

III.

Ueber das normale und pathologische Wachsthum der Röhrenknochen.

Eine kritische Untersuchung auf experimenteller und casuistischer Grundlage

von

Dr. Georg Wegner,

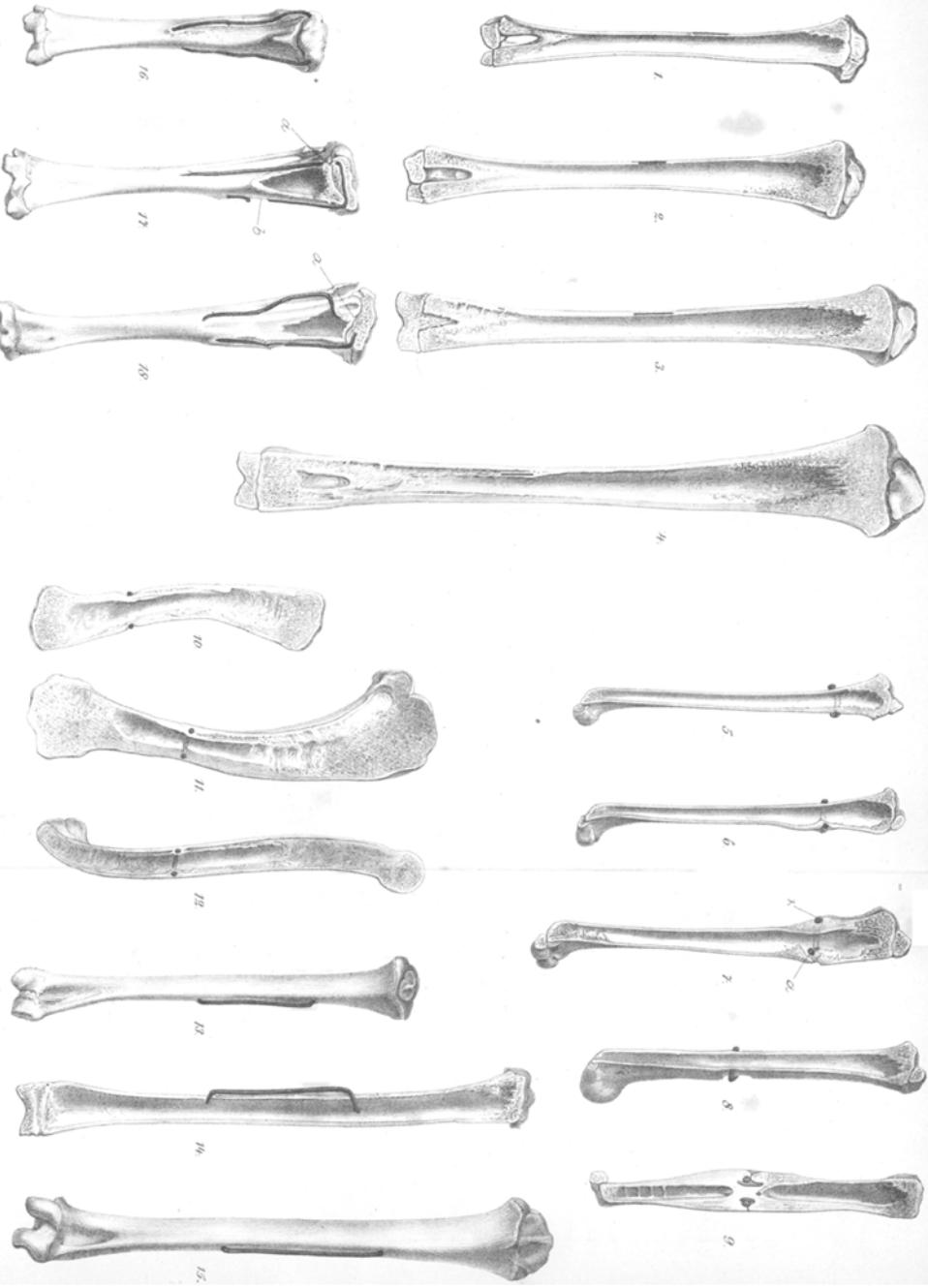
Assistenten am chirurgischen Universitätsklinikum in Berlin.

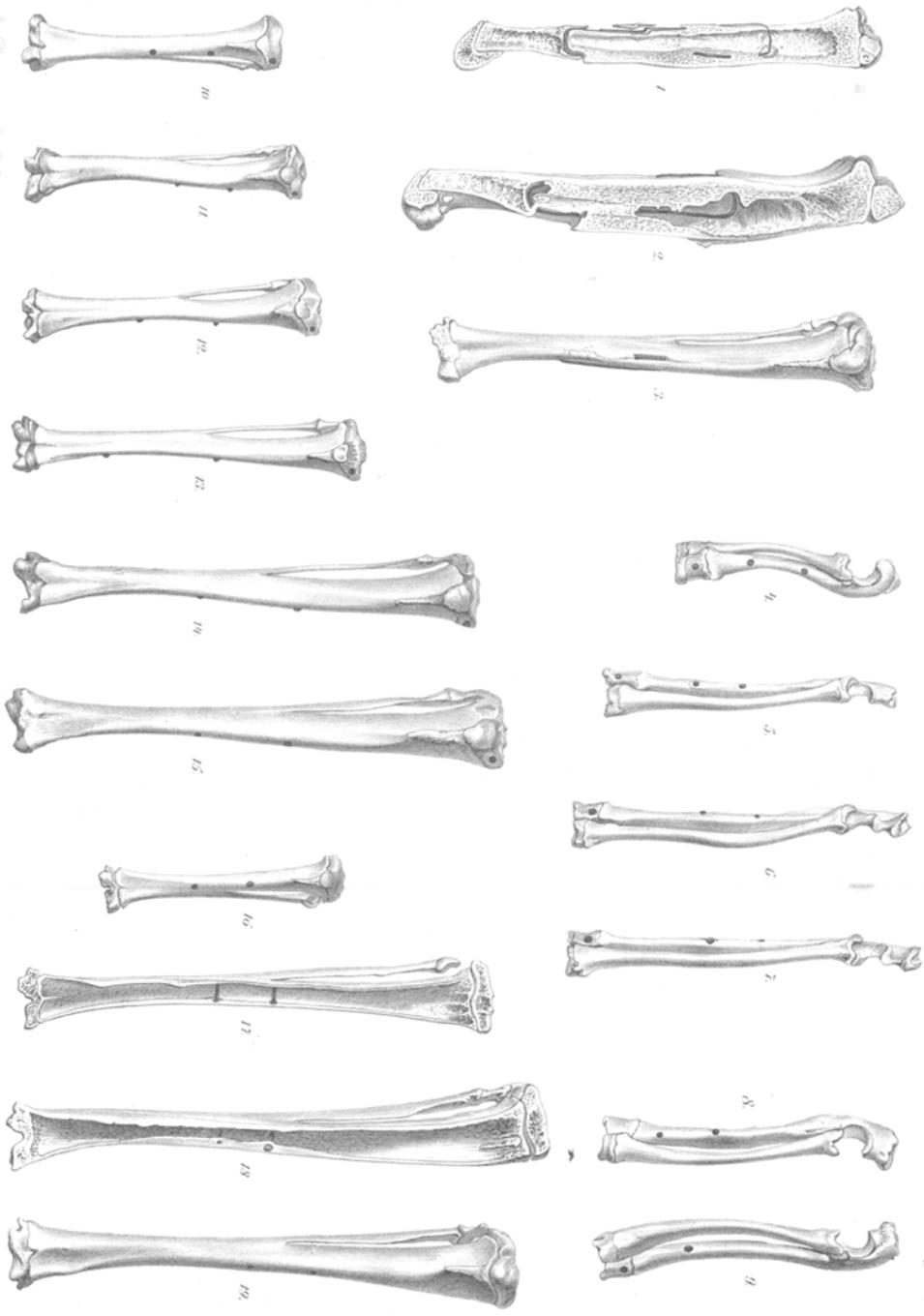
(Hierzu Taf. II — V.)

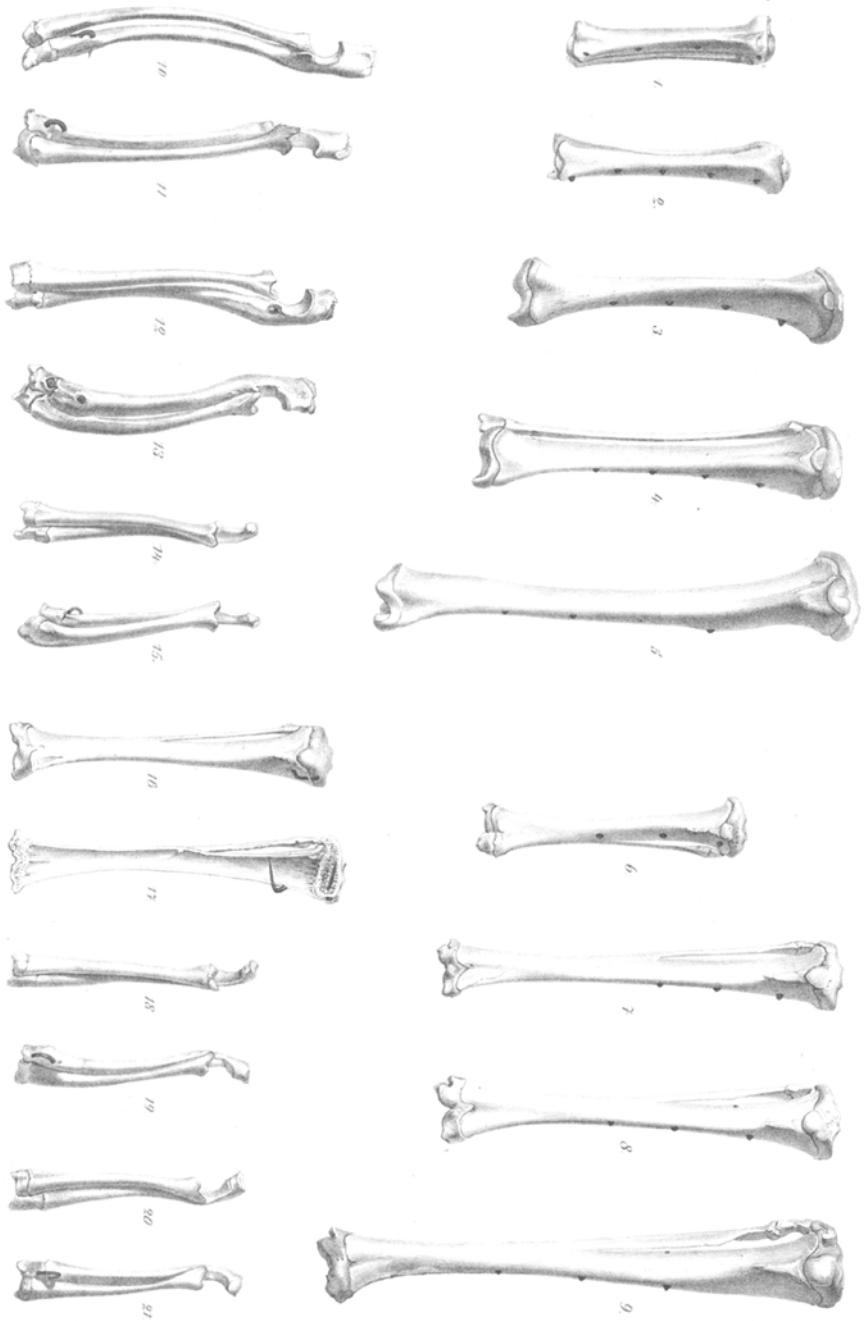
Erster Theil.

