

## XI.

# Die Lehre von der functionellen Knochengestalt.

Von Dr. Julius Wolff.

a. o. Professor der Chirurgie an der Berliner Universität.

(Hierzu Taf. VII und eine Autotypie im Text.)

Die vorliegende Arbeit, in welcher die Lehre von der functionellen Knochengestalt vollständiger, als bisher, von mir begründet werden soll, zerfällt in die folgenden Kapitel:

1. Die Wechselbeziehungen zwischen Function und dem dieselbe vollziehenden Substrat.
  2. Die mathematische Begründung der Lehre von der functionellen Knochengestalt.
  3. Die anatomische Begründung der functionellen Bedeutung pathologischer Knochenformen.
  4. Die functionelle Pathogenese der chirurgischen Deformitäten.
  5. Neuer Nachweis der functionellen Bedeutung der pathologischen Knochenformen mittelst Röntgendurchstrahlung lebender Individuen.
  6. Allgemeinere biologische Bedeutung der Lehre von der functionellen Pathogenese der Deformitäten.
  7. Die anatomische Begründung der functionellen Bedeutung der normalen Knochengestalt.
  8. Zusammenstellung und kritische Beleuchtung der verschiedenen neueren Bearbeitungen der Lehre von der functionellen Knochengestalt.
1. Die Wechselbeziehungen zwischen Function und dem dieselbe vollziehenden Substrat.

Nachdem Lamarec das Prinzip der Wirkung des Gebrauchs und Nichtgebrauchs aufgestellt hatte, haben die zwischen Function und dem dieselbe vollziehenden Substrat bestehenden Wechsel-

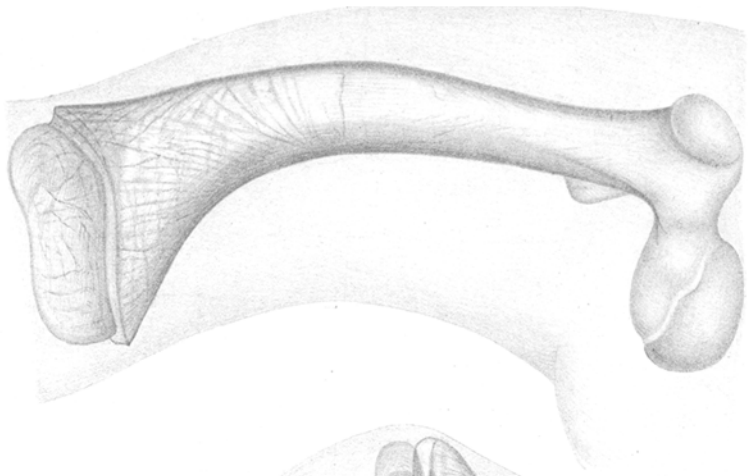


Fig. 1

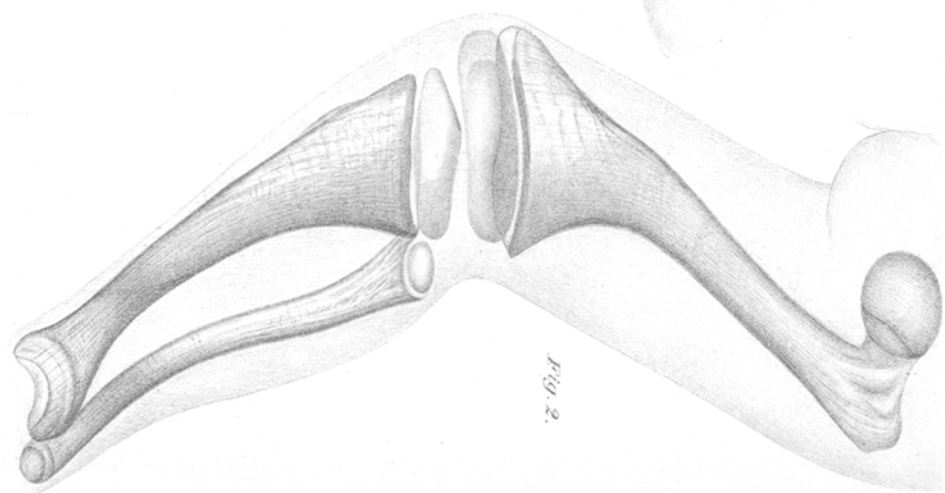


Fig. 2.

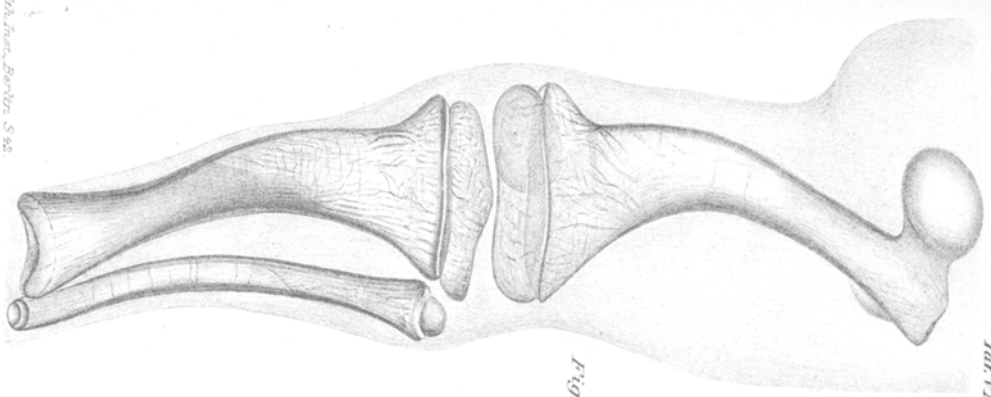


Fig. 3.

beziehungen das Interesse der Naturforscher und Aerzte in hohem Maasse gefesselt. Zahlreiche Forscher haben sich, wie Roux<sup>1)</sup> in seiner Arbeit: „Zur Orientirung über einige Probleme der embryonalen Entwicklung“ genauer berichtet, über die Art der Vermittelung zwischen Form und Function und über die Ursachen dieser Vermittelung im Allgemeinen oder in Bezug auf einzelne Organe und Gewebe geäußert. Aber diese Aeusserungen sind, wie Roux zugleich bemerkt, „zumeist nur gelegentliche; und keiner dieser Autoren hat eine Theorie ausgearbeitet, welche dem gegenwärtigen Standpunkte unserer Kenntnisse der Thatsachen Genüge zu leisten vermag.“

Mehr als ein Jahrzehnt vor der Zeit, in welcher Wilhelm Roux sich bemühte, das Ziel der Ausarbeitung einer solchen Theorie durch seine Beiträge „zur Morphologie der functionellen Anpassung“ zu erreichen, war es mir, auf Grund meiner Untersuchungen der inneren Architectur der Knochen, gelungen, zunächst für das Knochengewebe die zuvor schon von vielen Forschern auch hier geahnt, aber noch niemals thatsächlich an Knochenpräparaten nachgewiesen gewesenen Wechselbeziehungen zwischen der Function der Knochen und dem anatomischen Verhalten der diese Function vollziehenden Knochensubstanz zu einer unzweideutigen Klarheit zu bringen.

Ich stellte im Jahre 1870 fest, dass ebenso, wie man aus der Architectur der Spongiosa auf die Art der Inanspruchnahme und die Stelle der Belastung eines Knochens schliessen könne, auch umgekehrt „von der äusseren Form eines Knochens ein Rückschluss darauf möglich sei, ob der Knochen nur auf Druckfestigkeit oder auch auf Biegefestigkeit beansprucht werde“, und desgleichen „ein Rückschluss darauf, welche Architectur in der spongiösen Region desselben zu finden sein müsse“<sup>2)</sup>.

Zur genaueren Erkenntniss dieser Wechselbeziehungen gelangte ich alsdann im Jahre 1872 bei Gelegenheit meiner Untersuchungen von Fracturenpräparaten.

<sup>1)</sup> W. Roux gesammelte Abhandlungen zur Entwicklungsmechanik der Organismen. Leipzig 1895 I S. 211.

<sup>2)</sup> S. dies Archiv 50. Bd. 1870. S. 419. Vgl. auch J. Wolff, Das Gesetz der Transformation der Knochen. Berlin 1892 S. 90.

Es hatte bis dahin in der Fracturenlehre als eine sichere Thatsache gegolten, dass die Natur bei der Heilung von Knochenbrüchen das Bestreben habe, die Knochenformen unter allen Umständen so weit als möglich wieder zu der ursprünglichen Norm zurückzuführen. So galt es namentlich auch als ganz sicher, dass bei Diaphysenbrüchen, selbst dann, wenn die Bruchstücke mit noch so starker Dislocation an einander geheilt waren, die anfänglich durch Callusmasse ausgefüllt gewesene Markhöhle sich allmählich, und schliesslich in sehr vollkommener Weise, wiederherstelle.

Ich vermochte nun zu zeigen, dass diese Vorstellung eine irrthümliche gewesen war.

Ich fand, dass bei Fracturen, die mit Dislocation der Fragmente geheilt sind, die Markhöhle thatsächlich unter keinen Umständen wieder frei wird. Sie wird vielmehr von einer persistenten Knochenmasse ausgefüllt, welche mit einer wohlmotivirten, nach mathematischen Gesetzen entstandenen und eine statische Aufgabe erfüllenden Architectur versehen ist.

Diese Erkenntniss führte mich dahin, den Grundgedanken der später von Wilhelm Roux aufgestellten und benannten Lehre von der „functionellen Anpassung“ auszusprechen.

Ich äusserte mich dahin, dass in jener persistenten Markhöhlenausfüllung sich ein allgemeines Gesetz bekunde. Dies Gesetz laute dahin, dass bei der Regeneration des Knochengewebes, wie auch aller übrigen Gewebe, die Function das einzig und allein Formbildende Element ist, dass mithin die Natur bei der Regeneration der Knochen und der Weichgebilde keineswegs mit Nothwendigkeit die ursprüngliche Form, sondern nur die Function, und als das Secundäre eine neue, lediglich durch diese Function bestimmte Form wiederherstellt.

„Es wird sich aus den erörterten Verhältnissen der Ausfüllung der Markhöhle“ — so heisst es in meiner Arbeit über die Fracturen vom Jahre 1872<sup>1)</sup> — „das allgemeine Gesetz herleiten lassen, dass allen Gewebsregenerationen das Streben der Natur zu Grunde liegt, die

<sup>1)</sup> Beiträge zur Lehre von der Heilung der Fracturen. Archiv für klinische Chirurgie 14, Bd. 1872 S. 310 Anmerkung.

Function, nicht aber, wie man bisher annahm, das Streben derselben, die Form herzustellen. Die Herstellung ursprünglicher Formen, wo sie vorkommt, ist immer nur das Secundäre, und sie kann nur da stattfinden, wo sie durch das Streben zur Wiederherstellung der Function verlangt wird.“

Ich habe aber im Jahre 1872 auch zugleich den Grundgedanken der die Wechselbeziehungen zwischen Form und Function näher aufklärenden, von Roux später aufgestellten und benannten Lehre vom „trophischen Reiz der Function“ ausgesprochen.

„Alle Stoffzunahme des Knochens und ebenso aller Schwund von Knochensubstanz“ — so äusserte ich mich<sup>1)</sup> — „ist ausschliesslich von den statischen Bedingungen abhängig, unter welchen der Knochen sich befindet. Der Grund dieses Abhängigkeitsverhältnisses ist bei physiologischen Zuständen das Streben zur Erhaltung der Function d.h. der statischen Dienstauglichkeit des Knochens, bei pathologischen Knochenkrümmungen das Streben zur Wiederherstellung der Function.“

In wie scharfsinniger Weise alsdann Wilhelm Roux die Lehren von der „functionellen Anpassung“ und vom „trophischen Reiz der Function“ ausgearbeitet hat, wie insbesondere durch Roux's Arbeiten das Lamarck'sche, nur auf die grobe Gestalt der Organe verwendete Prinzip auf die functionelle Struktur und die aus ihr sich integrirende feinere äussere functionelle Gestalt ausgedehnt und zugleich mechanisch erklärt wurde, und wie Roux damit in der That an die Stelle der gelegentlich geschehenen Aeusserungen der verschiedenen Autoren „eine dem gegenwärtigen Standpunkte unserer Kenntnisse der Thatsachen Genüge leistende Theorie“ gesetzt hat, das ist von mir in meinem Werke über „das Gesetz der Transformation der Knochen“ genauer dargelegt worden<sup>2)</sup>

## 2. Die mathematische Begründung der Lehre von der functionellen Knochengestalt.

Meine durch die Culmann'sche Entdeckung der Uebereinstimmung des Richtungsverlaufs der Bälkchen der spongiösen

<sup>1)</sup> Ebendasselbst. S. 301.

<sup>2)</sup> S. 77, 78, 91, 92.

Knochenregion mit den Richtungen der Druck- und Zuglinien der graphischen Statik in belasteten Balken, bezw. Krahnen veranlassten fortgesetzten Studien führten mich im Jahre 1884 zur mathematischen Begründung der Lehre von der functionellen Knochengestalt.

Ich fand den betr. Beweis durch folgende Betrachtungen<sup>1)</sup>:

Wie der Mathematiker für eine gegebene Krahnform mit gegebener Oertlichkeit und Grösse der Belastung das in diese Form hinein gehörende System von Druck- und Zugcurven zu berechnen und zu zeichnen vermag, so kann er auch umgekehrt für ein gegebenes System von Druck- und Zugcurven die zu demselben gehörende Krahnform berechnen und zeichnen. Nur ist das Letztere sehr viel einfacher, als das Erstere. Denn die die äussere Krahnform darstellende Linie ist nichts anderes, als die Verbindungslinie der Endpunkte aller übrigen Curven, also nichts, als die durch die übrigen Curven ohne Weiteres gegebene letzte Curve des gesammten Systems. Es liegt hier nach auf der Hand, dass der letzten, die äussere Form des Krahns darstellenden Curve die gleiche mathematische Bedeutung zukommen muss, wie den übrigen Curven. Man darf mithin sagen, dass der Krahn eine mathematische äussere Form besitzt.

Ganz ebenso liegen die Verhältnisse beim Knochen. Der die Knochengestalt darstellende äussere Contour des Knochens und die innere Architectur desselben entsprechen einander ganz ebenso, wie die letzte Krahncurve dem Gesamtsystem der übrigen Curven des Krahns entspricht.

Daraus aber folgt, dass die mathematische, bezw. functionelle Bedeutung, welche der inneren Architectur der Knochen eigen ist, und für welche ich namentlich auf die rechtwinklige Kreuzung der Druck- und Zugbälkchen der Spongiosa als unzweideutigsten Beweis hinzuweisen vermocht hatte, auch der äusseren Form des Knochens zukommen muss.

<sup>1)</sup> Vgl. J. Wolff, Ueber die Ursachen und die Behandlung der Deformitäten, insbesondere des Klumpfusses. Vortrag, gehalten in der Berliner medic. Gesellschaft am 26. Novemb. 1884. Berliner klin. Wochenschrift. 1885 No. 12.

Der hiermit gelieferte mathematische Beweis der functionellen Knochengestalt gilt nicht nur für die normalen<sup>1)</sup>, sondern auch für die abnorm gestalteten Knochen.

Durch meinen Nachweis der „Transformationen<sup>2)</sup> der inneren Architectur der Knochen bei pathologischen Abänderungen der äusseren Form derselben“<sup>3)</sup> war es festgestellt, dass beim Entstehen einer pathologischen Knochenform sich eine dieser Form entsprechende neue, wiederum im Sinne der Druck- und Zuglinien der graphischen Statik aufgebaute innere Architectur des Knochens herstellt.

Daraus folgt, dass die den Krahn betreffenden Schlussfolgerungen von den Druck- und Zuglinien auf den äusseren Contour des Krahn, welche uns zu analogen Schlussfolgerungen von den Druck- und Zugbälkchen der Spongiosa auf die äussere Form des Knochens führten, nicht bloss für die normale, sondern auch für die pathologische Knochenform gelten. Es muss also auch unter abnormen Verhältnissen der Knochenformen diesen Formen eine mathematische, bezw. functionelle Bedeutung zukommen.

