

# Archiv

für

## pathologische Anatomie und Physiologie

und für

### klinische Medicin.

---

Bd. LXI. (Sechste Folge Bd. I.) Hft. 4.

---

## XXIV.

### Zur Knochenwachstumsfrage.

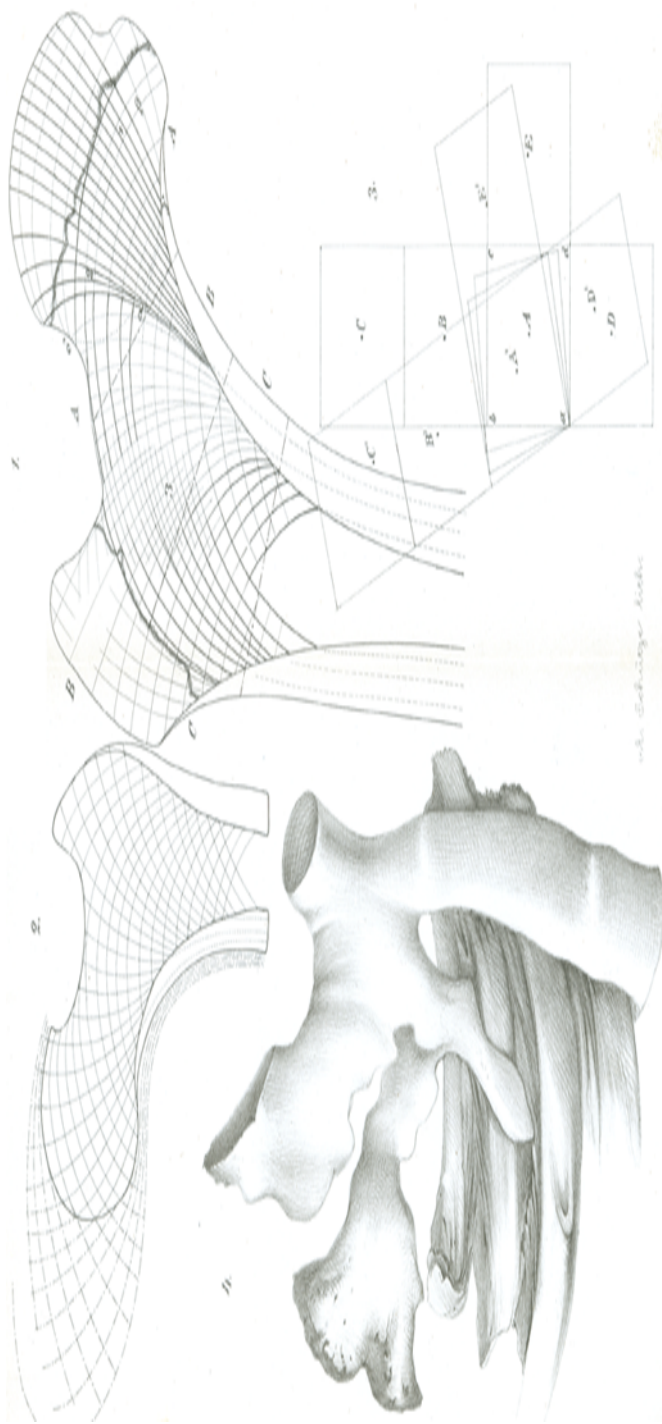
Von Dr. Julius Wolff, Docent der Chirurgie zu Berlin.

(Hierzu Taf. XVII. Fig. 1—3.)

---

In den Anschauungen über das Wachsthum der Knochen hat sich während der jüngstvergangenen Jahre ein bedeutender Umschwung vollzogen. Nur wenige Autoren halten noch starr an der unveränderten Juxtapositionstheorie fest. Andere, wie Kölliker, haben diese Theorie so sehr abgeändert, dass man in ihren neueren Aufstellungen nur schwer noch die Reste der alten Theorie wiedererkennen kann. Ja, es liegt bereits eine ausgezeichnete Arbeit von Strelzoff vor, in welcher dieser Forscher auf Grund mikroskopischer Untersuchungen grossentheils zu denselben, in vollkommenem Widerspruch zur Appositionstheorie stehenden Resultaten gelangt ist, welche von mir auf Grund experimenteller und anatomischer Untersuchungen seit dem Jahre 1868 vertreten worden sind.

So erfreulich dieser Umschwung auch gewesen ist, so glaube ich doch, dass die Anschauungen über das Knochenwachsthum sich noch viel mehr geklärt haben würden, wenn diejenigen Punkte, auf die von mir in meinen früheren Arbeiten über diesen Gegenstand besonders hingewiesen worden ist, in genauere Erwägung gezogen worden wären, und mehr Geltung erlangt hätten, als dies thatsächlich geschehen ist.



Eine Reihe von Autoren hat zunächst gegen die Ergebnisse meiner experimentellen Untersuchungen, durch welche ich nachzuweisen mich bemühte <sup>1)</sup>, dass es ein „interstitielles“ Wachsthum gebe, und dass dasselbe auch in seinen makroskopischen Erfolgen bedeutend genug sei, um es experimentell sichtbar zu machen und zu messen, Einwendungen erhoben <sup>2)</sup>. Diese Einwendungen genauer zu besprechen, behalte ich mir für eine demnächst an einer anderen Stelle erscheinende selbständige Arbeit vor, in der ich in extenso meine sämtlichen experimentellen Untersuchungen über die Knochen publiciren werde.

Aber auch die zweite Reihe meiner Untersuchungen, durch welche ich aus den Verhältnissen der inneren Architectur der Knochen zunächst den Beweis herleitete, dass am menschlichen coxalen Femurende das Wachsen ohne alle Apposition geschehe <sup>3)</sup>, ist vielfachem Widerspruch begegnet.

<sup>1)</sup> Berliner klin. Wochenschr. 1868. No. 6 ff.

<sup>2)</sup> Um „nur einige der gegnerischen Arbeiten hier kurz zu erwähnen, so bemerke ich, dass Lieberkühn auf Grund einer Reihe von Experimenten, bei denen es ihm indess u. A. nicht gelungen ist, die doch mit so grosser Leichtigkeit zu erzeugende Einbiegung des Knochens gegen den Markkanal durch einen um die Diaphyse gelegten festzugeschnürten Metallring zur Darstellung zu bringen, geglaubt hat, wieder auf's Neue die Appositionstheorie in ihrer ursprünglichen Form vertreten zu müssen; dass Maas die Ergebnisse seiner Experimente zwar zum grössten Theil im Einklang mit den Befunden ähnlicher, von mir angestellter Experimente gefunden hat, aber trotzdem glaubt, diese Ergebnisse im vollsten Einklang mit der Appositionstheorie deuten zu können; dass Kölliker auf Grund mikroskopischer Forschungen in seiner vorjährigen grossen Arbeit über die Resorption des Knochengewebes sogar so weit geht, zu behaupten „es sei bis anhin auch nicht Eine Thatsache bekannt geworden, die die Hypothese eines interstitiellen Wachstums forderte“, und es sei die Annahme eines interstitiellen Wachstums „nicht nur eine unbewiesene, sondern auch eine überflüssige“. — Dem gegenüber bemerke ich hier nur, dass ich auf Grund meiner unzweideutigen Präparate glaube, überall die Ergebnisse meiner Versuche auch fernerhin aufrecht halten zu können. Namentlich aber möchte ich Kölliker's Aeusserung gegenüber hier nur noch das Eine erwähnen, dass neuerdings von mir an der Kaninchenscapula vorgenommene directe Messungen des Längenwachstums mittelst eingefügter kleiner Silberdrahtmarken mir ergeben haben, dass das expansive Wachsthum an dem genannten Knochen auf experimentellem Wege sich noch viel leichter nachweisen lässt, als an den Diaphysen der Röhrenknochen.

<sup>3)</sup> Dieses Archiv Bd. L. S. 389 ff.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit soll es nun sein, ausschliesslich diesen letzteren auf meine Schlussfolgerungen aus der inneren Architectur der Knochen bezüglichen Widerspruch zu prüfen resp. zurückzuweisen. Zugleich ist die vorliegende Arbeit dazu bestimmt, eine Reihe von Lücken, die mein früherer Nachweis von der Bedeutung der Architectur für das Wachsthum der Knochen enthält, auszufüllen.

Ich werde demgemäss im Nachfolgenden, unter Berücksichtigung jener Einwendungen, zunächst auf's Neue die Unhaltbarkeit der Appositionstheorie zu erweisen haben, und zwar wird sich diese Unhaltbarkeit sowohl 1) aus der rein anatomischen Betrachtung der inneren Architectur der Knochen ergeben, als auch 2) aus der Betrachtung der physiologischen oder mathematischen Bedeutung dieser Architectur.

Was 1) die Schlüsse aus den rein anatomischen Verhältnissen der Architectur betrifft, so muss ich aus meiner früheren Beweisführung hier zunächst in Kürze Folgendes zur Orientirung wiederholen.

Bekanntlich hat jeder beliebige Bezirk der spongiösen Region der Knochen eine ganz bestimmte, und ausschliesslich für diesen Bezirk eigenthümliche und charakteristische Anordnung. Die verschiedenen Bezirke unterscheiden sich in der Weise von einander, dass in dem einen die Maschen der Spongiosa enger, in dem anderen weiter sind, dass sie hier quadratische oder oblonge Gestalt haben, dort mit mehr abgerundeten Winkeln versehen oder ganz rund sind, dass bald die von der vorderen oder hinteren, bald die von der medialen oder lateralen Fläche des Knochens sich abzweigenden Bälkchen und Plättchen schärfer hervortreten u. dgl. m. <sup>1)</sup>.

Wie nun bereits von Hermann Meyer angedeutet und von mir auf's Genaueste nachgewiesen worden ist, behält jeder noch so

<sup>1)</sup> In Folge dieser Verhältnisse gelangt man durch fortgesetzte Uebung leicht dahin, selbst sehr kleine und aus allem Zusammenhang entfernte Stücke der Spongiosa hinsichtlich der Localität, an welche sie gehören, bestimmen zu können, und ich selbst würde mich jetzt bereits getrauen, von ganz herausgerissenen Stücken aus sagittalen oder frontalen Fournierblättern der Spongiosa menschlicher Knochen, wenn sie nur etwa  $1\frac{1}{2}$  — 2 Quadratcentimeter gross sind, in der Regel den Ort, dem sie entnommen sind, genau anzugeben.

kleine Bezirk der Spongiosa diese seine bestimmte Architectur unverändert während der ganzen Lebensdauer, also auf jeder Wachstumsstufe <sup>1)</sup>. Hieraus zog ich folgende Schlüsse:

Wenn man sich die spongiöse Region eines der Enden eines Röhrenknochens durch Linien, die gleich dem Epiphysenknorpel, senkrecht zur Knochenaxe durch den Knochen gelegt werden, in verschiedene Breitenzonen A, B, C (s. Fig. 1 Taf. XVII.) gesondert denkt, und zwei gleichnamige Zonen aus verschiedenen Altersstufen untersucht, so ergebe sich aus dem Umstande, dass die Zone A mit ihrer eigenartigen, von der der Zonen B und C auf den ersten Blick zu unterscheidenden Architectur beim Wachsen stets dicht unter der Epiphysenlinie verbleibt, mit Nothwendigkeit, dass zwischen Epiphysenlinie und Zone A keine neue Knochenmasse sich angelagert haben könne.

Denkt man sich ebenso den ganzen peripherischen Bezirk der spongiösen Region, der der äusseren Oberfläche resp. der Corticalis derselben zunächst benachbart ist, oder den ganzen centralen der Markhöhle zunächst gelegenen Bezirk der Spongiosa gegen die Nachbarschichten abgegrenzt, so ergebe sich wiederum aus der beim Wachsen unverändert bleibenden Architectur dieser einzelnen Schichten die Unmöglichkeit sowohl der periostalen Apposition, als auch der centralen Resorption.

Greift man endlich mitten aus der Spongiosa eine bestimmte, durch besonders charakteristische Architectonik auffällige Stelle heraus — und ich würde beispielsweise zur Vereinfachung der Discussion über diesen Gegenstand und zur Erleichterung der gegenseitigen Verständigung empfehlen, die Aufmerksamkeit auf den in meiner Arbeit im L. Bande dieses Archivs in Fig. 2 Taf. X mit  $\alpha$  <sup>2)</sup> bezeichneten Punkt am coxalen Femurende zu richten —

<sup>1)</sup> Es lässt sich dies wenigstens vom 3. Lebensjahre ab mit voller Bestimmtheit sagen, während die Spongiosa fötaler Knochen und solcher aus den ersten beiden Lebensjahren kein ebenso vollkommen deutliches architectonisches Bild giebt.

<sup>2)</sup> Dieser auch in unserer Figur 1 Taf. XVII mit  $\alpha$  bezeichnete Punkt liegt da, wo die Linie  $\gamma\delta$ , welche entsteht, wenn wir uns die Peripherie des Caput femoris zu einem Kreise ergänzt denken, die neutrale Faserschicht des Femur schneidet. Er ist dadurch gekennzeichnet, dass er die Spitze eines durch lockere Maschen auffälligen Dreiecks bildet, welches nach oben und aussen

so ergebe sich aus der beim Wachsen relativ vollkommen gleich bleibenden Entfernung dieser Stelle von der Gelenkoberfläche und den Seitenflächen des Gelenkendes die Unmöglichkeit der von der Appositionstheorie angenommenen Wanderung aller einmal fertig gebildeten Partikelchen von der Oberfläche gegen die Markhöhle hin.

