen die dickeren Osteone an. Einen Unterschied zwischen dem 8 und 19 jährigen Femur können wir bloß aus dem Verhältnisse ziehen, welches zwischen den durchschnittlich dünneren und durchschnittlich dickeren Röhrchen (ihrer messbaren Werte), bezüglich der ganzen Femurwand, feststellbar ist.

Die Tabelle XXXVI wo dementsprechend die verschiedenen Werte aus dem jungen und alten Femur gegeneinander gestellt sind; zeigt uns, dass mit dem Alter die dünneren Osteone ab, die

Tabelle XXVIII.

| Der Schliß stammt | Osteondicke in mm. | Lumenbreite in mm. | Wanddicke in mm. | Osteonszahl |
|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------|
| +7·5 | 20·1 | 5·3 | 7·5 | 9·9 |
| +5 | 23·5 | 6·7 | 8·7 | 9·6 |
| +2·5 | 18·9 | 5·1 | 7·8 | 11·3 |
| 0 | 21·4 | 5·4 | 8·1 | 10·2 |
| -2·5 | 23·3 | 6·1 | 8·8 | 6·6 |
| -5 | 21·5 | 6·1 | 7·7 | 7·6 |
| -7·5 | 20·3 | 5·1 | 7·4 | 8·0 |

Homo, femur, 8 jährige Knabe, laterale Wand. Durchschnittswerte der Osteonen in der Nacheinanderfolge der Schliße von verschiedenen Höhen.

Tabelle XXIX.

| Der Schliß stammt | Osteondicke in mm. | Lumenbreite in mm. | Wanddicke in mm. | Osteonszahl |
|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|-------------|
| +12 | 20·2 | 5·9 | 7·8 | 12·3 |
| +11 | 19·7 | 5·6 | 6·9 | 12·5 |
| +10 | 21·0 | 6·0 | 7·5 | 11·1 |
| +7·5 | 21·5 | 6·4 | 7·7 | 10·7 |
| +5 | 23·9 | 7·4 | 8·6 | 9·6 |
| +2·5 | 23·4 | 7·2 | 8·1 | 10·6 |
| 0 | 22·8 | 6·4 | 8·2 | 10·8 |
| -2·5 | 21·0 | 6·4 | 7·2 | 10·8 |
| -5 | 19·1 | 5·5 | 6·8 | 11·8 |
| -7·5 | 20·6 | 7·0 | 6·8 | 8·9 |
| -10 | 22·6 | 7·5 | 7·9 | 8·0 |
| -12·5 | 20·9 | 6·6 | 6·7 | 7·5 |

Homo, femur, 19 jährig; sonst wie Tab. XXVIII.

Tabelle XXX.

| Der Schliff stammt | 0-9.5 | 10-19.5 | 20-29.5 | 30-39.5 | 40-49.5 | 50-59.5 | Osteons- zahl |
|-----------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------|
| +7.5 | 4 | 67 | 78 | 13 | — | — | 9.9 |
| +5 | — | 48 | 81 | 19 | 1 | 1 | 9.6 |
| +2.5 | 14 | 56.7 | 76.7 | 10.5 | 2.1 | — | 11.3 |
| 0 | 4 | 56 | 78 | 16 | 1 | — | 10.2 |
| -2.5 | 8.7 | 49.5 | 65.4 | 28.3 | 7.6 | 1.09 | 6.6 |
| -5 | 5.3 | 69.5 | 52.4 | 25.7 | 5.3 | 1.07 | 7.6 |
| -7.5 | 5.5 | 69.3 | 58.3 | 12.1 | 3.3 | 1.1 | 8.0 |

Homo, femur, 8 jähriger Knabe, laterale Wand. Zehnerklassen bezüglich der Osteonsdicke, Frequenz der einzelnen Klassen. Unterschiede zwischen der Klassenmittelwerte je 10 mm.

Tabelle XXXI.

| Der Schliff stammt | 0-9.5 | 10-19.5 | 20-29.5 | 30-39.5 | 40-49.5 | 50-59.5 | 80-89.5 | 90-99.5 | Osteons- zahl |
|-----------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|------------------|
| +12 | 1.04 | 72.8 | 71.76 | 10.4 | 4.16 | — | — | — | 12.3 |
| +11 | 2.07 | 70.2 | 63.9 | 9.4 | 0.9 | — | — | — | 12.5 |
| +10 | 2.61 | 64.38 | 76.56 | 15.65 | 0.87 | — | — | — | 11.1 |
| +7.5 | 3.6 | 49.5 | 77.4 | 22.5 | 2.7 | — | — | — | 10.7 |
| +5 | 1.0 | 44 | 79.0 | 33.0 | 3.0 | 3.0 | — | — | 9.6 |
| +2.5 | 1.8 | 47.7 | 77.7 | 25.2 | 6.3 | 0.9 | — | — | 10.6 |
| 0 | 6.3 | 50.4 | 71.1 | 27.0 | 0.9 | 1.8 | 0.9 | 0.9 | 10.8 |
| -2.5 | 1.0 | 66.0 | 78.0 | 10.0 | 2.0 | 1.0 | — | — | 10.8 |
| -5 | 4.0 | 83.0 | 66.0 | 7.0 | — | — | — | — | 11.8 |
| -7.5 | 2.0 | 79.0 | 58.0 | 18.0 | 4.0 | 1.0 | — | — | 8.9 |
| -10 | 5.1 | 59.1 | 60.16 | 26.52 | 5.1 | 3.06 | — | — | 8.0 |
| -12.5 | 3.0 | 72.0 | 71.0 | 11.0 | 6.0 | 1.0 | — | — | 7.5 |