### 3. Die anatomische Begründung der functionellen Bedeutung pathologischer Knochenformen.

Neben dem mathematischen Beweis der functionellen Gestalt normaler und pathologisch geformter Knochen lieferte ich zugleich zunächst für die pathologisch geformten Knochen den anatomischen Beweis ihrer functionellen Gestalt.

Dies geschah 1) durch die von mir gefundenen secundären Transformationen der Knochengestalt bei primären Veränderungen der Form und dadurch bedingten Veränderungen der statischen Beanspruchung der Knochen, und 2) durch die Gestaltstransformationen der Knochen bei selbstständig d. i. ohne primäre Formveränderung der Knochen, also durch ausserhalb des Skelets liegende Veranlassungen entstandenen Veränderungen der Beanspruchung derselben.

<sup>1)</sup> Vgl. unten 7. Kapitel.

<sup>2)</sup> Inwiefern der Ausdruck „Transformation“, bezw. „Gesetz der Transformation der Knochen“ gegenüber der Bemängelung desselben durch Roux aufrecht erhalten werden muss, das habe ich an anderer Stelle (Archiv für klinische Chirurgie 53. Band Heft 4 S. 856 Anm.) dargelegt.

<sup>3)</sup> Sitzungsberichte der Kgl. Pr. Akad. der Wissenschaften. 1884. XXII.

Was den ersteren Punkt betrifft, so hatte ich im Jahre 1872 gezeigt<sup>1)</sup>, dass bei Fracturen, die mit Dislocation geheilt sind, secundäre Formveränderungen nicht bloss an der Bruchstelle, sondern auch an ganz entlegenen, unverletzt gebliebenen Regionen des gebrochenen Knochens, dass beispielsweise bei schief geheilten Fracturen der Diaphysen der langen Röhrenknochen sehr erhebliche Gestaltsveränderungen der Gelenkenden dieser Röhrenknochen eintreten<sup>2)</sup>.

Zugleich<sup>3)</sup> hatte ich dieselben secundären Formveränderungen als regelmässigen Befund und als Ausdruck der Anpassung an die veränderte Beanspruchung auch bei denjenigen Knochenpräparaten festzustellen vermocht, bei welchen die primäre Formstörung des Knochens und die durch dieselbe bedingte veränderte statische Beanspruchung derselben nicht in Folge eines Trauma, sondern in Folge einer Knochen- oder Gelenkerkrankung (Rachitis, Gelenkentzündung mit dem Ausgange in winklige Ankylose u. dergl. m.) eingetreten war.

Bezüglich des zweiten Punktes wies ich im Jahre 1884 nach<sup>4)</sup>, dass die bei zunächst normaler Knochenform, also aus Veranlassungen, die ausserhalb des Skelets liegen, eintretenden Störungen der statischen Beanspruchung der Knochen eines Körpergliedes eben solche Formveränderungen der Knochen erzeugen, wie die durch primäre Formstörung der Knochen veranlassten Störungen der Beanspruchung. Hier, wie dort, beobachten wir als Folge der veränderten Beanspruchung jedesmal an einzelnen Stellen der betr. Knochen den Schwund grösserer, oberflächlich gelegener, in Folge jener Störungen überflüssig gewordener Knochenparthien, und zugleich an anderen Stellen derselben Knochen eine Anbildung grösserer, oberflächlich gelegener, durch dieselben Störungen statisch erforderlich gewordener Knochenparthien.

<sup>1)</sup> v. Langenbeck's Archiv 14. Bd. S. 277 ff.

<sup>2)</sup> Vgl. unt. S. 273.

<sup>3)</sup> a. a. O. S. 291 ff.

<sup>4)</sup> Sitzungsberichte der Kgl. Preuss. Akademie der Wissenschaften a. a. O. S. 491 und Berliner klinische Wochenschr. 1885 No. 12 Vgl. auch den Abschnitt: „Die Transformationen“ in meinem Werke über das Transformationsgesetz der Knochen S. 28—78.



Bei beiden in Rede stehenden Arten der veränderten Beanspruchung, also sowohl bei den mit Dislocation geheilten Fracturen, den rachitischen Verkrümmungen, den winkligen Ankylosen u. s. w. („Deformitäten im weiteren Sinne des Wortes“), wie bei den ohne primäre Formstörung der Knochen durch ausserhalb des Skelets liegende Veranlassungen eintretenden Störungen der statischen Beanspruchung eines Körperabschnittes, also bei Scoliose, Genu valgum und den anderen „Deformitäten im engeren Sinne des Wortes“, vermochte ich die Thatsache festzustellen, dass unter analogen Verhältnissen der Störung der statischen Beanspruchung der Knochen immer dieselben Formveränderungen als Folge der betr. statischen Störungen wiederkehren.

In dieser Thatsache der beständigen Wiederkehr analoger Formen bei analogen Functionsstörungen lag für sich allein schon der vollgültige anatomische Beweis dafür, dass an pathologisch veränderten, aber doch weiter functionirenden d. i. weiter als Stützorgane des Bewegungsapparates fortdienenden Knochen sich jedesmal eine der veränderten Function entsprechende, d. i. eine functionelle Gestalt herausbildet.

Der so gelieferte anatomische Beweis der functionellen Gestalt pathologisch geformter Knochen erhält aber noch eine weitere wichtige Bekräftigung, und zwar durch die bereits oben<sup>1)</sup> erwähnte Thatsache, dass mit der Herausbildung der veränderten äusseren Knochengestalt stets zugleich die Herausbildung einer derselben genau im Sinne der Druck- und Zuglinien der graphischen Statik entsprechenden inneren Architectur — bezw. auch einer derselben in gleicher Weise entsprechenden inneren Gestalt der Knochen<sup>2)</sup> — einhergeht.

Zunächst hatte ich in dieser Beziehung zu zeigen vermocht, dass die innere Architectur der bei der betreffenden secundären Gestaltstransformation an der Oberfläche der Knochen neugebildeten Knochenpartien immer genau in das Bild der neuen inneren Architectur des ganzen betreffenden Knochens hineinpasst<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> Vgl. S. 261.

<sup>2)</sup> Vgl. über das, was wir unter der „inneren Gestalt“ der Knochen verstehen, unten Kap. 4a. S. 270.

<sup>3)</sup> Vgl. Archiv für klin. Chir. 53. Bd. S. 857.

Alsdann hatte es sich auch in entsprechender Weise herausgestellt, dass da, wo bei Aenderungen der Knochenform an der Oberfläche der betreffenden Knochen eine Resorption grösserer, statisch überflüssig gewordener Knochenparthien stattfindet, die innere Architectur keineswegs wie abgebrochen erscheint, dass vielmehr an diesen Stellen die innere Architectur eine Transformation erfährt, die auch hier wiederum ein genaues Hineinpassen der neuen Architectur in das Gesamtbild der inneren Architectur, bezw. auch der inneren und äusseren Gestalt des ganzen betreffenden Knochens bedingt.

Mit der Feststellung aber, dass auch bei veränderter Knochenform die Harmonie zwischen äusserer Gestalt, innerer Gestalt und innerer Architectur der Knochen stets bestehen bleibt, war es auch noch weiterhin anatomisch begründet, dass der veränderten Knochenform die gleiche functionelle Bedeutung zukommen muss, wie sie in unbestrittener Weise der veränderten inneren Architectur der Knochen zukommt<sup>1)</sup>.

#### 4. Die functionelle Pathogenese der chirurgischen Deformitäten.

Der Umstand, dass die Feststellung der im vorigen Kapitel erörterten, zur anatomischen Begründung der Lehre von der functionellen Knochengestalt verwerteten Thatsachen nicht der Beobachtung an normalen Knochen zu verdanken gewesen war, sondern der Beobachtung an Knochen gerade solcher Körperglieder, die mit einer chirurgischen Deformität im engeren oder weiteren Sinne des Wortes behaftet waren, hatte mich bereits im Jahre 1884<sup>2)</sup> zu der Annahme geführt, dass in der Herausbildung einer den jeweiligen Störungen der Beanspruchung des deformen Gliedes entsprechenden functionellen Form der Knochen das eigentliche Wesen der chirurgischen Deformitäten zu suchen sei.

Um diesem Gedanken indess in die Chirurgie einen Eingang zu verschaffen, war es zunächst nothwendig, die einem solchen Gedanken durchaus entgegenstehende „Drucktheorie“, d. i. die Theorie des „Knochenschwundes durch vermehrten Druck

<sup>1)</sup> Vgl. unten 5. Kapitel.

<sup>2)</sup> S. Berliner klin. Wochenschr. a. a. O.

und der Knochenanbildung durch Druckentlastung“, zu entkräften.

Diese Theorie hatte bis dahin bei den Chirurgen als die unerschütterliche Grundlage aller Anschauungen über die Entstehung fehlerhafter Knochenformen gegolten.

Ihre Entkräftung gelang mir mittelst der folgenden weiteren Feststellungen.

Meine anatomischen Untersuchungen zeigten, dass bei allen Knochenverkrümmungen, mag es sich um eine schief geheilte Fractur oder um eine rachitische Verkrümmung, um eine winklige Ankylose, um ein Genu valgum oder eine Scoliose handeln, stets an der concaven Seite der verkrümmten Knochen, also an der Seite des vermehrten Druckes, Verdickungen der Corticalis und Verdichtungen der Spongiosa, an der convexen Seite dagegen, also an der Seite der Druckentlastung Verdünnungen der Corticalis und Auflockerungen der Spongiosa zur Erscheinung kommen<sup>1)</sup>.

Man ersieht daraus, dass thatsächlich der vermehrte Druck nicht, wie es die Drucktheorie verlangte, Schwund, und die Druckentlastung nicht, wie es dieselbe Theorie verlangte, vermehrte Anbildung von Knochensubstanz bewirken. Vielmehr führen sowohl der vermehrte Druck, wie auch die Druckentlastung gerade das Umgekehrte von dem herbei, was sie nach der Drucktheorie zu Wege bringen sollten.

Hierzu kam ein zweites, in nicht minder einleuchtender Weise die Irrthümlichkeit der „Drucktheorie“ beweisendes Ergebniss meiner anatomischen Untersuchungen.

Man hatte nach der Drucktheorie angenommen, dass Höhenreductionen der Knochen bei der Entstehung der Deformitäten niemals anders auftreten können, als immer nur in Folge eines abnorm vermehrten Druckes des belastenden auf den belasteten Knochen, und Höhenzunahmen immer nur in Folge einer Druckentlastung.

Im Gegensatze hierzu zeigten meine Untersuchungen der

1) Vgl. Archiv für klinische Chirurgie 42. Bd. 1890 Heft 2 und 53. Bd. 1897 Heft 4; ferner „Gesetz der Transformation der Knochen“ Fig. 9. 10. 22. 23. 27—34. 36. 50. 51. 55. 58. 59. 60. 67—74. 77—79. 81. 82. 85. 87.

Processus transversi der Wirbel und die der Rippen des scoliotischen Thorax<sup>1)</sup>, dass bei der Entstehung von Deformitäten vielfach Höhenreductionen an der einen Seite eines Knochens oder Knochentheils, bezw. vermehrte Höhenzunahmen an der anderen Seite desselben sich geltend machen, wenn von Druck und Druckentlastung wegen der besonderen anatomischen Verhältnisse dieses Knochentheils, und zwar, wie eben gerade bei den Rippen und den Wirbelquerfortsätzen, wegen des gewissermaassen freien Schwebens des betr. Knochentheils zwischen Weichgebilden überhaupt gar keine Rede sein kann.

Ebenso also, wie an der Thatsache der vermehrten Knochenanbildung an der concaven Seite und des Knochenschwundes an der convexen Seite der verkrümmten Knochen, müssen auch an der Thatsache der Höhenzunahmen und Höhenabnahmen an frei zwischen den Muskeln schwebenden Knochen und Knochentheilen des scoliotischen Thorax alle Bemühungen scheitern, die Drucktheorie ganz oder zum Theil aufrecht erhalten zu wollen.

Meiner so durch anatomische Untersuchungen begründeten Widerlegung der Drucktheorie fügte ich noch die weitere entsprechende Widerlegung derselben Theorie auf Grund mathematischer und klinischer Betrachtungen hinzu.

Unter Hinweis auf die bekannte Culmann'sche Zeichnung<sup>2)</sup> der Spannungstrajectorien für einen Oberschenkelähnlichen Krahn lieferte ich den mathematischen Nachweis, dass bei Knochenverkrümmungen in der That an der concaven Seite der Krümmung, der Seite des vermehrten Druckes, vorwiegend Anbildung, und zwar Anbildung druckfesten Knochengewebes, erfolgen muss, an der convexen Seite dagegen, der Seite der Druckentlastung, vorwiegend Schwund, und zwar Schwund des statisch überflüssig gewordenen Knochengewebes. An beiden Seiten verlangt also die mathematische Betrachtung als das Vorwiegende dasjenige, was nach den vorhin erwähnten anatomischen

<sup>1)</sup> Vgl. Wiener klinische Wochenschr. 1893 No. 22 und Archiv für klinische Chirurgie 53. Bd. S. 839—852.

<sup>2)</sup> S. dieses Archiv. 50. Bd. Innere Architectur der Knochen. 3. Taf. Fig. 1; Arch. f. klin. Chir. 53. Bd. S. 834; Transformationsgesetz Taf. II. Fig. 9.

Untersuchungen in der That an diesen beiden Seiten vorwiegend vor sich geht; an beiden Seiten verlangt sie demgemäss als das Vorwiegende gerade das Gegentheil von demjenigen, was die Drucktheorie als das an den betreffenden Seiten ausschliesslich Geschehende ansah.

Hierbei ist noch Folgendes zu bemerken: Die convexe Seite des verkrümmten Knochens ist nicht bloss die Seite der Druckentlastung, sondern auch zugleich die Seite der vermehrten Zugbeanspruchung. Es muss deshalb an der convexen Seite der durch die Druckentlastung erzeugte Knochenschwund zum Theil durch die der vermehrten Zugbeanspruchung entsprechende Anbildung zugfester Knochenbälkchen wieder ausgeglichen werden.

Indess zeigt uns doch die Culmann'sche Zeichnung, dass hierin keineswegs ein Einwand gegen das mathematische Erforderniss des durch die anatomische Untersuchung als thatsächlich bestätigten vorwiegenden Schwundes an der convexen Seite zu suchen ist. Auf dem untersten Querschnitt der Culmannschen Krahnzeichnung nehmen die hier parallel neben einander nach oben verlaufenden Drucklinien der concaven Seite zusammen einen viel breiteren Raum ein, als die auf demselben Querschnitt ebenfalls parallel neben einander verlaufenden Zuglinien der concaven Seite. Daraus folgt, wie Bähr<sup>1)</sup> richtig bemerkt hat, dass — ganz im Sinne der thatsächlichen Verhältnisse — der quantitative Werth der Druckbeanspruchung an der concaven Seite viel grösser ist, als derjenige der Zugbeanspruchung an der convexen Seite.

Hinsichtlich der genaueren Ausführung meiner mathematischen Widerlegung der Drucktheorie, wie auch hinsichtlich meiner aus klinischen Betrachtungen gewonnenen Beweise zur Entkräftung dieser Theorie verweise ich auf meine betreffenden Darlegungen in meinem Werke über das Transformationsgesetz und in meiner bezüglichen Arbeit im 53. Bande des Archivs für klinische Chirurgie<sup>2)</sup>.

Während uns nun hiernach die Drucktheorie beim Versuche der Erklärung des Entstehens und des Wesens der Deformitäten

<sup>1)</sup> Hoffa's Zeitschr. für orthop. Chirurgie. V. Bd. S. 299.

<sup>2)</sup> Gesetz der Transformation der Knochen. S. 88—90. Archiv für klinische Chirurgie 53. Bd. S. 832—837; 852—854.

überall im Stiche lässt, findet die Pathogenese der Deformitäten in überraschender Weise ihre Aufklärung, wenn wir annehmen, dass die Form der Knochen und Weichtheile eines deformen Gliedes nichts anderes bedeutet, als den Ausdruck der functionellen Anpassung an die abnorme statische Beanspruchung des verkrümmten Gliedes.