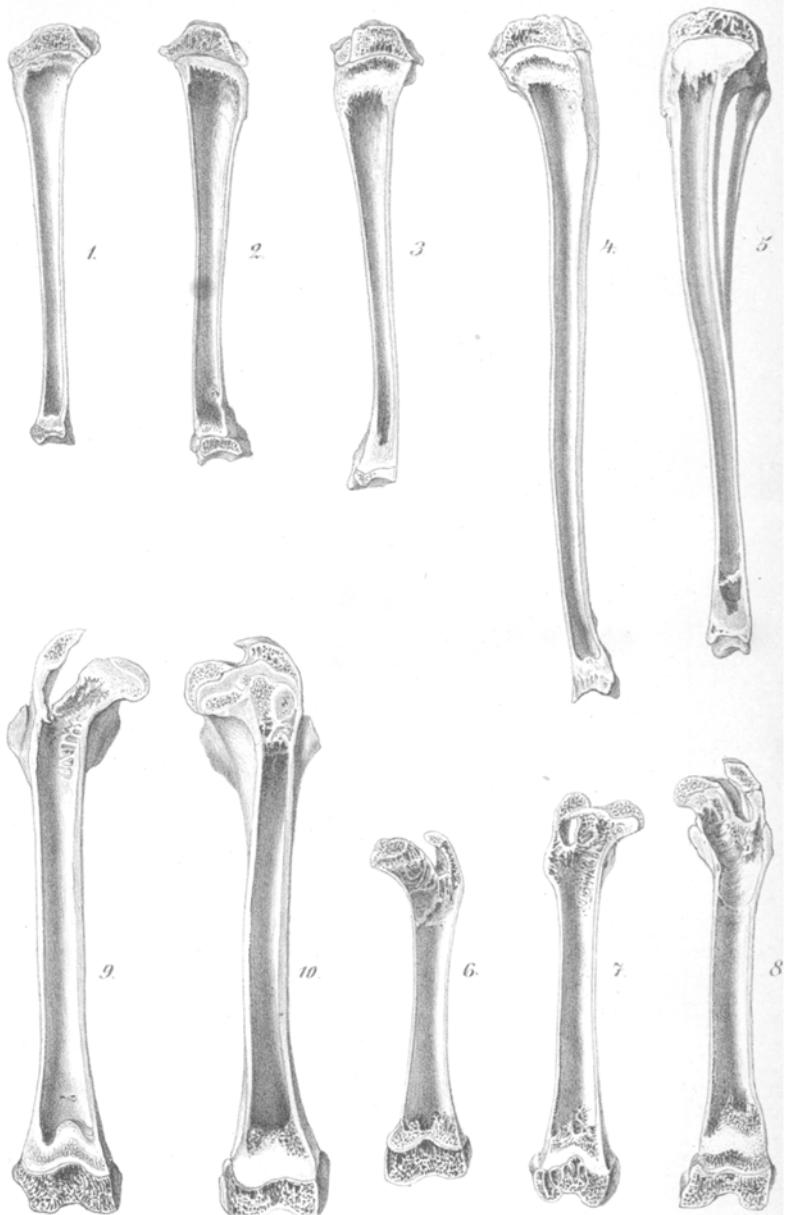
Ueber das normale Wachsthum der Röhrenknochen.

Auf Grund der bekannten fundamentalen Experimente von John Hunter, Duhamel und Flourens, die ihren Abschluss gewissermaassen fanden in dem zusammenfassenden Werke von Flourens: *Théorie expérimentale de la formation des os.* Paris 1847, war man in den fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts in Bezug auf den Modus des Wachsthums der Röhrenknochen zu der wohl allgemein acceptirten Annahme gekommen, dass die Längszunahme derselben stattfindet durch Anlagerung neuer Schichten an den Enden d. h. von den Intermediärknorpeln zwischen Epi- und Diaphysen, das Dickenwachsthum dagegen durch Apposition neuer Lagen vom Periost her. Hand in Hand mit der Apposition neuen Knochens gehe eine stetige Resorption fertiger Knochensubstanz, einmal im Innern behufs Bildung der Markhöhle, andererseits an der Aussenfläche der Röhrenknochen, namentlich an den Enden, zum Zwecke der Erhaltung der typischen Formen. Diese Anschauung musste als um so sicherer begründet erscheinen, da auch die Resultate der mikroskopischen Untersuchung auf's Beste damit im Einklang standen: man sah die Wucherung der Knorpelzellen an den intermediären Scheiben der Diaphysenenden, ihre Umwandlung in Knochengewebe und eine bis an's Ende des Wachsthums fortduernde Anbildung von Knochensubstanz; man sah ebenso, wie das Periost durch Proliferation seiner zelligen Elemente fort-









dauernd neue osteogene Substanz bildet und so Schicht um Schicht auf den alten Knochen ansetzt. Nur in Bezug auf den zweiten Theil der Hypothese, auf die gleichzeitig vor sich gehende Resorption, blieb das Mikroskop den Nachweis zunächst noch schuldig.

Es lässt sich nicht läugnen, dass der Wechsel der Gestaltungsformen an den Röhrenknochen, am Schädel und besonders am Unterkiefer, die Annahme ziemlich complicirter Appositions- und namentlich Resorptionsvorgänge nothwendig machte: eine Schwierigkeit, die um so erheblicher erschien, als in der That der Resorptionsprozess als soleher nur ex post erschlossen werden konnte, aber zur Zeit nicht zu demonstriren war. Dagegen erklärten sich diese Formenveränderungen viel leichter und ungezwungener, wenn man sich vorstellte, dass bei den einzelnen Knochen neben Apposition und Resorption auch eine Art von innerer Expansion, bald mehr bald weniger stattfände. Von diesem Gesichtspunkte aus fanden sich auf Grund später zu erwähnender Betrachtungen Virchow¹⁾, Volkmann²⁾ und Hueter³⁾ veranlasst, auf eine alte zu Floureens' Zeiten fast vergessene Theorie zurückzugreifen, die zuerst von Clopton Havers aufgestellt, weiterhin nur in Duhamel einen Vertreter gefunden hatte, nehmlich, dass der Knochen auch interstitiell wachse und sich expandire, sei es durch Vergrösserung und Vermehrung der Knochenkörperchen, oder durch die Zunahme der Intercellularsubstanz. Die Autorität namentlich der beiden erstgenannten Autoren verschaffte dieser Hypothese neuen Credit. Sie trat noch mehr hervor, als J. Wolff⁴⁾ im Jahre 1868 auf Grund eigener Versuche die bis dahin unangestastete Richtigkeit der Hunter-Floureens'schen Beobachtungen in Frage stellte. Sie wurde schliesslich ganz in den Vordergrund gestellt und als Dogma mit dem Nimbus einer, wie wir sehen werden, etwas zweifelhaften mathematischen Unfehlbarkeit umkleidet von demselben Autor, indem er aus dem von H. Meyer entdeckten, von Culmann mechanisch gedeuteten Bau der Spongiosa der Röhrenknochen Schlüsse zog, die für ihn nur die Möglichkeit des inter-

¹⁾ Dieses Archiv Bd. XIII. 1858. S. 339.

²⁾ Ibidem Bd. XXIV. 1862. S. 512. Centralbl. für die med. Wissensch. 1870. No. 9.

³⁾ Dieses Archiv Bd. XXIX. 1864. S. 121.

⁴⁾ Berl. klin. Wochenschrift 1868. No. 6.

stitiellen Wachsthums allein zulässig erscheinen liessen¹⁾. Die beiderdienstwerthe subjective Sicherheit, welche J. Wolff veranlasste, zu Gunsten seines Evangeliums den alten befestigten Grundbesitz der Wissenschaft nicht allein anzuzweifeln, sondern auch zum Theil als wissenschaftliche Täuschung zu brandmarken und die anerkennenswerthe Lebhaftigkeit, mit der der genannte Autor in Wort und Schrift für seine Anschauung plaidirte, brachten für einige Zeit ein gewisses Schwanken in die Anschauungen, um so mehr als eine Zeit lang Niemand aufrat, der die Angaben des Herrn Wolff des Genauerer prüfte.

In dieser Zeit fing ich an, die pathologischen Wachsthumsverhältnisse, namentlich der Röhrenknochen, genauer zu studiren, angeregt durch das reiche Material, welches die Charité nach dieser Richtung hin darbot und dessen Ausnutzung im umfangreichsten Maassstabe mir mein hochverehrter Lehrer Professor Virchow gestattete. Sehr bald machte sich mir das Bedürfniss geltend, mich gegenüber diesem Schwanken und diesen sich widersprechenden Angaben in Bezug auf die Theorie des normalen Knochenwachsthums auf den Boden eigener Anschauungen stellen zu können, wenn nicht anders so durch Wiederholung der gesammten Hunter-Flourens'schen und der von J. Wolff zum Theil modifizirten Versuche. Diese experimentelle Kritik, die Wiederholung aller einschlägigen bisher gemachten Versuche, die Darstellung zum Theil neuer dahin gehöriger Experimente wird den wesentlichen Inhalt des ersten Theiles dieser Abhandlung bilden. Während dieser Beschäftigung erschienen einige Beiträge seitens anderer Autoren zu der vorliegenden Frage von Maass, Lieberkühn und Kölliker; sie betreffen nur gewisse Punkte und Seiten der vorliegenden Aufgabe und werde ich ihre Resultate an den geeigneten Stellen einfügen.

In erster Linie muss uns die Frage beschäftigen: Existirt im fertigen Knochengewebe ein interstitielles Wachsthum oder nicht? Unter dem hypothetischen Begriff des interstitiellen Wachsthums verstehen wohl alle neueren Autoren jetzt übereinstimmend eine mit innerer Expansion der Knochensubstanz verbundene Volumensvermehrung derselben, sei es durch Zunahme der Intercellularsubstanz (intercellulares Wachsthum) oder durch Vergrösserung resp. Vermehrung der Knochenkörperchen (cellulares Wachsthum).

¹⁾ Dieses Archiv Bd. L. S. 389.

Es kommt hier allein in Betracht das fertige feste Knochengewebe. Dass in der werdenden Tela ossea, so lange sie noch relativ weich und in der Bildung begriffen ist, ein solches Wachsthum stattfindet, sowohl durch Vergrösserung und Theilung der Knochenzellen, als auch durch das Auseinanderrücken derselben in Folge der Vermehrung der Intercellularsubstanz, darüber dürfte wohl Niemand einen Zweifel hegen, der in der Bildung begriffene normale oder pathologische Knochensubstanz zu untersuchen öfters Gelegenheit gehabt hat; im Embryo, beim wachsenden Knochen des Kindes, in den jüngst gebildeten Schichten der Producte einer ossificirenden Periostitis, Ostitis und Osteomyelitis kann man sich überall mit Leichtigkeit davon überzeugen. Davon ist hier nicht die Rede: es handelt sich ausschliesslich um das interstitielle Wachsthum des fertigen Knochengewebes.

Gesehen, direct beobachtet und dargethan hat dasselbe bis jetzt noch Niemand. Auch die auf diesen Punkt besonders gerichteten Bemühungen von C. Ruge, an der Hand des Mikroskopos einen solchen Vorgang zu demonstriren, beweisen, wie bereits von mehreren Seiten genauer ausgeführt ist, für ein wahres interstitielles Wachsthum nichts. Sie thun wohl dar, dass der Knochen in Bezug auf die Grösse und räumlichen Abstände der Knochenkörperchen von einander in verschiedenen Lebensaltern ein etwas differentes Verhalten zeigt, nicht aber, dass ein und dasselbe einmal fertig gebildete Gewebe durch interstitielle Vorgänge zu einem anderen wird.

Gegenüber diesem Mangel eines thatsächlichen positiven Nachweises hat man das interstitielle Wachsthum indirect wahrscheinlich zu machen gesucht durch eine Reihe von Beobachtungen an wachsenden Knochen, die sich anscheinend nur schwer oder gar nicht durch die Appositionstheorie erklären liessen. Wir wollen dieselben einzeln näher betrachten und kritisiren.

Wenn man die Entstehung des Unterkiefers des Erwachsenen aus der bekanntlich sehr differenten Gestalt desselben beim Fötus und beim Neugebornen nach der Appositionstheorie herleiten will, so muss man einen sehr complicirten Mechanismus der Apposition und Resorption, besonders äusserer Absorption annehmen, welche allerdings zu der Zeit, als diese Betrachtungen gemacht wurden, nicht dargethan werden konnte. Diese Schwierigkeit veranlasste, wie es

scheint, zuerst Virchow¹⁾), an die Möglichkeit von, wie er sagt, „allerlei inneren Verschiebungen“ zu denken. Im Anschluss daran machte Hueter²⁾ besondere vergleichende Messungen an den Unterkiefern Neugeborner und Erwachsener, welche noch ganz besonders die Schwierigkeiten hervortreten liessen, wenn man nach der Appositionstheorie das Entstehen der einen Form aus der anderen herleiten wollte, ohne dass er jedoch die factische Unmöglichkeit, die Hunter-Flourens'sche Theorie auch hier gelten zu lassen, mit positiven Gründen nachzuweisen im Stande war. Er recurriert zum Zwecke der leichteren Erklärung des Wachsthumusmodus auf eine von ihm aufgestellte, übrigens vollkommen unbewiesene Hypothese, dass nehmlich, während der aufsteigende Ast im Ganzen stehen bleibt, der horizontale durch die sich entwickelnden hinteren Backzähne mit der um dieselben befindlichen neu sich bildenden Knochenschale mechanisch in der Richtung seiner Längsaxe auseinandergtrieben und dadurch auf das Doppelte verlängert werde. Man sollte meinen, es wäre ein Leichtes gewesen, irgend welche positive Beweise für diese ja immerhin zuzugebende Möglichkeit beizubringen: der hier sich vollziehende Vorgang hätte entweder durch die mikroskopische Untersuchung dargelegt werden müssen, oder auf dem Wege des Experiments, indem man bei einem wachsenden Thier in den horizontalen Kieferast zwischen den vorderen Backzähnen und den Winkel Nägel eintrieb; dieselben hätten nach Vollendung des Wachstums um eine ganz merkliche Strecke, nebenbei bemerkt um fast die ganze Hälfte der Länge des horizontalen Astes, auseinandergerückt sein müssen. Leider hat aber Hueter diese Untersuchung nicht gemacht und spätere Forscher sind auf diesem Wege zu dem entgegengesetzten Resultate gekommen: Ruge³⁾), der bei seinen Messungen gerade die in Betracht kommende Stelle des Kiefers vielfach mikroskopisch untersuchte, hat an derselben durchaus nichts Absonderliches vorgefunden; Lieberkühn hat in der angegebenen Weise Ringe um den wachsenden Unterkiefer gelegt, aber durchaus kein Auseinanderweichen derselben beobachtet. Ich selbst habe denselben Versuch mit Anwendung von Nägeln wiederholt und kann nur bestätigen, dass dieselben nicht auseinander-

¹⁾ I. c. Bd. XIII. S. 339.