Da diese einfache Beweisführung von keiner Seite acceptirt wurde, so richtete ich bereits vor drei Jahren an Schweigger-Seydel und an G. Wegener die directe Aufforderung, sich darüber zu erklären, wie sie sich die architectonischen Verhältnisse am oberen Ende des Femur im Sinne der von ihnen verfochtenen Appositionstheorie deuteten <sup>1)</sup>.

Schweigger-Seydel wurde leider — kurze Zeit, nachdem ich diese Aufforderung an ihn gerichtet hatte — durch einen zu frühen Tod der Wissenschaft entrissen. Wegener dagegen hat seine Antwort bis zur bevorstehenden Veröffentlichung seiner eigenen Knochenwachstumsuntersuchungen hinausgeschoben <sup>2)</sup>.

von besonders scharf ausgeprägten dichten Zugbalken, nach unten und innen von besonders scharf ausgeprägten und sehr dichten Druckbalken begrenzt wird.

Ich habe früher als für die Discussion besonders geeignetes Beispiel auf das das mediale Drittheil der zunächst unter der Epiphysenlinie des Caput femoris liegenden Knochenzone bildende Viereck ( $\beta$  Fig. 1 Taf. XVII.), hingewiesen, das ebenfalls durch Lockerheit des Gewebes und durch eigenthümliche Ausprägung der Druck- und Zugbalken auffällig gegen die Nachbarschaft absticht, und an dessen unverändertem Verbleiben an seiner Stelle sich ebenfalls leicht die Unmöglichkeit des Appositionswachstums ersichtlich machen lasse. Es ist mir indess in mündlichen Discussionen zuweilen der Einwand gemacht worden, es könne an der unteren Seite des Vierecks, die zugleich die unterste peripherisch gelegene Partie der medialen Seite des Caput femoris bildet, eine Resorption von der Oberfläche her stattfinden, und dadurch das Viereck trotz einer Apposition vom Epiphysenknorpel her seine Gestalt und Lage behalten. So hinfällig dieser Einwand schon aus dem Grunde ist, weil auch noch innerhalb dieses Vierecks während des Wachsens constant bleibende Verschiedenheiten der Architectur sich erkennen lassen, je nachdem es sich um obere oder untere, oder mehr seitwärts gelegene Partien des Vierecks handelt, so ziehe ich es doch vor, einen solchen Einwand von vornherein abzuschneiden, indem ich statt des Vierecks auf die Stelle  $\alpha$  hinweise, die überall von der Peripherie des Knochens weit entfernt ist.

<sup>1)</sup> Berliner klin. Wochenschrift 1870. No. 23. Verhandl. der Berliner medicin. Ges. vom 9. März 1870. Centralblatt für die med. Wiss. 1871. No. 35.

<sup>2)</sup> Vgl. den Nachtrag zu meiner vorliegenden Arbeit.

Inzwischen ist von zwei anderen Seiten her eine Antwort auf meine Frage erfolgt. H. Maas und Kölliker haben mir eine Deutung der Thatsache, dass die Architectur wachsender Knochen sich nicht ändert, entgegengehalten, die mit der Appositionstheorie im besten Einklang stehen soll.

„Es liegt Nichts der Annahme entgegen“, sagt H. Maas <sup>1)</sup>, „dass die von der Peripherie oder der Epiphysengrenze kommenden Molecüle, sobald sie an den angegebenen Stellen unter die Gesetze der graphischen Statik kommen, sich in der von Wolff streng durchgeführten Weise anordnen, dass bei ihrer Resorption an der inneren Seite von aussen kommende Theilchen an ihre Stelle treten, mit einem Worte, dass die Lehre vom appositionellen Knochenwachsthum hierdurch in keiner Weise alterirt werde“. In ähnlicher Weise äussert sich Kölliker <sup>2)</sup>. „Meiner Meinung nach“, sagt derselbe, „wächst das obere Femurende durch Apposition immer neuer Lagen von aussen her, d. h. dadurch, dass die oberflächliche Substantia compacta dieser Gegend mit dem fortschreitenden Wachsthum je länger je mehr nach innen zu sich aufblättert, und durch Resorptionsvorgänge viele Balken ganz schwinden, und so die Räume sich vergrössern, was natürlich leicht so zu denken ist, dass dabei die Architectonik im Wesentlichen sich nicht ändert.“

In etwas präciserer Weise ausgedrückt, bedeutet der Einwand von Maas und Kölliker Folgendes: Es könne die constant bleibende Architectur z. B. der Stelle  $\alpha$  unserer Fig. 1 Taf. XVII dadurch hergestellt werden, dass in jedem Moment andere von oben herabrückende Knochentheilchen diese Architectur annehmen, während diejenigen Theilchen, welche diese Architectur gehabt haben, dieselbe, indem sie selbst nach unten rücken, wieder verlieren, um sie gegen eine andere Architectur einzutauschen. Ebenso könnten die Knochentheilchen, welche Zone A (jener Figur) constituiren, beim Herabrücken nach einander die Anordnung der für die Oertlichkeit der Zone B, und später der Zone C nothwendigen Architectur annehmen, während der Epiphysenknorpel immer neue Zonen mit der Architectur von A erzeuge. Auf diese Weise könnte, obwohl alle

<sup>1)</sup> v. Langenbeck's Archiv für klin. Chirurgie Bd. XIV. S. 207.

<sup>2)</sup> Kölliker, Die normale Resorption des Knochengewebes etc. Leipzig 1873. S. 67.

Theilchen in unaufhörlicher Wanderung von der Peripherie nach dem Centrum begriffen blieben, dennoch stets dasselbe architectonische Bild mitsammt den schönen mathematischen Spannungstrajectorien, die dasselbe am Oberschenkel und an anderen Körperstellen darstellt, erhalten bleiben.

Im Jahre 1870 habe ich bereits selber diesem Einwande, noch ehe er mir von anderer Seite entgegengehalten wurde, vorzubeugen gesucht. Ich wies wenigstens für den menschlichen Oberschenkel darauf hin <sup>1)</sup>, dass an dessen coxalem Ende eine Umwandlung der oberen in die unteren Druckbälkchen nicht stattfinden könne. Die herabrückenden Bälkchen müssten nemlich eine ganz veränderte Biegung annehmen, weil die oberen Bälkchen eine auf- und medialwärts, die unteren aber eine lateralwärts, nach der Zugseite des Knochens strebende Richtung haben. Bei solcher Wanderung aber und Umbiegung der Bälkchen aus der einen Richtung in die andere ganz entgegengesetzte müssten offenbar die Druck- und Zugbälkchen alle möglichen Kreuzungswinkel zwischen 0 und 180° annehmen, während ja doch thatsächlich die strengste Orthogonalität der Bälkchenkreuzung auf jeder Altersstufe von mir nachgewiesen worden ist.

Indess — ich will die genauere Untersuchung der Frage, in wie weit vielleicht dennoch die von Maas und Kölliker vertretene Deutung richtig und die Lehre vom ausschliesslich expansiven Knochenwachsthum zu widerlegen geeignet ist, mir für eine spätere Stelle der vorliegenden Arbeit vorbehalten. Ich will vorläufig einmal annehmen, die Deutung sei überall durchaus richtig; sie liesse sich selbst am coxalen Femurende des Menschen nicht auf Grund der rechtwinkligen Bälkchenkreuzung zurückweisen, und es gewähre dieselbe in der That den Anhängern der Juxtapositionstheorie einen Ausweg, der ihnen selbst für die genannte Körperstelle gegenüber meiner Annahme des ausschliesslich expansiven Wachsthums übrig bliebe. Ich will dies alles annehmen, um nur zunächst einmal den auf dieser Deutung begründeten Einwand selber noch genauer ins Auge zu fassen, und zu untersuchen, zu welchen Consequenzen in der Auffassung der Vorgänge beim Knochenwachsthum wir geführt werden, wenn wir uns auf den Standpunkt dieses Einwandes stellen.

<sup>1)</sup> Dieses Archiv Bd. L. S. 433.



Wenn nemlich der Einwand richtig wäre, so müsste, da ja die Apposition neuer Schichten vom Periost und Epiphysenknorpel eine bis zur vollendeten Ossification des letzteren niemals ganz stillstehende, also beständig fortdauernde sein soll, offenbar in jedem Moment jeder einzelne Bezirk der spongiösen Region eine immer wieder neue Architectur annehmen müssen. Denn in jedem Moment würde die gerade eben neu an der Oberfläche apponirte Schicht ein Verdrängen, eine Wanderung der sämmtlichen früher gebildeten Partikelchen des Knochens an eine andere Stelle bewerkstelligen, und da jede Stelle ihre besondere Architectur hat, zugleich eine entsprechende architectonische Umänderung der sämmtlichen Partikelchen veranlassen.

Ein Gleiches, wie von der Spongiosa, würde auch von der Corticalis gelten müssen. Denu einmal müsste die Corticalis da, wo sich von ihrer Innenwand die Bälkchen der Spongiosa abzweigen, sich unaufhörlich aufblättern, wie dies auch Kolliker in seinem oben citirten Ausspruch angedeutet hat. Zweitens aber ist ja die Corticalis überall — auch in den Mittelstücken der Röhrenknochen — nach Hermann Meyer's und meinem unbestrittenen Nachweis nichts, als eine dicht zusammengedrückte Spongiosa. Die einzelnen Bälkchen der spongiösen Region setzen sich, wie ich nicht bloss mathematisch, sondern auch anatomisch bewiesen habe <sup>1)</sup>, direct in die Corticalis fort, und sind nur hier nicht mehr durch grössere Lücken von einander getrennt, sondern durch kleinere Gefässstämmchen, oder — an den ganz dichten Stellen — durch die Haversischen Kanälchen. Es hat also auch die Corticalis ihre ganz bestimmte Architectur, und wenn diese Architectur trotz einer beständigen Apposition an den Oberflächen stets dieselbe bleiben soll, so könnte dies nur dadurch geschehen, dass in jedem Moment mit der Umwälzung der Architectur der Bälkchen der Spongiosa auch die Fortsetzungen dieser Bälkchen in der Corticalis, und die sie trennenden Haversischen Kanälchen ihre Richtung umgestalten.

Kurz, es müsste jede einzige, noch so kleine, an der Oberfläche apponirte Schicht eine Umwandlung an allen Punkten des Knochens bewirken, es müsste während der ganzen Wachstumsdauer ein unaufhörlicher Umsturz und Wiederauf-

<sup>1)</sup> Dieses Archiv Bd. L. S. 394.

bau eines jeden Partikelchen der spongiösen und compacten Region des Knochens stattfinden.

Wir würden also, wenn wir die Apposition an den Oberflächen beibehalten wollen, unabweislich gezwungen sein, auch noch eine andere Thätigkeit im Innern des Knochens anzunehmen, die so gewaltig und lebhaft und von so grosser morphologischer Bedeutung sein müsste, dass sie die Thätigkeit an den Oberflächen, um derentwillen wir sie ja eigentlich erst angenommen haben, und auf die allein es ja doch den Anhängern der Juxtappositionstheorie ankam, vollkommen in den Schatten stellen würde. Wir würden, mit einem Worte, gezwungen sein, der oberflächlichen Apposition zu Liebe eine ganz neue Knochenwachstumstheorie aufzustellen. Es wäre dies die Theorie der Apposition mit unaufhörlichem Umsturz und zugleich unaufhörlichem Wiederaufbau der inneren Architectur, oder — um eine kürzere Bezeichnung zu wählen — die Theorie der beständigen Architectur-Umwälzungen.

Es ist offenbar, dass H. Maas, wenn er die hier entwickelten Consequenzen seines gegen mich erhobenen Einwandes in Betracht gezogen hätte, unmöglich zu der Anschauung gelangt wäre, dass durch seinen Einwand „die Lehre vom appositionellen Knochenwachstum in keiner Weise alterirt werde“.

Was Kölliker betrifft, so lässt derselbe gegenwärtig nicht nur Aufblätterungen der Corticalis und innere und äussere Resorptionen zu, sondern auch <sup>1)</sup> „innere Appositionen auf die Wände der primitiven Markräume und Haversischen Kanäle oder auf die Oberflächen der durch Resorption entstandenen grösseren oder kleineren Lücken (Haversian spaces, Tomes and de Morgan, Markhöhle) <sup>2)</sup>“. Ja, Kölliker hat sich bereits von seinem und

<sup>1)</sup> l. c. S. 66. Vgl. auch Sitzungsberichte der Würzburger med.-phys. Ges. vom 2. und 19. März 1872. Würzburger Verhandl. N. F. Bd. II. S. 213 und Bd. III. S. 215.