Die Richtigkeit dieser Anschauung wird einleuchtend erscheinen, wenn wir — als besonders gut geeignetes Beispiel — die bereits vorhin zur Widerlegung der Drucktheorie herbeigezogene concavseitige Höhenabnahme und convexseitige Höhenzunahme der Processus transversi und der Rippen des scoliotischen Thorax noch einmal ins Auge fassen.

Diese concavseitige Höhenabnahme und convexseitige Höhenzunahme lässt sich, wie ich durch Abbildungen von Scoliosen-Skeletten, bezw. durch Messungen an diesen Skeletten, dargethan habe<sup>1)</sup>, nicht anders erklären, als durch Anpassung der Form der Processus transversi und der Rippen an die bei andauernd zusammengehockter Thoraxhaltung entstehenden gegenseitigen Raumdifferenzen zwischen allen an der convexen und allen entsprechenden an der concaven Seite des verbogenen Wirbelsäule-Abschnitts, zu dem die betr. Querfortsätze und Rippen gehören, befindlichen Knochenpunkten.

Die Anpassung aber an die bei dauernd zusammengehockter Haltung eines Wirbelsäule-Abschnitts entstehenden gegenseitigen Räumlichkeits-Differenzen aller Punkte der beiden Seiten dieses Abschnittes unter einander und in Bezug auf alle übrigen Körperpunkte des Individuums bedeutet nichts anderes, als die Anpassung an die jenen abnorm veränderten Raumverhältnissen ganz genau entsprechend sich abändernden Verhältnisse der Grösse und der Richtung der statischen Beanspruchung jeder einzelnen Stelle der Knochen des dauernd zusammengehockt gehaltenen Wirbelsäule-Abschnittes, oder — was dasselbe sagen will — nichts anderes, als die Anpassung an die den entstandenen Raumdifferenzen entsprechend sich abändernden Functionsverhältnisse des betreffenden Wirbelsäule-Abschnitts.

<sup>1)</sup> Archiv für klinische Chirurgie. 53. Bd. S. 872 ff.

Ganz ebenso nun aber, wie die Wirbel-Querfortsätze und die Rippen, verhalten sich auch die Wirbelkörper<sup>1)</sup> des scoliotischen Thorax. Der scoliotische Keilwirbel erfährt unter allen Umständen — mag das Knochengewebe desselben normal oder mag es durch Rachitis oder Osteomalacie erweicht sein — seine concavseitige, mit vermehrter Knochenbildung in der Breitenrichtung und mit Knochenverdichtung einhergehende Höhenabnahme durch Anpassung an den bei zusammengehoelter Rumpfhaltung zwar niedriger, aber zugleich breiter gewordenen Raum des verbogenen Wirbelsäule-Abschnittes an der concaven Seite desselben. Er erhält ebenso seine convexeitige, mit vermehrter Porosität einhergehende Höhenzunahme durch Anpassung an den zwar höher, aber zugleich schmaler gewordenen Raum desselben Abschnittes an dessen convexer Seite. Und da mit den bei dauernd zusammengehoelter Thoraxhaltung eintretenden Abänderungen der beiderseitigen Raumverhältnisse sich die Beanspruchungs-Verhältnisse der beiden Seiten des Wirbels in entsprechender Weise ändern, so folgt daraus, dass der scoliotische Keilwirbel seine Keilform nicht, wie man bisher annahm, durch den directen, an der concaven Seite vermehrten, von oben her auf den Wirbel wirkenden Druck erhält, sondern durch Anpassung an die mit den Raumverhältnissen zugleich abgeänderten Verhältnisse der functionellen Beanspruchung aller einzelnen Partikelchen des Wirbels, d. i. durch den „trophischen Reiz der Function“.

Da alles das, was hier von den Wirbel-Querfortsätzen, den Rippen und dem Wirbelkörper des scoliotischen Thorax gesagt worden ist, sich ohne Weiteres in gleicher Weise auf die Knochen aller übrigen Deformitäten übertragen lässt, so gelangen wir hiermit zur Aufstellung der Lehre von der functionellen Pathogenese der Deformitäten, und zwar sowohl der Deformitäten im „engeren“, als derjenigen im „weiteren“ Sinne des Wortes.

a) Die Deformitäten im engeren Sinne des Wortes.

Ist die veränderte Beanspruchung eines Körpergliedes ohne vorausgegangene, durch ein Trauma- oder eine Knochen- oder

<sup>1)</sup> a. a. O. S. 881 ff.

Gelenks-Erkrankung bedingte primäre Formstörung der Knochen des Gliedes, d. i. also durch ausserhalb des Skelets liegende Veranlassungen, eingetreten, so wird durch die der veränderten Beanspruchung sich anpassende Transformation der äusseren Gestalt der Knochen dasjenige erzeugt, was wir eine Deformität im engeren Sinne des Wortes nennen (Scoliose, Pes valgus, Genu valgum u. s. w.).

Im Beginne beispielsweise der Entstehung eines Genu valgum oder einer Scoliose ist die Knochenform vollkommen normal. Indem die Kranken immer wiederholt der unteren Extremität, bezw. dem Brustkorbe, eine fehlerhafte Haltung geben, ändern sich, wie vorhin an dem Beispiel der Skoliose genauer gezeigt wurde, die Räumlichkeits-Verhältnisse der rechten und linken Seite der Extremität, bezw. des Thorax zu einander und zum ganzen übrigen Körper ab. Mit den Räumlichkeits-Verhältnissen aber ändern sich auch zugleich die Functions-Verhältnisse, d. i. die Grösse und Richtung der statischen Beanspruchung aller einzelnen Partikelchen der Knochen der betreffenden Körper-Abschnitte.

Dieser veränderten statischen Beanspruchung passt sich zugleich die innere Architectur und die innere und äussere Gestalt der Knochen an.

Das, was sich hierbei an der inneren Architectur ändert, das entging bis auf unsere Tage, d. i. bis zu der Zeit der wunderbaren Röntgen'schen Entdeckung *intra vitam* unserem Blick. Auch die Transformationen der inneren Gestalt, d. i. die Neubildungen spongiöser Regionen mitten in der Markhöhle, die Aenderungen der Dicke der Diaphysenwände und die Aenderungen der Grenzlinien zwischen spongiöser und *compacta* Knochenregion, entgingen in gleicher Weise bisher unserem Blick. Nur die Transformationen der äusseren Gestalt der Knochen machten sich uns durch die Weichtheile hindurch für die Inspection und die Palpation bemerklich, und eben diese waren es, die uns alsdann als Genu valgum, bezw. als Scoliose u. dgl. m. vor die Augen traten.

Da aber, wie meine Darlegungen an Knochenpräparaten gezeigt hatten, die Transformationen der äusseren Gestalt stets mit denen der inneren Gestalt und denen der inneren Architectur



harmoniren, so konnten wir auch bisher schon immer aus den ersteren auf die beiden letzteren einen Schluss ziehen. Wir vermochten zugleich aus den Transformationen der äusseren Gestalt die Art der Abänderung der Grösse, Richtung und Oertlichkeit der fehlerhaften Beanspruchung des betreffenden Körperteils gewissermassen direct abzulesen.

Wenn hiernach die Deformatitäten nichts anderes sind, als das Ergebniss der Transformationen, welche die äussere Gestalt der Knochen und Gelenke eines Körpergliedes bei der Anpassung an eine fehlerhafte Beanspruchung dieses Körpergliedes erfährt, so ergibt sich daraus ohne Weiteres, dass die Deformatitäten gar keine krankhaften Bildungen im Sinne der bisherigen Autoren sind. Sie sind eben so wenig krankhafte Bildungen, wie beispielsweise die im Dienste der Herzfunction entstehende Hypertrophie des Herzmuskels bei Insuffizienz des Herzklappen-Mechanismus.

Nur die abgeänderte statische Inanspruchnahme und damit die abgeänderte mechanische Function, bezw., wenn es sich im Wesentlichen um eine von oben her wirkende Beanspruchung auf Druck- oder Biegungsfestigkeit handelt, die abgeänderte Grösse und Oertlichkeit der Belastung des Körpergliedes, dem die betreffenden Knochen und Gelenke angehören, ist bei den Deformatitäten krankhafter Art.

Die Gestalt der Knochen und Gelenke des betreffenden Körpergliedes dagegen ist, so sehr sie auch von der Norm abweicht, keineswegs krankhaft. Sie ist vielmehr eine für die vorhandene krankhafte Beanspruchung, bezw. Belastung des Gliedes zweckmässige Gestalt. Sie ist diejenige Gestalt, mittelst welcher die Knochen und Gelenke in den Stand gesetzt werden, wie, nach Culmann, im normalen Zustande, so auch wiederum hier unter abnormen Verhältnissen, mit dem geringsten Materialaufwande die grösstmögliche Kraftleistung zu entfalten. Nur vermittelt dieser zweckmässigen äusseren Gestalt, bezw. vermittelt der zu dieser äusseren Gestalt in wechselseitigen Beziehungen stehenden zweckmässigen inneren Gestalt und inneren Architectur, erlangen die betreffenden Knochen und Gelenke die Befähigung, trotz ihrer und des betreffenden Körpergliedes Verkrümmung und trotz ihrer und des betreffenden

Körpergliedes mit der Verkrümmung einhergehenden fehlerhaften Beanspruchung, weiter als Stützorgane dieses Gliedes zu functioniren, ohne dabei dem Druck, Zug und Schub der auf sie einwirkenden äusseren mechanischen Gewalten unterliegend, zerdrückt, zerzerzt oder zerschoben zu werden, — mit einem Worte — ohne zusammenzubrechen.

Es bedeutet somit beispielsweise beim *Genu valgum* die fehlerhafte Form des Femur und der Tibia den Ausdruck ihrer functionellen Anpassung an die durch die Auswärtshaltung des Unterschenkels bedingte fehlerhafte Beanspruchung aller einzelnen Theile der ganzen unteren Extremität; und die Form der Knochen und Gelenke des Thorax bei der habituellen Scoliose den Ausdruck ihrer functionellen Anpassung an die — in mannichfach verschiedener Weise mögliche — zusammengehockte Haltung des Rumpfes.

Hiernach haben wir die, die fehlerhafte Inanspruchnahme der Knochen und Gelenke eines deformen Körpertheils bedingende, fehlerhafte Haltung dieses Körpertheils keineswegs, wie man bisher meistens annahm, lediglich als die Folge der Deformität anzusehen. Vielmehr ist die andauernd oder oft wiederholte fehlerhafte Haltung des Körpertheils als die unmittelbare Ursache der perversen Form der Knochen und Gelenke desselben aufzufassen.

Aus welchen noch so sehr von einander verschiedenen entfernteren Ursachen (hereditäre Anlage, Gewohnheit, Schwäche der Musculatur, Weichtheil-Erkrankungen, Druck oder Einengung von aussen her u. dgl. m.) auch die andauernd oder oft wiederholte fehlerhafte Haltung irgend eines deformen Körpertheils veranlasst worden sein mag, stets ist diese fehlerhafte Haltung das Mittelglied zwischen jenen entfernteren Ursachen und dem immer gleichen oder doch sehr ähnlichen anatomischen Folgezustand jener entfernteren Ursachen, stets also die unmittelbare Ursache der Deformität.

#### b) Die Deformitäten im weiteren Sinne des Wortes.

Wenn die veränderte Beanspruchung eines Körpertheils nicht, wie bei den soeben besprochenen Deformitäten durch ausserhalb

des Skelets liegende Veranlassungen herbeigeführt ist, wenn sie vielmehr erst in natürlicher Folge einer — ihrerseits durch ein Trauma oder eine Knochenerkrankung mit Zerstörung der an der Oberfläche befindlichen Knochensubstanz oder durch Knochenweichung erzeugten — primären Formstörung der Knochen entstanden ist (schief geheilte Fractur, Rachitis, nicht eigerichtete Luxation, winklige Ankylose, accidentelle, durch Trauma erzeugte Fussdeformität u. dgl. m.), so gesellt sich, wie wir bereits oben, und zwar namentlich unter Hinweis auf die bei schief geheilten Fracturen der Diaphyse der langen Röhrenknochen entstehenden Gestaltsveränderungen an den weit von der Bruchstelle entlegenen Gelenk-Enden der gebrochenen Röhrenknochen<sup>1)</sup> gesehen haben, jener primären Formstörung eine secundäre functionelle Abänderung hinzu. Es entsteht alsdann dasjenige, was wir eine Deformität im weiteren Sinne des Wortes nennen.

Während bei den Deformitäten im engeren Sinne des Wortes die fehlerhafte Gestalt der Knochen und Gelenke des verkrümmten Gliedes nur auf einen einzigen Factor, auf die selbständig entstandene fehlerhafte Beanspruchung des betreffenden Gliedes zurückzuführen ist, wird bei den Deformitäten im weiteren Sinne des Wortes die fehlerhafte Knochengestalt durch zwei Factoren bestimmt, einmal durch jene primäre, in Folge von Trauma oder Knochenerkrankung entstandene Formstörung selbst, und zweitens durch die in directer Folge jener primären Formstörung eingetretene besondere Art der fehlerhaften Haltung und Beanspruchung des betreffenden Körpertheils.

Die Deformität im weiteren Sinne des Wortes bedeutet also den Ausdruck der functionellen Anpassung an die mit primärer Formstörung combinirte, bezw. durch dieselbe veranlasste fehlerhafte Beanspruchung des verkrümmten Körpergliedes. Damit aber ist nichts anderes gesagt, als dass auch den Deformitäten im weiteren Sinne des Wortes eine — die primäre Formstörung wesentlich modificirende, bzw. complicirende — functionelle Pathogenese zukommt.

<sup>1)</sup> Vgl. beispielsweise bezüglich der Coxa vara als Folge schief geheilter Fracturen der Femurdiaphyse: Joachimsthal, Ueber Wesen und Behandlung des Coxa vara. Sammlung klin. Vortr. No. 215 S. 1055.

Es bleibt mir nur noch übrig, in Kürze hinzuzufügen, dass die Lehre von der functionellen Pathogenese der Deformatitäten nicht nur die Grundlage der Lehre von der functionellen Orthopaedie der Deformatitäten darstellt, sondern dass naturgemäss auch umgekehrt durch die thatsächlichen Erfolge der Behandlung der Deformatitäten nach den Grundsätzen der functionellen Orthopaedie weitere wichtige Bestätigungen der Lehre von der functionellen Pathogenese der Deformatitäten geliefert werden.

Es liegt aber nicht im Rahmen der vorliegenden Arbeit, auf das Einzelne der functionellen Orthopaedie näher einzugehen<sup>1)</sup>.

##### 5. Neuer Nachweis der functionellen Bedeutung der pathologischen Knochenformen mittelst Röntgen-Durchstrahlung lebender Individuen.

Während bisher die Lehre von der functionellen Knochengestalt im Wesentlichen nur auf Grund von Untersuchungen an aufgesägten Knochenpräparaten festgestellt werden konnte, sind wir neuerdings durch die Röntgen'sche Entdeckung in den Stand gesetzt worden, auch noch mittelst Beobachtungen am lebenden Menschen wichtige Beweise der Richtigkeit dieser Lehre herbeizubringen.

Zunächst liefert uns die Röntgen'sche Durchstrahlung normaler und abnorm gestalteter Knochen lebender Individuen neue Bestätigungen der für sich allein schon einen Beweis der functionellen Knochengestalt in sich schliessenden Thatsache, dass die äussere Gestalt functionirender Knochen sich stets in vollkommener Harmonie mit der inneren Gestalt und der inneren Architectur dieser Knochen befindet.

Alsdann verdanken wir aber auch noch der unter bestimmten, unten genauer zu erörternden Verhältnissen nach Ablauf mehr oder weniger langer Zwischenzeiten wiederholten Durchstrahlung eines Körpertheils eines und desselben Individuums weitere Bestätigungen der Richtigkeit des die Grundlage der Lehre von der functionellen Knochengestalt bildenden Gesetzes der Transformation der Knochen.