Homo, femur, 19 jährig; sonst wie Tab. XXX.

Tabelle XXXII.

| Der Schliff stammt | 0-4.5 | 5-9.5 | 10-14.5 | 15-19.5 | 20-24.5 | 25-29.5 | 30-34.5 | 35-39.5 | Osteonszahl |
|--------------------|-------------|--------------|------------|------------|---------|----------|-------------|-------------|-------------|
| +7.5 | 97 | 50 | 6 | 3 | 6 | — | — | — | 9.9 |
| +5 | 64 | 68 | 10 | 8 | 1 | 1 | 1 | — | 9.6 |
| +2.5 | 100 | 48 | 5 | 4 | 3 | — | — | — | 11.3 |
| 0 | 100 | 45 | 5 | 4 | 2 | 3 | — | — | 10.2 |
| -2.5 | 80.25 | 57.78 | 9.6 | 6.4 | 3.2 | — | 1.07 | 1.07 | 6.6 |
| -5 | 102.8 | 31.8 | 5.3 | 10.6 | 6.3 | 2.1 | — | — | 7.6 |
| -7.5 | 89.3 | 46.8 | 4.4 | 6.54 | 10.9 | 1.09 | — | — | 8.0 |

Homo, femur, 8 jähriger Knabe, laterale Wand. Fünferklassen bezüglich der Lumenbreite; Frequenz der einzelnen Klassen. Unterschiede zwischen den Mittelwerte der Nachbarklassen je 5 mm.

Tabelle XXXIII.

| Der Schliff stammt | 0-4.5 | 5-9.5 | 10-14.5 | 15-19.5 | 20-24.5 | 25-29.5 | 30-34.5 | 35-39.5 | 40-44.5 | 45-49.5 | Osteonszahl |
|--------------------|-------------|--------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|---------|---------|---------|-------------|
| +12 | 48.8 | 99.9 | 10.4 | — | 1.04 | — | 1.04 | — | — | — | 12.3 |
| +11 | 54.9 | 81.0 | 9.9 | — | 1.8 | — | — | — | — | — | 12.5 |
| +10 | 46.8 | 106.2 | 9.9 | — | — | — | — | — | — | — | 11.1 |
| +7.5 | 34.2 | 85.6 | 15.3 | 1.8 | 0.9 | 0.9 | — | — | 0.9 | — | 10.7 |
| +5 | 12.0 | 125.0 | 21.0 | 2.0 | — | 1.0 | — | — | — | — | 9.6 |
| +2.5 | 44.1 | 89.1 | 15.3 | 2.7 | 3.6 | 1.8 | — | — | 0.9 | 0.9 | 10.6 |
| 0 | 61.2 | 84.6 | 7.2 | 3.6 | — | 1.8 | — | 0.9 | — | — | 10.8 |
| -2.5 | 37.0 | 106.0 | 13.0 | 2.0 | 1.0 | — | — | — | — | — | 10.8 |
| -5 | 64.0 | 89.0 | 5.0 | — | 2.0 | — | — | — | — | — | 11.8 |
| -7.5 | 30.0 | 103.0 | 27.0 | — | 1.0 | 1.0 | — | — | — | — | 8.9 |
| -10 | 47.9 | 82.0 | 23.4 | 5.1 | 1.02 | 1.02 | — | — | — | — | 8.0 |
| -12.5 | 46.0 | 92.0 | 20.0 | 4.0 | — | — | — | — | — | — | 7.5 |

Homo, femur, 19 jährig; sonst wie Tab. XXXII.

Tabelle XXXIV.

| Der Schliff stammt | 0-4·75 | 5-9·75 | 10-14·75 | 15-19·75 | 20-24·75 | Osteonszahl |
|--------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|----------|-------------|
| +7·5 | 31·0 | 102·0 | 26·0 | 3·0 | — | 9·9 |
| +5 | 19·2 | 96·3 | 41·7 | 2·1 | — | 9·6 |
| +2·5 | 37·0 | 88·0 | 30·0 | 4·0 | — | 11·3 |
| 0 | 19·0 | 92·0 | 45·0 | 2·0 | — | 10·2 |
| -2·5 | 26·5 | 66·8 | 48·8 | 10·6 | 1·06 | 6·6 |
| -5 | 43·5 | 64·7 | 30·7 | 9·5 | 1·06 | 7·6 |
| -7·5 | 37·0 | 65·4 | 38·1 | 4·4 | 2·18 | 8·0 |

Homo, femur, 8 jähriger Knabe, laterale Wand. Fünferklassen bezüglich der Wanddicke, Frequenz der einzelnen Klassen. Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Nachbarklassen je 5 mm.