<sup>2)</sup> Als Beweis für das Vorkommen von Appositionen an der Markhöhlenfläche der Röhrenknochen dienten Kölliker Präparate, die er durch Krappfütterungsversuche an Hunden und Schweinen gewonnen hatte (cf. Resorption des Knochengewebes S. 36 sq.). Ich benutze diese Gelegenheit zu der Bemerkung, dass ich nicht begreife, wie Kölliker und ebenso Lieberkühn noch heutzutage die Anschauung vertreten können, dass nur das während der Dauer der Krappfütterung sich neu bildende Knochengewebe roth gefärbt

H. Meyer's bekanntem Einschachtelungsschema, in dem bis ganz vor Kurzem die Appositionstheorie ihren bildlichen Ausdruck fand, fast in allen Punkten losgesagt. Dies mag daraus hervorgehen, dass er geneigt ist, dem Periost, dieser ehemals unablässig thätigen Appositionswerkstätte sogar eine gewissermaassen active Rolle bei der Resorption, und zwar bei der Bildung der „typischen Resorptionsstellen“ an der Oberfläche des Knochens zuzuschreiben. Er hält es nemlich für möglich, dass das Periost durch einen an ihm vom Epiphysenknorpel her ausgeübten Zug gespannt werde, und dadurch einen Druck auf den Knochen ausübe, der die Resorption veranlasst.

Aber trotz alledem scheint Kölliker nicht genügend in Betracht gezogen zu haben, welch enormes Quantum innerer Appositionen und Resorptionen nöthig sein würde, um in jedem Moment den Wiederaufbau des durch äussere Appositionen — oder auch durch äussere Resorptionen <sup>1)</sup> — bedingten Umsturzes der Architectur zu bewerkstelligen. Er würde sonst sich nicht überall so haben äussern können, als wäre die Betrachtung der inneren Archi-

werde, und dass demgemäss Krappversuche für die Untersuchung der Vorgänge beim Wachsthum verwerthet werden könnten. Diese Anschauungen sind längst durch Serres und Doyères u. A., so wie durch mich (Berliner klin. Wochenschr. 1868. No. 6 ff.) und endlich auch noch neuerdings durch Strelzoff (Centralblatt 1873. S. 737 und „Ueber die Histogenese der Knochen“. Leipzig 1873. S. 65) unzweideutig widerlegt. Ich besitze Präparate von jungen Tauben, die ich nur zwei Tage hindurch mit Krapp gefüttert, und unmittelbar darauf getödtet habe. An den Röhrenknochen solcher Tauben findet sich — wie ich dies bereits der Berliner medicinischen Gesellschaft in der Sitzung vom 24. Juni 1868 demonstrirte — ein rothgefärbter Streifen an der periostalen Oberfläche des Knochens, ein fast noch intensiver gerötheter Streifen an der Markhöhlenfläche und eine Rothfärbung der Wände der Haversischen Kanälchen. Es ist also offenbar, dass die Oertlichkeit der Rothfärbung einzig und allein mit der Nachbarschaft von Blutgefässen in Beziehung zu bringen ist. Sollte an solchen Präparaten alles Rothgefärbte als in zwei Tagen neugebildetes Gewebe angesehen werden, so müssten in kaum mehr als acht Tagen nicht nur Haversische Kanälchen, sondern auch die Markhöhle völlig obliterirt sein.

<sup>1)</sup> Es ist ohne Weiteres klar, dass Kölliker's äussere Resorptionen durch Osteoklasten, denen auch Wegener u. A. beistimmen, die Aehnlichkeit der inneren Architectur beim Wachsen ganz ebenso stören müssen, wie es nach meinem obigen Nachweis durch äussere Appositionen geschehen würde.

tectur ohne jede nennenswerthe Bedeutung für die Wachstumsfrage, als wäre durch seine oben erwähnten Abweichungen von seinen früheren Anschauungen an den Hauptpunkten der Juxtapositionstheorie so gut wie Nichts geändert, als blieben dennoch alle wesentlichen Vorgänge beim Knochenwachsthum auf die grossen Oberflächen am Periost und an der Markhöhle beschränkt.

Und doch ist in Wirklichkeit die neue Theorie der beständigen Architectur-Umwälzung, wie sie dem von Maas, Kölliker u. A. erhobenen Einwand entspricht, und durch diesen Einwand unbedingt gefordert wird, so grundverschieden von der alten Juxtapositionstheorie, dass letztere durch Aufstellung jener neuen Theorie einen noch viel empfindlicheren und vernichtenderen Stoss erleiden würde, als es derselben jemals durch meine Annahme des ausschliesslich interstitiellen oder expansiven Wachsthum's <sup>1)</sup> zugebracht worden ist.

Nach der alten Juxtapositionstheorie — und ich betone, dass an ihr noch immer mit unveränderter Zähigkeit eine Reihe der hauptsächlichsten Wortführer in der Knochenwachstumsfrage, wie Lieberkühn, Ollier, Philippeaux und Vulpian, Wegener u. A. festhalten — sollen ja alle Veränderungen des wachsenden Knochens ausschliesslich an dessen Oberflächen stattfinden, Apposition an den periostalen Flächen und an den Endflächen der Diaphysen, Resorption an den Markhöhlenflächen. Dagegen soll die eigentliche

<sup>1)</sup> Es ist zweckmässig, für die u. A. auch von mir vertretene Anschauung die Bezeichnung „expansives Wachsthum“ oder „Wachsthum durch interstitielle Expansion“ statt der sonst meistens gebrauchten Bezeichnung des „interstitiellen Wachsthum's“ oder des „intercellulären Wachsthum's“ zu wählen. Der Ausdruck „interstitielles Wachsthum“ würde nicht klar genug den Gegensatz des Expansionswachsthum's zu einer anderen Art interstitieller Thätigkeit, wie sie neuerdings von Kölliker zugestanden wird, kennzeichnen, nemlich zu den oben erwähnten „inneren Appositionen und Resorptionen“ Kölliker's (cf. Kölliker l. c. S. 66). Der Ausdruck „intercellulares Wachsthum“ dagegen würde präsumiren, dass die Expansion ausschliesslich in einer Zunahme der Intercellularsubstanz bestehe, während es doch, wie ich glaube, vorläufig noch dahingestellt bleiben muss, ob bei der Expansion des Knochens nicht auch jedesmal die Knochenkörperchen eine Veränderung ihrer Form, Grösse und Zahl erleiden. Für den embryonalen Knochen wenigstens hat bereits jetzt Strelzoff nachgewiesen, dass derselbe sowohl intercellulär, als cellulär wächst (Histogenese der Knochen S. 82).

Masse, das Innere des einmal apponirten und fertig gebildeten Knochengewebes nach dieser Theorie sich vollkommen passiv, vollkommen unabänderlich, gleichsam wie ein „abgestorbenes Gewebe“ verhalten.

Nun gewährt ja freilich die Theorie der Architectur-Umwälzungen den Anhängern der Juxtapositionstheorie die Befriedigung, dass auch sie die Apposition an den Oberflächen, also gerade dasjenige, wovon zufällig der Name der Appositionstheorie hergeleitet ist, bestehen lässt. Aber weiter, als diesen einzigen Punkt lässt sie auch eben gar nichts von jener einst so stolzen Theorie übrig.

Die von mir angenommene Theorie, nach welcher die einzelnen Knochenbälkchen beim Wachsen unter Beibehaltung ihrer Oertlichkeit und Richtung durch Expansion immer länger und dicker werden, liess dem Knochengewebe wenigstens noch einen seiner Festigkeit und Starrheit entsprechenden gewissen Grad von Trägheit und Passivität. Denn ich wollte eben nur das Knochengewebe aus der Rubrik der nahezu abgestorbenen Gewebe wieder in die der lebendigen, an der allgemeinen Expansion aller vascularisirten Organtheile sich betheiligenden Gewebe versetzt wissen.

Dagegen würde die neue Theorie der Architectur-Umwälzungen dem Knochengewebe eine Activität zuertheilen, die noch weit über das Maass derjenigen Activität hinausginge, welche wir selbst Weichgebilden zuzuschreiben gewohnt sind. Es würde nach dieser Theorie im Knochen trotz allem Anschein der Solidität Nichts mehr stabil sein. Kein Baustein würde auch nur einen Moment als feststehend auf dem anderen gedacht werden können, und der Knochen würde — wie Strelzoff<sup>1)</sup> sogar schon mit Bezug auf die blosse Annahme einer schichtweise geschehenden Resorption an den Oberflächen sagt — ein wahres Chaos von werdenden und vergehenden Theilen sein, in dem eine Orientirung nicht mehr möglich ist<sup>2)</sup>.

Aber nicht allein die von der Juxtapositionstheorie ange-

<sup>1)</sup> Strelzoff, Histogenese der Knochen I. c. S. 87.

<sup>2)</sup> Ein solches Chaos im Knochen wäre schwerlich denkbar ohne die Annahme, dass durch dasselbe zugleich eine mächtige Expansion des Knochens in die Länge und Dicke bewirkt werde. Indess will ich auf diese Frage nicht näher eingehen, weil ich überhaupt nicht glaube, dass die Annahme eines unaufhörlichen Chaos im Knochen Anhänger finden werde.

nommene Passivität des Knochengewebes würde durch die Theorie der Architectur-Umwälzungen umgestossen und in ihr diametrales Gegentheil umgewandelt werden; auch die eine weitere Grundsäule der Juxtapositionstheorie bildende Resorption an der Markhöhlenfläche, in der man die Ursache der Erweiterung der Markhöhle beim Wachsen suchte, würde durch die Theorie der Architectur-Umwälzungen gerade ebenso, wie durch die Theorie des ausschliesslich expansiven Wachstums<sup>1)</sup>, verworfen werden müssen. Denn, es gleichen sich ja nach der Theorie der Architectur-Umwälzungen die durch die äussere Apposition bedingten Störungen der Architectur durch Resorption und Apposition an allen Punkten im Innern des Knochengewebes aus, nicht aber etwa bloss durch Resorptionen an den grossen Oberflächen.

Nun muss ich aber noch hinzufügen, dass die Theorie der Architectur-Umwälzungen nicht bloss von der ursprünglichen Juxtapositionstheorie grundverschieden sein würde, sondern offenbar auch von derjenigen neueren Modification derselben, die von Virchow, R. Volkmann und ihren zahlreichen Anhängern<sup>2)</sup> vertreten wird, nach welcher zwar im Wesentlichen das Wachstum durch Apposition stattfinden, aber daneben doch noch ein freilich sehr geringes Maass interstitieller Activität bestehen soll, die unter Umständen auch zu einer äusserst geringen interstitiellen Expansion Veranlassung geben könne<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> Nach der von mir 1870 vertretenen Theorie wird die Markhöhle einfach dadurch weiter, dass die einzelnen dicht zusammengedrängten Längsbälkchen, aus welchen wir uns die Corticalis zusammengesetzt denken, durch Expansion dicker werden. Dicke Bälkchen, in einen Kreis gestellt, müssen ja eine grössere Circumferenz in sich schliessen, als eine gleich grosse Zahl dünner Bälkchen. (Dieses Archiv Bd. L. S. 443.)

<sup>2)</sup> Ganz neuerdings, in seiner allerjüngsten Arbeit scheint auch Kölliker zu dieser Modification hinzuneigen. Wenigstens geht er hier von seinem vorjährigen Ausspruch, dass die Annahme eines interstitiellen Wachstums unbewiesen und überflüssig sei, ganz und gar ab, und concedirt bereits Strelzoff das interstitielle Wachstum wenigstens für die fötale Wachstumsperiode (cf. Würzburger Verhandlungen, N. F. Bd. 6. Hft. 1 u. 2. 1874. S. 18.

<sup>3)</sup> Bekanntlich hat Virchow zu einer Zeit, als alle Autoren noch in den starrsten Banden der Appositionstheorie gefesselt waren, scharfsinnig herausgefunden, dass sich die physiologischen Verhältnisse am wachsenden Unterkiefer nicht mit der Vorstellung der Passivität des Knochengewebes in Einklang bringen lassen. Später hat R. Volkmann sich in seiner classischen Arbeit im

Die Theorie der Architectur-Umwälzungen würde ja verlangen, dass, je bedeutender die Apposition an der Oberfläche, desto bedeutender und stürmischer auch der mit dieser Apposition sich stets in gleicher Proportion steigende Umsturz im Innern sein müsse, und sie würde daher auf keine Weise mit der Virchow-Volkmann'schen Vorstellung einer geringen Activität im Innern bei gleichzeitig bedeutender Apposition an der Oberfläche im Einklang zu bringen sein.

Nach allen diesen Erörterungen kommen wir nun aber zu folgenden Ergebnissen:

Selbst unter der Voraussetzung der Richtigkeit des einzigen gegen mich erhobenen, und, wie ich glaube, einzig möglichen Maas-Kölliker'schen Einwandes würde uns dennoch Angesichts der unbestrittenen Thatsache, dass die Knochen jugendlicher und erwachsener Individuen eine gleiche Architectur haben, immer nur die Wahl zwischen folgenden beiden Vorstellungen bleiben. Entweder

a) die Architectur bleibt dieselbe, weil — wie ich, im Wesentlichen in Uebereinstimmung mit Strelzoff<sup>1)</sup> annehme — immer dieselben, nur stets dicker und länger werdenden Bälkchen das architectonische Bild constituiren. Dann wächst der Knochen ausschliesslich interstitiell, durch allmähliche sanfte Expansion jedes einzelnen Bälkchens. Oder

b) es findet — jenem vielerwähnten Maas-Kölliker'schen Einwande entsprechend — Apposition mit gleichzeitiger Wanderung der Bälkchen und Umwandlung ihrer Architectur statt. Dann wächst der Knochen durch noch viel mächtigere, durch völlig chaotische interstitielle Vorgänge.