<sup>1)</sup> Bezüglich dieser genaueren Darlegungen verweise ich auf meine demnächst zu veröffentlichende Monographie über den Klumpffuss.

a) Die Harmonie zwischen äusserer Gestalt, innerer Gestalt und innerer Architectur der Knochen im Röntgenbilde.

Aus der Betrachtung der in mehreren meiner früheren Arbeiten, und in besonders grosser Zahl in meinem Werke über das Gesetz der Transformation der Knochen abgebildeten Präparate von schief geheilten Fracturen, Genu valgum, rachitischen Verkrümmungen u. drgl. mehr, ergab es sich, wie oben<sup>1)</sup> dargethan wurde, dass die äussere Gestalt aller unter abnormen Verhältnissen functionirender Knochen sich stets in vollkommener Harmonie mit der inneren Gestalt und der inneren Architectur derselben befindet.

Man sieht aus den betreffenden Abbildungen, dass, mag die äussere Gestalt der Knochen noch so sehr von der Norm abweichen, doch stets die innere Gestalt und die innere Architectur ganz genau in diese abnorme äussere Gestalt hineinpassen. Jede der Abbildungen stellt ein einheitliches, im Grossen und Ganzen den bekannten Curvenbildern der graphischen Statik entsprechendes Gesamtbild der Knochenarchitectur dar. Die Dickenverhältnisse der corticalen Knochenwände, die Formen der Markhöhle und die Richtungen der die Spongiosa, bezw. auch die Corticalis constituirenden Knochenbälkchen fügen sich derart genau in das betreffende einheitliche Gesamtbild hinein, dass sich fast nirgends unregelmässige bezw. „unmotivirte“ Durchquerungen oder Continuitätsunterbrechungen des unter den abnormen Verhältnissen neuentstandenen Bälkchensystems auffinden lassen.

Aus dieser harmonischen Ineinanderfüging der äusseren Gestalt, der inneren Gestalt und der inneren Architectur hat sich nicht nur, wie ebenfalls oben<sup>2)</sup> dargethan wurde, direkt für die betreffenden abnorm gestalteten Knochen selbst, sondern auch indirekt für die normalen Knochen<sup>3)</sup> der mathematische und der anatomische Beweis der functionellen Bedeutung der äusseren Knochengestalt herleiten lassen.

Alles das nun, was ich an den Abbildungen der aufgesägten Knochenpräparate bezüglich der in Rede stehenden Harmonie zu zeigen gesucht habe, finden

<sup>1)</sup> Vgl. oben S. 263 und 264.

<sup>2)</sup> Vgl. S. 264.

<sup>3)</sup> Vgl. unt. 7. Kap.

wir getreu wieder, wenn wir deforme Knochen lebender Individuen mittelst Röntgenstrahlen untersuchen.

Zum Beweise des hier Gesagten diene das — als ein Beispiel unter vielen analogen — hier in Fig. 1 Tafel VII. wiedergegebene Röntgenbild des linken rachitisch verbogenen Oberschenkels eines lebenden fünfjährigen Mädchens.

Wie man aus dem Bilde ersieht, so ist die untere Hälfte des Knochens stark nach innen verbogen, derart, dass sich an der medialen Seite des Knochens eine mächtige Concavität, an der lateralen eine entsprechende Convexität befindet.

Ich bemerke, dass ich von dem in Fig. 1 abgebildeten linken Oberschenkel des betr. Kindes, ebenso wie von den nachher zu besprechenden Knochen der rechten unteren Extremität desselben Kindes (Fig. 2 und 3) mehrere Röntgenbilder habe aufnehmen lassen, in der Erwartung, dass je eines der Bilder sich zur directen Reproduction in der vorliegenden Arbeit eignen werde. Es ergab sich indess, dass keines der Bilder für sich allein diesem Zweck genügte. Immer zeigte das eine Bild nur diese, das andere nur jene besonderen Feinheiten der Knochen-Architectonik, auf welche es hier ankommt, mit besonders grosser Deutlichkeit und Schönheit. Ich musste deshalb für die vorliegende Arbeit Abbildungen herstellen lassen, bei denen die Feinheiten der Architectonik verschiedenen Röntgenplatten, bezw. Röntgenbildern desselben Knochens entnommen waren. Diese Anfertigung ist unter meiner Controle durch Fräulein Paula Guenther mit möglichst grosser Sorgfalt geschehen. — Die von W. A. Hirschmann angefertigten Röntgenbilder, nach welchen Fig. 1 gezeichnet ist, wurden bei Rückenlage des Kindes aufgenommen. Die Platte war unter den linken Oberschenkel geschoben worden. Das Röntgenbild stellt also den betreffenden Oberschenkel als von hinten gesehen dar.

Betrachten wir zunächst die äussere Gestalt des verkrümmten Knochens, so sehen wir, dass sich der Trochanter minor in normaler Weise unterhalb der Mitte des Collum femoris befindet. Die Mitte der medialen Knochenoberfläche liegt etwas weiter lateralwärts, insofern sie sich senkrecht unterhalb der Grenze zwischen Collum femoris und Trochanter major befindet. Dagegen ist die mediale Oberfläche der untersten Parthie des Knochens sehr weit medialwärts verrückt; sie liegt noch weiter nach innen, als der am meisten medialwärts gelegene Punkt des Caput femoris. — Die laterale Knochenwand zeigt in der Gegend der Mitte des Knochens die stärkste Convexität; sie liegt hier weiter nach aussen, als der Aussenrand des Trochanter major, während die unterste Parthie der lateralen Wand senkrecht unterhalb der Grenze zwischen Collum femoris und Trochanter major gelegen ist.

Die innere Gestalt des Knochens zeigt folgende Veränderungen: Die Corticalis der medialen Seite ist von der Gegend des Trochanter major

ab gegen abwärts sehr stark verdickt. Den höchsten Grad erreicht die Verdickung an der Stelle der stärksten Concavität des Knochens im unteren Drittheil desselben. Erst in der Nähe der unteren Epiphysenlinie spitzt sich allmählich die mediale Corticalis zu einer etwas dünneren Knochenlage zu. — An der lateralen Seite ist die Corticalis vom Trochanter major ab bis zur unteren Epiphysenlinie gleichmässig verdünnt, im Allgemeinen 4—5 mal dünner, als die concavseitige Corticalis. — In Folge der veränderten Dickenverhältnisse der beiderseitigen Corticalis ist die Markhöhle des Knochens excentrisch verlagert, und zwar gegen die convexe Seite hin verschoben.

Die innere Architectur des Knochens endlich zeigt folgende Verhältnisse: Während die Markhöhle der oberen wenig verbogenen Knochenhälfte frei von Spongiosabälkchen ist, wird zunächst dicht unterhalb der Mitte des Knochens die Markhöhle von einem starken, von der medialen zur lateralen Wand hinüberlaufenden und beide Wände senkrecht treffenden Querbalken durchzogen. Ein wenig nach unten von diesem Querbalken beginnend, blättern sich fächerförmig von der dicken medialen Knochenwand Spongiosabälkchen ab, deren obere schräg herab zur lateralen Knochenwand verlaufen, während die unteren mehr senkrecht nach abwärts gehen, und zum Epiphysenknochen, bezw. durch die Epiphyse hindurch bis zur Gelenkoberfläche herablaufen.

Die in gleicher Weise von der dünnen lateralen Wand sich abblätternen, gegen die Gelenkoberfläche nach unten und gegen die mediale Wand nach innen hinüberlaufenden Spongiosabälkchen kreuzen sich fast überall senkrecht mit den von der medialen Corticalis abgeblätternen Bälkchen.

Die Spongiosa des unteren Diaphysen-Endes und der unteren Epiphyse ist an der medialen Seite dichter, als an der lateralen. Man sieht dies überall da, wo nicht, wie in nächster Nähe der lateralen Wand des unteren Diaphysenendes und der unteren Epiphyse, die Spongiosa durch den Schatten der Patella, deren Umrisse man hier ziemlich deutlich erkennt, verdeckt wird.

Die Uebereinstimmung der aus Fig. 1 ersichtlichen Architectonik mit derjenigen meiner Abbildungen rachitisch verbogener Knochen in Fig. 67—74 Taf. X. und Fig. 77 Taf. XI. in meinem Werke über das Gesetz der Transformation der Knochen fällt sofort in die Augen.

An allen bezüglichen Abbildungen dieses Werkes zeigt sich ebenso wie in unserer Fig. 1 die Verdickung der concavseitigen und die Verdünnung der convexseitigen Corticalis, die excentrische Lage der Markhöhle, die Verengung der Markhöhle durch eine neugebildete Spongiosa und die typische Anordnung der Bälkchen dieser neuen Spongiosa. Ganz besonders sei noch hingewiesen auf die Uebereinstimmung der Bälkchenanordnung der Fig. 1 Taf. VII

mit den fächerförmig auseinandergefalteten Bälkchen, welche die unterhalb der Krümmungsstelle befindliche Spongiosa durchziehen, in Fig. 77, und mit den quer die Markhöhle durchsetzenden Bälkchen in Fig. 71, 74 und 77 jenes Werkes.

Das harmonische Ineingefügtsein der äusseren Gestalt, inneren Gestalt und inneren Architectur der Knochen leuchtet also aus Fig. 1 der vorliegenden Arbeit ebenso unzweideutig hervor, wie aus den betreffenden Figuren meines genannten Werkes. Keins der in unserer Fig. 1 erscheinenden Bälkchen der Spongiosa macht den Eindruck des Zufälligen oder Unregelmässigen oder des Abgebrochen- oder Abgebogenseins.

Wie es nun aber unzweifelhaft und unbestritten ist, dass eine so beschaffene Spongiosa ihr Verhalten nur dem Umstande verdanken kann, dass sie in allen ihren Theilchen im Dienste der Function steht, so ist es ebenso sicher, dass auch die zu einer solchen Spongiosa gehörende äussere und innere Gestalt des Knochens nur ihren Dienstleistungen für die Function des Knochens ihre oben beschriebene Beschaffenheit verdanken kann.

Ich habe dem Gesagten gleich hier noch hinzuzufügen, dass die gleiche in Rede stehende harmonische Ineinanderfügung der äusseren Gestalt, inneren Gestalt und inneren Architectur sich ebenso, wie aus Fig. 1, auch aus den weiter unten, zum Zweck der Bestätigung des Transformationsgesetzes genauer zu beschreibenden Figuren 2 und 3 Taf. VII der vorliegenden Arbeit ergibt.

Es sei mir an dieser Stelle gestattet, an die hier vorangegangene Beschreibung des Röntgenbildes eines durch Rachitis verbogenen Knochens den Wunsch anzuknüpfen, dass mein Hinweis auf die Nothwendigkeit des scharfen Auseinanderhaltens der Produkte des „Erweichungsvorganges“ und des „Transformationsvorganges“ bei der Rachitis in Zukunft eine grössere Beachtung finden möge, als dies bisher geschehen ist.

Ich erinnere an meinen Nachweis, nach welchem die von du Verney, Ruz und R. Virchow beschriebene Ausfüllungsmasse der Markhöhle rachitisch verbogener Knochen nicht als das Produkt einer „federposenartigen“ Aneinanderlegung der Knochenwände, oder als das Produkt einer Auseinanderdrängung der Corticalislagen oder als der Ueberrest einer Callusbildung aufzufassen ist<sup>1)</sup>, dass wir die Ausfüllungsmasse vielmehr als eine in typischer und wohlmotivirter Weise angeordnete, durch den „trophischen Reiz der Function“ erzeugte Bildung anzusehen haben. Nicht nur kehrt

<sup>1)</sup> Vgl. J. Wolff, Gesetz der Transformation der Knochen. S. 122—123.



auf den von der Concavität zur Convexität geführten Längsdurchschnitten des Knochens stets dieselbe Anordnung wieder, sondern es zeigt auch — und dies ist das Merkwürdigste der betreffenden Verhältnisse — die Ausfüllungsmasse auf Schnitten, welche durch die neutrale, mitten zwischen der convexen und concaven Seite gelegene Faserschicht der verbogenen Knochen geführt sind, eine „neutrale“ Anordnung<sup>1)</sup>, — dieselbe Anordnung, welche wir unter normalen Verhältnissen in der neutralen Faserschicht krahnförmig gebogener und demgemäss auf Biegung beanspruchter Knochen, wie am coxalen Femurende, finden.

Diese Ausfüllungsmasse hat man — ebenso wie die übrigen Produkte des „Transformationsvorganges“ bei der Rachitis — bisher stets mit den Produkten des für die Rachitis specifischen Erweichungs-Vorganges vermengt. Es geschah dies in gleicher Weise, wie man auch in der Lehre von der Heilung der Knochenbrüche bisher immer irrthümlicher Weise die Produkte des „Verkittungsprozesses“ und diejenigen des „Transformationsprozesses“ mit einander vermengt hat<sup>2)</sup>.

Wie verkehrt diese Vermengungen gewesen sind, und wie nothwendig es demnach ist, in den bezüglichlichen, vielfach noch immer geläufigen alten Anschauungen einen vollkommenen Wandel zu schaffen, das wird auf's Neue und ohne Weiteres durch einen Blick auf unser Röntgenbild Fig. 1 einleuchtend werden.

#### b) Die Transformationen der Knochen im Röntgenbilde.

Schon sehr bald nach dem ersten Bekanntwerden der Röntgen'schen Entdeckung ist von mir<sup>3)</sup> — im Jahre 1896 — auf die Bedeutung hingewiesen worden, welche der Röntgen'schen Durchstrahlung neben ihrem Werth als eines diagnostischen Hilfsmittels auch noch dadurch zukommt, dass wir in der nach mehr oder weniger grossen Zwischenzeiten wiederholten Durchstrahlung eines bestimmten Körpertheils eines und desselben Individuums ein ausgezeichnetes — dem Experimente gleichkommendes — Forschungsmittel zur Erkenntniss der Veränderungen besitzen, welche unter bestimmten, zu therapeutischen Zwecken von uns gesetzten Bedingungen am lebenden Organismus vor sich gehen.

Zu den Fragen, in Bezug auf welche ich diese Seite der Wichtigkeit der Röntgen'schen Entdeckung hervorhob, gehörte

<sup>1)</sup> Ebendasselbst S. 126 und Fig. 75 u. 76 Taf. XI.

<sup>2)</sup> Ebendasselbst S. 107—120.

<sup>3)</sup> Vgl. J. Wolff, Zur weiteren Verwerthung der Röntgenbilder in der Chirurgie. Vortrag, gehalten in der Abtheilung für Chirurgie der Versammlung Deutscher Naturforscher und Aerzte in Frankfurt a. M. Deutsche medicin. Wochenschr. 1896 No. 40.

von vorn herein und mit in erster Reihe diejenige nach den Transformationen der äusseren Gestalt, inneren Gestalt und inneren Architectur, welche als Folge der von uns zu therapeutischen Zwecken herbeigeführten Veränderungen der statischen Verhältnisse eines Körpertheils an den Knochen dieses Körpertheils vor sich gehen.

Im Folgenden soll gezeigt werden, zu welchen Ergebnissen die durch mich seit 1896 fortgesetzt geschehene Verwendung des genannten Forschungsmittels in der Transformationsfrage geführt hat.

Die Röntgenbilder Fig. 2 und 3 Taf. VII., welche wiederum nur als einzelne Beispiele unter vielen analogen anzusehen sind, entstammen der rechten unteren Extremität desselben Kindes, dem das Röntgenbild des linken Femur Fig. 1 entnommen ist.

Die betreffende Patientin, Anna T. aus Berlin, kam im Alter von  $5\frac{1}{2}$  Jahren, Ende September 1897, wegen eines enorm hochgradigen und nur noch ein sehr unbeholfenes und mühseliges Auftreten und Umhergehen gestattenden Genu valgum in meine Behandlung.