²⁾ I. c. Bd. XXIX. S. 121.

³⁾ I. c. S. 239.

rücken. Damit ist die Hueter'sche Hypothese wohl widerlegt. Was das Bedenken Hueter's anlangt, dass man am Knorpel des Processus condyloideus des Unterkiefers beim wachsenden Thier und Menschen nicht dasselbe mikroskopische Bild findet wie an der Knorpelfuge der Extremitätenknochen, dass die senkrechten Reihen der Knorpelzellen fehlen, so können wir darüber hinweggehen; diese Richtung der Knorpelzellen fehlt an manchen Knorpeln namentlich dicker Knochen, und doch lassen wir das Wachsthum von demselben ausgehen und Proliferation der Knorpelzellen mit Ossification ist auch an der Knorpelscheibe des wachsenden Unterkiefers nachweisbar.

Die Hauptschwierigkeit, die Appositionstheorie, wenn auch in complicirten Einzeltorgängen beim Unterkiefer zu appliciren, lag früher wohl daran, dass man zu wenig auf die schon von Hunter postulirte Absorption auf der Oberfläche der Knochen achtete, andererseits von den Resorptionsvorgängen als solchen nichts sah.

Heute ist durch Lieberkühn's¹⁾ Versuche vermittelst der Krappfütterung experimentell nachgewiesen, dass am vorderen Rande des Proc. coronoideus eine fortwährende äussere Resorption beim wachsenden Thiere stattfindet; noch schlagender durch das ingeniose Experiment von Humphry²⁾. Legt man bei einem wachsenden Thier einen Metalldraht um den aufsteigenden Ast der Maxilla inferior, so wird später der vordere Theil des Ringes lose, während der hintere tiefer in den Knochen hineinrückt. Legt man den Draht so an, dass durch ein in den Ramus ascendens gebohrtes Loch zwei Ringe zugleich geführt werden, der eine die vordere, der andere die hintere Hälfte des Fortsatzes umfassend, so fällt nach einer gewissen Zeit der vordere Ring ganz ab, der hintere rückt wieder tiefer in den Knochen hinein.

Auch der zweite Einwand, der ganz formell gegen die Annahme der Resorptionstheorie im Allgemeinen von J. Wolff³⁾ erhoben wird, dass man von der Resorption nichts sähe, ist hinfällig geworden. Wir sehen eben heute das Wiederaufgezehrten werden der gebildeten Knochensubstanz und können sie durch alle Phasen hindurch vermittelst des Mikroskops verfolgen, nachdem

¹⁾ Marburg. Sitzungsberichte No. 10. August 1867.

²⁾ Transactions of the Cambridge Philos. society Vol. XI. p. I.

³⁾ Klin. Wochenschrift 1868. No. 6. Sep.-Abdr. S. 5.

durch die Untersuchungen von Kölliker¹⁾ und mir²⁾ der Modus der Resorption vermittelst der vielkernigen Zellen des Knochenmarks und des Periosts für pathologische ebenso wie für normale Verhältnisse nachgewiesen ist³⁾. So können wir jetzt makroskopisch und mikroskopisch nachweisen, dass am wachsenden Unterkiefer fort und fort äussere Resorption in ausgedehntester Weise stattfindet. Ich habe in letzter Zeit sowohl für den Kiefer, als für die Extremitätenknochen zu diesem Zweck ausgezeichnet geeignet gefunden die Knochen von Thieren, Hunden sowohl als Kaninchen, die eine längere Zeit mit Phosphor gefüttert waren. Der Gegensatz zwischen neu angesetzter Knochensubstanz und solcher, die der Resorption unterliegt, ist um so schlagender, weil die erstere ungewöhnlich dicht und weiss, die letztere ungewöhn-

¹⁾ Kölliker, Die normale Resorption des Knochengewebes und ihre Bedeutung etc. Leipzig 1873.

²⁾ Dieses Archiv 1873. Bd. LVI. S. 123.

³⁾ Herr Kölliker gibt sich in seinem Buche S. 15 in nicht misszuverstehender Weise Mühe, meine Arbeit über Knochenresorption als ein Plagiat der seinigen erscheinen zu lassen, trotz der grossen Differenz, die in unseren Ausgangspunkten ebenso wie in unseren Resultaten besteht, wesentlich darauf hin, dass meine erste Publication 4 Wochen nach der seinigen stattfand. Wenn dieser zeitliche Unterschied in der That vorliegt, so liegt der Grund davon einmal darin, dass ich nicht mit der Majorität der jetzigen medicinschen Autoren die Neigung theile, vorläufige Mittheilungen zu machen (meine erste Beobachtung stammt vom Januar 1872), sondern dass ich es vorziehe, fertige Dinge in definitiver und wohlbegündeter Form ein für allemal zu produciren. Ferner hielt die Berliner medicinische Gesellschaft eine für mich nach dieser Richtung hin disponibile Sitzung erst einige Wochen später, nachdem mir Herr Virchow die erste von Herrn Kölliker in die Welt geschickte vorläufige Mittheilung gezeigt hatte, und ich so nothgedrungen in die Lage versetzt war, über die betreffende Angelegenheit ein Wort zu sagen. Wenn ich nun wirklich, da ich mit dem Dampf der vorläufigen Mittheilung nicht segle, mit meinem Anspruch auf Gleichzeitigkeit nach Herrn Kölliker's Chronometer um einen halben Posttag zu spät anlangte, so wird das nach dieser Auseinandersetzung wohl sonst Niemand missverstehen. Herr Kölliker hat 6 verschiedene „Mittheilungen“ inclusive der 2 „vorläufigen“ und sein letzterschienenes Buch über denselben Gegenstand geschrieben. Vergleicht man dieselben mit meiner in 11 Seiten kurz dargestellten Untersuchung in Bezug auf sachlichen Inhalt und Sorgfältigkeit der Begründung, so dürften Vorurtheilsfreie zu der Ansicht kommen, dass sich beide Arbeiten in Bezug auf das thatsächlich Neue wohl mit einander messen können.

lich rauh und uneben erscheint, wie angefressen oder cariös ausschend. Am schönsten erkennt man den Vorgang der äusseren Resorption an der hinteren Fläche des unteren Endes des Femur, wo unmittelbar über den Condylen eine die ganze Circumferenz einnehmende Resorptionsfläche beim Kaninchen erscheint, die ganz besonders noch deswegen in's Gesicht fällt, weil sie in Folge des weit überwiegenden Wachsthums der Diaphyse von der unteren Knorpelfuge aus eine relativ beträchtliche Höhe hat. Um dieselben Verhältnisse am gewöhnlichen Knochen zu sehen, gehört schon eine gewisse Aufmerksamkeit dazu. Ich finde Resorptionsflächen regelmässig in grösserer Ausdehnung an der ganzen vorderen Fläche des Processus coronoideus und im Umfange sämmtlicher Zahnlveolen; dann verschieden gross und wechselnd vertheilt kleinere Bezirke an der Incisura mandibulae, an der Innen- und Aussenseite sowohl des horizontalen, als auch namentlich des aufsteigenden Astes. Diese Stellen wechseln in Grösse und Anordnung nach den verschiedenen Entwicklungsstadien des Knochens, offenbar nach Maassgabe der jeweilig herzustellenden typischen Form desselben¹⁾. So sehe ich für mein Theil keine Schwierigkeit, die Entwicklung des Kiefers nach der Appositionstheorie zu erklären. Intrauterin und bis zu Ende des ersten Jahres wächst der horizontale Ast in die Länge, hauptsächlich von der in der Mitte befindlichen Synchondrose aus, der aufsteigende von dem Gelenkknorpel. Während bei letzterem derselbe Modus auch in späterer Zeit sich erhält, erfährt der horizontale Ast seine Längenzunahme dadurch, dass an der hinteren Fläche des Ramus ascendens seitens des Periosts fortwährend apponirt wird, während an der vorderen Fläche des Proc. coronoideus gleichzeitig immer Knochensubstanz absorbirt wird, so dass immer neue senkrechte Ebenen der unteren Hälfte des aufsteigenden Astes als ebenso viele neue Theile des Ramus horizontalis zu dessen Längenausdehnung sich hinzusummiren. Begreiflicherweise kann durch das, bestimmten Gesetzen folgende Mäass der Resorption sowohl der früher stumpfe Winkel des Kiefers im Laufe der Zeit in den späteren spitzeren leicht umgewandelt, als auch die Form des Proc. coronoideus und condyloideus beliebig modellirt werden. Für die Alveolen ist eine der Entwicklung der Zähne angepasste Vergrösserung und Wechsel des Ortes durch fort-

¹⁾ S. auch die topographischen Angaben von Kölliker I. c.

dauernde Einschmelzung und Neubildung der Wand, wie es auch die Untersuchung zeigt, anzunehmen.

Genau dieselbe Argumentation ist auch zu führen gegen einen Einwand, den Volkmann¹⁾ gegen die Appositionstheorie erhoben hat, ausgehend von der Vergleichung der im Laufe der Entwicklung sich verändernden Formen der Extremitätenknochen. Volkmann deducirt aus einem an sich ganz correcten Schema, in welchem er eine kindliche Tibia in die eines Erwachsenen hineinzeichnet, dass die eine sich nicht ohne weiteres d. h. ohne äussere Resorption aus der anderen bilden könne und folgert daraus, dass der Knochen interstitiell wachsen müsse. Der Schluss ist richtig, nur die Prämissen falsch. Es erfolgen eben im Laufe des Wachsthums die ausgedehntesten Einschmelzungen aussen im Umfang der relativ zu dicken Diaphysenenden, die später zu schlankeren Theilen der Diaphyse werden sollen: eine nothwendige Annahme, auf welche von den gleichen Betrachtungen ausgehend schon Hunter hingewiesen hat und von deren Richtigkeit man sich mit unseren jetzigen Mitteln d. h. durch die mikroskopische Untersuchung sehr leicht überzeugen kann. Abgesehen von der blosen anatomischen Be- trachtung und der mikroskopischen Durchforschung der betreffenden Gebiete, abgesehen von den Erfolgen der Krappfütterung, wie sie von Brullé und Huguény²⁾ besonders nachgewiesen wurden, kann man sich auch durch das Experiment überzeugen, dass an der Aussenfläche der wachsenden Diaphysenenden immer wieder Knochensubstanz eingeschmolzen wird. Schlägt man bei einem halbwüchsigen Hunde in die verhältnissmässig sehr dicken Enden der Diaphyse der Tibia oben und unten unmittelbar neben den Knorpelfugen Nägel ein, so zwar, dass ihre äussere Fläche mit der Oberfläche des Knochens in gleichem Niveau steht, so sind dieselben gegen Ende des Wachsthums nicht wie in der Mitte der Diaphyse nach innen gewandert, sondern stehen im Gegentheil zum Theil aus dem Knochen heraus, d. h. hier ist weder apponirt worden, noch hat eine interstitielle Expansion stattgefunden, sondern hier sind die oberflächlichen Lagen des Knochens wieder verschwunden.

Ebenso verhält es sich mit den Apophysen der Knochen. Man hat behauptet, dass nach der Appositionstheorie die soliden Vor-

¹⁾ Dieses Archiv Bd. XXIV. S. 533.

²⁾ Annal. des sciences 1845. Tom. III. p. 283.

sprünge an den Knochen, z. B. Spina tibiae, Trochanter minor, Tubercula humeri etc. sich bis ins Unendliche vergrössern¹⁾ und, sofern sie sich an den Diaphysen befänden, in weit über das Normale hinausgehendem Maasse von den Epiphysen entferne müssten. Dabei hat man übersehen, dass sie in der That ihre Stelle wechseln; einmal gebildet verfallen sie andauernd einem progressiven, von der Mitte der Diaphyse nach der Epiphyse hin ganz allmählich sich vollziehendem Schwund durch äussere Resorption, um ebenso allmählich weiter oben resp. weiter unten durch Periostanlagerung wieder neu gebildet zu werden. Man kann sich davon überzeugen einmal durch directe Beobachtung: man findet bei wachsenden Individuen an diesen Vorsprüngen in der That Resorptionsflächen, andererseits lehrt ihre Wanderung das Experiment. Floureens bohrte genau in der Höhe der Tuberositas tibiae wachsenden Thieren einen Metallstift ein und fand nach 22, 42 und 66 Tagen die Tuberositas um 3, 13 und 17 Mm. von dem Stift entfernt. Ich habe genau denselben Versuch wiederholt und kann seine Richtigkeit bestätigen. Begreiflicherweise kann dies durch interstitielle Vorgänge nicht bewirkt werden.