Welche von diesen Möglichkeiten nun aber auch der Wirklichkeit entsprechen mag, so werden wir doch — um zugleich kurz

XXIV. Bande dieses Archivs gänzlich von der Vorstellung der Passivität des Knochengewebes emancipirt. Aber beide gestehen doch dem Knochengewebe nur einen relativ geringen Grad von Activität zu, und Volkmann hat nur kurze Zeit hindurch mit mir angenommen, dass diese Activität auch erhebliche makroskopische Erfolge für das Längenwachsthum der Knochen habe. (Vgl. Volkmann's betr. Aeusserungen in: Deutsche Klinik 1864. S. 218. Medic. Centralblatt 1870. No. 9 und Volkmann's Sammlung klin. Vortr. No. 51. S. 301.)

<sup>1)</sup> Vgl. Strelzoff, Ueber die Histogenese der Knochen. Unters. aus dem pathol. Institut zu Zürich. Herausgeg. v. Eberth. Leipzig 1873. S. 44 u. 88.

zu resumiren — auf jeden Fall mit positiver Gewissheit die folgenden Punkte feststellen können:

Der Schwerpunkt der Vorgänge beim Knochenwachstum ist immer im Innern des Knochengewebes zu suchen.

Die Annahme, dass die durch etwaige schichtweise geschehende Appositionen am Periost bedingte Störung der Form des Knochens durch schichtweise geschehende Resorptionen an der Markhöhlenfläche des Knochens ausgeglichen werden könne, ist vollkommen irrig.

Die Knochen können mithin nicht ausschliesslich, wie Lieberkühn u. A. meinen, durch Apposition und Resorption an den Oberflächen wachsen.

Es ist aber auch unmöglich, dass die Knochen etwa nur vorzugsweise durch Apposition und Resorption an den Oberflächen, unter gleichzeitiger nur geringer interstitieller Thätigkeit wachsen, wie Virchow, Volkmann u. A. meinen. Vielmehr steigert sich mit jeder noch so geringen Apposition oder Resorption an der Oberfläche die entsprechende Umwälzung an allen Punkten im Innern des Knochens in gleicher Proportion.

Die Thatsache des Aehnlichbleibens der Architectur beim Wachsen ist somit weder mit der ursprünglichen Juxtapositionstheorie, noch mit ihrer neueren Virchow-Volkmann'schen Modification vereinbar.

Ich werde es hiernach selbst für den Fall, dass der Maaskölliker'sche Einwand sich als überall richtig ergeben würde, immer für mich in Anspruch nehmen dürfen, schon allein auf Grund der rein anatomischen Verhältnisse der Architectur der Knochen die völlige Unhaltbarkeit dessen, was man bis heutigen Tages unter dem Begriff der Juxtapositionstheorie versteht, nachgewiesen zu haben.

---

Ich komme nunmehr 2) zu dem Nachweis der Unhaltbarkeit der Juxtapositionstheorie, insofern er sich aus der Betrachtung der physiologischen oder mathematischen Bedeutung der inneren Architectur der Knochen ergibt.

Da diese physiologische Bedeutung bisher nur an einer einzigen Körperstelle, nemlich am coxalen menschlichen Femurende, genauer



verfolgt, und durch Zeichnung und Berechnung vollkommen aufgehehlt ist, so können sich auch die folgenden Erörterungen zunächst nur auf diese Körperstelle beziehen.

Bekanntlich hat Prof. Culmann, Director des Züricher Polytechnikums, entdeckt, dass an der genannten Körperstelle die Bälkchen und Plättchen der spongiösen Region des Knochens in sogenannten Zug- und Drucklinien oder Spannungstrajectorien aufgebaut sind. Hermann Meyer theilte in seiner Epoche machenden Arbeit über die Architectur der Spongiosa zuerst diese Entdeckung mit, und ich habe, mit Herrn Prof. Culmann's Unterstützung, den genaueren Nachweis der Uebereinstimmung des Verlaufs jener Spongiosabälkchen mit den Linien der graphischen Statik an einem Krahn von der Form und Belastung des Oberschenkels, so wie die mathematische und anatomische Begründung dieser Uebereinstimmung zu liefern gesucht.

Dieser Nachweis schien bisher als allgemein anerkannt zu gelten. Erst ganz neuerdings hat Merkel Zweifel darüber ausgesprochen, „ob die Construction des Krahns zur Erklärung der Spongiosaform am oberen Ende des Oberschenkels nöthig sei <sup>1)</sup>“ und erklärt, dass er in den lateralen Zug- und den medialen Druckbälkchen eben nur einfach „gebogene Lamellensysteme“ sehe.

Indess erklärt Merkel zu Anfange seiner Arbeit, „er müsse leider gleich von vornherein bekennen, dass ihm die Gesetze der graphischen Statik nicht so geläufig sind, dass er den angestellten Berechnungen ganz folgen könne, und er müsse sich daher eines Urtheils über meine Deductionen ein- für allemal enthalten“. Und im weiteren Verlaufe seiner Arbeit scheint er doch für sich ein grösseres Verständniss der Statik in Anspruch nehmen zu wollen, als für Prof. Culmann. Denn er sucht den Leser zu überzeugen, dass der Maximaldruck, den die Last des Rumpfes bei aufrechtem Stehen auf den Oberschenkel ausübt, an einer ganz anderen Stelle zu suchen sei, als an der ihn Culmann berechnet hat. Nach Culmann beträgt <sup>2)</sup>, bei der Annahme einer Belastung des Oberschenkels mit 30 Kilogr., wie sie ja den natürlichen Verhältnissen ungefähr entspricht, der Maximaldruck für einen etwa durch die

<sup>1)</sup> Cf. dieses Archiv Bd. LIX. Hft. 2.

<sup>2)</sup> Dieses Archiv Bd. L. S. 410.

obere Grenze des Collum femoris gehenden Querschnitt 25,0 Kilogr. und für einen etwa durch seine untere Grenze gehenden 51,6, während auf einem der Mitte der Diaphyse des Femur nahe gelegenen Querschnitt ein Maximaldruck von 163,3 Kilogr. ruht. Merkel dagegen meint, dass der grösste Druck an der Stelle des im Collum femoris in der Gegend des Trochanter minor gelegenen, von ihm sogenannten, „Schenkelsporn“<sup>1)</sup> zu suchen sei. Da nun aber diese Annahme mit Culmann's Berechnungen, die wohl als unanfechtbare angesehen werden dürften, durchaus nicht stimmt, so muss man annehmen, dass Merkel dem „Schenkelsporn“ eine irrthümliche Bedeutung zugeschrieben hat.

Merkel hat ferner zwei von mir angeführte Punkte, durch welche in unwiderleglicher Weise der Beweis geliefert wird, dass die Spongiosabälkchen am coxalen Femurende in der That in den Richtungen von Spannungstrajektorien verlaufen, übersehen.

Einmal habe ich nachgewiesen, dass die Uebereinstimmung der Culmann'schen Krahnzeichnung sowohl mit dem Verlauf der Spongiosabälkchen, als auch mit der Lage der Corticalis und der Markhöhle am coxalen Femurende eine nicht nur auf den ersten Blick frappirende, sondern auch eine in Wirklichkeit absolut genaue ist. Am offenkundigsten ergab sich dies aus dem Umstande, dass es mir möglich wurde, die rechtwinklige Kreuzung der

<sup>1)</sup> Der „Schenkelsporn“ ist, wie Merkel ganz richtig bemerkt, von mir längst erwähnt und abgebildet worden. Ich habe dies Gebilde für denjenigen Theil der Corticalis des Femur angesehen, auf dem der Trochanter minor aufsitzt, und der dadurch, dass er nicht, wie die übrige Corticalis, oberflächlich liegt, sich zum Theil in spongiöse Bälkchen aufgelöst hat. Nachdem ich nach dem Erscheinen der Merkel'schen Arbeit auf's Neue meine Präparate durchgesehen habe, bin ich durch den grösseren Theil derselben nur wieder auf's Neue in dieser meiner Auffassung bestärkt worden. Sollte indess meine ganz beiläufig geäusserte Anschauung über dies Gebilde sich dennoch als irrig erweisen, so würde ich doch auf keinen Fall im Stande sein, mich zu der Merkel'schen Auffassung zu bekennen, nach welcher das Schenkelspornsystem allein eine rein teleologische Bedeutung haben, für die ganze übrige Knochenarchitectur aber eine teleologische Auffassung unzulässig sein soll. Zugleich darf ich mich hier dagegen verwahren, dass Merkel namentlich mich als Vertreter der teleologischen Deutung der Architectur der Knochen anführt. An der einzigen Stelle meiner Arbeit (l. c. S. 439), an welcher ich auf eine teleologische Auffassung zu sprechen komme, geschieht dies nur, um jene Auffassung zu bekämpfen.

Druck- und Zugbälkchen nicht etwa zufällig, sondern nachdem ich sie als mathematisches Postulat an den Präparaten gesucht hatte, zu finden.

Noch wichtiger ist zweitens der Umstand, dass ich einzig und allein in derjenigen sagittal gelegenen Schicht des Femur, welche die Statik als neutrale Faserschicht ansieht, in der That auch einen neutralen Bälkchenverlauf entdeckt habe, nemlich senkrecht der Axe des Knochens parallel aufsteigende und quere, zur Knochenaxe senkrecht stehende Bälkchen<sup>1)</sup>.

Diese beiden Umstände allein schon würden genügen, den von Merkel ausgesprochenen Zweifel als ungerechtfertigt erscheinen zu lassen, und wir dürfen es demgemäss wiederholen, dass der Verlauf der Spongiosabälkchen in den Richtungen von Spannungstrajectorien eine festgestellte Thatsache ist<sup>2)</sup>.

Nun habe ich ferner gezeigt, dass man auf jeder beliebigen Altersstufe genau dieselben Spannungstrajectorien am Femur<sup>3)</sup> vorfindet, nur natürlich in einer in allen ihren Dimensionen je nach der höheren oder niederen Altersstufe vergrösserten oder verkleinerten Form.

Auf Grund dieses Umstandes habe ich mich in meiner Arbeit v. J. 1870 dahin geäußert<sup>4)</sup>, dass aus der Natur der Spannungs-

<sup>1)</sup> Vgl. die photographische Figur 5 Taf. XI. Bd. L. dieses Archivs. Sie zeigt deutlich, dass Merkel an Präparaten, wie sie hier photographirt sind, von seinen „einfach gebogenen Lamellensystemen“ im Stich gelassen wird. Merkel freilich wird mit meiner Entdeckung des neutralen Bälkchenverlaufs im Schnitt durch die neutrale Faserschicht schnell fertig, indem er behauptet, ich hätte im sagittalen und Querschnitt des Femur „augenscheinlich wenig Neues“ gefunden.

<sup>2)</sup> Es würde mich von meinem Gegenstande ablenken, wollte ich hier noch näher auf die Merkel'sche Arbeit eingehen. Voraussichtlich finde ich dazu bald eine andere Gelegenheit. An dieser Stelle möchte ich nur noch gegen die Art und Weise protestiren, wie Merkel mich auf S. 238 seiner Arbeit citirt hat. Ich hätte nach ihm den Ausspruch gethan: „Wir haben aus allem Erörterten ersehen, dass die Natur den Knochen aufgebaut hat, wie der Ingenieur seine Brücke.“ Meinen Nachsatz: „nemlich so, dass mit einem Minimum von Materialaufwand die zweckmässigste Form erreicht wird“, hat Merkel weggelassen, und dadurch den Sinn des Citats völlig entstellt.

<sup>3)</sup> Es gilt dies wenigstens sicher, wie meine Photographien zeigen, vom 3. Lebensjahre ab, in welchem die Trajectorien bereits mit unzweifelhafter Deutlichkeit ausgeprägt sind.

<sup>4)</sup> Dieses Archiv Bd. L. S. 430.

trajectorien an dem durch die Körperlast auf Biegung beanspruchten coxalen Femurende allein schon sich die Unmöglichkeit des Appositionswachsthums an dieser Körperstelle ergebe. Denn es folge aus diesem Aufbau, dass bei der durch das Wachsen bedingten Aenderung der Form und Belastung des Knochens die der Aenderung entsprechenden Trajectorien aus den ursprünglichen Trajectorien nur entstehen können durch eine stetige, gleichzeitige, und ausschliesslich der veränderten Form und Belastung entsprechende Richtungsänderung jedes kleinsten Theilchens, niemals aber durch Zwischenlagerung in einer bestimmten Linie, oder durch Auflagerung an irgend einer Oberfläche. Ich fügte hinzu, dass mich in dieser Anschauung alle Mathematiker, die ich darum befragt hatte, bestärkt haben.

Der letzteren Bemerkung haben Lieberkühn <sup>1)</sup> und Stieda <sup>2)</sup> entgegengesetzt, dass auch von ihnen Mathematiker befragt worden seien, und diese sollen sich im Gegensatz zu den von mir befragten zu der Ansicht bekannt haben, dass gegen das Appositionswachsthum gar nichts einzuwenden sei.