Tabelle XXXV.

| Der Schliff stammt | 0-4·75 | 5-9·75 | 10-14·75 | 15-19·75 | 20-24·75 | Osteonszahl |
|--------------------|-------------|--------------|-------------|------------|------------|-------------|
| +12 | 37·4 | 101·9 | 16·6 | 5·2 | — | 12·3 |
| +11 | 34·3 | 103·8 | 20·5 | 1·9 | — | 12·5 |
| +10 | 24·9 | 98·4 | 33·5 | 0·9 | — | 11·1 |
| +7·5 | 23·9 | 103·9 | 30·3 | 2·7 | — | 10·7 |
| +5 | 24·6 | 81·0 | 48·0 | 6·0 | 2·0 | 9·6 |
| +2·5 | 25·6 | 98·8 | 33·2 | 5·7 | 0·9 | 10·6 |
| 0 | 19·5 | 90·9 | 39·6 | 4·5 | 2·7 | 10·8 |
| -2·5 | 30·0 | 103·0 | 21·0 | 3·0 | 1·0 | 10·8 |
| -5 | 36·0 | 105·0 | 17·0 | 1·0 | — | 11·8 |
| -7·5 | 51·0 | 81·0 | 27·0 | 3·0 | — | 8·9 |
| -10 | 34·6 | 78·5 | 35·7 | 9·2 | 2·0 | 8·0 |
| -12·5 | 34·0 | 103·0 | 22·0 | 3·0 | 1·0 | 7·5 |

Homo, femur, 19 jährig; sonst wie Tab. XXXIV.

Tabelle XXXVI.

| Durchschnittswerte | | Osteonsdicke in mm. | Lumenbreite in mm. | Wanddicke in mm. |
|---------------------------------|----------------|---------------------|--------------------|------------------|
| Femur eines 8 jährigen Knabens | Dünne Osteonen | 65·0 | 91·0 | 115·0 |
| | Dicke Osteonen | 94·7 | 69·0 | 44·4 |
| Femur eines 19 jährigen Knabens | Dünne Osteonen | 63·3 | 44·0 | 127·0 |
| | Dicke Osteonen | 95·7 | 116·0 | 33·0 |

Vergleich der Mittelwerte der Knochenröhrchen eines 8 und 19 jährigen.

dickeren aber zunehmen. Auch diese Erscheinung passt schön zu unserer mechanischen Auffassung, demgemäss mit der Belastung die Osteonen-Werte zunehmen.

Wenn wir unserer früheren Übung entsprechend auf Grund dieser Tabelle XXX—XXXV.

die Lage der dünneren und dickeren Osteonen in der lateralen Femurwand rekonstruieren dann entsteht ein Bild wie wir es in der Tabelle XXXVII. sehen. Vergleichen wir diese figurliche Tafel mit einer solchen des erwachsenen Kindes (Tabelle XXXVIII.) dann sehen wir, dass das kindliche Femur in seinen lateralen Wand eine entsprechende Architektur aufweist, wie der obere Teil des erwachsenen Femurs. Es weist darauf hin dass das maximal-minimal System mit dem Alter aufwärts wandert. Um diese Erscheinung zu versinnbildern, konstruierte ich die Figur 6. Die Dicke des Femurs ist hier stark entstellt, um dadurch die zwei kurven von einander etwas entfernt aufzeichnen zu können. Die Stellen der maximal und minimal Werte sind auf Grund der vorherigen Tafeln zusammengestellt. Die entsprechenden drei Maximalpunkte sind mit zwei dicken, die zwei Minimalpunkte mit dünnen Pfeilen verbunden (diese letzteren blos an ihren Enden erkennbar.)

Wollen wir uns darüber leicht orientieren, wie sich die

Fig. 6.