Ein ähnlicher Einwand gegen die Appositionstheorie, der sich stützte auf das Stabilbleiben der Muskelansätze z. B. des Deltoideus, Latissimus dorsi, Pronator quadratus etc. in ihrem topographischen Verhältniss zu den Epiphysen der Knochen, ist von Lieberkühn widerlegt worden. Derselbe zeigte, indem er in analoger Weise wie Floureens Nägel in den Humerus einsenkte, an der Insertionsstelle des Deltoideus, dass dieselbe mit der Längszunahme des Knochens nach der oberen Epiphyse hin wirklich wandert.

Herr Wolff hat dann gegen das Vorhandensein der Resorption an den Wänden der Markhöhle eingewendet, dass um einen in die Markhöhle gebrachten fremden Körper sich Knochen bilde. Es liegt auf der Hand, dass man aus diesem rein pathologischen Factum nicht ohne Weiteres Schlüsse für das normale Verhalten ziehen kann und halte ich es nicht für nöthig, des Weiteren darauf einzugehen.

Den Abschluss in der Reihe der Momente, welche im Bereich der normalen Entwicklungsgeschichte der Knochen als nicht vereinbar mit der Appositions- und Resorptionstheorie indirect für das interstitielle Wachsthum sprechen sollten, machen die Betrachtungen,

¹⁾ J. Wolff, Klin. Wochenschrift. Separatabdr. S. 5.

welche J. Wolff an die Auseinandersetzung der von Meyer entdeckten Architektonik¹⁾ der spongiösen Substanz knüpft. Hr. Wolff glaubt nachweisen zu können, dass das Constantbleiben der Architektonik der Knochen bei wechselnder Grösse durch die einfache Apposition resp. Resorption nicht zu erklären sei. Die Schwierigkeiten jedoch, die sich ihm hier entgegensezten, schafft er sich selbst durch die ganz unberechtigte Annahme, dass dem Knochengewebe während seines Wachsthums die Unveränderlichkeit der Form innnewohne, d. h. also, dass compacte Substanz nicht in spongiöse übergehen könne, dass spongiöse Substanz sich nicht verdichten oder rarefizieren könne, oder dass spongiöse Netze, deren Bälkchen und Plättchen zu einer gewissen Zeit, z. B. in regelmässigen Fünfecken angeordnet sind, sich nicht in Vier- oder Sechsecke umsetzen können. Niemand, dem eine ausgiebige Kenntniss der pathologischen Vorgänge am Knochen zur Seite steht, der da, sei es bei Fracturen oder bei Periostitis, Ostitis und Osteomyelitis gesehen hat, wie vollkommen compacte Substanz durch alle Stadien dichteren und loseren spongiösen Gewebes hindurch zu reinem Mark umgebildet werden kann, wie andererseits das weiche Markgewebe zu loserer oder dichterer spongiöser Substanz, ja zu vollständig sklerotischem Knochen werden kann, wird Hrn. Wolff's Standpunkt und demzufolge seine Schlüsse theilen. Weist doch derselbe Autor selbst für Fracturen und Köster für Ankylosen nach, dass aus dem zunächst indifferenten Callus derselben sich eine statischen Zwecken dienende gewisse Architektonik nach und nach entwickelt; ich sehe nicht recht ein, warum nicht auch im Laufe der normalen Entwicklung eines Knochens sich aus einer beliebigen Structur der Spongiosa eine den zeitlichen mechanischen Ansforderungen besser entsprechende herausbilden solle. Der Begriff des Wachsthums durch Apposition und Resorption sagt nicht allein, dass Knochensubstanz im Groben an der Oberfläche eines Knochens angelagert wird und im Innern wieder verschwindet, sondern er schliesst auch die feineren Vorgänge ein, vermittelst deren innerhalb eines spongiösen Knochens durch gleichzeitige minimale Einschmelzungen und Anlagerungen die feinen Bälkchen und Plättchen sowohl in ihrer Form und Grösse, als auch in dem Modus ihrer Gegeneinanderlagerung modellirt werden, so zwar, dass aus rechten Durch-

¹⁾ Dieses Archiv Bd. L. S. 422.

kreuzungswinkeln schiefe werden, aus Oblongen Rectangel, aus regelmässigen Dreiecken z. B. unregelmässige Fünfecke, aus allseitig geschlossenen Räumen durchbrochene etc. etc. Hat man diese Auffassung, und ich meine jeder Histologe und Pathologe muss sie haben, so verschwinden die Bedenken, welche Hr. Wolff l. c. S. 431—435 für das Dickenwachsthum und S. 436—439 für das Längenwachsthum erhebt und damit werden auch die Schlüsse zu Gunsten des interstitiellen Wachsthums hinfällig. Auch das Argument ist nicht stichhaltig, welches Hr. Wolff gegen die Annahme von inneren Umsetzungen, von einer Art von fort dauerndem Umbau des spongiösen Gewebes im Laufe der Entwicklung geltend macht, nehmlich, dass derselbe aus statischen Gründen unmöglich sei; das einmal vorhandene Gerüst der Spongiosa sei überall auf den statischen Effect berechnet, zur mechanischen Leistung absolut erforderlich und irgend eine Umänderung in demselben müsse die mechanische Insufficienz, d.h. das Zusammenbrechen des betreffenden Knochens zur Folge haben. Aber ebenso, wie nicht ein grosser Theil der Einwohnerschaft einer Stadt in einen dieselbe durchziehenden Fluss fällt, zur Zeit, wenn man in einer verkehrsreichen Strasse eine alte Brücke durch eine neue ersetzt, aus dem einfachen Grunde, weil man gewöhnlich eine Nothbrücke etabliert, so stelle ich mir auch vor, dass unser Skelett bei dem nothwendigen Umbau der Spongiosa nicht zusammenstürzt, weil die nötige Anzahl von provisorischen Stütz- und Hülfsbälkchen entweder als überzählige schon vorhanden sind, oder zu diesem Zwecke gebildet werden und werde ich diese Vorstellung so lange für berechtigt halten, bis Hr. Wolff nachweist, dass in jedem Alter in der Spongiosa des betreffenden Knochens nur und ausschliesslich das absolut für die erforderliche statische Leistung nothwendige Quantum von Knochenbälkchen und nicht eins darüber vorhanden ist. Endlich sucht Herr Wolff den Histologen und Pathologen mit der Angabe bange zu machen, dass anonyme Mathematiker, welchen er seine Knochenpräparate gezeigt, jeden Einwand gegen die interstitielle Theorie unmöglich erklärt hätten. Auch damit hat er kein Glück. Denn abgesehen davon, dass Mathematiker nicht die competenten Beurtheiler physiologischer Vorgänge sind, so handelt es sich für ihn nicht darum, die Möglichkeit interstitiellen Wachsthums zu demonstrieren (die hat nie Jemand bestritten), sondern den interstitiellen Wachsthumsmodus als existent und zwar

als ausschliesslich vorhanden nachzuweisen. Gegen seine Auffassung aber von der ausschliesslichen Möglichkeit des interstitiellen Wachstums, soweit sie aus der Architektur des Knochens dargelegt werden soll, sprechen zur Beruhigung mathematisch schreckhafter Seelen die von Lieberkühn¹⁾ und Stieda²⁾ consultirten Sachverständigen, die den Bau der Spongiosa in den verschiedenen Lebensaltern auch mit der Appositionstheorie für verträglich erklärt.

Auch aus dem Gebiete der Pathologie³⁾ hat man Beobachtungen angeführt, welche mit den Lehren von Hunter und Floureens unvereinbar den Beweis für die interstitielle Knochenentwickelung führen sollten. Volkmann citirt Fälle von in der Nachbarschaft der Knorpelfugen befindlichen Exostosen, die, im kindlichen Alter entstanden, im Laufe des Wachstums ihr Lageverhältniss nicht geändert hätten. Einer der angeführten Fälle spricht direct für die Appositionstheorie. Eine Kritik der übrigen ist nicht möglich, da die Fälle nicht genau genug weder in Bezug auf Sitz noch auf Maasse angegeben sind. (Sassen dieselben vielleicht jenseit der Knorpelfuge nach dem Gelenk hin? Oder waren dieselben aus dem der Epiphyse angehörenden Theil der Knorpelfuge allein entstanden?). Dass ferner der Callus paraarticularer Fracturen⁴⁾ in der Nachbarschaft des Ellenbogengelenks bei Kindern sich nicht sehr gegen die Mitte der Diaphyse späterhin verschiebt, ist nach der Appositionstheorie vollkommen erklärlich, wenn man bedenkt, dass der Humerus fast ausschliesslich von der oberen Knorpelfuge aus wächst, in äusserst minimalem Maasse nur von der dem Ellenbogen-gelenk benachbarten⁵⁾. Zum Ueberfluss ist neuerdings auch das Wandern des Fracturellus durch das Experiment direct bewiesen⁶⁾.

Auf die von Volkmann in seinem ersten Aufsatze (dieses Archiv Bd. XXIV. S. 515) angeführten Fälle glaube ich nicht näher

¹⁾ Marburg. Sitzungsberichte 1872. S. 48.

²⁾ Bildung des Knochengewebes. Festschrift etc. Leipzig 1872.

³⁾ Med. Centralblatt 1870. S. 131.

⁴⁾ Ibidem S. 130.

⁵⁾ Die grosse Differenz in der Wachstumsenergie der verschiedenen Knorpelfugen habe ich des Genauerer nachgewiesen in diesem Archiv Bd. L. S. 321 etc. Erst durch Herrn v. Langenbeck wurde ich aufmerksam gemacht auf die gleichlautenden experimentellen Beobachtungen von Ollier, Journal de la Physiologie, 1861. Janvier. S. 87 etc.

⁶⁾ Archiv für klinische Chirurgie 1873. S. 203.

eingehen zu sollen, da es sich zum Theil dabei um Dinge handelt, die der Verfasser selbst jetzt wohl nach der Appositionstheorie erklären wird, zum Theil um interstitielle Atrophie, einen rein pathologischen Vorgang, der mit normaler Entwicklung nichts zu thun hat.

Wenden wir uns nun zu denjenigen Argumenten, welche als positive Stützen für die Annahme des interstitiellen Knochenwachsthums angeführt sind. Es sind dies eine Reihe von Experimenten, von Herrn Wolff gemacht, theils als Wiederholung nach älteren Autoren, theils von ihm selbst angegebene, die wenn sie richtig beobachtet und in ihrer Auslegung anstandslos, in der That die von ihm verfochtene Theorie unwiderleglich stützen würden. Betrachten wir dieselben etwas näher. In erster Linie erscheint der bekannte Hunter'sche Versuch, der zu allen Zeiten als die sicherste Widerlegung gegen das interstitielle Wachsthum gegolten hat, nehmlich, dass Nägel, die bei einem jungen Thiere in die Diaphyse mit gemessener Entfernung gesteckt werden, im Laufe des Wachsthums keine Veränderung ihrer Distanz zeigen. Dieser Versuch ist von den ausgezeichnetesten Experimentatoren Hunter, Hales, Duhamel, Floureens und endlich noch von Uffelmann übereinstimmend immer mit demselben Resultate gemacht worden: nur Herr Wolff findet den Erfolg anders. Er findet, dass in der That die Entfernung sich ändert. Jedermann müsste annehmen, dass, wenn ein Autor, der mit denselben Methoden arbeitete, auf einmal gegen die Erfahrung so vieler Vorgänger Opposition mache, dies nur thun konnte auf ausserordentlich genaue und exacte Beobachtungen hin. Mit um so grösserer Sorgfalt musste der Kritiker zu Werke gehen. Demgemäß hielt ich es für meine Pflicht, gerade diesen fundamentalen Versuch sehr vielfach zu wiederholen (an über 80 Thieren), um einmal den Erfolg desselben definitiv sicher zu stellen, andererseits auch den möglichen Fehlerquellen auf die Spur zu kommen. Ich habe denselben gemacht an den verschiedensten Thieren, Hunden, Katzen, Kaninchen und Hühnern. Hunde und Katzen eignen sich relativ wenig zu demselben, da sehr leicht Eiterung auf den operativen Eingriff erfolgt, und damit die Reinheit des Versuches beeinträchtigt wird; ganz besonders aber noch deswegen nicht, weil in der bei beiden Thierarten sehr weichen Knochensubstanz junger Individuen, namentlich am Ende der Diaphysen, die Nägel keinen rechten Halt haben, und die leichteste Blutung

genügt, um sie während der Operation und nach derselben herauszuheben. Nachdem, was ich gesehen habe, zweifle ich nicht daran, dass auch wenn keine Eiterung eintritt, sie durch folgende Hyperämie, Schwellung etc. in geringem Maasse verschoben werden können. Bei Kaninchen und Hühnern wird diese eventuelle Fehlerquelle vermieden. Hier liegen sie fast unverrückbar in dem sehr festen Gewebe, machen auch in der Mehrzahl der Fälle nicht die leiseste Reizung, so dass das Wachsthum selbst also in keiner Weise alterirt wird.