Bei solcher Sachlage wird es darauf ankommen, die Mathematiker selbst zu hören, und ich habe damit gleich einen Anfang gemacht. Ich bat Herrn Prof. Grossmann, Lehrer der graphischen Statik an der hiesigen Gewerbe-Akademie, nachdem ich demselben in wiederholten Discussionen diejenigen Dinge auseinandergesetzt hatte, auf welche es der Physiologie bei der Knochenwachstumsfrage ankommt, mir zum Zweck der Publication in diesem Archiv seine Ansicht über das Wachsthum durch Apposition mitzutheilen. Hierauf hatte Herr Prof. Grossmann die Güte, mir Folgendes zu schreiben:

„Ihre Untersuchungen über den inneren Bau der Knochen haben mir in der That die Ueberzeugung verschafft, dass die Curven, welche das spongiöse Gewebe in einem Schnitt, der mit der Ebene der Kräfte zusammenfällt, zeigt, ein System sich rechtwinklig schneidender Zug- und Drucklinien oder Spannungstrajectorien bilden, so dass mit dem geringsten Materialaufwand die grösstmögliche Widerstandsfähigkeit unter den gegebenen Umständen erreicht ist. Ebenso scheint es mir nach Ihren Untersuchungen nicht zweifelhaft, dass diese zweckmässige Construction in jedem Lebensalter vorhanden ist, so dass, da der Knochen und die Vertheilung der Kräfte während des Wachsthums sich ähnlich bleiben, auch die Spannungscurven

<sup>1)</sup> Sitzungsberichte der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg 1872. No. 2. S. 40.

<sup>2)</sup> Ueber die Bildung des Knochengewebes. Leipzig 1872. S. 44.

sich ähnlich bleiben müssen. Da Ihre Untersuchungen nun das Ziel verfolgten, die Art des Wachstums der Knochen zu erforschen, und nachzuweisen, dass die Juxtappositionstheorie nicht haltbar sei, dass vielmehr ein gleichmässiges Wachsen aller kleinsten Theile stattfinde, so hatte ich schon bei einer Ihrer ersten Mittheilungen Sie darauf aufmerksam gemacht, dass der Umstand, dass das System sich stets ähnlich bleibe, nach meiner Ansicht als eine Stütze Ihrer Theorie zu betrachten sei. Diese Bemerkung will ich hier etwas näher begründen, indem ich die Thatsache, dass das spongiöse Gewebe in jedem Lebensalter die wirklichen Spannungstrajectorien darstellt, als erwiesen voraussetze. Da wir es hier nicht mit unendlich vielen die ganze Ebene bedeckenden Trajectorien zu thun haben, sondern nur mit einer beschränkten Zahl auf einem begrenzten Flächenstück, so werden zwei so beschränkte Systeme ähnlich sein, wenn die Anzahl der Curven in beiden gleich ist, und sämtliche Entfernungen entsprechender Punkte beider Systeme dasselbe Verhältniss haben. Ist eine Aehnlichkeit in diesem vollkommenen Sinne zwischen beiden Systemen vorhanden, so ist ohne Weiteres klar, dass nur durch gleichmässige Veränderung der kleinsten Theile das eine System in das andere übergeführt werden kann. Denken wir das System materiell dargestellt, so würde es z. B. durch Temperaturveränderung in ein anderes ähnliches übergeführt werden.

„Dass aber die Anzahl der Spannungstrajectorien während des Wachstums des Knochens dieselbe bleibt, ist noch nicht erwiesen, sie könnte sich durch Juxtapposition vermehren; es fragt sich daher, wie weit die einzige Bedingung, dass die Curven beider Systeme, welche in den Systemen entsprechende Lagen haben, auch ähnlich seien, über die Natur des Wachstums entscheidet. Findet das Wachstum durch Juxtapposition so statt, dass jede Trajectorie, sobald sie einmal vorhanden ist, ihrer Gestalt nach ungeändert bleibt und nur, wenn sie keine geschlossene Curve bildet, an den Endpunkten verlängert wird, so folgt aus einer einfachen Betrachtung, dass sämtliche Trajectorien in einem und demselben System einander ähnlich sein müssen; um dies zu zeigen, sei A das eine System und  $a_1, a_2, a_3 \dots$  die Trajectorien desselben, B das veränderte System und  $b_1, b_2, b_3 \dots$  dessen Trajectorien. Da die einmal vorhandenen Trajectorien ungeändert bleiben müssten, so muss  $a_1$  zum Beispiel identisch mit  $b_1$  sein. Da ferner die entsprechenden Trajectorien ähnlich sein sollen, so muss  $a_1$  einem anderen entsprechenden b z. B.  $b_2$  ähnlich sein, folglich muss auch in B die Trajectorie  $b_1 \sim b_2$  sein. Da nun bei continuirlichem Wachstum  $a_1$  der Reihe nach den  $b_1, b_2$  etc. entsprechen wird, so folgt, dass sämtliche b einander ähnlich sein müssen.

„Ein in der Natur vorkommendes Beispiel bieten die Jahresringe und Markstrahlen eines Baumstammes. Die Kreise und Radien sind Spannungstrajectorien.

„Vergleichen wir nun eben fünfjährigen und zehnjährigen Baumstamm; in dem ersten greifen wir den dritten Jahresring heraus, derselbe entspricht dem sechsten in dem zehnjährigen Stamm, und muss ihm also ähnlich sein; andererseits sind die dritten Jahresringe in beiden Stämmen congruent oder identisch, wenn wir voraussetzen, dass der zehnjährige Stamm aus dem fünfjährigen entstanden sei; folglich muss der sechste Jahresring dem dritten in dem zehnjährigen Stamm ähnlich sein. Alle Kreise sind aber ähnliche Figuren; es kann demnach das Wachstum in diesem Falle durch Juxtapposition erfolgen, wie es in der That der Fall ist.

„In allen Fällen nun, wo nicht sämtliche Trajectorien einander ähnlich sind, kann das Wachsthum nicht durch Anlagerung erfolgen. Dies wird aber der allgemeine Fall sein, der schon bei der einfachsten Annahme über die Belastung und Gestalt eines auf Biegung in Anspruch genommenen Körpers eintritt.“

Herr Prof. Grossmann weist also hier in leicht ersichtlicher Weise an einem in der Natur vorkommenden Beispiele, an den Jahresringen eines Baumstammes nach, dass nur in einem System von Trajectorien, die sämmtlich einander ähnlich sind, die Apposition neuer Trajectorien an der Oberfläche geschehen könne, ohne dass die Aehnlichkeit des durch Apposition vergrösserten mit dem ursprünglichen System dadurch beeinträchtigt werde. Sobald aber die einzelnen Trajectorien einander nicht sämmtlich ähnlich sind, wie dies schon bei den einfachsten Annahmen über die Belastung und Gestalt eines auf Biegung in Anspruch genommenen Körpers, geschweige denn gar bei den complicirten Verhältnissen eines Knochens der Fall ist, so müsse durch Apposition die Aehnlichkeit des vergrösserten mit dem ursprünglichen System vernichtet werden. Hierzu bemerke ich noch, dass Herr Prof. Grossmann dieselben Ansichten, die er hier geäussert, auch in einem Vortrage in der Sitzung der hiesigen physikalischen Gesellschaft vom 3. Nov. 1871 auseinandergesetzt, und gegen einzelne Einwendungen anderer Mitglieder der Gesellschaft vertheidigt hat.

Ich erwarte nun, dass Lieberkühn und Stieda ebenfalls die von ihnen befragten Mathematiker bitten werden, sich zu äussern, und ihre etwaigen Einwendungen gegen Prof. Grossmann's Ansicht vorzubringen.

Ehe dies aber geschehen ist, will ich absichtlich mich noch gar nicht auf die Grossmann'schen Auseinandersetzungen berufen, sondern vielmehr untersuchen, wie weit auch ohne tiefere mathematische Kenntnisse sich eine Entscheidung darüber treffen lässt, ob aus der Natur der Spannungstrajectorien die Unhaltbarkeit der Appositionstheorie folge, oder nicht.

Es lässt sich nemlich, auch ganz ohne Rücksichtnahme auf den Ausfall der Entscheidung über die von Grossmann aufgeworfene Frage nach der Aehnlichkeit der Trajectorien unter einander, auf folgende sehr einfache Weise ein ähnlicher Nachweis führen, wie wir ihn oben aus den rein anatomischen Verhältnissen der Architectur zu liefern vermochten, der Nachweis nemlich, dass

jede noch so geringe Apposition an den vom Periost bedeckten Stellen der Oberfläche des Knochens, und ebenso jede Zwischenlagerung in der Epiphysenfuge des Oberschenkels das ganze System aller bestehenden Spannungstrajectorien zu einem statisch unbrauchbaren machen, und daher den Umsturz aller bestehenden, und den Wiederaufbau neuer Trajectorien zu Wege bringen müsste.

Es liegt auf der Hand, dass eine Apposition an der periostalen Knochenfläche, die mit den schon bestehenden Druck- und Zugbälkchen verträglich sein soll, nur so stattfinden kann, dass neue Theilchen ausschliesslich im Sinn und im Verlauf einer in das System der schon bestehenden Trajectorien hineinpassenden neuen Trajectorie sich anlagern.

Dies können wir uns leicht an dem Grossmann'schen Beispiele, an den Jahresringen eines Baumes, die ja thatsächlich durch Apposition wachsen, klar machen. Hier können ja immer wieder nur solche neue Ringe, die den älteren Ringen concentrisch und ähnlich sind, angelagert werden. Ebenso könnte — das werden ohne Zweifel auch die von Lieberkühn und Stieda befragten Mathematiker von vorn herein für unbedingt erforderlich halten — eine etwaige Anlagerung am coxalen Femurende nur im Sinne eines ganzen Druck- und des entsprechenden Zugbälkchens, also an der ganzen Oberfläche der compacten und spongiösen Region des Knochens stattfinden. Dass dies nun aber in Wirklichkeit geschehe, ist aus zwei Gründen undenkbar. Einmal fehlt es an einem Theil der Oberfläche des coxalen Femurendes, nemlich an dem überknorpelten Gelenkkopf, ganz und gar an demjenigen Organ, welches die Anhänger der Appositionstheorie — auch diejenigen, welche neuerdings Resorptionen am Periost geschehen lassen — als die Matrix aller Anbildung an der äusseren Oberfläche ansehen, nemlich am Periost. Und zweitens sind, wie eine sehr einfache Betrachtung ergibt, die Trajectorien am coxalen Femurende so beschaffen, dass — wäre gar selbst die ganze Oberfläche gleichmässig mit Periost bedeckt — doch durch eine Apposition neuer Trajectorien von aussen her die ganze Form und Krümmung des Knochens sich in einer mit der Wirklichkeit in Widerspruch stehenden Weise ändern müsste. Ein Blick auf die Culmann'sche Krahnzeichnung zeigt, dass die

Trajectorien im Mittelstück des Knochens alle sehr dicht neben einander verlaufen, am Endstück des Knochens aber sich weit auseinanderfalten. Hiernach müsste eine fortdauernde Anlagerung neuer Trajectorien dahin führen, dass, wie Fig. 2 Taf. XVII. ergibt, das obere Endstück ganz unverhältnissmässig verlängert würde. Während in dem ursprünglichen in ausgezogenen Linien dargestellten System der Figur 2 der senkrechte Theil des Femur (vom unteren Ende des Collum bis in die Gegend unterhalb des Trochanter minor) sich zum horizontalen Theil (von der Gelenkoberfläche des Kopfes bis zum unteren Ende des Collum), etwa wie 1 : 1 verhält, würde in dem durch Apposition vergrösserten in strichpunctirten Linien dargestellten System der senkrechte Theil vom Trochanter minor aufwärts kaum halb so gross sein, wie der horizontale. Nun hat zwar in der That, wie aus einer i. J. 1872 erschienenen Arbeit von Karl Langer, auf die wir nachher noch einmal zurückkommen werden, hervorgeht, der Hals des Oberschenkels einen etwas grösseren Wachsthumscoefficienten, als der Schaft. Aber offenbar geschieht doch in Wirklichkeit auch nicht annähernd eine so enorme Verlängerung des Halses, wie sie die Anlagerung neuer Trajectorien an der Oberfläche des Knochens nothwendig machen würde, um so weniger, als ja gerade das Caput femoris, wo vornehmlich diese Verlängerung zu Wege gebracht werden müsste, kein Periost hat.

Ganz ebenso stehen die Bedingungen, die für eine Zwischenlagerung neuer Knochenpartikelchen in unserem System von Druck- und Zugbalken in der Gegend der Epiphysenfuge nothwendig sein würden, im offenbarsten Widerspruch mit den thatsächlichen Verhältnissen. An den Jahresringen des Baumstammes würde die Zwischenlagerung eines neuen Ringes zwischen zwei älteren Ringen möglich sein. Aber es müsste eben wieder ein ganzer, den älteren Ringen ähnlicher und concentrischer Ring zwischengelagert werden, und man müsste ausserdem annehmen, dass diejenigen älteren Ringe, die nach aussen von dem neu zwischengelagerten liegen, sich in ihrem ganzen Verlauf dehnen und strecken, um dem neuen Ringe Platz zu machen. Ebenso würde an den Zug- und Druckbalken des Oberschenkels, wenn sie gar, entgegen der Grossmann'schen Anschauung, alle einander ähnlich wären, eine Zwischenlagerung in einer bestimmten Fuge nur dann überhaupt denkbar sein, wenn diese Zwischenlagerung



überall gleichmässig zwischen zwei schon bestehenden Balken der spongiösen Region resp. ihren Fortsetzungen in der Corticalis in deren ganzem Verlaufe stattfände, und wenn ausserdem die nach aussen von diesem neuen liegenden älteren Bälkchen sich entsprechend dehnten und streckten. Diese beiden Bedingungen widersprechen aber der Wirklichkeit und namentlich auch den Voraussetzungen der Anhänger der Appositionstheorie. Nach diesen soll ja eben die Zwischenlagerung nur in einer einzigen kleinen Linie, in der des Epiphysenknorpels stattfinden. Es ist aber offenbar, dass die Lage und noch dazu gar der zickzackförmige Verlauf dieser Linien — wie ihn meine Photographien im L. Bande dieses Archivs <sup>1)</sup> darstellen — nicht das Geringste mit dem Laufe einer sich ja bekanntlich von der Mitte der Diaphyse bis in das obere Ende des Knochens erstreckenden Spannungstrajectorie gemein hat. An eine Dehnung aber, die ausschliesslich die äussersten Druck- und Zugbälkchen der spongiösen Region und ihre Fortsetzungen in der Corticalis betreffen sollte, wird kein Physiologe denken, welcher Ansicht über das Knochenwachsthum er auch huldigen möge <sup>2)</sup>.