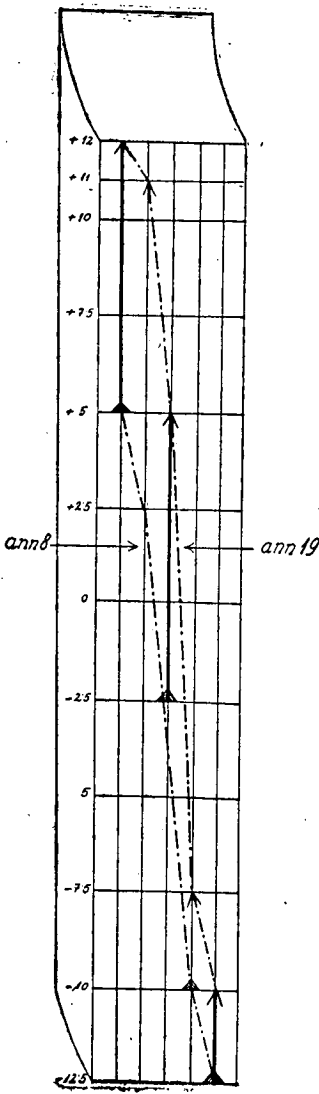


Fig. 6. Schema aus der lateralen Femurwand um die Verschiebung der Maximal-Minimalwerte des neunzehnjährigen (ann 19) gegenüber des 8 jährigen (ann 8) zu veranschaulichen. Die Ziffern zeigen die Höhen des Femurs von der Mitte (0) in cm. gerechnet.



Tabelle XXXVIII.

| | | | | | | | | | |
|-----|----------|----------|----------|----|----|----------|----------|----|----------|
| +12 | 5 | 10 | 22 | 15 | 11 | 7 | | | |
| | 7 | 7 | 16 | 20 | 13 | 15 | | | |
| +11 | 4 | 9 | 19 | 15 | 17 | 12 | 3 | | |
| | 4 | 9 | 16 | 18 | 22 | 13 | | | |
| +10 | 5 | 8 | 10 | 10 | 12 | 21 | 13 | 17 | 8 |
| | 8 | 9 | 9 | 11 | 13 | 16 | 16 | 10 | 3 |

Tabelle XXXVII.

| | | | | | |
|-------|------------|------------|------------|----------|----------|
| +7.5 | 7 | 11 | | | |
| | 7 | 11.8 | | | |
| | 7.7 | 7.6 | | | |
| | 8.5 | 10 | | | |
| | 8.5 | 11 | | | |
| +5 | 10.2 | 10.2 | | | |
| | 10.6 | 11.5 | | | |
| +2.5 | 9.9 | 14 | 13.2 | | |
| | 8.2 | 14 | 13.2 | | |
| | 7.4 | 13 | 10 | | |
| | 7.4 | 14.9 | 9.9 | | |
| 0 | 9.1 | 13.2 | 7 | | |
| | 8.3 | 10.7 | 8.3 | | |
| | 9.1 | 13.2 | 13.2 | | |
| | 5.8 | 14 | 11.5 | | |
| | 8.2 | 12.4 | 9.9 | | |
| | 9.2 | 12.4 | 9.9 | | |
| -2.5 | 6 | 5 | 8 | | |
| | 6 | 12 | 8 | | |
| | 3 | 8 | 9 | | |
| | 5 | 8 | 4 | | |
| -5 | 6 | 14 | 3 | | |
| | 6 | 9 | 3 | | |
| | 6 | 10 | 7 | | |
| | 9 | 10 | 6 | | |
| | 9 | 12 | 3 | | |
| | 7 | 12 | 5 | | |
| -7.5 | 9 | 11 | 9 | | |
| | 7 | 11 | 5 | | |
| | 7 | 10 | 4 | | |
| | 10 | 10 | 6 | | |
| | 7 | 10 | 2 | | |
| | 8 | 10 | 9 | | |
| -10 | 14 | 6 | 4 | 7 | 1 |
| | 13 | 8 | 7 | 6 | 1 |
| | 15 | 7 | 6 | 6 | 5 |
| | 17 | 13 | 6 | 3 | 7 |
| -12.5 | 8 | 12 | 9 | 6 | 2 |
| | 5 | 10 | 10 | 9 | 6 |
| | 9 | 11 | 14 | 9 | |
| | 9 | 16 | 16 | 8 | |
| | 3 | 3 | 11 | 6 | |
| | 9 | 12 | 12 | 6 | |
| | 6 | 9 | 5 | 3 | |
| | 7 | 6 | 7 | 13 | |
| | 6 | 9 | 5 | 6 | |
| | 9 | 4 | 3 | 4 | |
| | 4 | 5 | 7 | | |

Tab. XXXVII. Die Verteilung der dünneren bzw. dickeren (fette Ziffern in dicken Rahmen) Osteonen in der lateralen Femurwand bei einem 8 jährigen Knabe in der Nacheinanderfolge der entsprechenden Schiffe. Links äussere rechts innere Seite der Femurwand. Die links stehenden Ziffern zeigen die entsprechenden Höhen, wenn fett gedruckt: zugleich die Maximal, wenn petit die Minimalstellen.

Tab. XXXVIII. Entsprechende Parthie des Femurs eines 19 jährigen zum Vergleich. siehe Tab. XXII.