Sie wurde von diesem Leiden ohne blutigen Eingriff durch meinen „Etappenverband“<sup>1)</sup> und zwar durch zwei solcher Verbände, von denen der eine im October 1897, der zweite im Januar 1898 angefertigt wurde, befreit. — Fig. 2 zeigt den Zustand der rechten unteren Extremität der Patientin vor Beginn der Behandlung am 29. September 1897; Fig. 3 zum Vergleich damit den Zustand derselben Extremität  $7\frac{1}{2}$  Monate später, zwei Monate nach Abnahme des zweiten Verbandes und nach dem damit geschehenen Abschluss der Behandlung, am 15. Mai 1898.

Bei Aufnahme des Röntgenbildes Fig. 2 hatte das rechte Bein der in Horizontallage befindlichen Patientin nicht so gelagert werden können, dass die Dorsalfäche desselben genau nach oben und die Volarfläche genau nach unten sah. Hätte man bei solcher Lagerung die Platte unter die Extremität geschoben, so hätte die Hüftgegend und die Ferse direkt auf der Platte geruht; die Volarseite der Kniegelenksgegend aber hätte mehr als 3 cm von der Platte nach oben abgestanden. Das Bild wäre demnach entweder nur in der Kniegelenksgegend oder nur in der Hüft- und Fussgelenksgegend scharf ausgefallen. Es musste deshalb die Kniegelenksgegend mehr mit ihrer medialen Parthie zum Aufliegen auf der Platte gebracht werden, während die laterale Partie mehr nach oben stand. Ebenso musste der Fuss mit seinem medialen Rande auf der Platte aufliegen.

<sup>1)</sup> Vgl. J. Wolff, Ueber die Behandlung des Genu valgum und varum. Deutsche medizinische Wochenschrift 1889 No. 50.

Man erkennt nun zunächst aus Fig. 2 den enorm hohen Grad des vorhanden gewesenen Genu valgum. Die Axe des Oberschenkels bildet mit derjenigen des Unterschenkels einen Winkel von  $120^{\circ}$ . Der Aussenrand des Trochanter major liegt um ein reichliches Drittheil der Femurlänge weiter nach aussen, als der Aussenrand des Condylus externus femoris. Der Aussenrand des Malleolus externus liegt sogar um mehr als die halbe Tibialänge weiter nach aussen, als der Aussenrand des Condylus externus tibiae. — Eine vom Innenrande des Caput femoris herabgezogene Senkrechte durchschneidet den Oberschenkel in dessen Mitte schräg von der medialen zur lateralen Wand herab, trifft dann den Aussenrand der Condylen des Femur und der Tibia, durchschneidet hierauf die Tibia umgekehrt schräg von der lateralen zur medialen Wand und trifft den Fussboden an einem Punkt, der um ein reichliches Drittheil der Tibialänge weiter nach innen liegt, als der Mittelpunkt des Fussgelenks.

Die äussere Gestalt der einzelnen Knochen der Extremität zeigt folgende Verhältnisse:

Die Diaphyse des Femur verläuft in ihren oberen zwei Drittheilen sehr schräg von aussen oben nach innen unten, während das untere Drittheil desselben senkrecht nach unten gerichtet ist.

Die laterale Diaphysenwand des Femur zeigt in der unteren Knochenhälfte eine enorme Concavität, deren tiefste Ausbuchtung sich etwa an der Grenze des unteren und mittleren Drittheils befindet. — Die mediale Wand verläuft vom Collum femoris bis zum unteren Epiphysen-Knorpel herab ziemlich geradlinig, aber sehr schräg von oben aussen nach unten innen. Der geradlinige Verlauf wird nur durch eine geringe Convexität in der obersten Partie des unteren Drittheils, und eine unmittelbar darunter befindliche ebenso geringe Concavität unterbrochen.

Die untere Femurepiphyse zeigt keine wesentliche Abweichung von ihrer normalen Gestalt.

Die Diaphyse der Tibia verläuft nur hoch oben auf einer kurzen Strecke senkrecht nach abwärts, um von da ab in sehr schräger Richtung sich weit nach aussen und unten zu begeben.

Die laterale Diaphysenwand der Tibia zeigt eine gleichmässig in der ganzen Knochenlänge ausgeprägte halbmondförmige Concavität. Ebenso gleichmässig betrifft die mediale Convexität die ganze mediale Diaphysenwand. Es betrifft also diese Convexität auch diejenige — nahe unterhalb der oberen Epiphysen-Linie befindliche — Partie der medialen Wand, die unter normalen Verhältnissen umgekehrt eine Concavität darbietet.

Die Fibula endlich zeigt, indem sie ebenso wie die Tibia sehr schräg nach unten aussen verläuft, nur in ihrer Mitte eine leichte Concavität der lateralen und entsprechende Convexität der medialen Diaphysenwand.

Die oberen und unteren Epiphysen zeigen auch an der Tibia und der Fibula keine Abweichungen von der normalen Gestalt.

Die innere Gestalt der drei Knochen zeigt folgende Verhältnisse:

An der concaven (lateralen) Seite des Femur befindet sich eine sehr verdickte, oben erst ganz nahe dem Trochanter major sich zuspitzende, unten

bis zum Epiphysenknorpel herabreichende Corticalis. An der Seite der Convexität dagegen zeigt das Femur eine überall sehr dünne Corticalis.

Die Markhöhle des Femur ist in sehr auffälliger und hochgradiger Weise excentrisch gegen die mediale Seite hin verlagert. Sie erscheint als ein helles, gänzlich in der medialen Knochenhälfte gelegenes, ziemlich gleichschenkliges Dreieck mit unterer Basis.

Ganz ähnlich sind die Verhältnisse der inneren Gestalt der Tibia. Auch hier ist die laterale Corticalis der Diaphyse enorm verdickt, namentlich in der Gegend der Mitte der Concavität und unmittelbar darunter, während die Corticalis der medialen Diaphysenwand in der ganzen Länge des Knochens als eine sehr dünne blattförmige Lage erscheint. — Die Markhöhle der Tibia bildet ein dem Oberschenkel-Dreieck entsprechendes, excentrisch gelegenes, und zwar in die mediale Knochenhälfte verlagertes Dreieck mit oberer Basis.

Die Verdickung der lateralen und Verdünnung der medialen Corticalis, sowie die excentrische Verlagerung der Markhöhle gegen die mediale Seite hin findet sich auch an der Fibula.

Was endlich die innere Architektur der drei Knochen betrifft, so fällt sofort die enorme Verdichtung der ganzen concaven Hälfte der Spongiosa der Kniegelenksenden des Femur und der Tibia, und dem entsprechend die starke Verdünnung, bezw. Aufhellung der medialen Partie der Spongiosa der Kniegelenksenden beider Knochen in die Augen. Die Verdichtung der lateralen und die Verdünnung der medialen Spongiosa betrifft ebenso, wie die juxta-epiphysären Diaphysen-Schichten, auch die betreffenden beiden das Kniegelenk constituirenden Epiphysen.

In den verdickten Partien der Spongiosa der lateralen Seite sind einzelne Bälkchen aus dem tiefen Schwarz nicht herauszuerkennen, während man an der medialen Seite einzelne Spongiosabälkchen ziemlich deutlich zu erkennen vermag.

Von der Stelle der stärksten Concavität bezw. zugleich der stärksten Verdichtung der Corticalis der lateralen Seite des Femur aus blättern sich fächerförmige, zur medialen Wand hinüberlaufende, bezw. zum Epiphysenknorpel herabgehende Bälkchen ab. Ebenso blättern sich von der unteren Partie der dünnen medialen Corticalis des Femur fächerförmige Bälkchen ab, die sich mit den von der lateralen Seite abgeblätterten senkrecht durchkreuzen.

Im hellen (medialen) Theil der Tibia-Spongiosa erkennt man besonders deutlich Querbalken, deren obere dem Epiphysenknorpel parallel laufen, während die unteren, ein wenig nach aussen convergirend, senkrecht von der medialen zur lateralen Wand hinüberlaufen.

Auch an der Fibula ist in der lateralen Hälfte die Spongiosa dichter, als in der medialen.

Die Umrisse der Patella erscheinen, wenig deutlich, auf der Oberschenkel-Epiphyse, nahe der medialen Knochenoberfläche.

In überaus lehrreicher Weise stimmt auch hier wieder das Bild, welches uns die Fig. 2 Taf. VII. von den Verhältnissen der Knochen beim Genu valgum darbietet, mit den Abbildungen

meiner Genu-valgum-Präparate in Fig. 78, 79 und 81 Taf. XI und Fig. 82 Taf. XII meines Werkes über das Gesetz der Transformation der Knochen, so wie im 53. Bande des Archivs für klinische Chirurgie überein. Namentlich zeigt das obere Ende der Tibia in Fig. 2 alles das wieder, was ich in meinen Arbeiten über die Aenderungen der äusseren Gestalt, inneren Gestalt und inneren Architectur der Knochen, die wir beim Genu valgum vorfinden, und über die zwischen diesen Aenderungen auch hier stets bestehende gegenseitige Harmonie gesagt habe<sup>1)</sup>.

Man sieht auf's Neue, dass an der stärker gedrückten concaven Seite kein Knochenschwund, sondern im Gegentheil vermehrte Anbildung, an der mehr vom Druck entlasteten convexen Seite keine vermehrte Anbildung, sondern Schwund eingetreten ist.

Man erkennt ebenso auf's Neue, dass das Genu valgum nicht, wie Hueter meinte, und wie bereits Mikulicz mit Recht bestritten hat, auf Veränderungen an der Gelenkoberfläche zurückzuführen ist. Vielmehr sind die Gelenkoberflächen, bezw. auch die ganzen Kniegelenks-Epiphysen des Femur und der Tibia nicht mehr und nicht weniger an den mit dem Genu valgum einhergehenden Knochen-Veränderungen betheiltigt, als nach Maassgabe der veränderten Druck-, Zug- und Schubspannungen jeder beliebige andere Theil, bezw. Punkt der Knochen in der ganzen Länge derselben. Vom Hüftgelenk bis zum Fussgelenk herab sind die Knochen in toto verändert; nirgends finden wir an ihnen einen einzelnen besonders kranken Punkt; überall zeigt es sich, dass die Ursache der Veränderungen die ganzen Knochen trifft, dass diese Ursache also ausserhalb der Knochen zu suchen ist, und dass sie nur gefunden werden kann in der durch die fehlerhafte Haltung, bezw. durch die Störungen der statischen Verhältnisse der gesammten Extremität bedingten veränderten Function der Knochen.

Schreiten wir nunmehr zur Betrachtung der Fig. 3, welche uns zeigt, was aus der äusseren Gestalt, inneren Gestalt und inneren Architectur der Knochen geworden ist, nachdem das Kind fünf Monate hindurch mit dem Etappenverbande, bezw. unter den durch diesen Verband in möglichst richtiger Weise wiederhergestellten

<sup>1)</sup> Vgl. Deutsche medicinische Wochenschrift 1889 No. 50; Gesetz der Transformation der Knochen. S. 134—135; Archiv für klinische Chirurgie, 53. Bd. S. 870—872. Vgl. auch ob. S. 278.

statischen Verhältnissen der Extremität, und nachdem es nachher noch zwei Monate hindurch ohne Verband frei umhergegangen war.

Um ein einen möglichst einwandfreien Vergleich mit den auf Fig. 2 erscheinenden Verhältnissen gestattendes Bild zu erhalten, wurde das Kind bei Anfertigung des Röntgenbildes Fig. 3 möglichst ebenso gelagert, wie bei der Herstellung des Röntgenbildes Fig. 2, d. i. also mit einwärts rotirter Extremität.

Demgemäss erscheint in Fig. 3 die Patella ebenso auf der medialen Hälfte der unteren Epiphyse des Femur, wie in Fig. 2.

Als ganz vollkommen einwandfrei darf trotzdem die Vergleichung der beiden Bilder nicht gelten, insofern nach Beseitigung des Genu valgum es natürlich ganz unmöglich war, das Bein vollkommen ebenso zu lagern, wie dies geschehen war, als die Deformität noch bestand. So lässt sich beispielsweise, wie ich glaube, die auffällig erscheinende Verdickung der Mitte der Diaphysen des Femur und der Tibia in Fig. 3 gegenüber der anscheinend viel schwächeren Beschaffenheit derselben Stelle in Fig. 2, kaum anders erklären, als durch Verschiedenheiten der Lagerung des Beins, die sich trotz der in dieser Beziehung geübten Vorsicht geltend gemacht haben.

Immerhin sind die sogleich zu beschreibenden Verschiedenheiten in dem Verhalten der Corticalis und Spongiosa sowohl der lateralen, als auch der medialen Seite auf Fig. 3 gegenüber den Verhältnissen in Fig. 2 derart bedeutende und mächtig in die Augen fallende, dass der Werth des Vergleichs der beiden Figuren mit einander, selbst wenn, wie zugestanden werden muss, kleinere Fehler bei unserer Beurtheilung mit unterlaufen können, im Grossen und Ganzen nicht wesentlich beeinträchtigt erscheinen kann.

Schon bezüglich der aus Fig. 3 sich zunächst ergebenden Thatsache, dass das Genu valgum beseitigt ist, kann um so weniger ein Irrthum obwalten, als diese Thatsache durch die directe Beobachtung an dem Kinde, welches ich am 23. November 1898 der Berliner medicinischen Gesellschaft mit geradem Bein vorgestellt habe, ihre einfache Bestätigung findet.

Femur, Tibia und Fibula sind nun allerdings, wie Fig. 3 zeigt, bis jetzt noch nicht so weit transformirt, dass wir sie als normal bezeichnen können; aber die statischen Verhältnisse dieser Knochen sind doch wieder so weit der Norm genähert, dass das Bein nicht mehr als ein deformes erscheint. — Die Mitte des Kniegelenks liegt unter der Mitte des Collum femoris, und nur das Fussgelenk liegt noch ein wenig zu weit nach aussen, insofern es sich senkrecht nicht unter der Mitte des Kniegelenks, sondern unter dem äusseren Drittheil desselben befindet. Die Axe der Tibia bildet demgemäss die ziemlich geradlinige, nicht viel weniger als  $180^\circ$  betragende Fortsetzung derjenigen des Femur.

Die äussere Gestalt aller drei Knochen hat sich in sehr auffälliger Weise transformirt.

Die obere Partie der Femur-Diaphyse hat sich aus ihrer schräg von unten innen nach oben aussen gerichteten Lage aufgerichtet. Die Conca-  
vität der lateralen Wand ist noch vorhanden, aber sie betrifft nicht mehr, wie früher, bloss den unteren Theil dieser Wand, sondern ziemlich gleich-

mässig die ganze laterale Wand. — Die mediale Wand zeigt nahe oberhalb des Epiphysenknorpels an einer kleinen Strecke eine scharfe neuentstandene Concavität. Von da ab nach oben bis zum Collum femoris zeigt die mediale Wand eine leichte Convexität.

Die mediale und laterale Wand der oberen Tibiahälfte haben einen der Norm ziemlich ganz angenäherten Verlauf bekommen; namentlich fällt an der medialen Wand nahe unterhalb des Epiphysenknorpels die hier neuentstandene der Norm entsprechende Concavität auf. In der unteren Tibiahälfte sind die frühere Concavität der lateralen und Convexität der medialen Wand noch nicht geschwunden, aber doch nur noch in leichterem Grade vorhanden.

Ebenso ist die Fibula in ihrer oberen Hälfte gerade geworden, und nur noch in der unteren Hälfte ein wenig nach aussen concav.

Die innere Gestalt aller drei Knochen ist gegen früher ebenfalls in sehr durchgreifender Weise transformirt.

Am Femur ist die laterale Corticalis dünner, die mediale dicker geworden. Die grösste Dicke der lateralen Corticalis befindet sich jetzt nicht mehr im unteren Drittheil, sondern in der Mitte des Knochens. Schon weit oberhalb des unteren Epiphysenknorpels ist die Corticalis zu einer dünnen blattförmigen Lage zugespitzt.

Ebenso ist an der Tibia und Fibula in der oberen Parthie die beiderseitige Corticalis normal geworden, und nur an der mässig nach aussen concaven Partie der Mitte beider Knochen ist die laterale Corticalis noch entsprechend verdickt.

Die Markhöhle aller drei Knochen hat fast überall, und namentlich an den Gelenkenden der drei Knochen ihre concentrische Lage wiedergewonnen.