Nachdem wir gezeigt haben, dass da, wo aus mathematischen Gründen allenfalls eine Anlagerung zulässig wäre, eine solche in Wirklichkeit nicht geschieht, wird es leicht sein, einzusehen, dass eine Anlagerung an denjenigen Stellen, wo die Anhänger der Appo-

<sup>1)</sup> Vgl. auch die schematische Figur 1 Taf. XVII.

<sup>2)</sup> Es kommt hierzu noch ein Umstand, auf den Herr Dr. Wangerin, Lehrer der Mathematik an der hiesigen Sophien-Realschule und bekannt durch ausgezeichnete mathematische Arbeiten, mich aufmerksam gemacht hat. Jede Curve im Culmann'schen Krahn hat einen bestimmten Anfangs- und Endpunkt, also eine ganz bestimmte Länge, und die weiter nach unten gelegenen Curven im Krahn sind, wie man beim Anblick der Gestalt derselben sofort erkennt, kürzer, als die höher gelegenen. Hiernach kann es keinem Zweifel unterliegen, dass die Druck- und Zugbälkchen am coxalen Femurende ebenfalls eine ganz bestimmte Länge, d. h. einen bestimmten Anfangspunkt an einer bis jetzt nicht ermittelten, vielleicht aber durch weitere Untersuchungen und mathematische Berechnungen zu ermittelnden Stelle der Diaphyse haben. Wenn nun durch Apposition die höheren Bälkchen beim Wachsen allmählich an die Stelle der niederen gelangen sollten, so müsste man annehmen, dass die Bälkchen sich beim Wachsen verkürzen. Eine solche Annahme stünde aber offenbar im Widerspruch mit den elementarsten Vorstellungen über das Wachsen organischer Gebilde.

sitionstheorie sie annehmen, nemlich ausschliesslich oder doch sehr vorzugsweise am Epiphysenknorpel und an den von Periost bedeckten Stellen des Knochens absolut unverträglich mit den schon bestehenden Spannungstrajectorien sein würde.

Eine solche Anlagerung würde ja offenbar zunächst die äussere Form des ganzen Knochens ändern. Da nun aber Gestalt und Richtung der Druck- und Zugbälkchen, ausser von der Oertlichkeit und Grösse der Belastung nur noch einzig und allein von der äusseren Form des belasteten Knochens resultiren, so würde in Folge der durch Apposition am Periost und Epiphysenknorpel bedingten Formveränderung eine Umwandlung der Richtung und des gesammten Verlaufs sämmtlicher schon bestehenden Zug- und Druckbälkchen erforderlich werden. Und wenn die Apposition an den bezeichneten Stellen — wie es ja die Appositionstheorie verlangt — eine beständig fortdauernde sein soll, so würde dadurch offenbar in jedem Moment eine Richtungsänderung sämmtlicher Bälkchen, d. i. ein unaufhörlicher chaotischer Umsturz der bestehenden und eine ebenso unaufhörliche chaotische Neubildung anders gerichteter Druck- und Zugbälkchen nothwendig werden <sup>1)</sup>.

Kurz, es zeigt uns auch die Betrachtung der physiologischen Bedeutung der inneren Architectur, dass uns nur die Wahl übrig bleibt zwischen der Annahme einer gleichmässigen interstitiellen Expansion aller Druck- und Zugbälkchen oder — falls etwa eine Apposition stattfindet — der Annahme einer Apposition mit gleichzeitiger entsprechend grosser Bälkchenumwälzung. Diese Bälkchenumwälzung würde die schon oben besprochene Architecturumwälzung, wie sie durch die rein anatomischen Verschiedenheiten der einzelnen Theile des architectonischen Bildes bedingt wird, zu einem noch complicirteren Vorgang machen. Beide Möglichkeiten aber, sowohl die Annahme der Expansion, als die der Apposition mit Architecturumwälzungen und noch dazu mit Umwälzung der Bälkchenrichtungen, machen es in gleicher Weise nothwendig, — das

<sup>1)</sup> Ein Gleiches gilt offenbar von der Annahme einer beständigen Resorption ausschliesslich an den Kölliker'schen typischen Resorptionsstellen. Eine solche würde ebenfalls nicht mit den bestehenden Spannungstrajectorien verträglich sein, und in jedem Moment einen Umbau derselben erfordern.

haben wir ja oben, bei der Besprechung der rein anatomischen Verhältnisse der Architectur der Knochen, bereits zur Genüge dargethan —, sowohl die ursprüngliche Juxtapositionstheorie vollständig zu verwerfen, als auch die heutzutage vulgärste Modification derselben, nach welcher der interstitiellen Thätigkeit ein quantitativ nur äusserst unbedeutender Antheil an den Wachsthumsvorgängen zugestanden wird.

Wir gelangen nunmehr dazu, unsere Entscheidung zwischen den beiden bisher allein noch offen gelassenen Möglichkeiten für den thatsächlichen Wachsthumsmodus zu treffen, und zwar zwischen der Expansion einerseits und der Apposition mit entsprechend grossen interstitiellen Umwälzungen andererseits.

Eine solche Entscheidung ist bis jetzt keineswegs an allen Körperstellen, auf jeder Altersstufe und bei jeder Thierspecies mit gleicher Sicherheit möglich. Indess giebt es doch wenigstens eine Körperstelle, und zwar wiederum das menschliche coxale Femurende, für die wir mindestens vom dritten Lebensjahre ab, in dem die innere Architectur bereits mit voller Deutlichkeit ihr charakteristisches Gepräge zeigt, eine vollkommen präzise Antwort auf die Frage, welche von jenen beiden Möglichkeiten die richtige sei, geben können.

Schon 1870 habe ich gezeigt, dass ein Wandern der Knochenpartikelchen aus der subepiphysären Partie des Caput femoris in das Collum, und aus dem Collum in den Anfangstheil der Diaphyse auf keine Weise mit der von mir entdeckten Orthogonalität der Bälkchenkreuzung in Einklang zu bringen sei<sup>1)</sup>. Ich halte diesen Nachweis auch heute noch in allen Punkten aufrecht, und will ihn nur im Folgenden durch mehrere Bemerkungen noch vervollständigen.

Man betrachte unsere schematische Nachbildung der inneren Architectur am coxalen Femurende Taf. XVII. Fig. 1. — Der Winkel, den die vier Seiten eines jeden der kleinen Quadrate oder Rechtecke der Spongiosa mit der Körperaxe des Menschen bilden, ist für die Vierecke aus verschiedener Höhe der spongiösen Region offenbar ein ganz verschiedener. Nennen wir diejenigen Wände der kleinen Vierecke, welche von den an der medialen Seite des Knochens entspringenden Bälkchen, den Druckbälkchen gebildet

<sup>1)</sup> Dieses Archiv Bd. L. S. 433.

werden, die Druckwände, die beiden anderen aber die Zugwände, so verlaufen z. B. die Druckwände des kleinen Quadrats 2 (Fig. 1) parallel mit der Körperaxe, während seine Zugwände senkrecht zur Körperaxe stehen. Dagegen weichen die Druckwände des Quadrats 1 ganz erheblich nach der medialen Seite hin von der Senkrechten ab, die des Quadrats 3 ebenso erheblich lateralwärts. Ebenso stehen die Zugwände der Quadrate 1 und 3 nicht mehr senkrecht, sondern schief zur Körperaxe, und zwar die Zugwände von 1 in entgegengesetztem Sinne, wie die von 3.

Wenn nun ein durch Apposition am Epiphysenknorpel bedingtes Wandern der Vierecke von oben nach unten stattfinden soll, so müsste beispielsweise das Quadrat 1, sobald es an die Stelle des Quadrats 3 gelangt ist, allmählich statt seiner nach innen von der Körperaxe abweichenden Druckwände erst senkrecht aufsteigende und dann nach aussen von der Körperaxe abweichende Druckwände bekommen haben.

Auf den ersten Blick scheint dies in der That möglich zu sein, und zwar auf zweierlei Art. Entweder nemlich könnte eine einfache Drehung und Umbiegung der sämtlichen rechtwinkligen Vierecke in der Richtung nach aussen und unten stattfinden. Oder aber die Abänderung der Richtung der Wände des herabrückenden Quadrats 1 könnte in complicirter Weise durch Apposition an den lateralen Flächen der Druckwände und den oberen Flächen der Zugwände einerseits und durch Resorptionen an den medialen Flächen der Druckwände, und an den unteren Flächen der Zugwände andererseits geschehen (Taf. XVII. Fig. 3). Indessen ergibt es sich doch bald bei genauerer Betrachtung, dass keiner von beiden Vorgängen in Wirklichkeit stattfinden kann.

Was zunächst die Drehung und Umbiegung der Vierecke nach aussen und unten betrifft, so würde dieser Vorgang, wie wiederum Herr Dr. Wangerin mir bemerkt hat, doch nicht ein in dem Maasse einfacher sein, wie man dies vielleicht annehmen könnte. Quadrat 1 (Fig. 1) z. B. würde nemlich, selbst wenn es sich nach unten und aussen drehte, immer noch erst gewisse kleine Abänderungen an seinen sämtlichen vier Wänden erfahren müssen, ehe es das Quadrat 2 ersetzen könnte. Die Wände unserer kleinen Vierecke sind ja keine genau geraden Linien, sondern Theilstücke grosser Curven. Nun erinnert Herr Dr. Wangerin daran, dass

es nur eine einzige Curve giebt, deren Krümmung in allen Theilen ihres Verlaufs dieselbe bleibt, nemlich den Kreis, während alle übrigen Curven ihre Krümmungsverhältnisse in allen Theilen ihres Verlaufs verändern. Da es nun aber selbstverständlich ist, dass die Trajectorien am Oberschenkel auf keinen Fall Kreise sein können, so folgt hieraus die Unmöglichkeit, dass ein Viereck ein anderes ersetze, ohne dass es zuvor die der Localität des anderen entsprechenden kleinen Krümmungsänderungen an seinen Wänden erfahren habe <sup>1)</sup>).

Indess, ganz abgesehen hiervon, so fehlt es doch vor Allem für eine Drehung und Umbiegung der Vierecke an der drehenden Kraft. Eine Apposition an der Epiphysenlinie des Caput femoris würde — das zeigt eine Betrachtung unserer Figur 1 — wohl die einzelnen rechtwinkligen Vierecke in der Richtung von oben nach unten herabdrängen können. Aber dabei würden doch die Wände der Vierecke immer eine und dieselbe Richtung zur Körperaxe behalten. Um die Druckwände der Vierecke nach aussen und unten zu drehen, müsste die Apposition an einer ganz anderen Stelle stattfinden, als an der dies thatsächlich geschieht, nemlich an der unteren Peripherie des Kopfes, etwa zwischen dem Buchstaben  $\gamma$  unserer Figur und der Foveola capitis femoris, und dazu müsste noch die Apposition quantitativ verschieden, in der Gegend der Foveola am bedeutendsten sein, und von da bis in die Gegend des Punktes  $\gamma$  immer mehr abnehmen.

Hierzu kommt folgender Umstand: Erfahren sämmtliche kleine Vierecke eine Drehung, so kann dies nur so geschehen, dass die ganzen Druck- und Zugbälkchen, von denen ja die Viereckswände nur einzelne kleine Theilchen sind, dieselbe Drehung, natürlich ohne Veränderung ihrer rechtwinkligen Kreuzung mitmachen. Das Herabbiegen eines höheren mehr medial gelegenen Druckbalkens an die Stelle eines tieferen ist aber eine Unmöglichkeit. Denn wenn es auch scheint, als ob dasjenige Stück des höher gelegenen Bälkchens, welches in der spongiosen Region liegt, das entsprechende

<sup>1)</sup> Ich erlaube mir hier zu bemerken, dass Herr Dr. Wangerin die grosse Güte gehabt hat, das Manuscript der vorliegenden Arbeit zu revidiren, und mich zu der Erklärung zu ermächtigen, dass nach seinem Dafürhalten von Seiten der Mathematik gegen die Auseinandersetzungen dieser Arbeit Nichts einzuwenden sei.

Stück des tiefer gelegenen Bälkchens decken kann, so gilt dies doch nicht von den Fortsetzungen, die die Bälkchen nachgewiesenermaassen, wenn auch nicht in einer für das blosse Auge erkennbaren Weise, in der Corticalis haben. Unsere Figur zeigt, dass z. B. ein in die höchste Stelle der Gelenkoberfläche aufsteigender Druckbalken sich beinahe geradlinig in die Corticalis fortsetzt, während ein in den grossen Trochanter verlaufender Druckbalken mit der zu ihm gehörigen Fortsetzung in der Corticalis einen bedeutend gekrümmten Bogen bildet.