Tabelle XXXIX.

| Der Schliff stammt von der Höhe | Osteonsdicke in mm. | Lumenbreite in mm. | Wanddicke in mm. | Osteonszahl |
|---------------------------------|---------------------|--------------------|------------------|-------------|
| +7 | 1·06 | 1·04 | 1·01 | 1·36 |
| +5 | 1·24 | 1·31 | 1·17 | 1·45 |
| +2·5 | 1·00 | 1·00 | 1·05 | 1·71 |
| 0 | 1·13 | 1·06 | 1·09 | 1·54 |
| -2·5 | 1·23 | 1·19 | 1·19 | 1·00 |
| -5 | 1·14 | 1·19 | 1·04 | 1·15 |
| -7·5 | 1·08 | 1·08 | 1·00 | 1·21 |

Homo, femur, 8 jähriger Knabe, laterale Wand. Relative Werte auf Grund der Durchschnittstabellen.

Tabelle XL.

| Der Schliff stammt von der Höhe | Osteonsdicke in mm. | Lumenbreite in mm. | Wanddicke in mm. | Osteonszahl |
|---------------------------------|---------------------|--------------------|------------------|-------------|
| +12 | 1·05 | 1·07 | 1·15 | 1·53 |
| +11 | 1·03 | 1·02 | 1·01 | 1·56 |
| +10 | 1·09 | 1·09 | 1·10 | 1·38 |
| +7·5 | 1·12 | 1·16 | 1·13 | 1·33 |
| +5 | 1·25 | 1·34 | 1·26 | 1·20 |
| +2·5 | 1·22 | 1·31 | 1·19 | 1·32 |
| 0 | 1·19 | 1·16 | 1·20 | 1·35 |
| -2·5 | 1·09 | 1·16 | 1·06 | 1·35 |
| -5 | 1·00 | 1·00 | 1·00 | 1·47 |
| -7·5 | 1·07 | 1·27 | 1·00 | 1·11 |
| -10 | 1·17 | 1·36 | 1·16 | 1·00 |
| -12·5 | 1·09 | 1·20 | 1·00 | 1·00 |

Homo, femur, 19 jährig; sonst wie Tab. XXXIX.

Tabelle XLI.

| Der Schliff stammt von der Höhe | Osteonsdicke in mm. | Lumenbreite in mm. | Wanddicke in mm. | Osteonszahl |
|---------------------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|-------------|
| + 12 | 1·26 | 1·02 | 1·30 | 1·66 |
| + 11 | 1·40 | 1·07 | 1·50 | 2·06 |
| + 10 | 1·33 | 1·00 | 1·46 | 1·25 |
| + 7·5 | 1·45 | 1·05 | 1·48 | 1·35 |
| + 5 | 1·46 | 1·23 | 1·50 | 1·73 |
| + 2·5 | 1·39 | 1·14 | 1·48 | 1·24 |
| 0 | 1·29 | 1·12 | 1·38 | 1·24 |
| - 2·5 | 1·19 | 1·09 | 1·20 | 1·24 |
| - 5 | 1·10 | 1·09 | 1·06 | 1·22 |
| - 7·5 | 1·04 | 1·09 | 1·02 | 1·03 |
| - 10 | 1·00 | 1·00 | 1·00 | 1·00 |
| - 12·5 | 1·16 | 1·23 | 1·10 | 1·09 |

Homo, femur, 19 jährig, ventrale Wand. Relative Werte auf Grund der Durchschnittstabellen. Siehe Tab. XXXVIII.

verschiedenen Werte: Osteonsdicke, Kanaldurchmesser, Wanddicke und die Durchschnittszahl der Osteone in den verschiedenen Knochenhöhen zu einander verhalten, so wird uns darüber anschaulich ein Graphikonpaar, wie wir es in den Figuren 6 und 7 sehen, Auskunft geben. Zur Konstruktion dieser Graphikon habe ich auch hier die klassenweise festgestellten Durchschnittswerte benützt. Bei dieser Konstruktion hatte ich relative Werte nötig gehabt. Dieselben habe ich in der Weise erhalten, dass ich die Werte der einzelnen Klassen mit den Minimalwerte der betreffenden Klasse dividiert habe. Die so erhaltenen Relations-Ziffern gebe ich vor den Graphikonen in drei Tabellen zusammengestellt. Tab. XXXIX., XL., XLI. Diese Relationswerte habe ich bei dem Längenmasse mit 200, bei dem Flächenmasse mit 100 multipliziert. Was bei den Längenmassen über 200 und bei den Flächenmassen über 100 stand, das habe ich in Millimeter auf die Ordinaten der entsprechenden Knochenhöhen aufgetragen. Die einzelnen Kurven die sich in der Weise für die verschiedenen Werte ergaben sind

mit verschieden strukturierten Linien bezeichnet. (Siehe die Figurenerklärung). Diese Graphikons sind zugleich als die Zusammenfassung meiner hiehergehörigen Resultate aufzufassen.

Fig. 7.