Nicht minder transformirt erscheint, wenn auch das Schattenbild die einzelnen Bälkchen in Fig. 3 nicht mit gleicher Schärfe, wie in Fig. 1 und 2 erkennen lässt, die innere Architektur der drei Knochen.

Am Femur fallen in der Mitte des Knochens wieder einzelne von der lateralen zur medialen Wand senkrecht hinüberlaufende Querbalken in die Augen. Ferner erkennt man an der neuentstandenen medialisseitigen Concavität nahe oberhalb des Epiphysenknorpels doppelflügel förmig nach oben und unten von dem betr. concaven Sattel ausstrahlende Bälkchen. Endlich sieht man in dem früher vollkommen schwarz erschienenen lateralen Theil der juxtaepiphysären Diaphysenschicht senkrecht von der zugespitzten Corticalis gegen die Gelenkoberfläche herablaufende Bälkchen.

Entsprechende, senkrecht aufsteigende Bälkchen zeigen sich in dem früher schwarz erschienenen lateralen Theil der oberen Spongiosa der Tibia.

An der medialisseitigen, neu, und zwar nunmehr wieder der Norm entsprechend entstandenen Concavität der Tibia nahe unterhalb des Epiphysenknorpels sieht man ähnliche doppelflügel förmig nach oben und unten gehende Bälkchen, wie an der neuentstandenen Concavität des Femur nahe oberhalb des unteren Epiphysenknorpels des letzteren.

In der noch ein wenig nach aussen concav gebliebenen Mitte der Fibula zeigt die Spongiosa mehrere von der convexen zur concaven Wand hinübergehende Querbälkchen,

Fassen wir alles, was wir aus dem Bilde Fig. 3 ersähen haben, zusammen, so liefert dasselbe eine neue Bestätigung der Richtigkeit des „Gesetzes der Transformation der Knochen“, und nebenbei zugleich die Bestätigung der Richtigkeit der hier nicht eingehender zu erörternden Grundsätze der „functionellen Orthopädie“<sup>1)</sup>. Das Bild zeigt, namentlich durch die Umänderungen der Dickenverhältnisse der Corticalis und der Dichtigkeitsverhältnisse der Spongiosa, sowie durch die Umänderungen der Formen der Markhöhle, dass, genau entsprechend der von uns bei der betreffenden kleinen Kranken zu therapeutischem Zweck herbeigeführten Veränderung der statischen Verhältnisse, bezw. der von uns herbeigeführten veränderten Function der Extremität sich die innere Gestalt und die innere Architectur der Knochen der Extremität transformirt haben. Damit aber ist es zugleich bewiesen, dass auch die neue äussere Gestalt, welche die Knochen gewonnen haben, und welche der neuen inneren Gestalt und inneren Architectur überall harmonisch angepasst ist, nur im Dienste der von uns herbeigeführten Function entstanden sein kann.

Die Erörterungen des vorliegenden Kapitels haben gezeigt, dass uns die Röntgen'sche Entdeckung in den uns hier beschäftigten Fragen einen grossen Schritt vorwärts zu bringen geeignet ist.

Jedes lebende Individuum mit irgend einem deformen Knochen kann zum Gegenstande der Untersuchung der Knochentransformationen gewählt werden, und der Chirurg hat somit das geeignete Untersuchungsmaterial tagtäglich und sehr vielfältig in Händen.

Voraussichtlich wird mit dieser vermehrten Möglichkeit der Prüfung sich in nächster Zukunft auch das allgemeine Interesse für diese Prüfung in hohem Maasse steigern.

<sup>1)</sup> Insofern das Bild 3 Tafel VII im Vergleich zu Fig. 2 zugleich ein späteres Wachstumsstadium des rechten Femur und der rechten Tibia und Fibula des betr. Kindes gegenüber dem mehr als ein halbes Jahr früheren Wachstums-Stadium derselben Knochen auf Fig. 2 darstellt, ergibt sich aus dem Bilde nebenbei auch noch eine sehr lehrreiche neue Widerlegung der Flourens-Schwalbe'schen Theorie des Knochenwachstums, nach welcher kein anderes, als ein appositionelles Wachstum an den Oberflächen der Knochen stattfinden soll. Ich werde an anderer Stelle die Bedeutung der Fig. 2 und 3 für die Knochenwachstumsfrage genauer auseinandersetzen.



## 6. Allgemeinere biologische Bedeutung der Lehre von der functionellen Pathogenese der Deformitäten.

Der Lehre von der functionellen Pathogenese der Deformitäten kommt ein allgemeineres biologisches Interesse zu, das hier in Kürze zu erörtern nicht unterlassen werden darf.

Die Erkenntniss der functionellen Pathogenese der Deformitäten lehrt uns, besser, als irgend ein anderes Beispiel, das scheinbar Zweckmässige und für den Organismus Vortheilhafte von dem wirklich Zweckmässigen und Vortheilhaften und ebenso das scheinbar Unzweckmässige von dem wirklich Unzweckmässigen zu unterscheiden.

Teleologisch aufgefasst, erscheint uns die Deformität als etwas sehr Unzweckmässiges. Die Kranken sind, wie Korteweg<sup>1)</sup>, der hierin zugleich sogar einen Einwand gegen die Lehre von der functionellen Pathogenese der Deformitäten erkannt zu haben glaubte, „mit ihren Buckeln keineswegs znfrieden“.

In Wirklichkeit aber sind die Buckel in ihren feineren Formen und in ihrer Struktur ganz regelrecht nach den Gesetzen der mechanischen Bildung des Zweckmässigen entstanden.

Unbekümmert darum, ob die Form, welche sie bildet, der normalen Form mehr oder weniger ähnlich ist, ob sie demgemäss dem Menschen mehr oder weniger gefällt, ob sie ihm für den Gebrauch des deformen Gliedes mehr oder weniger grosse Vorthelle, oder ob sie ihm im Gegentheil daneben auch grosse Nachtheile bringt, wählt die Natur unter neuen statischen Verhältnissen, in die ein Knochen geräth, denjenigen Weg der Herstellung des Zweckmässigen, auf welchem sie mit einem möglichst geringen Quantum von Umbau, d. i. von Aufbau neuer und Schwund alter Partikelchen Formen erzeugt, bei welchen unter jenen neuen Verhältnissen wiederum, wie unter normalen Verhältnissen, die grösste Leistungsfähigkeit mit dem geringsten Materialaufwande erreicht wird.

So erzeugt sie die Knochendeformität. Dieselbe ist für den Kranken vortheilhaft, insofern sie die Tragfähigkeit des deformen Körpertheils unter den vorhandenen neuen statischen Verhältnissen sichert. Sie ist aber auch zugleich nicht nur sehr hässlich, sondern auch für den Kranken nachtheilig, insofern

<sup>1)</sup> Korteweg. Deutsche Zeitschrift für orthopädische Chirurgie. Bd. II. S. 175.

sie die Bedingungen für die normale freie Beweglichkeit des Körpertheils beeinträchtigt, und insofern sie auch zugleich nicht selten durch Raumbeugung die inneren Organe schädigt.

Da mithin bei der Entstehung der Deformitäten zugleich auf der einen Seite Nutzen, und auf der andern Seite Schaden für das Individuum bewirkt wird, so kann man aus dem Beispiele der Entstehung der Deformitäten, besser, als vielleicht aus irgend einem anderen Beispiele, ersehen, dass bei den organischen Bildungen der Nutzen für das Individuum unmöglich das eigentliche Ziel der Natur sein kann.

Die teleologische Naturauffassung findet somit in unseren die Deformitäten betreffenden Nachweisungen eine besonders sichere Widerlegung.

Nutzen und Schaden sind vielmehr bei den mechanisch entstehenden Bildungen nur Nebeneffekte, und nur darum ist der Nutzen vorwiegend, weil die Deformität mechanisch durch den trophischen Reiz der Function entstanden ist, der Function also auch dienlich sein muss.

Entsprechend diesem im Wesentlichen schon im Jahre 1892<sup>1)</sup> von mir dargelegten Gedankengange hat sich auf dem internationalen ärztlichen Congress in Rom im Jahre 1894 Nothnagel<sup>2)</sup> sehr treffend folgendermassen geäußert:

„Sind die materiellen Substrate gegeben, dann müssen die Anpassungen bei pathologischen Zuständen entstehen, gleichgültig, ob dies für das Individuum nützlich ist, oder nicht. Dass sie thatsächlich so oft von Vortheil sind, ist das nothwendige Ergebniss der Art ihrer Entstehung“ (d. i. ihrer Entstehung durch den trophischen Reiz der Function). „Diese Entstehung selbst wird jedoch von Gesetzen beherrscht, welche in letzter Linie ebenso zwangsweise (d. i. als zwecklose Naturnothwendigkeiten) wirken, wie die Gesetze, welche das Fallen des Steines, das Abwärtsfließen des Baches und die Attraction zweier Moleküle bedingen.“

<sup>1)</sup> Das Gesetz der Transformation der Knochen. S. 146. 147.

<sup>2)</sup> Nothnagel. Die Anpassung des Organismus bei pathologischen Veränderungen. Vortrag, gehalten auf dem internationalen ärztlichen Congress zu Rom am 31. März 1894, Wiener medic. Blätter. Bd. XVII, 1894. No. 14.

## 7. Die anatomische Begründung der functionellen Bedeutung der normalen Knochengestalt.

Wir haben im zweiten Kapitel gesehen, dass der mathematische Beweis der functionellen Knochengestalt sich in gleicher Weise für die normalen, wie für die pathologisch geformten Knochen von mir hatte führen lassen.

Anders liegen die Dinge hinsichtlich des anatomischen Beweises der functionellen Knochengestalt.

Hier galt mein Beweis zunächst nur für die pathologisch geformten Knochen.

Dagegen hatte sich für die normalen Knochen der anatomische Beweis ihrer functionellen Bedeutung, so selbstverständlich auch wohl diese Bedeutung schon a priori hätte erscheinen können, aus den Knochenpräparaten keineswegs ganz ohne Weiteres herleiten lassen.

Die normale Knochenform ist, wie ich 1870<sup>1)</sup> und 1872<sup>2)</sup> besonders betonte, schon im fötalen Leben vorgebildet, und es würde daher zulässig gewesen sein, dieselbe als eine einfach durch Vererbung gewonnene anzusehen.

Erst der durch die Erforschung der pathologischen Verhältnisse bekannt gewordene Umstand, dass jede geringste pathologische Abweichung von der normalen Function Formverändernd, und in analogen Fällen stets in gleicher Weise Formverändernd wirkt, zeigt, dass die normale Knochenform die für die normale Function einzig und allein übrig bleibende ist, dass also der normalen, ebenso wie der deformen Gestalt, eine functionelle, bezw. mathematische Bedeutung zukommt.

Nach allen bisherigen Erörterungen gelangen wir zu dem Schluss, dass die Knochengestalt sowohl unter normalen, wie unter abnormen Verhältnissen gewissermaassen als das mathematische Gesamtbild aller Beanspruchungen aufzufassen ist, welche bei den verschiedenen Muskelwirkungen und bei den verschiedenen für das betreffende Körperglied erträglichen Belastungen möglich sind.

<sup>1)</sup> Vgl. dieses Archiv. 50. Bd. 1870. S. 445.

<sup>2)</sup> v. Langenbeck's Archiv. 14. Bd. 1872. S. 311,

Obwohl es sich bei diesen Beanspruchungen eben wegen der Möglichkeit ihrer so grossen Verschiedenheiten niemals um constante und genau bestimmbare Grössen handeln kann, so ist doch edesmal die Knochenform, wie es v. Volkmann mit treffendem Worte bezeichnet hat, in diese verschiedenen Beanspruchungen genau „hineingerechnet“.

#### 8. Zusammenstellung und kritische Beleuchtung der verschiedenen neueren Bearbeitungen der Lehre von der functionellen Knochengestalt.

Nach meinem ersten Nachweise der Knochentransformationen vom Jahre 1872, welcher alsbald durch Köster und Martini seine ersten Bestätigungen fand<sup>1)</sup> ist zunächst Rauber<sup>2)</sup> i. J. 1876 für die damals bereits ihrem Wesen nach von mir kurz gekennzeichnet gewesene<sup>3)</sup> Lehre von der functionellen Knochengestalt eingetreten. Er wies darauf hin, dass wir „die Knochenformen um so besser werden begreifen lernen, je weiter wir in der Anwendung mechanischer Gesetze auf ihre Erklärung vorgehen.“ Das Extremitätenskelet lässt sich nach Rauber auffassen als „eine Gruppe von Gegenresultirenden, deren Componenten durch antagonistische Muskelkräfte gegeben sind.“

Ihre bedeutungsvollste Vertiefung und ihre weiteste Ausbildung hat aber die Lehre von der functionellen Knochengestalt bekanntlich erst seit dem Jahre 1881 durch die Arbeiten von Wilhelm Roux erhalten.

„Werden so“ (d. i. durch den functionellen Reiz), — so äusserte sich Roux im Jahre 1881<sup>4)</sup> — „alle Grössenverhältnisse in einer den physiologischen Bedürfnissen entsprechenden Weise auf dem Wege der Selbstregulation ausgebildet, so geschieht das Gleiche in vielen Fällen mit den Gestaltsverhältnissen der Organe.“ Als ein eclatantes die Knochen betreffendes Beispiel erinnert Roux an die Gestalt des Klumpfuss skeletes. „Hier zeigen sich sämtliche Knochen der Fusswurzel und des Mittelfusses beträchtlich den neuen Verhältnissen entsprechend verändert.“

<sup>1)</sup> Gesetz der Transformation der Knochen. 3. Abschn.

<sup>2)</sup> A. A. Rauber. Elasticität und Festigkeit der Knochen. Leipzig 1876. Vorwort S. I. und „Ergebnisse“ S. 73 No. 12.

<sup>3)</sup> Siehe dieses Archiv. 50. Bd. 1870. S. 419. Vgl. ob. I. Kap.

<sup>4)</sup> W. Roux. Der Kampf der Theile im Organismus. Leipzig 1881. S. 185.

Desgleichen bemerkte Roux im Jahre 1881 an anderer Stelle<sup>1)</sup>, dass „der Knochen bei der vorausgesetzten Qualität seiner Bildungszellen (d. i. bei seiner Abhängigkeit von den functionellen Reizen) die aufs Genaueste seiner Function angepasste innere und äussere Gestalt erlange“, und dass „ein Gleiches für die Bildung des Binde-, Nerven-, Muskel- und Drüsengewebes gelte“.

Sehr viel feiner ausgearbeitet erscheint also da die Idee von der functionellen Gestalt der Organe in einer Arbeit Roux's vom Jahre 1883<sup>2)</sup>,

Er habe, — so sagt Roux hier —, „die zweckmässige äussere Gestalt als gegeben angenommen, und die zugehörige Struktur als Folge derselben abgeleitet, und es könne widersinnig erscheinen, nunmehr das Umgekehrte zu thun. Dies sei aber nicht richtig. Vielmehr sei es für das Organische charakteristisch, dass Alles in derartiger sich an einander passender Wechselwirkung steht, und so durch fortwährende gegenseitige Correction die grösste Harmonie zwischen Ganzem und Theil, zwischen Grosse und Kleinem, zwischen Primärem und Secundärem hervorbringt. Das zuerst Variirte zwingt immer das davon Beeinflusste zur entsprechenden Anpassung, und wenn diese ziemlich erreicht ist, beginnt das Secundäre rückwirkend das Primäre zu beeinflussen. Auf diese Weise stetiger Wechselwirkung werde endlich die so vollkommene innere Harmonie erreicht, welche es uns so sehr erschwert, Primäres und Secundäres im Organischen zu unterscheiden.“

In seiner Arbeit über ein Präparat von Kniegelenksankylose<sup>3)</sup> äusserte sich dann Roux, in Uebereinstimmung mit dem, was ich i. J. 1884 zum mathematischen Beweise der functionellen Knochengestalt hervorgehoben hatte, folgendermassen über den Befund an seinem Objecte: „Das letzte trajectorielle Bälkchen des Präparats verläuft parallel dem Grenzcontour. Das letzte Trajectorium ist also der Abgrenzungskante parallel, indem es selbst

<sup>1)</sup> Derselbe. Der Kampf der Theile u. s. w. in Rosenthal's Biologischem Centralblatt 1881. S. 250.