Die zweite der genannten Arten, wie man sich auf den ersten Blick die Umänderung der Richtung der Viereckswände vorstellen könnte, nemlich durch Appositionen und Resorptionen, in der Weise, wie dies in Fig. 3 Taf. XVII an dem Viereck A, das sich allmählich in Viereck A' umwandeln soll, angedeutet ist, ergiebt sich bei näherer Betrachtung ebenfalls als unmöglich, und zwar einfach deswegen, weil es sich eben nicht um ein einzelnes Viereck handelt, welches seine Stellung zur Körperaxe ändern müsste, sondern um ganze Gruppen kleiner Quadrate und Rechtecke. Die Appositionen und Resorptionen für das Quadrat A müssten sich, wie unsere Figur zeigt, an jeder der vier Wände derselben anders gestalten, an der medialen Druckwand cd ganz anders, als an der lateralen Druckwand ab, an der oberen Zugwand bc anders, als an der unteren ad. Da aber die mediale Druckwand cd zugleich die laterale des Nachbarvierecks E ist, so würde die für A an der genannten Wand nothwendige Apposition die für E nothwendige unmöglich machen. Ein Gleiches gilt für die Vorgänge an der Zugwand ad, die zugleich die untere Wand des Quadrats A und die obere Wand des Quadrats D ist. — Auch würde die Umwandlung von A in A' durch Appositionen, wenn die Wände von A' auch fernerhin die continuirliche Fortsetzung der Wände der Nachbarvierecke bleiben sollen, die absurden Consequenzen bedingen, dass die Vierecke B und E durch ganz enorme Appositionen und Resorptionen den weiten Weg zur Lage von B' und E' zurücklegen, Viereck C sogar den noch weiteren Weg nach C' und Viereck D, das ja nach der ursprünglichen Voraussetzung sich ganz ebenso, wie A, auf den Weg nach aussen und unten begeben müsste, gar den rückläufigen Weg nach innen und oben in die Lage von D'.

Wir ersehen aus diesen Erörterungen, dass der Maas-Köl liker<sup>1)</sup>-sche Einwand, nachdem wir uns überzeugt haben, dass er so gut wie Nichts gegen meine Auffassung und so gut wie Nichts für die Juxtapositionstheorie beweisen würde, am coxalen Femurende des Menschen überhaupt nicht stichhaltig ist. Wir sehen, dass ein Wandern der kleinen rechtwinkligen Vierecke aus dem Caput femoris in das Collum und in die Diaphyse nicht stattfinden kann, weil durch keinen denkbaren Modus der Architectur-Umwälzungen eine Möglichkeit für die durch das Wandern bedingte Abänderung der Richtungen der Wände dieser Quadrate vorhanden ist. Wir sehen, dass demgemäss auch die höher gelegenen Bälkchen auf keinen Fall an die Stelle der niederen herabrücken können<sup>1)</sup>.

Es scheitert somit an der genauen makroskopischen Betrachtung normaler Femurpräparate<sup>2)</sup> nicht allein die alte Juxtapositionstheorie, sondern auch die Annahme der beständigen äusseren Appositionen und ebenso der Köl liker'schen beständigen äusseren Resorptionen mit Architectur-Umwälzungen, und es bleibt uns demnach für das coxale Femurende des Menschen nur noch die einzige Möglichkeit des Wachsens durch Expansion übrig.

Gegenüber dem hier gelieferten Nachweis von dem Verbleiben der Knochenbälkchen an ihrer Stelle erhält die Frage, ob die Expansion am coxalen Femurende — wie ich 1870 annahm — der ganz ausschliessliche Wachsthumsvorgang ist, oder ob neben demselben vielleicht noch eine äusserst geringe Apposition am Epiphysenknorpel stattfindet, so viel nehmlich, als für die relative Verlängerung, die nach Langer's Untersuchung das Collum femoris vom Anfang bis zu Ende der ganzen Wachsthumsdauer erfährt, erforderlich ist, eine durchaus untergeordnete Bedeutung. Ich

<sup>1)</sup> Strelzoff stimmt mir in Bezug auf diesen Punkt vollkommen bei. „Die Knochenbalken“, sagt er (l. c. S. 88), „werden weder resorbiert, noch zerstört, sondern sind bleibende Gebilde, welche für jeden einzelnen Knochen typisch und jedem Entwicklungsstadium eigenthümlich sind.“

<sup>2)</sup> Flemming nennt meine Beweisführung eine „mehr theoretische“ und sucht dadurch ihren Werth herabzusetzen (Archiv für experimentelle Pathologie. Leipzig 1874. II. Hft. 2 u. 3). Vielleicht darf ich mich dem gegenüber getrost der Hoffnung hingeben, dass andere Forscher mir wenigstens so viel zustehen werden, dass meine Beweisführung überall nur auf der einfachen genauen und nüchternen Betrachtung anatomischer Präparate beruht.

würde gern bereit sein — schon um unnöthigen Streit mit den vielen ausgezeichneten Mikroskopikern, welche das Stattfinden einer Apposition überall an der Diaphysenseite des Epiphysenknorpels für erwiesen halten <sup>1)</sup> — zu vermeiden, dies geringe Quantum von Apposition, durch welches nur das Collum verlängert, aber die Knochenpartikelchen des Collum nicht in die Diaphyse verdrängt werden würden, zuzugeben. Ich kann aber nicht verhehlen, dass ein zwingender Grund, die relative Verlängerung des Collum durch Apposition zu erklären, mir nicht vorhanden zu sein scheint, dass sich dieselbe vielmehr ebensogut durch ungleichmässige Expansion der verschiedenen Knochenabschnitte erklären lässt.

Schon i. J. 1870 <sup>2)</sup> nahm ich für die Knochen kleiner Säugethiere, bei denen auch von mir experimentell die vermehrte Längenzunahme in der Nähe der Epiphysenlinie nachgewiesen war, eine trägere Expansion in der Mitte der Diaphysen, eine sehr energische an ihren Enden an. Dagegen war ich in Bezug auf die menschlichen Knochen der Meinung, dass die äussere Form derselben beim Wachsen wenigstens keine sehr bedeutenden Veränderungen erleide, und dass demgemäss das Wachsen derselben in der Regel

<sup>1)</sup> So sehr auch die Meinung der Mikroskopiker in's Gewicht fällt, so ist doch auch andererseits zu bedenken, dass die mikroskopischen Forschungen über die physiologischen Verhältnisse der Knochen noch keineswegs überall ganz klare Resultate ergeben haben. Wenn es möglich war, die bis ganz vor Kurzem als vollkommen feststehend angesehene Lehre von der beständigen Apposition am Periost umzustossen, und statt dessen vielmehr das Periost an grossen Gebieten der Knochenoberfläche zu einer Resorptionsstätte zu machen, wenn es möglich war, dass zwei so ausgezeichnete Forscher, wie Kölliker und Strelzoff in Bezug auf die Knochenresorption und die meisten anderen beim Knochenwachsthum in Betracht kommenden Punkte zu fast überall gerade entgegengesetzten Resultaten gelangten, so wird es gestattet sein, vorläufig auch die Acten über die rein appositionelle Thätigkeit der Diaphysenseite des Epiphysenknorpels menschlicher Röhrenknochen, wenigstens vom 3. Lebensjahre ab, noch nicht für vollkommen geschlossen anzusehen. Mir scheint es wenigstens, als liesse sich das bekannte mikroskopische Bild an der Diaphysenseite des Epiphysenknorpels auch im Sinne einer mehr oder weniger erhöhten Energie des expansiven Wachstums der dem Epiphysenknorpel zunächst gelegenen Diaphysenschichten deuten. Die mikroskopischen Untersuchungen von Levschin, Stieda und Strelzoff sprechen ja ohnehin für ein passives Verhalten des Epiphysenknorpels.

<sup>2)</sup> l. c. S. 444.



als eine gleichmässige Expansion aller kleinsten Theilchen aufzufassen sei, etwa ähnlich der Vergrößerung von Gegenständen, wie wir sie bildlich durch photographische Apparate, oder in Wirklichkeit durch Temperatur-Erhöhungen erzeugen können.

Inzwischen haben die ausgezeichneten Langer'schen Untersuchungen gezeigt, dass auch die menschlichen Knochen sich ganz ungleichmässig expandiren. Langer<sup>1)</sup> hat durch die sorgfältigsten Messungen und Reductionen der Messungswerthe auf die Länge der einzelnen Knochen und des ganzen Skelets als Einheitswerthe die Wachsthumscoefficienten jedes einzelnen Knochenabschnittes des menschlichen Skelets festgestellt, und ist dabei zu dem Resultat gelangt, dass die erstaunlichsten Verschiedenheiten der Formen der Knochen sich allmählich beim Wachsen entwickeln<sup>2)</sup>. Jeder Knochenabschnitt, ob er an eine Knorpelfuge grenzt, oder nicht, hat seine ihm eigenthümliche Wachsthumsenergie, die bei dem einen Abschnitt zu relativen Verlängerungen und Verdickungen, bei dem anderen, wenn auch dem absoluten Werthe nach eine Stoffzunahme stattfindet, doch zu relativen Verkürzungen und Verdünnungen führt.

Zu einem ähnlichen Resultate gelangte später Strelzoff. Nach seinen Untersuchungen am fötalen Knochen und den Schlussfolgerungen aus diesen Untersuchungen auf die extrauterinen Verhält-

<sup>1)</sup> Ueber das Wachstum des menschlichen Skeletes mit Bezug auf den Riesen. Denkschr. der kais. Acad. der Wissensch. Mathem.-naturw. Kl. Wien 1872. Bd. 31. S. 1 ff.

<sup>2)</sup> Um von den höchst interessanten Ergebnissen nur einige wenige Beispiele anzuführen, so erwähne ich, dass u. A. die Processus spinosi der Wirbel die grössten Wachsthumscoefficienten unter allen Theilen der Wirbel haben, und dass dieser Coefficient mehr als das Doppelte desjenigen der Ausweitung des Foramen vertebrale beträgt. Am Femur ferner erfährt der Kopf mit der Zeit einen nicht unbeträchtlichen relativen Rückgang seiner Länge, während das Collum femoris beim Manne nicht nur absolut, sondern auch relativ viel länger ist, als beim Kinde. Am unteren Ende des Femur nimmt u. A. Länge und Breite der medialen Condylusfläche relativ ab. Ebenso nimmt die Incisur zwischen den Condylen an Breite relativ ab; ja sie zeigt sogar nach der Pubertätsperiode oft eine absolute Verkleinerung ihres Ausmaasses. — Man vergleiche unter den Abbildungen zur Langer'schen Arbeit besonders die sehr instructiven ineinandergezeichneten vergrösserten Figuren kindlicher Knochen mit den in natürlicher Grösse gezeichneten Figuren der Knochen Erwachsener, namentlich die bezüglichen Abbildungen der Wirbel und des unteren Femurendes.

nisse <sup>1)</sup> entwickeln sich die verschiedenen Knochentheile, welche das Knochenindividuum zusammensetzen (Corpus, spina scapulae, Wirbelkörper, Wirbelbogen) selbständig, und wird die Gestalt der wachsenden Knochen durch ungleichmässiges Wachsen des Knochengewebes bedingt <sup>2)</sup>.

Diese Untersuchungen machen es nun aber keineswegs wahrscheinlich, dass die relative Verlängerung des Collum femoris auf Rechnung einer sehr geringfügigen Apposition am Epiphysenknorpel zu schreiben sei. Vielmehr liegt die Annahme sehr viel näher, dass, da Knochenabschnitte, die gar nicht an die Epiphyse grenzen, eine sehr vermehrte Energie des Längenwachsthumns haben können, ebenso auch an der geringen relativen Verlängerung des Collum femoris die benachbarte Knorpelfuge unbetheiligt sei.

Es entsteht nun fernerhin die Frage, in wie weit das Resultat, zu dem wir hier für das obere Ende des Femur gelangt sind, etwa auch auf die übrigen Knochenpartien des menschlichen Körpers anwendbar ist.

An den das Kniegelenk constituirenden Knochenabschnitten, also am oberen Ende der Tibia und am unteren des Femur, finde ich im sagittalen Schnitt ähnliche orthogonale Spannungstrajektorien, wie im frontalen Schnitt durch das obere Femurende, während umgekehrt auf dem frontalen Schnitt am Kniegelenk vorwiegend <sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> l. c. S. 86 u. 78.

<sup>2)</sup> Die drei Processus, sagt u. A. Strelzoff (S. 84), „welche den Unterkiefer zusammensetzen und keinen innigen Zusammenhang mit einander haben, müssen in einem gewissen Entwicklungsstadium als drei verschiedene Knochentheile betrachtet werden, welche unabhängig von einander nach der typischen, jedem einzelnen Theile eigenthümlichen Richtung wachsen“.

Ich erinnere bei dieser Gelegenheit zugleich an Reichert's höchst interessante Betrachtungen „über den Durchbruch der bleibenden Zähne“ (Reichert u. du Bois-Reymond's Archiv 1870. S. 759). Diese Betrachtungen ergeben, dass die bleibenden Zähne in und mit ihren Alveolen an die Stelle der mit ihren Alveolen schwindenden Zähne treten, Verhältnisse, welche, da ja der Durchbruch jedes einzelnen Zahns zu verschiedenen Zeiten geschieht, ohne die Annahme eines für sich unabhängigen internen Wachsthumns jedes einzelnen Stücks der Kiefer absolut unerklärlich sind.