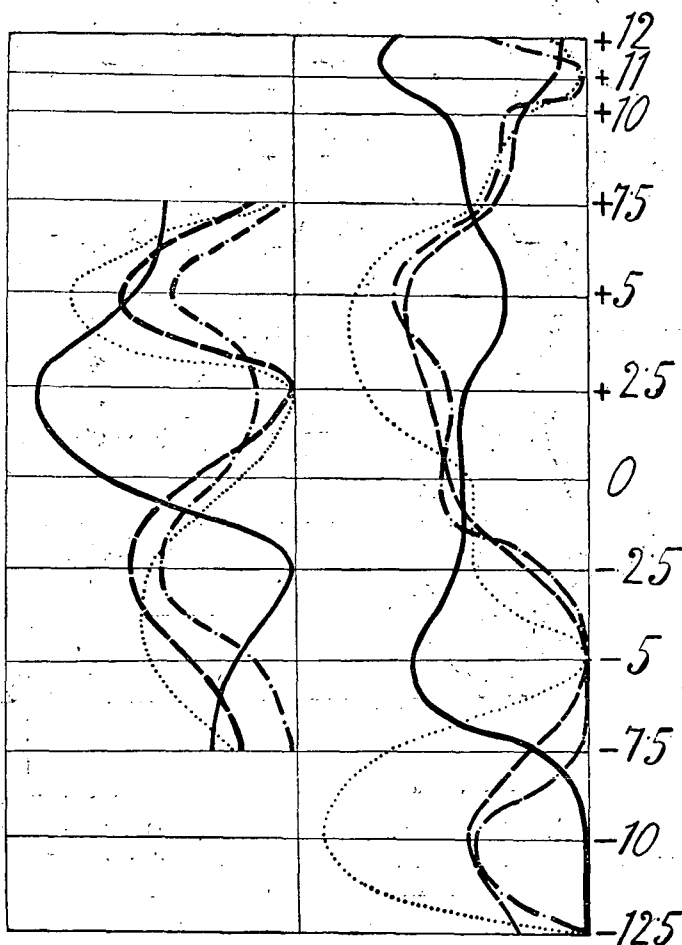


Fig. 7. Grafikons der in Betracht gezogenen vier verschiedenen Werte des Knochenröhrchen aus der lateralen Femurwand eines 8 und eines 19 jährigen. Aufgearbeitet 24.5 cm. Länge von deren Mittelpunkt 0 ausgegangen in 2.5 cm. Abständen. Linie — bezeichnet die Durchschnittszahl der Osteone für die Flächeneinheit in den verschiedenen Höhen, Linie die Lumenbreite, Linie — . — . — die Wanddicke, Linie — — — Osteonsdicke.

Fig. 8

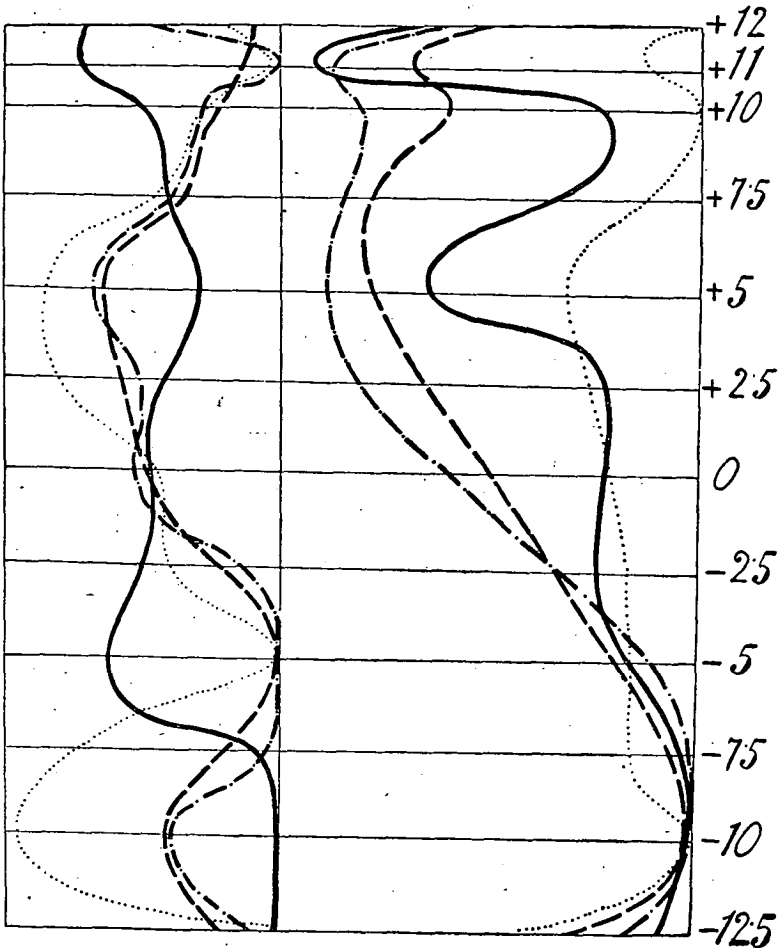


Fig. 8. Dasselbe, wie Fig. 7., nur hier sind die Grafikon der lateralen Femurwand (links) eines 19 Jährigen denen der medialen gegenüber-gestellt. Erklärung siehe bei Fig. 7.