Die erste Reihe wurde nach dem beifolgenden Schema (Taf. III. Fig. 16) so gemacht, dass in den mittleren Theil der Diaphyse der Tibia (oder des Femur) mehrere Nägel mit gemessener Distanz eingetrieben wurden, so zwar, dass ihre Oberfläche mit der des Knochens in gleichem Niveau lag; um ein Beispiel anzuführen, bei einem ganzen Wurf 14 Tage alter amerikanischer Kaninchen, deren Tibia bis zur Beendigung des Versuches auf das Dreifache und Vierfache der ursprünglichen Länge wuchs. Nach Monaten wurden die Thiere getötet und auf's Neue gemessen. In allen diesen Versuchen zeigte sich vollkommen übereinstimmend, dass die Distanz sich nicht in messbarem Grade geändert hatte (vergl. Taf. III. Fig. 17—19). Zur grösseren Sicherheit wurde, wenn z. B. 5 oder 6 Nägel eingetrieben waren, auch ihre Gesamtentfernung gemessen; auch diese, die als Summe der Einzelveränderungen doch eventuell eine relativ starke Differenz hätte ergeben müssen, zeigte sich unverändert. In einigen wenigen Fällen fand ich bei Hühnern die Distanz vermehrt, aber auch gelegentlich vermindert. Jedesmal verriethen jedoch diese Präparate, dass hier etwas Pathologisches vor sich gegangen war. Auf dem senkrechten Durchschnitt nehmlich zeigte es sich, dass die Nägel schief standen, und namentlich gegen die Markhöhle hin, bald nach oben, bald nach unten von abnormen unregelmässigen Knochenmassen eingeschlossen waren. Ich scheide sie also für die Betrachtung des normalen Wachstums aus und erkläre mir das Zustandekommen der Dislocation so: an der Wand des Kanals, in dem der Nagel steckt, findet namentlich in den innersten Schichten eine entzündliche Neubildung auf einer Seite statt, welche durch den Wachstumsdruck das eine innere Ende des Nagels gewaltsam hebt und naturgemäß das andere nach aussen gelegene langsam senkt oder umgekehrt. Durch diese Veränderung wird, natürlich je nach den Verhältnissen,

bald eine Vergrösserung, bald eine Verringerung des Abstandes innen und umgekehrt aussen bedingt.

Herr Wolff ist, wie oben erwähnt, bei dem Hunter'schen Versuch zu den entgegengesetzten Resultaten gekommen. Er findet regelmässig Unterschiede. Prüft man seine Fälle aber genauer, so findet man, dass die constatirten Differenzen ausserordentlich kleine sind, so minimal, dass sie direct in den Bereich der Fehlerquellen fallen. Jeder, der sich viel mit solchen Messungen beschäftigt hat, wird die Erfahrung gemacht haben, wie schwierig es ist, dasselbe Object nach Wochen und Monaten auf so feine Unterschiede absolut genau zu messen, wie sie Herr Wolff angiebt. Nirgends finde ich bei seinen ersten Kaninchenversuchen einen Fall, wo es sich um erheblichere Unterschiede, etwa 2 oder 3 Mm. handelte. Nur solche würde ich als beweisend zulassen. Wie Herr Wolff zu seinen S. 6 erwähnten Resultaten beim Hunde gekommen, wo es sich um eine Differenz von 0,5 Cm. handelt, ist mir nach meinen Beobachtungen dunkel. Wofern die Messung an sich richtig ist, handelt es sich hier vielleicht um die Möglichkeit der Verrückung durch Hyperämie, Eiterung etc. bei an sich locker liegendem Nagel oder um die oben angeführte pathologische Dislocation, worüber der Längsschnitt Aufschluss geben müsste. Ganz unverständlich aber sind mir geblieben seine Versuche, die er in diesem Archiv Bd. L. S. 438 anführt. Ohne daher Herrn Wolff zu nahe treten oder ihm wie er es Flourens gethan, den Animus decipiendi unterschieben zu wollen, halte ich seine Resultate nicht für richtig und einfach Folge der bei so feinen Messungen, zumal wenn man etwas finden will, unvermeidlichen Täuschungen¹⁾.

Man konnte nun annehmen, dass wenn in der Mitte der Diaphyse als in dem ältesten Knochen kein interstitielles Wachsthum stattfand, dies doch noch mit einiger Aussicht zu erwarten sei in den jüngsten Schichten, also an den beiderseitigen Enden der Diaphyse in ihrer spongiösen Substanz. Zu diesem Zwecke machte ich analoge Versuche an dieser Oertlichkeit. Auch hier derselbe negative Erfolg, kein irgendwie durch Messung nachweisbares Auseinanderweichen der Stifte.

¹⁾ Zu demselben Resultat bei der Wiederholung des Hunter'schen Versuchs ist neuerdings Maass, Langenbeck's Archiv 1873. I. c. und Lieberkühn gekommen. Marburg. Sitzungsberichte 1872. No. 2. S. 41 u. 42.

Herr Wolff¹⁾ hat weiterhin zum Beweise für das interstitielle Knochenwachsthum zwei and're Versuche gemacht: „er bohrte in die Diaphyse eines jungen Thieres zwei feine Löcher und verband dieselben durch einen entsprechend langen rechtwinklig umgebogenen Metalldraht, so zwar, dass die umgebogenen Enden in die Löcher gesteckt wurden.“ Ferner „er durchbohrte den Knochen an einer höheren und tieferen Stelle horizontal, so dass an beiden Stellen je zwei Bohrlöcher entstanden und legte nun durch diese vier Löcher einen Draht, dessen Enden fest zusammengeschnürt wurden. Der Draht bildete auf diese Weise einen Längsring“. Er fand in beiden Fällen nachher eine Verkrümmung des Knochens und erklärt dieselbe dadurch, dass der Draht oder der Ring die Expansion der zwischengefassten Knochenpartie hemme. Es finde also eine Expansion statt. Ich habe diese Versuche zur Prüfung an mehr als 30 Thieren, Katzen, Kaninchen und Hühnern wiederholt; um das Ausmaass der zu erwartenden Krümmung möglichst gross zu bekommen, legte ich die Drähte so an, dass die Enden unmittelbar im oberen und unteren Ende der Diaphyse steckten, aber in keinem Falle habe ich eine Verkrümmung des Knochens darnach beobachtet. Die Drähte resp. Ringe finden sich da, wo das normale Wachsthum durch den von ihnen ausgeübten Reiz nicht gestört wird, sei es durch Eiterung, ossificirende Periostitis oder Necrose etc. in ihrer unveränderten Lage zu den nach wie vor geraden Knochen vor, nur mit der Modalität, dass sie, wie die später zu erwähnenden unter das Periost gelegten Körper Plättchen, Ringe etc. mehr und mehr nach Innen vorrückten und endlich in der Markhöhle selbst erschienen²⁾), während sie natürlich gleichzeitig von den Epiphysen sich entfernten (s. Taf. II. Fig. 13—15 u. Taf. III. Fig. 1—3). Ich zweifle nicht an der Wahrheit der Versicherung des Herrn Wolff, dass er bei einzelnen dieser Versuche auch Verkrümmungen gesehen habe. Auch ich habe ebenso wie Maass eine ganze Reihe von Präparaten erhalten, die wohl eine Krümmung des Knochens vortäuschen könnten: nur lässt sich in jedem einzelnen Falle der Nachweis führen, dass es sich um pathologische Objecte handelt, zu deren richtiger Beurtheilung und Interpretation allerdings eine gewisse

¹⁾ Klin. Wochenschrift 1868. No. 5. Sep.-Abdr. S. 7.

²⁾ Zu genau denselben Resultaten führten auch die Versuche von Maass l. c., S. 204.

Kenntniss pathologischer Vorgänge gehört, die nicht Jedermann besitzt. Es handelt sich in diesen Fällen aller Wahrscheinlichkeit nach um die Concurrenz einer ganzen Reihe differenter pathologischer Prozesse, wie Eiterung, Beschränkung und Unterbrechung der normalen Thätigkeit des Periosts, quantitative und temporäre Abnormität der Resorptionsvorgänge, alles dem Pathologen wohlbekannte Dinge, die in ihrem Zusammenwirken allerdings recht paradoxe Producte liefern können. Unter ähnlichen Umständen, auch ohne Zuhilfenahme von künstlich in den Knochen gelegten Fremdkörpern, kommen sehr abnorme Krümmungen der Röhrenknochen auch beim Menschen vor, ohne dass es dem unsichtigen Pathologen einfällt, daraus ohne Weiteres die Gesetze des normalen Wachsthums zu construiren. Ebenso verkehrt wie es ist, Pathologie zu treiben, ohne Physiologie zu wissen, ebenso bedenklich erscheint es und muss zu gleich unrichtigen Schlüssen führen, wenn man physiologische Experimente macht und interpretirt, ohne mit ängstlichster Vorsicht, unterstützt von der nothwendigen Breite pathologischer Anschauungen, das, was in ihnen Pathologisches arrivirt, auszuscheiden.

Ganz ebenso steht es mit der Beobachtung von Herrn Wolff, dass solche Längsringe gelegentlich nach Aussen wandern. In der Pathologie sind eben viele sonderbare Dinge möglich. Derartige Resultate beweisen aber für die Theorie des normalen Knochenwachsthums, gegenüber den später zu erwähnenden Versuchen mit den wandernden Plättchen, wo eine Störung der normalen Vorgänge nicht stattgefunden hat, gar nichts. Auch ich habe ja manche sonderbare pathologische Objecte bei diesen Versuchen gesehen, aber ich scheide sie eben für die Beweisführung des normalen Wachsthums aus und analysire sie in ihrem Zusammenhange mit den Beobachtungen und Gesetzen der Pathologie¹⁾.

Zur Stütze der interstitiellen Theorie führt schliesslich Herr Wolff noch das Resultat des Versuches an, wenn man nach Duhamel um einen wachsenden Knochen subperiostal einen Ring anbringt. Während, wie wir später sehen werden, in der Mehrzahl der Fälle der Ring einfach nach Innen wandert, so erzeugt

¹⁾ Herr Wolff hat diesen Versuch gegen die Resorptionstheorie angeführt; wie derselbe nach seiner Meinung durch interstitielle Vorgänge überhaupt erklärt werden kann, ist mir unklar geblieben.

er gelegentlich eine Art Einbiegung des Knochens, d. h. an der betreffenden Stelle bleibt derselbe dünn, die Markhöhle eng, während oberhalb und unterhalb des Ringes dieselbe ihre normale Weite, die Corticalis die normale Dicke hat. Dies deutet Herr Wolff als hervorgebracht durch die Behinderung der Expansion des Knochens in Folge des umschnürenden Ringes. Die Thatsache mag richtig sein¹⁾, die Deutung ist wieder falsch. Die Beobachtung ist im Hinblick auf den sonstigen Befund bei diesen und ähnlichen weiterhin zu erwähnenden Experimenten so zu erklären, dass an der Umschlingungsstelle die Thätigkeit des Periosts zeitweise verhindert worden ist, während oberhalb und unterhalb die normale Ablagerung stattgefunden hat²⁾). Diese Behinderung ist um so erklärlicher, als Herr Wolff in seinen Versuchen, wie er selbst angiebt, den Ring stets „fest“ zusammenschnürte. Wenn Herr Wolff seine Auslegung mit dem Argument zu stützen glaubt³⁾), dass die Havers'schen Kanälchen oberhalb und unterhalb mit denen der eingeschnürten Partie in Continuität seien und eine Einbiegung zeigen, so beweist das nichts. Mit derselben Argumentation könnte man deduciren, dass wenn bei periostitischen Auflagerungen in späterer Zeit die Havers'schen Kanälchen mit denen der normalen Corticalis in continuirliche Verbindung treten, diese Auflagerungen durch interstitielles Wachsthum der Rindenschicht entstanden seien. Es treten eben im Laufe der normalen wie der pathologischen Knochenbildung später gebildete Gefässkanäle mit den früher vorhandenen in directe Continuität; verlaufen beide nicht parallel mit einander, so kann dies natürlich nur unter einem mehr oder weniger ausgesprochenen Winkel geschehen, was dann den Eindruck der Einbiegung macht.