<sup>2)</sup> Derselbe. Struktur der Schwanzflosse des Delphin. Archiv für Anatomie 1883. S. 160.

<sup>3)</sup> Archiv für Anatomie und Physiologie. Anatomische Abtheilung 1885. S. 120 fg. Vgl. auch „Gesetz der Transformation der Knochen“. S. 32 und S. 53—55. Fig. 50—54. Taf. VIII.

die Abgrenzung bildet, und die Trajectorien des anderen Systems entspringen rechtwinklig von ihm. Die Oberfläche wird also in diesem Falle bloss durch die letzte Lage der Trajectorien dargestellt, und nicht bloss die Struktur, sondern auch die äussere Gestalt ist vollkommen durch die Function bestimmt. Das Gebilde hat ausser der functionellen Struktur auch eine functionelle Gestalt.“

Im Resumé<sup>1)</sup> seiner dasselbe Präparat betreffenden Abhandlung sagt Roux, dass wir bei diesem Präparat die Produkte einer in ganz neuen Verhältnissen direct das Zweckmässige schaffenden Thätigkeit des Organismus kennen gelernt haben, und dass wir dieselbe sich gleichzeitig an nehen einander gelegenen, zusammenhängenden Stellen in einer Mannichfaltigkeit und Feinheit sich haben bethätigen sehen, wie sie wohl nur äusserst selten sich zu zeigen Gelegenheit hat. In der Erkenntniss dieser Feinheit und Mannichfaltigkeit dieses wunderbaren Prinzips liege der Werth und Lohn seiner Untersuchung. Wir dürfen jetzt schliessen, dass die Hervorbringung keiner, auch der complicirtesten Kombinationen der Knochenbälkchen und -Plättchen zu einer neuen functionellen Struktur für jene Knochenbildungsprinzipien zu schwer ist, und dass die hierbei wirksamen, gestaltenden Kräfte in der Production der genannten Strukturelemente und ihrer Verwendung zu functionellen Strukturen von unbegrenzter Leistungsfähigkeit sind, sofern ihnen nur in der Wirkungsdauer keine Schranken gesetzt sind.“

Dieser Bestätigung meines der Lehre von der functionellen Knochengestalt zu Grunde liegenden Gesetzes der Transformation der Knochen seitens eines so hervorragenden Forschers ist in derselben Arbeit Roux's noch die folgende Aeusserung hinzugefügt<sup>2)</sup>:

„In Anknüpfung an die Frage der functionellen Gestalt sei noch hinzugefügt, dass es ein allgemeines, wohl von Vielen „(zuerst wohl von Julius Wolff [dieses Archiv 1870, 50. Bd. S. 419])“ „schon geahntes, aber noch nicht formulirtes Gesetz ist, dass die normalen Knochen des Erwachsenen zugleich mit ihrer functionellen Struktur auch eine functionelle Gestalt haben, N. B. aller Orten, wo nicht äussere Einwirkungen ihnen eine fremde Gestalt aufzwingen. Dies

<sup>1)</sup> a. a. O. S. 131—146.

<sup>2)</sup> a. a. O. Vgl. auch Roux's gesammelte Abhandlungen I. S. 701.

drückt aus, dass die Oberfläche des Knochens die Selbstbegrenzung seiner durch die Function bedingten Struktur darstellt, also allenthalben den oberflächlichsten Strukturtheilen des Hauptsystems jeder Stelle parallel und damit zugleich „rechtwinklig“ zu dem System der secundären Beanspruchung verläuft, so dass also nichts der Function Fremdes solchem normalen Knochen angefügt ist. Mit diesem Gesetz der „functionellen Gestalt“ im Verein mit dem der „functionellen Struktur“ ist erst die vorhandene Zweckmässigkeit unserer Knochen vollkommen bezeichnet; und die alte Gewohnheit, aus der Gestalt der Knochen auf ihre Function zu schliessen, hat so nachträglich ihre wissenschaftliche Begründung erfahren.“

Endlich hat sich W. Roux über die Schlussfolgerungen, die aus den pathologischen auf die normalen Verhältnisse der Struktur und der Gestalt der Knochen und auf die Frage von der Vererbung dieser normalen Struktur und Gestalt gezogen werden müssen, folgendermassen ausgesprochen:

„Aus der Beobachtung J. Wolff's, — so heisst es in Roux's Innsbrucker Festrede vom Jahre 1889<sup>1)</sup> — dass auch in abnormen Verhältnissen, z. B. bei schief geheilten Knochenbrüchen, eine dieser neuen Form angepasste, äusserst zweckmässige Knochenstruktur entsteht, konnten wir sofort schliessen, dass auch die normale Struktur der Knochen durch wesentlich dieselben Mechanismen der den Knochen zusammensetzenden Gewebe hergestellt werden kann, dass diese Struktur also nicht nothwendig in ihren zahllosen zweckmässigen Einzelbildungen uns vererbt zu werden braucht.“

In gleichem Sinne hatte bereits im Jahre 1883<sup>2)</sup> Roux gesagt:

„Je complicirter eine die Linien stärkster Beanspruchung darstellende Struktur (bezw. Gestalt) ist, um so grösser ist die Wahrscheinlichkeit der Entstehung derselben nach den Bildungs- und Wachstumsgesetzen der functionellen Anpassung. Der von J. Wolff hierfür erbrachte Beweis der Entstehung solcher Strukturen in functionell neuen Verhältnissen ist beweiskräftiger, als der aus den normalen Verhältnissen zu liefernde directe Beweis des Vorhandenseins einer aus

<sup>1)</sup> Roux. Die Entwickelungsmechanik der Organismen. Festrede am 12. Mai 1889. Vgl. auch Roux's gesammelte Abhandlungen II. S. 45.

<sup>2)</sup> Archiv für Anatomie. 1883. S. 78.

derartigen vielen feinen Einzelformen gebildeten Struktur (bezw. Gestalt), dass die zufällige Entstehung einer geringen Anzahl solcher Formen einen im Kampf ums Dasein ausschlaggebenden Nutzen gewähren könne.“

Weitere Bestätigungen der functionellen Bedeutung der Architectur- und Gestaltstransformationen der Knochen haben alsdann im Jahre 1894 Payr<sup>1)</sup> in seiner Arbeit über den Hallux valgus und später, wie ich vor Kurzem an anderer Stelle<sup>2)</sup> genauer berichtet habe, Hoffa, Graf, Lauenstein, Schulz, Ribbert und Peters geliefert.

Hierzu sind neuerdings noch hinzugekommen die Arbeiten von Heubach, Kern und Anna Pastico, sowie drei besonders bedeutungsvolle von Beneke, Hirsch und Ribbert herrührende Untersuchungen.

Heubach<sup>3)</sup> hat, ebenso wie zuvor Payr, festgestellt, dass der Hallux valgus eine „statische Deformität“ ist. Er zeigte, dass „beim Hallux valgus „die warzig-drusigen, immer überknorpelten Massen“, am medialen Theile des Capitulum metatarsi hallucis und auf der plantaren Gehfläche nur als Reste der atrophierten Partien aufzufassen sind, während die stärkere, gleichmässige Auftreibung der lateralen, zur Articulation dienenden Arthrodiethteile und die Ausfüllung der Fossae sesamoideae sich nach dem Gesetz der Transformation der Knochen als Folge des vermehrten Druckes und der vermehrten statischen Inanspruchnahme erklärt.“

Kern<sup>4)</sup> fand in den Verhältnissen der inneren Architectur dreier von ihm „auf Kraske's Anlass mit Rücksicht auf das Transformationsgesetz“ untersuchten Pirogoff-Stümpfe der Sammlung der Freiburger chirurgischen Klinik „eine neue Stütze für das Transformationsgesetz“. Er stellte fest, dass an der hinteren Seite des Stumpfes die Knochenbälkchen sich zu Druck- und vorn zu Zugbälkchen formiren, und dass „durch die Transfor-

1) E. Payr. Pathologie und Therapie des Hallux valgus in den „Beiträgen zur klinischen Medicin und Chirurgie“ Wien 1894.

2) Archiv für klinische Chirurgie. 53. Bd. S. 903—905.

3) Heubach. Ueber Hallux valgus und seine operative Behandlung durch E. Rose. Deutsche Zeitschrift für Chirurgie 1897. 46. Bd. S. 210 ff.

4) Kern. Anatomische Untersuchungen Pirogoff'scher Amputations-Stümpfe. Ein Beitrag zur Lehre von der functionellen Anpassung der Knochen, in Bruns' Beiträgen zur klinischen Chirurgie. 21. Bd. Heft 1.



mationskraft sich die Winkel zwischen den Bälkchen der Tibia und des Fersenbeines ausgleichen, so dass einheitliche Bälkchenzüge durch den ganzen Stumpf ziehen.“

Anna Pastico<sup>1)</sup> untersuchte unter Ribbert's Leitung zwei Präparate von stumpfwinkligen Kniegelenkscontracturen der Züricher pathologisch-anatomischen Sammlung und stellte fest, dass an allen nicht functionell beansprucht gewesenen Stellen der Präparate Atrophie des Knorpelüberzugs und Schwund der Epiphysenspongiosa, an den beansprucht gewesenen Verdickung des Knorpels und Verdichtung der Spongiosa eingetreten war.

Beneke<sup>2)</sup> spricht sich auf Grund seiner eingehenden Untersuchungen der Spondylitis deformans dahin aus, dass die Knochenbildungen bei Spondylitis „aus mechanischen Gründen herzuleiten sind, und dass sie als eine Bestätigung des „Gesetzes der Transformation der Knochen“ gelten dürfen“. — „Nicht die Form an sich“, — so heisst es zum Schluss der Beneke'schen Arbeit — „ist das stabile und „normale“, sondern die Fähigkeit der Gewebe, entsprechend den jeweiligen Beanspruchungen, zweckmässige Formen anzunehmen. Diese Lehre J. Wolff's und W. Roux's darf heute als vollkommen feststehende Grundlage aller morphologischen Beurtheilung normaler Gewebe und eines grossen Theiles ihrer „pathologischen“ Wucherungen angesehen werden.“

Der Ausspruch Benecke's steht in Uebereinstimmung mit dem, was bereits im Jahre 1872 F. Koenig<sup>3)</sup> gesagt hat, dass nemlich, falls mein Nachweis von der functionellen Transformation der Gestalt und Architectur der Knochen bei schief geheilten Fracturen als ein allgemein gültiges Gesetz sich bestätigen sollte, damit, „wie wohl jeder eingestehen müsse, eine neue Aera für die Art der Regeneration der krankhaften Zustände der Knochen, vielleicht auch für die der anderen Gewebe eingeleitet werden würde.“

1) Pastico. Beiträge zur functionellen Anpassung des Knochensystems. Inaug.-Dissert. Zürich 1898.

2) Beneke, Zur Lehre von der Spondylitis deformans. Festschrift zur Braunschweiger Naturforscherversammlung 1897.

3) Koenig. Zur Lehre von der definitiven Heilung der Fracturen des Schenkelbalses. Deutsche Zeitschr. für Chir. II. Bd. 1873. S. 247.

Hugo Hieronymus Hirsch<sup>1)</sup> lieferte einen sehr werthvollen „Beitrag zur Begründung des Gesetzes von der functionellen Knochengestalt“ in seinem Werk über das Schienbein.

Er sucht an dem Beispiel der Tibia zu zeigen, wie es sich, unter Berücksichtigung der von ihm eingehend untersuchten Biegungsfestigkeit derselben und unter Prüfung der Querschnittsform des Tibiaschaftes feststellen lässt, dass die gesammte Gestalt eines Knochens, die äussere Form ebenso wie die innere Struktur, seiner Function thatsächlich in der vollkommensten Weise angepasst ist.

Trotz einzelner, an anderer Stelle<sup>2)</sup> von mir besprochener, zum Theil auch schon von Müller<sup>3)</sup> erörterter Mängel der Hirsch'sehen Arbeit ist doch der Beweis, den der Autor sich zu liefern bemüht hat, vortrefflich gelungen.

Namentlich hat Hirsch in zutreffender Weise der älteren Anschauung von Fick, sowie den bezüglichlichen Aeusserungen von Zschocke, Roux und Müller gegenüber den meinen früheren Darlegungen entsprechenden Beweis geliefert, dass Druckwirkungen anliegender Weichtheile keinen Formbestimmenden Einfluss auf die Knochen ausüben können. Mit Recht wird dargethan, dass die Rinnen und Furchen in der Knochenoberfläche, in welchen die Endsehnen mancher Muskeln verlaufen, nicht in den Grundumriss des Knochen-Querschnittes hineingedrückt sind, dass sie vielmehr durch ein seitliches Hervortreten von Knochenmaterial aus dem Grundumriss des Querschnittes heraus, in Folge dort eingreifender Zugkräfte entstehen.

Ribbert<sup>4)</sup> endlich ist es durch geistvoll ersonnene und dabei doch sehr einfache Experimente am Schwanze des Kaninchens gelungen, wichtige Beiträge zur Erkenntniss der Art zu liefern, in welcher „die Knochen bei geänderter Inanspruchnahme ihre Gestaltung ändern“.

Er führte die von Haut befreite Schwanzspitze des Kaninchens

<sup>1)</sup> Hirsch. Die mechanische Bedeutung der Schienbeinform. Mit besonderer Berücksichtigung der Platyknemie. Mit einem Vorwort von R. Virchow Berlin 1895.

<sup>2)</sup> Zeitschrift für orthopädische Chirurgie. 6. Bd. 1898 S. 180—182.

<sup>3)</sup> Müller. Centralblatt für Chirurgie 1896 No. 30.

<sup>4)</sup> Ribbert. Ueber Veränderungen der abnorm gekrümmten Schwanzwirbelsäule des Kaninchens in Roux's Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen 6. Bd. 4. Heft 1898.

in eine Hauttasche des Rückens der Schwanzwurzel und liess sie dort, indem er sie durch einige Nähte fixirte, einheilen. Dabei wurde das Organ so über seine dorsale Fläche gebogen, dass es ungefähr Ringform annahm. Nach geschehener Einheilung wurde dann noch der gekrümmte Schwanz mittelst Heftpflasterstreifen etwas zusammengedrückt, so dass seine Form eine flachovale wurde.

Ribbert fand nun, dass an die mechanischen Folgen der Biegung sich an der Concavität erstens die Bildung reichlichen hyalinen, aus der Zwischenwirbelscheibe herausgewachsenen Knorpels, und zweitens an der angrenzenden Unterfläche der Diaphyse die Entwicklung kegelförmig vorspringender Knochenmassen schliesst, während an der Convexität an den in Folge der Winkelstellung stark vorspringenden Knochenkanten Resorption stattgefunden hat. Die Form der Wirbel wurde fast ausschliesslich durch diese Neubildungsvorgänge auf der concaven Seite der Knochen und der Intervertebralscheibe, sowie durch die Resorption an der Convexität geändert, während die alten Wirbeltheile „nur geringe Umbildungen“ erfuhren. Die neugebildeten Theile entstanden zumeist ohne eine nachweisbare functionelle Beanspruchung, nahmen aber schliesslich eine den geänderten Bedingungen angepasste Beschaffenheit an.

Gegenüber den durch die genannten Autoren herbeigebrachten wichtigen Bestätigungen der die Knochengestalt bestimmenden functionellen Transformationen hat es nun aber auch nicht an Autoren gefehlt, welche gegen das Transformationsgesetz und die Lehre von der functionellen Knochengestalt Einwendungen geltend zu machen gesucht haben.

Von diesen Autoren sind zunächst Korteweg, Lorenz und Ghillini zu nennen.

Die Einwendungen dieser drei Autoren stützen sich nicht auf Untersuchungen von pathologischen Knochenpräparaten oder auch nur auf gehörigen Prüfungen der von mir beschriebenen und abgebildeten Präparate.