Zusammenfassung.

Der Zweck dieser Arbeit ist nachzuweisen, was die Ursache der merkwürdigen Tatsache ist, dass die Knochenröhrchen Dimensionsveränderungen unterworfen sind.

Wenn wir nun die hierfür erreichten Resultate zusammenfassen wollen, so fallen uns vor Allem die Mängel dieser Arbeit auf, die uns verhindern und verhinderten alle Fragen gründlich zu lösen. Ich sehe ein, dass ich aus dem Tierreich wenige Exemplare, von den menschlichen Knochen wenige Stücke obwoh ich für die angekündigte Arbeit in topographischer Hinsicht sämtliche Knochen bearbeitet habe und aus einem Knochen nicht genügende Seiten bearbeitet habe. Wer aber meine Protocolle. (Tabelle I—LXXVII. der Beilage) mit Geduld durchstudiert, der wird sofort einsehen, was ich geleistet habe, bis ich die nahe 25,000 Messungen durchgeführt, die entsprechenden Umrechnungen gemacht, und die zu dem Messungen nötigen, hier nicht publicirten Rechnungen verfertigt habe. Der wird auch sofort einsehen, dass die Arbeitskraft *eines* Forschers nicht genügt um auf diesem Gebiet schnell zu endgültigen Resultaten kommen zu können. Hier müssen mehrere, sogar viele Fachmänner zusammenhalten, damit dieses histologisch-anatomisches Territorium in den verschiedensten Richtungen systematisch durchgearbeitet werde. Was die endgültigen Resultate der mikroskopischen Knochenmechanik sind, werden erst diese Arbeiten entscheiden können.

Durch die hier mitgetheilten Untersuchungen habe ich in verschiedenen Richtungen Bahn gebrochen, und zwar — wie es mir wenigstens scheint — mit besten Aussichten zu weiteren Erfolgen. Diese meine Untersuchungen zeigten mir nämlich folgendes:

1. Die Knochenröhrchen sind variable *Bauteile* der Knochen. Ihre Variabilität wird durch die *Gesetze* der Variation beherrscht. Die Frequenz der verschiedenen messbaren Werte entspricht im Grossen und Ganzen einem Zustand der auch hier wie sonst durch die Binominalkurve auszudrücken ist.

2. Der Grad der Variabilität und ebenso die Frequenzverteilung und damit die Form einer Variationskurve, sind auch hier keine beständigen Erscheinungen, keine starren Systeme, wie überall in der Welt. Die Variationen und zwar die Paravariationen entstehen, wie überall, unter Wirkung der Peristase. Wir müssen demgemäss auch hier bei Untersuchungen der Knochenstruktur mit einer Umgebungswirkung rechnen. Und zwar für die Knochen müssen wir zwei Arten von Peristase auseinanderhalten, nämlich eine weitere das ist der ganze Organismus und eine nähere, das ist ihre Gelenkfläche weiterhin die Muskel- und Bänderinsertionen. Nach Änderungen und Änderlichkeiten dieser Peristase und deren Wirkungsweise ist auch die Variation der Knochenröhrchen in ihrer Erscheinungen veränderlich. Wir könnten dementsprechend feststellen, dass die Höhe der Mittelwerte der Osteondimensionen veränderlich sind. Diese Veränderungen sind folgenden Gesetzmässigkeiten unterworfen.

3. Die Mittelwerte Vergrössern sich

a) in gleicher Knochenhöhe identischer Knochen innerhalb einer systematischen Familie *gemäss der Gewichtzunahme* (Vergrösserung) *des Tieres* (der systematische Art),

b) in demselben Organismus in den einzelnen Knochen *gemäss der Inanspruchnahme*,

c) innerhalb eines Knochens in der Richtung der am meisten in Anspruch genommenen Partien.

Nicht nur die allgemeinen, sondern auch die sogenannten Klassenmittelwerte gaben in der Hinsicht merkwürdige Aufschlüsse ob den dünneren bezgsw. den dickeren Osteonen eine besondere Rolle zukommt oder nicht. In dieser Hinsicht wurde festgestellt:

4. Die Klassenwerte und zwar die Plus- und Minusvarianten einer bestimmten Knochenhöhe oder Knochenart oder der verglichenen tierischen Knochen stehen zueinander in reciprokem Verhältnis bezüglich der Veränderungen der Knochenröhrchenwerte.

5. Die Zahl der Osteonen steht im reciprokem Verhältnis zu den Mittelwerten.

6. Die Minusvarianten (Dünne Osteone) stehen zu der Durchschnittszahl der Osteonen in direktem, die Plusvarianten in umgekehrtem Verhältnis.

7. Bezüglich des Femurs konnte festgestellt werden, dass den Varianten in dem Knochenquerschnitt einzelne Schichten entsprechen.