In jüngster Zeit endlich hat noch Gudden⁴⁾ Experimente veröffentlicht, die aufs Neue für die interstitielle Expansion sprechen sollen. Analog dem Hunter'schen Versuch in den Schädel ganz junger Kaninchen eingeborene Löcher sollten beim Wachsthum auseinanderrücken. Ich habe selbst am Schädel nicht experimentirt.

¹⁾ Obgleich dieser Erfolg weder von Maass noch von Lieberkühn noch von mir erreicht worden ist.

²⁾ In derselben Weise interpretere ich das l. c. S. 432 Experiment am Hundeschädel.

³⁾ Dieses Archiv Bd. L. S. 431.

⁴⁾ Correspondenzblatt für die schweizerischen Aerzte. Jahrgang I. No. 5.

Abgesehen davon aber, dass es höchst unwahrscheinlich ist, dass die Wachsthumsvorgänge am Schädel im Prinzip verschiedene sein sollten von denen an den Extremitätenknochen, so erscheinen mir Gudden's Versuche nicht beweisend, weil die angewandte Methode eine ungenügende ist und Fehlerquellen nicht ausschliesst. Ich habe bereits oben erwähnt, dass so feine Messungen, wie sie auch Gudden anstellt, selbst wenn man sich der Stifte bedient, sehr schwierig sind und doch hat man hier fixe, unwandelbare Punkte. Um wievielmehr die Ränder früher einmal gemachter Löcher! Es widerspricht aller Erfahrung, dass in einem so thätigen Gewebe, wie der wachsende Knochen, künstliche Hohlräume wochenlang unverändert bleiben sollten. Ohne Zweifel wird an die Ränder neue Substanz zur Ausfüllung des Defectes angesetzt und dadurch die wirklichen Ränder von einander entfernt. Die Schätzung einer etwaigen Veränderung der Grösse derselben nach Wochen ist begreiflicherweise eine sehr precäre und damit die Quelle von Irrthümern gegeben. Diese Unsicherheit hat schon Hunter anerkannt und deswegen Schrotkörner in die Löcher eingelegt.

Wenden wir uns nun zur kritischen Betrachtung der Appositions- und Resorptions-Theorie, zur Würdigung der gegen und für dieselbe vorgebrachten und vorzubringenden Beweismittel. Die ganze Reihe der Argumente, die man als indirecte Stützen für das interstitielle Wachsthum anführte, sollten zugleich die Appositionstheorie widerlegen; wir haben sie im Vorhergehenden einzeln beleuchtet und ihre Grundlosigkeit dargethan. Wir haben nachgewiesen, dass eine interstitielle Expansion fertigen Knochengewebes nicht stattfinde, dass die Resorptionsvorgänge überall sicht- und demonstrirbar sind, dass der Wechsel in der Gestalt des Unterkiefers, das Wandern der Knochenvorsprünge, der Muskelansätze, pathologischer Bildungen (Exostosen und paraarticulärer Callus), endlich das Stabilbleiben der Architektur der Knochen wohl vereinbar sind mit der Appositionstheorie. Indirect kann also nichts mehr gegen dieselben vorgebracht werden. Positive Beweise aber liegen in Hülle und Fülle vor.

Man hat zunächst schon frühzeitig darauf aufmerksam gemacht, dass die sogenannten Intermediärknorpel oder Knorpelfugen so lange in den Knochen vorhanden sind in immer abnehmender Substanzmasse, als nachweisbar das Wachsthum dauert. Es hat

die Wahrscheinlichkeit für sich, wenn man sie aus diesem Grunde, zusammengehalten mit anderen Verhältnissen, in einen ursächlichen Zusammenhang mit dem Wachsthum selbst bringt. Wenn Herr Wolff dieses Argument zu entkräften meint, indem er sagt, diese Persistenz der Knorpelfugen sei nichts als eine „Jugendeigenthümlichkeit der Knochen“¹⁾), so können wir darin nur eine mittelalterliche Naivetät sehen, die statt einer Sache wissenschaftlich auf den Grund zu gehen, lieber mit einer Phrase sich über dieselbe hinweg setzt.

Durch eine Reihe der interessantesten Experimente ebenso, wie durch die alltägliche pathologische Erfahrung ist nachgewiesen, dass es die specifische Fähigkeit des Periostes ist, Knochen zu produciren; es liegt gewiss nahe, diese Thätigkeit desselben auch für die normale Entwicklung des Knochens als seine Aufgabe anzusehen. Herr Wolff sucht dies Argument dadurch zu beseitigen, dass er nachweist, dass Knochen auch nach totaler Entfernung der Beinhaut noch in die Dicke nach wie vor wachsen. Es dürfte ihm als Pathologen und Chirurgen wohl bekannt sein, dass dasselbe sich aus den umgebenden Weichtheilen regenerirt; weniger nahe scheint ihm der Gedanke gelegen zu haben, dass ebenso wie der regenerirte Schwanz der Eidechse sich wieder bewegt, so auch das neugebildete Periost seine normale Function beim wachsenden Thiere, nehmlich die ossificatorische Thätigkeit wieder aufnehmen möchte. Zum Ueberfluss habe ich nach dieser Richtung hin noch eine Reihe von Experimenten gemacht. Es ist in der That überraschend, wie schnell und sicher das Periost bei nicht allzu tiefen operativen Eingriffen sich regenerirt. Man excidire dasselbe einem Kaninchen an der vorderen Fläche der Tibia und man wird, wosfern keine Eiterung etc. eintritt, nach 10 Tagen die Oberfläche des Knochens bereits von einer Schicht gleichen Gewebes überzogen finden. Dass dies wahres Periost ist, zeigt nicht nur die genaueste Uebereinstimmung in der geweblichen Structur, sondern auch die Ossificationsfähigkeit desselben. Wenn man es transplantirt, so producirt es ebenso wie das vorher vorhandene Knochen. Aehnliche Verhältnisse sind für die Nahtsubstanz am Schädel nachgewiesen von Gudden I. c. S. 5.

Ausgezeichnete Meister der Histologie haben auf dem Wege der mikroskopischen Untersuchung den directen morphologischen

¹⁾ Dieses Archiv Bd. L. S. 439.

Nachweis geführt, dass in der That im wachsenden Knochen aus dem wuchernden Knorpel der Intermediärscheibe, ebenso wie aus der Couche osteogène des Periostes Knochen entsteht. Diese Dinge sind zu allseitig bekannt, als dass ich noch ein Wort darüber verlieren sollte. Herr Wolff übergeht in seinen Publicationen diesen positivsten Beweis der Apposition vollkommen mit Stillschweigen. Ich kann mir nur mit Mühe vorstellen, dass Jemand, der wie Herr Wolff, sich als competenten und endgültigen Theoretiker in der Frage des Knochenwachsthums gerirt, diese wichtige Seite der Beweisführung übergangen haben sollte, ohne sie einer gründlichen Prüfung zu unterziehen. Vielleicht hält er auch die mikroskopische Structur des Intermediärknorpels, in der selbst der Anfänger eviderter als irgendwo die energischesten Wachsthumsvorgänge zu sehen im Stande ist, ebenso wie das Vorhandensein der Knorpelfugen überhaupt, im Stillen für nichts als eine Jugendeigenthümlichkeit dieses Knorpels. Sollte ich mit dieser Vermuthung nicht irren, so ist das derselbe mittelalterliche Standpunkt, für den die Erfindung des Mikroskops allerdings ein überflüssiges Ding war und will ich über denselben nicht weiter discutiren.

Werfen wir nun einen Blick auf die Experimente, die in grosser Zahl und Mannichfaltigkeit angestellt die Appositionstheorie stützen, zunächst diejenigen, welche das Dickenwachsthum durch Apposition und Resorption beweisen. Das älteste in dieser Reihe ist von Duhamel, ein um den wachsenden Knochen gelegter Drahtring, der im Laufe des Wachsthums durch alle Schichten der Rinde hindurch nach der Markhöhle wandert. Herr Wolff behauptet, dass dieses Experiment falsch, oder wenn man lieber will, von Duhamel und Flourens erdichtet sei¹⁾.

Legt man einen Drahtring subperiostal um einen wachsenden Knochen, so sieht man allerdings in den Fällen, wo es ohne erheblichere pathologische Reaction abgeht, dass derselbe Schicht für Schicht durch die Rinde hindurchdringt (Taf. II. Fig. 5—12) bis

¹⁾ Klin. Wochenschrift 1868. Sep.-Abdr. S. 8. Herr Wolff fühlte wohl die Inconsequenz in der Interpretation, wenn er den Querring einfach durch interstitielle Expansion durchschneiden liess, während bei derselben Expansion ein Längsring eine Krümmung bewirken sollte. Deswegen empfahl es sich mehr zu behaupten, dass über den Duhamel'schen Versuch überhaupt noch keine „sorgfältigen“ Beobachtungen vor ihm gemacht worden seien.

schliesslich in die Markhöhle und zwar ganz gleichmässig, wenn er z. B. im unteren Drittheil des Humerus vom Huhn angelegt wird, wo allseitig eine gleichmässige periostale Apposition stattfindet. Vollzieht sich dagegen das Dickenwachsthum überwiegend an einem gewissen Segmente des Knochens, wie z. B. im oberen Drittheil der Tibia desselben Thieres, so tritt natürlich nur ein Theil des Ringes, nehmlich der vordere, in die Markhöhle; ja es kann geschehen, dass letzterer sogar sich von der Knochenoberfläche nach Aussen entfernt, wenn nehmlich, wie es hier an der hinteren Fläche der Tibia in der That geschieht, behufs Gestaltung der typischen Form des Knochens wesentlich Schwund durch Resorption statt hat (vergl. Taf. II. Fig. 7). Dieses reine Bild des Vorgangs erhält man in einer Reihe von Fällen; in anderen geschieht durch den fremden Körper eine intensive Reizung. Es entsteht oft weit greifende Periostitis mit dicken umfangreichen Auflagerungsschichten. Nicht selten vergesellschaftet sich damit eine ossificirende Entzündung des Knochenmarkes, so dass an der Wand der Markhöhle entsprechend der Lage des Ringes sich neugebildete Schichten anlagern, ja die ganze Markhöhle durch dieselben ausgefüllt wird, eines der elegantesten Beispiele des auf eine relativ weite Strecke fortgepflanzten pathologischen Reizes. Sind die inneren Schichten dünner, ihre Substanz dabei sehr dicht, so bekommt man auf dem Längsschnitt leicht den fälschlichen Eindruck, als wenn die hier vorhandene Verengerung der Markhöhle bedingt sei durch eine Einknickung der Corticalis. Dass dem nicht so ist, lehrt das genauere Zusehen und die sorgfältige Beobachtung einer ganzen Reihe von Präparaten. Dass gelegentlich einmal an der Stelle des Ringes eine wirkliche Einknickung vorkommen könne, will ich nicht bezweifeln, obgleich ich sie in meinen zahlreichen Versuchen ebenso wenig wie Lieberkühn gesehen habe; vielleicht ist unsre Methode des Experimentirens schonender und deshalb mehr geeignet, diese tiefer gehende pathologische Reaction zu vermeiden. Ich würde diesen Fall dann eben als pathologisch betrachten und ihn in der S. 62 auseinandergesetzten Weise interpretiren¹⁾. Für das normale Wachsthum würde er natürlich durchaus nichts beweisen.

¹⁾ Vgl. die übereinstimmenden Erfahrungen von Maass in v. Langenbeck's Archiv 1873. S. 200.

Bekanntlich kann der Vorgang bei diesem Versuche, wenn der Ring wie bei dem Humerus des Huhnes vollständig nach der Markhöhle wandert, sowohl nach der Appositions-, als auch nach der Expansionstheorie genügend erklärt werden; beweisend ist er aber für die Appositionstheorie, wenn der Ring wie bei der Tibia zum Theil in die Markhöhle wandert, zum Theil ganz ab von der Oberfläche des Knochens zu liegen kommt, denn dies kann schlechterdings durch Expansion des Knochens nicht erklärt werden. Der zweite noch schlagendere Versuch dafür, dass das Dickenwachsthum durch Apposition aussen und Resorption innen geschieht, ist der zuerst von Floureens angestellte, wonach ein unter das Periost gelegtes Metallplättchen im Laufe des Wachsthums nach innen wandert. Die Richtigkeit auch dieses Experimentes ist von Herrn Wolff in Frage gestellt worden¹⁾). Sehen wir, wie es damit steht.