<sup>3)</sup> Nur wenige dem Centrum des Knochens zunächst gelegene gegen die Insertionspunkte der Ligg. cruciata hin verlaufende Bälkchen des frontalen Schnitts am oberen Ende der Tibia und am unteren des Femur kreuzen sich in der Mittellinie. Die meisten Bälkchen verlaufen dagegen parallel der Knochenaxe.

senkrecht aufsteigende und parallel zur Knochenaxe verlaufende Bälkchen vorhanden sind, wie im sagittalen Oberschenkelchnitt am Hüftgelenk. Dies Verhalten erklärt sich, wie ich glaube, auf folgende einfache Weise: Während am Hüftgelenk die medial gelegenen Oberschenkeltheilchen beim aufrechten Stehen durch die Körperlast zusammengedrückt, die lateralen auseinandergezerrt werden, die neutrale Faserschicht demgemäss in der sagittalen Ebene liegt, werden am Kniegelenk, namentlich beim Auftreten mit geringer Flexion, die hinten gelegenen Knochentheilchen durch die Körperlast zusammengedrückt, die vorderen auseinandergezerrt. Die neutrale Faserschicht liegt also am Kniegelenk in der frontalen Ebene.

Nach diesen, dem Hüftgelenk analogen, nur in Bezug auf die Schnittrichtung umgekehrten Verhältnissen scheint es mir, als ob die Annahme einer Apposition am Kniegelenk — also gerade da, wo dieselbe nach der Ansicht vieler Autoren in besonders reichlicher Weise stattfinden soll —, bis zu demselben Grade ausgeschlossen werden müsse, wie am Hüftgelenk. Indess behalte ich mir ein definitives Urtheil über die genannte Körperstelle vor, bis es mir gelungen sein wird, eine genauere mathematische Untersuchung der Architectur der das Kniegelenk constituirenden Knochentheile zu veranlassen.

Für alle übrigen Körperstellen ist die Entscheidung der Frage, ob die Knochen durch Expansion oder durch Apposition mit Architecturumwälzungen wachsen, noch viel schwieriger, und vermag ich darüber für jetzt nur Folgendes zu sagen:

Dass überhaupt unter Umständen beim Menschen geringe Architecturumwälzungen vorkommen müssen, scheint mir, wenn man die Langer'schen Untersuchungen in Betracht zieht, als feststehend angesehen werden zu müssen. Denn die von Langer nachgewiesene Veränderung der äusseren Knochenform beim Wachsen muss, ob sie nun durch Apposition oder durch ungleichmässige Expansion bedingt ist, offenbar auf alle Fälle bewirken, dass, behufs Beibehaltung des typischen Architecturbildes alle Theilchen im Innern des Knochengewebes die der Formveränderung entsprechenden interstitiellen Umwälzungen erfahren.

Ich halte es ferner auf Grund meiner eigenen Untersuchungen über die Architectur der Knochen unter pathologischen Verhältnissen<sup>1)</sup>, wie auch auf Grund der Untersuchungen der Mikroskopiker, namentlich der Kölliker'schen grossen Arbeit über die Knochenresorption für nothwendig, anzunehmen, dass äussere Appositionen und Resorptionen von geringer Quantität und natürlich mit den entsprechenden Architecturumwälzungen auch beim normalen Wachsen vorkommen können. Ich nehme also in dieser Beziehung gegenwärtig einen Standpunkt ein, der von meinem eigenen früheren Standpunkt vom Jahre 1870 etwas abweicht, und der auch mit der Anschauung Strelzoff's, welcher das Vorkommen von Resorptionen gänzlich bestreitet, nicht ganz übereinstimmt.

Meine eigenen eben erwähnten Untersuchungen waren im Grossen und Ganzen eine neue Stütze der Annahme eines fast nur internen Wachsthum. Denn sie zeigten, dass auch bei pathologischen Verhältnissen der Knochenstatik und selbst bei Erwachsenen die Abänderungen, welche die einzelnen Bälkchen in allen Partikelchen ihres ganzen Verlaufs erleiden, einzig und allein unter dem Einfluss dieser statischen Verhältnisse, also unabhängig von typischen Appositionen und Resorptionen an gewissen Linien und Flächen, die mit der Statik nichts zu schaffen haben, geschehen müssen<sup>2)</sup>. Aber sie haben mir doch auch andererseits gezeigt, dass selbst bei erwachsenen Individuen in Folge der pathologischen Veränderung der äusseren Form äussere Resorptionen statisch unbrauchbar gewordenen und äussere Appositionen statisch nothwendig werdenden Knochengewebes eintreten können<sup>3)</sup>. Wie aber die pathologischen, so werden auch die normaler Weise nach Langer vorkommenden Formveränderungen eines bestimmten Knochentheils unter Umständen an benachbarten Knochentheilen nicht nur innere Umwälzungen, sondern auch geringe äussere Appositionen und Resorptionen erforderlich machen können.

Dass aber nun die Apposition mit Architecturumwälzungen, wenn wir auch die Möglichkeit ihres Vorkommens zugeben, an irgend einer Körperstelle der vorwiegende, oder gar ausschliess-

<sup>1)</sup> Beiträge zur Lehre von der Heilung der Fracturen. Archiv für klinische Chirurgie. Bd. 14. S. 270.

<sup>2)</sup> l. c. S. 311.

<sup>3)</sup> l. c. S. 280.

liche Wachsthumsvorgang sein könne — vor dieser Annahme wird uns einfach schon das physikalische Verhalten des Knochengewebes, seine Festigkeit, Starrheit und geringe Beweglichkeit schützen. Die Anhänger der Juxtapositionstheorie sind es ja bisher immer gewesen, die auf diese Eigenschaften hinweisend, das Knochengewebe als vollkommen passiv und nahezu abgestorben dargestellt haben. Es ist nicht zu erwarten, dass unter diesen Anhängern der Apposition sich nun plötzlich Vertheidiger des unaufhörlichen chaotischen Umsturzes im Knochengewebe und somit Vertreter des der Passivität des Knochengewebes entgegengesetzten und ebenso irrthümlichen Extrems finden werden.

Was endlich die Entscheidung über die Möglichkeit des Wachsens durch Expansion oder durch Apposition mit Architecturumwälzungen bei Thierknochen und namentlich bei den kleinen Säugethieren und Vögeln betrifft, die bisher vorzugsweise für die experimentelle Untersuchung des Knochenwachthums benutzt worden sind, so fehlt es uns hier vorläufig noch an dem zuverlässigsten Wegweiser für die Beurtheilung der Wachstumsverhältnisse, nemlich an Untersuchungen über die innere Architectur der Knochen. Während die innere Architectur beim Menschen fast an allen Körperstellen genauer untersucht, und in geeigneten Präparaten dargestellt ist <sup>1)</sup>, besitzen wir über die Architectur der Thierknochen nur vereinzelte und bis jetzt für den uns vorliegenden Zweck nicht verwertbare Beobachtungen <sup>2)</sup>.

Experimentell habe ich, wie ich hier nur kurz erwähnen darf, durch genaue Messungen auseinander rückender Stifte nach-

<sup>1)</sup> Dem dritten Chirurgen-Congress habe ich zwei für das hiesige anatomische Museum bestimmte Tafeln mit Fourniersägeblättern vorgelegt, welche die innere Architectur sämtlicher Extremitätenknochen jugendlicher und erwachsener Individuen auf dem frontalen und auf dem sagittalen Durchschnitt darstellen.

<sup>2)</sup> Wolfermann's Arbeit (Reichert's und du Bois-Reymond's Archiv 1872. S. 312 — 346) enthält nur schematische Abbildungen und auch nur solche von der Architectur der Knochen grösserer Säugethiere. Hoffentlich bringen die zu erwartenden ausführlichen Publicationen der Bardeleben'schen Untersuchungen auch über die Knochenarchitectur kleiner Wirbelthiere Aufschluss. Es scheint freilich, dass der Architectur der Knochen kleiner Thiere das charakteristische und für jede einzelne Körperstelle eigenthümliche Gepräge derjenigen grösserer Thiere und des Menschen meistens fehlt.

gewiesen, dass ein expansives Längenwachsthum im Bereich der Diaphysen kleiner Thiere zu gewissen Zeiten und an gewissen Oertlichkeiten vorkommt <sup>1)</sup>. Ferner habe ich, und zwar namentlich durch den du Hamel'schen Ringversuch und die mittelst desselben bewirkte Einbiegung der Haversischen Kanälchen, dargethan, dass das Dickenwachsthum der Knochen kleiner Thiere in noch viel grösserem Maassstabe, als das Längenwachsthum durch expansive Vorgänge geschehe.

Hieraus ergibt es sich, dass das vermehrte Längenwachsthum in der Nähe der Epiphysenlinien bei kleinen Thieren ebenso gut durch ungleichmässige Expansion <sup>2)</sup> und die Annahme „aplastischer“ Stellen (Kölliker, Strelzoff) sich würde erklären lassen, wie durch Apposition <sup>3)</sup>.

Indess ich gebe zu, dass manche gewichtige Argumente, die ich in meiner nächsten Arbeit zu besprechen haben werde, in der That für ein vorwiegendes wirkliches appositionelles Längenwachsthum einzelner Knochen kleiner Thiere sprechen. Nur muss man festhalten, einmal, dass auch an diesen Knochen neben dem appositionellen ein expansives Längenwachsthum stattfindet, ferner, dass die vorwiegende Apposition, weil sie ja ohne sehr bedeutende Architecturumwälzungen undenkbar ist, in ganz anderer Weise geschehen muss, als es nach den Lehren der Appositionstheorie der Fall sein sollte, endlich, dass das Stattfinden eines bedeutenden apposi-

<sup>1)</sup> Bei diesem Nachweis befinde ich mich in Uebereinstimmung mit dem Ergebniss eines Theils der Experimente nicht blos der ältesten Experimentatoren, nemlich du Hamel's (Mém. de l'Acad. d. sc. 1743. p. 135) und Hunter's (The Works of J. Hunter. London 1835. T. IV. p. 317), sondern auch Ollier's (cf. Hoffmann's und Schwalbe's Jahresbericht pro 1872 und Gaz. hebdom. 1872. No. 37), ebenso in Uebereinstimmung mit den analogen Versuchen Gudden's über das Schädelwachsthum. (Klebs, Correspondenzblatt für schweizerische Aerzte. I. Jahrgang. No. 5 u. 6. 1871.)

<sup>2)</sup> Vgl. dieses Archiv Bd. L. S. 444.

<sup>3)</sup> Wie nach Langer z. B. der Processus spinosus des Menschen einen ausserordentlich hohen Wachsthumscoefficienten hat, so kann man sich auch denken, dass der Wachsthumscoefficient der obersten und untersten Knochenlagen der Diaphysen kleiner Thiere ein sehr hoher sei. Mit dieser Annahme wäre das von Lieberkühn nachgewiesene Wandern der Muskelaansätze in die Nähe der Gelenkenden gerade ebenso gut in Einklang zu bringen, wie mit der Annahme einer Apposition vom Epiphysenknorpel.

tionellen Längenwachsthums jener Thierknochen Nichts für ein etwa eben so bedeutendes Dickenwachsthum derselben Knochen, und noch viel weniger für ein ausschliessliches oder vorzugsweise geschehendes appositionelles Wachsthum in die Länge und Dicke beim Menschen beweisen würde. Die Annahme, dass die Verhältnisse beim Menschen — ganz sicher wenigstens an dessen coxalem Femurende — und vermuthlich auch bei grossen Thieren mit scharf ausgeprägter innerer Architectur andere sind, als bei kleinen Thieren, hat aber um so weniger Befremdendes, als bekanntlich bereits Humphry und später Ollier nachgewiesen haben, dass selbst bei einem und demselben Thiere die Energie der von ihnen angenommenen Apposition vom Epiphysenknorpel her eine an verschiedenen Körperstellen sehr verschiedene, bald eine sehr hohe, bald eine fast auf Null reducirte sein kann.

---

Zum Schluss erfülle ich die angenehme Pflicht, Herrn Prof. Grossmann und Herrn Dr. Wangerin für die Unterstützung, die sie mir bei der vorliegenden Arbeit zu Theil werden liessen, meinen Dank auszusprechen.

Berlin, im Juni 1874.

---

### N a c h t r a g.

Mehrere Wochen, nachdem ich das Manuscript der vorstehenden Arbeit Herrn Prof. Virchow übergeben hatte, erschien in diesem Archiv (Heft 1 Bd. LXI) die Abhandlung von G. Wegener „über das normale und pathologische Wachsthum der Röhrenknochen“.

Wegener hat hier endlich meine an ihn gerichtete Frage, wie er sich das Aehnlichbleiben der Architectur jugendlicher und erwachsener Individuen nach der Appositionstheorie erkläre, beantwortet. Er meint, dass er „nicht recht einsehe, warum nicht auch im Laufe der normalen Entwicklung eines Knochens sich aus einer beliebigen Structur der Spongiosa eine den zeitlichen mechanischen Anforderungen besser entsprechende herausbilden solle, und dass der Begriff des Wachsthums durch Apposition und Resorption die minimalen (!) Einschmelzungen und Anlagerungen, welche zu dieser Umbildung der Spongiosa gehören, mit einschliesst“. Diese Annahme