Und zwar rekonstruierten wir hier zwei excentrische Zylinder mit unebener Oberfläche und eine äussere dorsolaterale Rinne.

8. Die Unebenheiten der Zylinder und der Rinne sind nicht ganz regellos. Sie erscheinen immer in gleicher Höhe und die Erhebungen der einen Schichte passen in die Einsenkungen und Einschnürungen der anderen ein.

Ob diese letzteren Feststellungen nun einen allgemeinen Wert haben, oder nicht, das kommt darauf an, inwiefern das Bild; das mir in meinen Untersuchungen vorgetreten ist, sich bei ausgedehnten Neuuntersuchungen an anderen menschlichen und tierischen Knochen wiederholt und inwiefern wir den Schichtenbau des Femurs mit Zuhilfenahme der Mechanik und mit Berücksichtigung der vielseitigen Arbeit eines und desselben Knochens, die er unter Wirkung der Muskeln und Bänder leistet, besser beurteilen können, wie es bis jetzt geschah.

9. Es fragt sich endlich, ob diese Untersuchungen praktisch verwertbar sind und ob wir in der Einführung dieser Arbeit erwähnten Wünschen verschiedener Wissenszweigen entgegen kamen, oder nicht?

In der ersten Klasse dieser Knochenuntersuchungen haben wir gesehen dass unter den Tieren Artunterschiede auch bezüglich der Knochenstrukturen festzustellen sind. Diese Angaben beziehen sich aber auf Unterschiede desselben Knochens, hier des Femurs an seiner Mitte. In der Praxis würde aber von den verschiedensten Knochen, bzw. Knochenbruchstücke der verschiedenen Organismen die Rede sein. Daher können wir auf mikrometrischen Wege überhaupt höchstens tierische Knochen von menschlichen unterscheiden. Diesbezüglich ist nichts anderes nötig, als dass wir die Grenzwerte einerseits für tierische, und anderseits für menschliche Knochen feststellen wie es in den Tabellen XLII., XLIII. dargestellt ist.

Aus der Tabelle XLIII. ergibt sich, dass der Mensch überhaupt an Kanallumen weitere Knochenröhrchen hat als das Tier und auf Grund dessen ist es am leichtesten einen Unterschied zwischen menschlichen und tierischen Knochen zu machen. Wenn wir aber von einem grösseren Gesichtsfeld Mikroaufnahmen vor uns haben, ist das Bild für uns, wie ich es in einer nächsten Arbeit nachweisen werde, ein noch besserer Wegweiser in diesen Fragen, als die Mikrometrik selbst.

(1—84 Tafeln in den nächsten Nummern.)

Tabelle XLII.

| Der Schliff stammt | Menschliche Knochen | | | | Tierische Knochen | | | |
|-----------------------|---------------------|-------------|-----------|-------------|-------------------|-------------|-----------|-------------|
| | Osteonsdicke | Lumenbreite | Wanddicke | Osteonszahl | Osteonsdicke | Lumenbreite | Wanddicke | Osteonszahl |
| I. | 21—23·5 | 4·6—6·3 | 8·1—8·6 | 10·8—12·6 | 8·7—17 | 1·8—3·4 | 2·5—7· | 10·9—38· |
| II. a. | 12·3—24·6 | 3·4—7·1 | 3·9—8·7 | 7—28 | — | — | — | — |
| II. b. | — | — | — | — | 10·5—14·4 | 2·2—2·8 | 4·—5·7 | 19·2—47·9 |
| III. a. 1. | 19·1—23·9 | 5·5—7·5 | 6·8—8·6 | 7·5—12·5 | — | — | — | — |
| III. a. 2. | 21—23·5 | 4·6—6·3 | 8·1—8·5 | 10·8—12·3 | — | — | — | — |
| III. a. 3. | 13·9—20·4 | 4·3—5·3 | 5·—7·5 | 10·7—22·1 | — | — | — | — |
| III. b. | 18·9—23·5 | 5·1—6·7 | 7·4—8·8 | 6·6—11·3 | — | — | — | — |

Verzeichniss der verschiedenen Grenzwerte der Osteonen in den verschiedenen menschlichen und tierischen Knochen.

Tabelle XLIII.

| Der Schliff stammt | Menschliche Knochen | | | | Tierische Knochen | | | |
|-----------------------|---------------------|-------------|-----------|-------------|-------------------|-------------|-----------|-------------|
| | Osteonsdicke | Lumenbreite | Wanddicke | Osteonszahl | Osteonsdicke | Lumenbreite | Wanddicke | Osteonszahl |
| I.—III. b. | 12·3—24·6 | 3·4—7·5 | 3·9—8·8 | 6·6—22·1 | 8·7—17 | 1·8—3·4 | 2·5—7 | 10·9—47·9 |

Vergleich der absoluten Grenzwerte der Osteonen aus den tierischen und menschlichen Knochen ohne Rücksicht um was für Knochen es sich handelt.