Ich habe zu demselben, abweichend von Floureens, der dazu wesentlich Hunde benutzte, ganz junge Hühner am bequemsten gefunden. Bei den Hunden bekam ich sehr häufig nach der Operation Eiterung und Ausstossung der Metallplättchen. Kaninchen sind deswegen zu dem Versuch wenig brauchbar, weil an der einzigen Stelle, wo man ohne grosse Weichtheilverletzung und käische Eiterung das Plättchen anbringen kann, nehmlich etwa in der Mitte der Tibia vorn, das Dickenwachsthum sehr gering ist, so dass sehr viel Zeit vergehen muss, ehe man ein demonstrables Resultat erreicht. Wurden sie übrigens höher nach dem Ende der Diaphyse hin angebracht, wo stärkeres Dickenwachsthum stattfindet, so ist der Erfolg der gleiche, wie in den weiter zu erwähnenden Fällen, nur war der Procentsatz der sterbenden Thiere sehr gross. In beiden Beziehungen sind Hühner vorzuziehen; einmal deswegen, weil an der Tibia an der vorerwähnten, auch hier applicabelsten Stelle die Apposition eine sehr lebhafte ist, andererseits heilen fast regelmässig die Plättchen hier ohne die geringste Reaction seitens des Knochens ein²⁾).

Ein Blick auf Taf. II, Fig. 1—4 lehrt die vollkommenste Ueber-einstimmung mit den Floureens'schen Befunden. Die Plättchen

¹⁾ Klin. Wochenschr. 1868. Sep.-Abdr. S. 10.

²⁾ Ich führe diese Détails hier an, um eine Erklärung dafür zu geben, warum möglicherweise Herr Wolff bei diesen leichten Versuchen so gar nicht réussirt hat.

ansfangs unter dem Periost auf der Oberfläche der Rinde liegen, rücken, wie der Durchschnitt zeigt, immer mehr von aussen nach innen, bis sie schliesslich unter den innersten, die Markhöhle begrenzenden Lagen, ja endlich in dem weichen Gewebe des Knochenmarks, das heisst in der Markhöhle selbst erscheinen. Das Einzige, was etwa als abnorm zu bezeichnen ist, ist der Umstand, dass wenn das Plättchen auch bereits im inneren Umfang der Markhöhle angelangt ist, sich dennoch in seinem Umfange gewissermaassen als Decke gegen die Markhöhle hin eine ganz dünne Knochenlage erhält. Abgesehen hiervon haben wir es hier mit dem ganz normalen Wachsthum, mit keinerlei pathologischen Vorgängen zu thun, davon überzeugt sich jeder, der die Präparate ansieht.

Es bedarf keiner besonderen Erwähnung, dass analoge Versuche ein gleiches Resultat haben, so z. B., wenn man Nägel senkrecht in die Corticalis der Diaphyse eintreibt, so zwar, dass ihre Oberfläche mit der des Knochens in gleichem Niveau liegt, so werden dieselben da, wo lebhaftes Dickenwachsthum stattfindet, bald überwachsen, verdeckt und erscheinen später entweder noch in den centralen Schichten der Corticalis, oder ganz frei in der Markhöhle¹⁾.

Nächst diesen alten Experimenten ist auch die Untersuchung von Thieren, die während des Wachsthums mit Krapp gefüttert worden sind, ein augenscheinlicher Beweis für die Appositionstheorie. Herr Wolff hat die aus dieser Methode gezogenen Schlüsse dadurch zu discreditiren versucht, dass er behauptete, auch der vor der Fütterungszeit gebildete Knochen färbe sich nachträglich roth und sei somit für das Alter der gefärbten Knochensubstanz nichts aus den Fütterungsresultaten zu entnehmen. Seit wir aber wissen, dass auch innerhalb der Markhöhle und an den Wänden der Haversischen Kanäle Knochen neu angesetzt wird, ist diese Methode namentlich durch die genauen Untersuchungen von Lieberkühn²⁾ wieder als vollkommen beweisende anerkannt. Die Facta an sich sind zur Genüge bekannt und brauche ich nur auf die Darstellung von Flourens und Lieberkühn hinzuweisen.

¹⁾ Ich besitze zahlreiche Präparate, die das demonstriren, habe aber Abstand davon genommen, sie abbilden zu lassen, weil sie nichts mehr als die Versuche mit den Plättchen beweisen.

²⁾ Ueber Wachsthum und Resorpt. d. Knochen. Univers. progr. Marburg 1867.

Analoge Resultate gibt die Fütterung wachsender Thiere mit reinem Phosphor. Es ist mir gelungen nachzuweisen¹⁾, dass unter dem Einfluss desselben gewisse Theile der Knochen eine verdichtete Beschaffenheit annehmen; es liegt sehr nahe anzunehmen, dass diese verdichteten Theile gerade die während der betreffenden Fütterungszeit neu gebildeten sind. Daraus folgt wieder, dass wir umgekehrt aus der Oerlichkeit, wo die verdichtete Knochensubstanz sich zeigt schliessen können, an welchen Stellen überhaupt neues Knochengewebe abgelagert wird. Wir finden aber mit Hülfe der mikroskopischen Untersuchung feiner Schritte von Röhrenknochen wachsender Thiere diese abnorm dichte Substanz in der äussersten Lage der Corticalis; setzen wir eine Zeit lang die Phosphorfütterung aus, so wandert diese Schicht nach der Markhöhle hin, und untersuchen wir die Knochen von Thieren, die mehrfach der Fütterung mit Phosphor mit freien Intervallen ausgesetzt sind, so finden wir alternirende Schichten verdichteten und normalen Knochengewebes in concentrischen Lagen die Corticalis bildend. Es stimmt dies genau mit den Krappversuchen und spricht auf das Evidenterste für die Apposition vom Periost her.

Es erübrigt nun noch eine Revision der experimentellen Beweise für die Theorie, dass das Längenwachsthum der Röhrenknochen von den Intermediärknorpeln geliefert wird. Ich habe zu diesem Zwecke die älteren Experimente sämmtlich wiederholt und eine Reihe neuer, die mir beweiskräftig schienen, hinzugefügt.

Es werden ganz jungen Thieren eine grössere Zahl von Nägeln mit gemessener Distanz in die Diaphyse der Tibia eingetrieben, so zwar, dass der oberste unmittelbar unterhalb der oberen, der unterste unmittelbar oberhalb der unteren Knorpelfuge liegt (s. Taf. IV. Fig. 1). Stets ist das Resultat, wenn man nach angemessener Zeit untersucht so, dass der oberste und unterste von den Knorpelfugen abgerückt sind, während die Entfernung zwischen den Nägeln selbst auch nicht um ein Minimum verändert sind (vergl. Taf. IV. Fig. 2—5 u. 7—9).

In einer anderen Versuchsreihe werden die Nägel so placirt, dass (s. Taf. III. Fig. 4 u. 10) der oberste resp. unterste oder alle beide in den betreffenden Epiphysen selbst, d. h. unterhalb resp.

¹⁾ Dieses Archiv Bd. LV.

oberhalb der Knorpelfuge liegen. Auch hier bleibt die Entfernung zwischen je zwei Nägeln in der Diaphyse dieselbe. Dagegen ist sie in einer gewissen Zeit gewachsen um ein wenig, um das Doppelte oder Dreifache (das hängt natürlich von der Versuchsdauer und der Energie des Wachstums des ganzen Knochens ab) zwischen den zwei resp. den vier Nägeln, welche den einen oder eventuell beide Intermediärknorpel zwischen sich fassen (vgl. Taf. III. Fig. 4—7 u. 10—15). Beispielsshalber führe ich einen dieser Versuche genauer an. Einem 14 Tage alten Kaninchen wurden in die Tibia vier Nägel eingeschlagen, so dass der oberste in der Epiphyse, die drei unteren unterhalb der Knorpelfuge sämmtlich im obersten Theil der Diaphyse steckten; zwischen je zwei dieser vier Nägel immer die gleiche Entfernung, nehmlich 2 Mm. Nach 6 Wochen ist die Distanz zwischen dem ersten und zweiten, welche die Knorpelfuge zwischen sich fassen, auf 8 Mm. angewachsen, während die zwischen den an der Diaphyse befindlichen unverändert 2 Mm. geblieben ist. Sehr elegant und beweiseud ist folgender Versuch (s. Taf. III. Fig. 8 u. 9): Bei einem ganz kleinen Kaninchen werden in die Ulna beider Seiten je zwei Nägel mit genau 1 Ctm. Entfernung eingetrieben; auf der einen Seite liegen sie beide im unteren Ende der Diaphyse nahe der Knorpelfuge, auf der anderen Seite liegt der eine in der Diaphyse, der andere unterhalb des Intermediärknorpels in der Epiphyse. Im erstenen Falle war nach 6 Wochen die Distanz ganz dieselbe geblieben, nehmlich 1,0 Ctm., im zweitenen Falle 1,3 Ctm., die Nägel also durch die Anlagerung vom Knorpel aus um 3 Mm. auseinander gewichen.

Wird das Längenwachsthum wesentlich durch die Thätigkeit des Intermediärknorpels bedingt, so muss dasselbe vollständig inhibit oder mindestens in erheblichem Grade alterirt werden, wenn man durch künstlich erzeugte Compression die durch die Proliferation des Knorpels bewirkte Expansion resp. Anlagerung hindert. Also gewissermaassen die Probe auf die vorerwähnten Experimente müssen die folgenden liefern. Eine kleine Metallspange oder Zwieke, deren beide Stäbe, am Ende etwas zugespitzt, vollkommen parallel auf der einen Seite auseinanderstehen, auf der anderen Seite in einem kleinen Bogen mit einander verbunden sind, werden so in das untere Ende des Radius oder der Ulna eingesenkt, dass sie genau

senkrecht zur Längsaxe des Knochens stehend die Intermediärscheibe zwischen sich fassen; die feinen Spitzen ragen oberflächlich auf der volaren, der Bogen auf der dorsalen Seite heraus (beiläufig will ich bemerken, dass eine solche Spange an irgend einer Stelle der Diaphyse befindlich, gar keinen sichtbaren Einfluss hat). Abgesehen von den Fällen nun, wo Eiterung und consecutive Nekrose des Knorpels eintritt, die natürlich für die Theorie des normalen Wachsthums nur bedingten Werth haben, giebt es hier drei Eventualitäten (s. Taf. IV. Fig. 10—15 u. 18—21): Entweder die Spange bleibt intact liegen, und dann bleibt der Knochen im Längswachsthum gegen den der anderen Seite zurück, da eben durch den seitlich ausgeübten Druck die Expansion des Knorpels gehindert wird (Taf. IV. Fig. 15). So fand ich bei einem ganz jungen Thiere nach 5 Wochen eine Längendifferenz beider Radii um 3 Mm., bei einem anderen nach 5½ Wochen um 5 Mm. In einem dritten Falle machte ich den Versuch so, dass in der rechten Ulna die Spange wie in den beiden erwähnten Experimenten die untere Knorpelfuge umfasste, an der linken Seite unmittelbar oberhalb derselben in der spongiösen Substanz am Ende der Diaphyse steckte. Nach 6 Wochen (s. Taf. IV. Fig. 10 u. 11) war die rechte Ulna um 5 Mm. länger als die linke. Die Spange blieb rechts unverrückt stehen, auf der linken Seite war sie von der Knorpelfuge weg nach aufwärts gewandert. Der Radius derselben Seite, an der die das Wachsthum hemmende Spange an der Ulna sich befindet, wächst natürlich ungehindert weiter, nur muss er sich, da er oben und unten durch den Bandapparat an der Ulna fixirt ist, krümmen. Da auch das Wachsthum der Epiphyse der Ulna gehindert ist, so bleiben die Gelenkflächen nicht mehr correspondirend zu denen der Hand und letztere stellt sich in Abduction, eventuell in Adduction, wenn am Radius das Längswachsthum künstlich gehindert wird. Interessant ist bei diesen Versuchen das Ergebniss der feineren Untersuchung. Schon an makroskopischen Durchschnitten erkennt man die etwas geringere Durchsichtigkeit der comprimirten Knorpelfuge. Bei der mikroskopischen Betrachtung sieht man dann die Reihen der sich richtenden Knorpelzellen sehr viel dichter als die normalen (bezüglich der anderen Seite): dieselben sind abgeplattet, offenbar comprimirt und die untersten Lagen gehen durch Fettmetamorphose zu Grunde. Unter Umständen wenn der Druck der

Spange fast ausschliesslich mitten wirkt, zeigen sich die Knorpelzellen nach aussen hin in Bogen gestellt. Sitzt die Drahtspange zufällig etwas mehr seitlich, so dass der Druck auch nur mehr partiell wirkt, so stellt sich die Knorpelfuge schief und die Folge ist eine Verkrümmung des Knochens mit der Concavität nach der Seite hingerichtet, wo die Drahtspange excentrisch liegt.

Die zweite Möglichkeit, die eintreten kann, ist die, dass durch den stetig wirkenden Seitendruck des wuchernden Intermediärknorpels die beiden vorher parallel stehenden Stäbchen der Spange in einen spitzen bis stumpfen Winkel auseinandergebogen werden, dessen Oeffnung nach den Spitzen, der Scheitel nach dem Bogen steht. Dann schreitet das Längswachsthum, soweit es von diesem Knorpel geliefert wird, wenn auch etwas verlangsamt, immerhin fort (Taf. IV. Fig. 19 u. 21).

Oder endlich es wird durch den Druck des wachsenden Knorpels der die beiden Parallelstifte verbindende Bogen der Spange, namentlich wenn das Metall sehr spröde ist, direct zersprengt. Das Wachsthum ist fortan nicht mehr gehemmt und schreitet in normaler Weise fort, während die nunmehr getrennten Stifte einfach auseinanderrücken (s. Taf. IV. Fig. 13, 16 u. 17).

Etwas Aehnliches kann man erreichen, wenn man einen Längsring z. B. durch die Tibia so anlegt, dass das obere Ende in der oberen Epiphyse, das untere in der Diaphyse steckt (s. Taf. II. Fig. 16—18). Hier wird entweder wieder durch den Wachsthumssdruck der Knorpelfuge der Ring (ich benutzte meist Bleidraht) gesprengt und das Wachsthum schreitet ungehindert fort oder der Knorpel bleibt in Folge des Druckes im Wachsthum stehen, wenn die Expansivkraft des Knorpels nicht genügt, um die Cohärenz des Metallringes zu überwinden. Combiniren sich beide Möglichkeiten in einem Falle, so dass seitens des gesprengten Ringes auf der einen Seite kein Hinderniss mehr da ist, während die andere noch unter demselben leidet, so entstehen absonderliche Verkrümmungen des Knochens, die für den Pathologen leicht zu erklären, in der Hand gewisser Experimentatoren die unschuldige Ursache schlimmer Schlussfolgerungen werden können.

Ich habe ferner, um die Thätigkeit des Intermediärknorpels zu zeigen, bei sehr jungen Thieren denselben durch Ferrum candens vollständig zerstört, indem ich erwartete, dass nun der Knochen im

Längswachsthum stehen bleiben würde. Indessen ist der Eingriff bei jungen Kaninchen so verletzend, die Eiterung so beträchtlich, dass die Thiere immer zu Grunde gingen, ehe ein Erfolg zu constatiren war. Doch ist mir öfters wider Willen eine Zerstörung des Knorpels gelungen; nehmlich wenn Eiterung und circumscripte Nekrose folgte, nachdem ich zu anderen Zwecken Stifte, Zwicken etc. in die unmittelbare Nähe desselben gebracht hatte. Es giebt dann allerlei Deformationen des Knochens, die alle auf das hier ausfallene Längswachsthum zurückzuführen sind.

Alle diese Versuche thun in klarer Weise dar, dass das Längenwachsthum der Röhrenknochen ausgeht von den Knorpelfugen. Diese Theorie wird weiter bestätigt durch die Beobachtungen nach Krappfütterung, in Bezug auf deren Détail ich auch hier auf die Arbeiten von Flourens, Brullé, Huguény, Lieberkühn und Kölliker verweise.

Auf's Schönste im Einklang stehen mit diesen die Resultate der Phosphorfütterung. Während bei der Krappfütterung die jüngst apponirte Schicht am Intermediärknorpel roth erscheint, so wird sie bei dem Phosphorégime statt spongiös dicht und compact. Lässt man jetzt die Phosphorgaben eine Zeit lang weg, so erscheint, während die verdichtete Schicht nach der Markhöhle zugewendet ist, unmittelbar an der Intermediärscheibe eine Lage gewöhnlicher spongiöser Substanz. Setzt jetzt die Phosphorfütterung wieder ein, so findet man an allen Knorpelfugen alternirende Schichten von verdichtetem und normalem spongiösem Knochengewebe. In Bezug auf das Genauere (s. Taf. IV. Fig. 1—10).

Auch pathologische Erfahrungen sprechen für die Appositions- und Resorptionstheorie. So die Wachstumsstörung am Schädel nach prämaturer Synostose der Nähte, nach Nekrose der Knorpelfugen an den Extremitäten etc. Ich komme des Ausführlicheren darauf zurück im zweiten Theile dieser Untersuchung.

Werfen wir nun zum Schluss einen Blick rückwärts auf den Gang der Darstellung. Wir haben zunächst nachgewiesen, dass die Argumente, die indirect für die Existenz eines interstitiellen Knochenwachsthums sprechen sollten, nicht stichhaltig sind, wir haben ebenso dargethan, dass die Experimente, die einen positiven Nachweis liefern sollten, irrig sind zum Theil in der Beobachtung, zum Theil in der Auslegung. Da anderweitige Beweisgründe nicht exi-

stiren, so folgt daraus bis auf Weiteres, dass ein interstitielles Wachsthum nicht existirt. Wir haben ferner in ihrer Vollständigkeit die mannichfältigen Beweise für die Appositionstheorie zusammengestellt: Wir fanden keinerlei stichhaltige Beweise gegen dieselbe; die Experimente, die für dasselbe sprachen und deren Richtigkeit man bestritten hatte, haben wir von neuem bestätigt und eine Reihe anderer nach derselben Richtung zeugender hinzugefügt. Mit einem Worte wir constatiren, dass die vorliegenden Beobachtungen und Erfahrungen alle dafür sprechen, dass das Wachsthum der Knochen in der That nur auf dem Wege der Apposition und Resorption erfolgt.

Vielleicht wird mancher Leser dieser Seiten den Eindruck eines gewissen Missverhältnisses bekommen, welches besteht zwischen der Ausdehnung dieser durch drei Jahre hindurch mit nicht unbedeutendem Aufwande von Zeit, Mühe und Versuchsmaterial durchgeföhrten Untersuchung und der Menge des Neuen, das durch dieselbe geleistet ist. Der Autor selbst ist nicht der Letzte, der unter dem etwas unbehaglichen Einfluss dieser Betrachtung leidet. Es ist hier nicht der Ort, die moralische Frage zu erörtern, wie weit es erlaubt ist, auf Grund einiger anscheinend widersprechender Beobachtungen nicht allein die Lehren, sondern auch die Fides anerkannter Männer der Wissenschaft öffentlich in Frage zu stellen. Jedenfalls hat der Autor dieses am Schlusse der Arbeit, gewissermaassen als Lohn seiner Thätigkeit, die Genugthuung, den wissenschaftlichen guten Ruf verdienstvoller Forscher, nachdem er in so unberechtigter Weise angegriffen, wiederhergestellt zu sehen.

Was die sachlichen Anschauungen des Herrn J. Wolff anbetrifft, nach dessen Meinung die Appositionstheorie „zu Grabe getragen worden ist“, so kann ich mich nicht enthalten zu constatiren, dass er in einer Person zugleich Todtengräber und — und zwar der einzige — Leidtragende gewesen ist. Ich hoffe ihn auch von ihrer schnellen Wiederauferstehung durch diese Untersuchung überzeugt zu haben; sollte mir dies nicht gelungen sein, so bliebe mir nichts übrig, als dem kühnen Segler nachdem er „jeden letzten Rest der Juxtlappositionstheorie über Bord geworfen hat“ für seine weiteren Forschungsreisen im Gebiete der Knochenlehre einen Wunsch zuzurufen, wie er sich am besten ausdrückt in dem Titel

zu Mendelssohn's schöner Ouvertüre: „Meeresstille und glückliche Fahrt“.

Anm. Für den Fall, dass Herr Wolff in die Versuchung kommen sollte, auch von meinen Abbildungen ebenso wie von den Flourens'schen zu behaupten, dass dieselben „zum grossen Theil willkürlich und nicht von wirklichen Präparaten abgenommen sind“, mache ich hier darauf aufmerksam, dass die Originalpräparate sich in der Sammlung des hiesigen pathologischen Instituts befinden.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel II.

Fig. 1—4. Flourens's Versuch mit dem unter das Periost gelegten, allmählich nach der Markhöhle wandernden Metallplättchen, angestellt an jungen Hühnern. Senkrechter Durchschnitt S. 67.

Fig. 5—12. Duhamel's Versuch. Der in Fig. 5—9 um die Tibia, in Fig. 10—12 um den Humerus von Hühnern gelegte Querring wandert nach innen. In Fig. 12 ist er bereits deutlich innen zu sehen. In Fig. 7 ist er vorn bei a nach innen gewandert, am hinteren Umfange bei b hat er sich nach aussen von der Oberfläche des Knochens entfernt. Bei Fig. 9 starke Periostitis. S. 65 u. 66.

Fig. 13—15. J. Wolff's Versuch mit dem rechtwinklig umgebogenen Metalldraht, angestellt an Hühnern. Nach Vollendung des Wachsthums ist keine Verkrümmung vorhanden. S. 60.

Fig. 16—18. Ein Längsring ist durch die Tibia gelegt, welcher die Hälfte der Diaphyse und einen Theil der Epiphyse umfasst. Derselbe wird entweder Fig. 17 an beiden Seiten gesprengt bei a u. b und dann geht das Wachsthum ungehindert weiter oder er wird an einer Seite zerrissen Fig. 18 bei a und dann bleibt die andere Seite im Wachsthum zurück, während der Knochen krumm wird. S. 72.

Tafel III.

Fig. 1—3. J. Wolff's Versuch mit dem Längsring, der durch die Diaphyse der Tibia bei Hühnern und Kaninchen gelegt ist. Man sieht bei fortschreitendem Wachsthum keine Verkrümmung des Knochens; es wandert der Ring nur, begleitet von mehr oder weniger intensiver Periostitis, immer weiter nach innen. Fig. 3 ist derselbe nur zum geringen Theil noch von aussen zu sehen. S. 60.

Fig. 4—7. Hunter's Versuch, an der Ulna von Kaninchen. Drei Stifte sind in gleicher Entfernung von einander in den Knochen eingetrieben; wie man sieht, wird mit fortschreitendem Wachsthum die Distanz zwischen den beiden äussersten, den Intermediärknorpel zwischen sich fassenden, immer grösser, während die zwischen den beiden oberen dieselbe bleibt. S. 70.

Fig. 8—9. Siehe die Erklärung im Text S. 70.

Fig. 10—15. Das analoge Experiment, wie in 4—7, angestellt an der Tibia von jungen Kaninchen.

Fig. 16—19. Hunter's Versuch an der Tibia von Kaninchen. Zwei Nägel werden bei ganz jungen Thieren in die Mitte der Diaphyse mit gemessener Entfernung eingesenkt. Zur Zeit des fast vollendeten Wachstums sind sie von den Epiphysen um ein ganz Beträchtliches abgerückt, während die Entfernung zwischen ihnen ganz dieselbe geblieben ist. S. 58.

Tafel IV.

Fig. 1—5. Derselbe Versuch, wie vorher, an Katzen. Vier resp. 5 Nägel werden so in die Diaphyse der Tibia eingetrieben, dass, bei gemessener Entfernung derselben von einander, die beiden am meisten peripherisch gelegenen, nahe dem Intermediärknorpel liegen. Sämtliche Nägel entfernen sich im Laufe des Wachstums von den Epiphysen, aber die Distanz zwischen ihnen bleibt dieselbe. S. 69.

Fig. 6—9. Dieselbe Versuchsreihe, angestellt an Kaninchen mit drei Stiften, von denen der oberste nahe dem Intermediärknorpel, der unterste in der Mitte der Diaphyse sich befindet.

Fig. 10—15 u. 18—21. Versuch mit der Spange an der Ulna ganz junger Kaninchen, s. Erklärung im Text S. 70 unten. Man sieht bei 11, bei 13 und bei 15 die consecutive Verkürzung der Ulna und die dadurch bedingte Krümmung des Radius. Bei 15 beginnt die Spange durch den Wachstumsdruck herausgehebelt zu werden. Bei 13 ist dieselbe gesprengt. Bei 19 u. 21 werden die Glieder derselben auseinandergebogen.

Fig. 16 u. 17. Derselbe Versuch an der oberen Epiphyse der Tibia. Bei 16 ist der Bogen der Spange eben gesprengt, bei 17 die beiden Glieder derselben weiterhin auseinandergerückt.

Tafel V.

Fig. 1—10. Resultate der Phosphorfütterung bei jungen Kaninchen, an dem oberen Ende der Diaphyse der Tibia und an dem unteren Ende derselben am Femur mit Leichtigkeit zu erkennen. Fig. 1 u. 6 normale Tibia und Femur; 2 u. 7 nach dreiwöchentlichem Gebrauch von Phosphor; 3 u. 8 dreiwöchentliches Aussetzen der Phosphorfütterung, nachdem dieselbe drei Wochen lang vorausgegangen war; 4 u. 9 neuer Phosphorgebrauch, nachdem erst drei Wochen derselbe genommen, darauf drei Wochen ausgesetzt war. Man sieht die alternirenden Schichten verdichteter und normaler Knochensubstanz. In Fig. 5 u. 10 sind zum Vergleich Knochen beigegeben, welche mehrere Monate hindurch andauernd mit Phosphor gefüttert worden waren und bei denen man an Stelle des normalen losen spongiösen Ge webes die hohe, continuirlich verdichtete Schicht der neu angesetzten Masse am Ende der Diaphyse erkennt. Vergl. S. 73.