Ich habe an anderer Stelle<sup>1)</sup> die unter solchen Umständen sehr erklärliche Hinfälligkeit der Einwendungen der genannten drei Autoren ausführlich dargethan.

<sup>1)</sup> Archiv für klinische Chirurgie. 53. Bd. 1896. S. 892—901.

Eine sehr viel grössere Beachtung verdienen die Bemerkungen anderer Autoren, welche darauf hingewiesen haben, dass die Gestalt und die innere Architectur der Knochen auch vielfach Bildungen aufweist, die sich bis jetzt, oder auch vielleicht überhaupt, nicht nach dem Gesetz der functionellen Anpassung erklären lassen.

Mir selbst bereits war es nicht entgangen, dass es in der Spongiosa auch Abweichungen von der rechtwinkligen Kreuzung der Bälkchen giebt<sup>1)</sup>, nicht bloss die von mir erörterten scheinbaren Abweichungen an allen Stellen, an denen die Winkel abgerundet sind, sondern auch wirkliche Abweichungen, überall da, wo mehrere Bälkchensysteme sich durchkreuzen.

Darin liegt aber nichts Auffälliges. Es ist richtig, dass, wie Zschocke<sup>2)</sup> betont, hauptsächlich die „physiologisch stärkste Beanspruchung des Knochens, und nicht die häufigste (gewöhnlichste), massgebend ist“. Aber es ist doch zugleich, wie oben bemerkt wurde, die Knochenform in alle, bei den verschiedenen Muskelwirkungen möglichen Beanspruchungen „hineingerechnet“. Es müssen unter solchen Umständen verschiedene Bälkchensysteme, öfters unter Störung der Orthogonalität der Bälkchenrichtungen, sich durchkreuzen, wie dies beispielsweise meine Abbildungen der inneren Architectur des Trochanter major mehrfach zeigen.

Auch ist es mir nicht entgangen, dass es in der normalen Spongiosa Bildungen giebt, die in das System der Spannungstrajectorien nicht hineinpassen.

Hierhin gehören die knöchernen Scheiden der Gefässe, die man an gewissen Stellen der normalen Spongiosa, namentlich am Schenkelhalse, woselbst eine mächtige knöcherne Scheide von der Mitte des Collum senkrecht herabsteigt, findet. Diese knöchernen Scheiden, auf welche neuerdings v. Recklinghausen<sup>3)</sup> wieder hingewiesen hat, sind bereits 1832, wie man dies aus der ersten Tafel

<sup>1)</sup> Vgl. dieses Archiv. 50. Bd. S. 397; Gesetz der Transformation der Knochen. S. 11; vgl. auch Solger: Ueber den gegenwärtigen Stand der Lehre von der Knochen-Architectur. Sep.-Abdr. aus Moleschott's Untersuchungen zur Naturlehre. 16. Bd. S. 21 ff.

<sup>2)</sup> Zschocke. Untersuchungen über das Verhältniss der Knochenbildungen zur Statik und Mechanik des Vertebraten-Skelets. Zürich. 1892. S. 5.

<sup>3)</sup> v. Recklinghausen. Ueber normale und pathologische Architectur der Knochen. Deutsche medic. Wochenschr. 1893. No. 21.

meines „Gesetzes der Transformation der Knochen“ ersieht, in dem grossen Atlas von Bourger y u. Jacob sehr schön abgebildet worden.

Es gehört ferner hierher die Anordnung der jüngsten Spongiosabälkchen terminaler Wachstumszonen in mehreren parallelen „Querwänden“ oder „Verdichtungszone n“, auf die Zschocke<sup>1)</sup>, v. Recklinghausen<sup>2)</sup> und Solger<sup>3)</sup> hingewiesen haben, und die sich auch in einzelnen meiner früheren Abbildungen angedeutet finden.

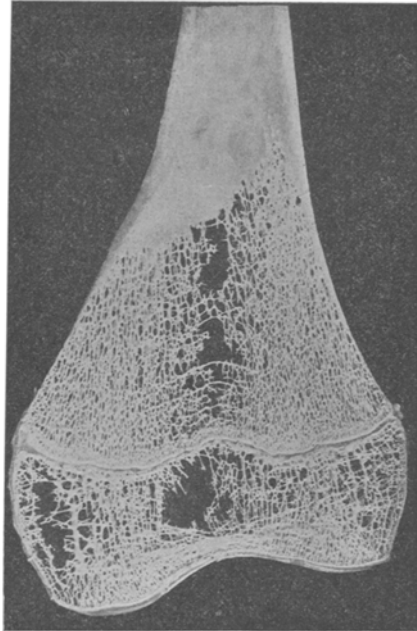
Aber ich habe doch trotzdem immer annehmen zu müssen geglaubt, dass durch die hier erwähnten Bildungen die Bedeutung der Gesamttarchiteetur als einer den Gesetzen der graphischen Statik entsprechenden Bildung eben so wenig in Frage gestellt werden kann, wie „die Festigkeit einer gothischen Kirche durch die schiefe oder wagerechte

Einsetzung eines Fensters“ (vgl. die unten

folgende Bemerkung Roux's), oder wie die Gravitationsgesetze durch „die am Rande des Wasserfalls zerstäubenden und in die Höhe fliegenden Wasserfäden“ (vgl. die unten folgende Bemerkung Ritter's).

Ich füge der vorliegenden Arbeit hier die Abbildung eines in frontaler Richtung aus der vorderen Partie des distalen Endes des linken Femur eines jugendlichen Individuums herausgesägten Fournier-

blattes bei, an dem man die dem Epiphysenknochen parallelen „Verdichtungszone n“ in schöner Ausbildung erkennt.



<sup>1)</sup> a. a. O.

<sup>2)</sup> a. a. O.

<sup>3)</sup> a. a. O.

Nahe oberhalb des Epiphysenknorpels und genau parallel demselben sieht man in ziemlich gleich weiten Abständen von einander und vom Epiphysenknorpel drei ihre Convexität nach oben kehrende bogenförmige Verdichtungszone vom inneren zum äusseren Condylus hinüber verlaufen. Eine weitere, höher oben gelegene Verdichtungszone scheint beim Sägen aus dem Präparate herausgefallen zu sein. Alsdann folgen aber höher hinauf noch mehrere andere weniger deutliche, ebenfalls mit den vorigen parallele bogenförmige Verdichtungszone.

Es schien mir aus zwei Gründen nothwendig, hier diese Abbildung einzufügen, einmal weil bisher in der Literatur überhaupt noch keine gute Abbildung dieser in der neuesten Zeit mehrfach in die Discussion unseres Gegenstandes hineingezogenen Verdichtungszone existirt, und dann, weil die Figur in sehr lehrreicher Weise zeigt, dass, wenn auch in der That die betreffenden Verdichtungszone nicht in das Bild der in den Richtungen von Spannungstrajektorien aufgebauten Bälkchen hineinpassen, doch der Gesamteindruck des Aufbaues der Bälkchen in Spannungsbögen durch diese Zone durchaus nicht beeinträchtigt wird.

Ueberdies handelt es sich bei den betr. Zone meistens um transitorische Bildungen. Auf späteren Altersstufen bleibt von denselben nur eine einzige, und zwar die letztentstandene Verdichtungszone zurück. Dieselbe ist von mir in Uebereinstimmung mit H. v. Meyer bildlich als die „Narbe“ des Epiphysenknorpels bezeichnet worden.

Roux hat ebenfalls von vornherein auf Abweichungen von der functionellen Struktur und Gestalt durch „äussere dem Knochen eine fremde Gestalt aufzwingende Einwirkungen“<sup>1)</sup> aufmerksam gemacht.

Indess sind doch auch die von Roux hervorgehobenen Abweichungen von keiner das allgemeine, hier in Rede stehende Prinzip des Knochenaufbaues antastenden Bedeutung.

Die Annahme Roux<sup>2)</sup>, dass die „normale Tibia“ keine rein

<sup>1)</sup> Vgl. oben das Roux'sche Citat auf S. 293.

<sup>2)</sup> Vgl. Roux's Referat über das „Gesetz der Transformation der Knochen“. Berliner klin. Wochenschr. 1893 No. 21 ff. Vgl. auch Roux's gesammelte Abhandlungen I S. 737.

functionelle Gestalt habe, da sie statt des ihrer Function entsprechenden mehr elliptischen Querschnitts durch den Druck der anliegenden Muskeln einen dreieckigen Querschnitt erhalten habe, ist durch Hirsch widerlegt worden. — Dass „beim Rind, Schaf, Schwein und Pferd häufig äussere und innere Abweichungen von der functionellen Gestalt der Knochen vorkommen<sup>1)</sup>“, ist von Roux ausgesprochen, aber bis jetzt keineswegs hinreichend begründet worden, und es dürfte auch wohl nicht sehr leicht sein, dies zu begründen. — Der Umstand endlich, dass Roux<sup>2)</sup> an einem Stück der Rippe einer Sirenenart, der *Rhytina Stelleri*, den ganzen Querschnitt der Rippe aus compacter Substanz bestehend gefunden hat, während er „erwartet hatte“, in diesem Stück eine Markhöhle zu finden, ist nach Roux' eigener Auffassung möglicherweise so zu erklären, dass in jenem Verhalten der Rippe kein directer Widerspruch gegen das Vorhandensein einer statischen Struktur liegt. Wahrscheinlich fehlt eben nur, wie Roux darlegt, „den Knochen der Sirenen noch in höherem oder minderem Maasse das zur Herstellung einer leistungsfähigen Struktur mit dem Minimum an Material nöthige Gleichgewicht zwischen der Activitätshypertrophie und Inactivitätsatrophie, bezw. das nöthige Verhältniss der Wirkungsgrösse beider Prinzipien“, möglicherweise auch, wie Solger<sup>3)</sup> hinzufügt, „die genügende blutbildende Function des rothen Knochenmarks oder der compensatorische Ersatz dieser Function durch ein anderes Organ, vielleicht die Milz“.

Weiterhin haben v. Recklinghausen und Solger auf Grund ihrer anatomischen Untersuchungen einen Einspruch gegen meine, Roux' und anderer Autoren Auffassung der functionellen Bedeutung der Gestalt und Struktur der Knochen erhoben.

v. Recklinghausen weist auf die bereits oben erwähnten, als Fortsetzung der Canales nutritii die in das Mark eintretenden Blutgefässe umgebenden knöchernen Scheiden und auf das ebenfalls oben erwähnte Vorkommen der ursprünglich von den Epiphysenknorpeln als jüngste Knochenformation gebildeten, häufig siebförmig durchlöcherten Querwände in osteomalacischen,

<sup>1)</sup> a. a. O.

<sup>2)</sup> Gesammelte Abhandlungen I S. 442 und 737.

<sup>3)</sup> a. a. O.

wie auch zuweilen in normalen Knochen jugendlicher und zartgebauter Individuen hin, und er fügt diesem Hinweis die Behauptung hinzu, dass „die von mir dargelegten Strukturen der pathologischen Knochen ebensogut anders gelesen und in einem anderen Sinne gedeutet oder auf andere Ereignisse bezogen werden können, als diejenigen, welche ich für die dargestellte Architectur die maassgebenden nenne<sup>1)</sup>“:

Den Beweis für diese seine Behauptung lässt v. Recklinghausen indess in seinen bezüglichlichen Mittheilungen vermissen.

Seine Schilderung der Architectur osteomalacischer Knochen stimmt in allen Punkten ziemlich genau mit der von mir beschriebenen und abgebildeten Architectur rachitisch verbogener Knochen<sup>2)</sup> überein, und seine Grundauffassung der mechanischen, bezw. functionellen Bedeutung der Knochenarchitectur, und damit natürlich auch der aus dieser Architectur sich integrierenden Knochengestalt unterscheidet sich in Nichts von der von H. v. Meyer, Culmann, Roux, mir und vielen Anderen vertretenen Auffassung.

So beschreibt v. Recklinghausen beispielsweise in der hinteren Wand der distalen Hälfte des Humerus ein System von Querpfeilern, die er als „physiologische Einrichtungen“ bezeichnet, „welche wohl nur unter den einwirkenden mechanischen Einflüssen im Knochen aufgebaut wurden, wahrscheinlich als Stützpfiler gegen die starken Erschütterungen, welche das distale Humerusende bei den Bewegungen der beiden Vorderarmknochen empfängt“ (Roux bezeichnet sie entsprechend als „Torsionsbälkchen“).

Zum weiteren Beispiel beschreibt v. Recklinghausen in dem zu „einem richtigen Gelenkkopf auslaufenden Ende der Röhrenknochen ein System von Pfeilern, die entweder „in richtigen Zug- und Drucktrajectorien“ („Oberschenkeltypus“) oder in Curven, die „den Radspeichen und Radkränzen gleichen“, („Calcaneustypus“) verlaufen, während am entgegengesetzten Ende desselben Knochens die Curven „nach Art eines rechtwinkligen Coordinatensystems“ („Wirbelkörpertypus“) gerichtet sind. „Der Schenkelhals-, sowie der Calcaneustypus“, — so fügt er hinzu, „tritt in denjenigen

<sup>1)</sup> a. a. O.

<sup>2)</sup> Vgl. Sitzungber. des K. Pr. Acad. der Wissenschaften 1884 a. a. O.; Gesetz der Transformation der Knochen. Taf. X und XI.



Hälften auf, welche beim Gebrauch der Gliedmassen am stärksten von dem mechanischen Moment der Bewegung oder der Lastwirkung beansprucht werden, welche namentlich den den Knochen treffenden grössten Impuls unmittelbar aufzunehmen und auszuhalten haben.“ Der Wirbelkörpertypus dagegen zeigt sich da, wo „der Knochen erst mittelbar von dem mechanischen Moment eines Stosses getroffen wird.“

In einem vor Kurzem, am 10. Juni 1898, gehaltenen Vortrag über die Rachitis<sup>1)</sup> endlich äussert sich v. Recklinghausen folgendermaassen:

„Mit dem Beginn der Verkrümmung der rachitischen Knochen steigert sich auf der concav werdenden Seite unter der hier herrschenden Druckspannung der Knochenanbau, weniger auf der Seite der Zugspannung.“ — „Auf die beim Gebrauch der Gliedmassen den Knochen treffenden mechanischen Momente (Zug-, Druck- und Schubspannungen) ist es zu beziehen, dass in den Markhöhlen und in der Spongiosa dieser gekrümmt bleibenden oteomalacisch-rachitischen Knochen die Architecturen überaus deutlich werden, dass in ihnen auf den Durchschnitten die Trajectorien als Streben, Pfeiler, Rippen oder Querbalken, wie sie „durch ihn“ am 9. December 1892 geschildert worden seien<sup>2)</sup>, ebenfalls reichlich und kräftig entwickelt auftreten.“

Die Mittheilungen v. Recklinghausen's mögen — so weit sie etwas Neues enthalten — als weitere Beiträge zur Kenntniss der Knochen-Architectur sehr verdienstlich sein. Niemand in-

<sup>1)</sup> v. Recklinghausen. Ueber die Knochenstrukturen, besonders die Erweichungsvorgänge in der Rachitis. Vortrag, gehalten im naturwissenschaftlich-medicinischen Verein zu Strassburg am 10. Juni 1898. Wiener klinische Wochenschrift 1898 No. 29.

<sup>2)</sup> Indem v. Recklinghausen in seinem Vortrage über die Rachitis, ohne meinen Namen zu nennen, nur auf seine eigenen Darlegungen vom December 1892 verweist, zeigt er damit, dass ihm die bezüglichen Erörterungen und Abbildungen meines im Juli 1892 erschienenen „Gesetzes der Transformation der Knochen“ unbekannt geblieben sind. In meinem genannten Werke habe ich, wie zum grossen Theil schon zuvor, im Jahre 1884, die betreffenden „Streben, Pfeiler, Rippen und Querbalken“ als Erzeugnisse des „Transformationsvorganges“ bei der Rachitis, — also längst vor v. Recklinghausen —, auf das Genaueste beschrieben, bezw. abgebildet.

dess wird aus denselben die Begründung einer von der meinigen im Princip irgendwie verschiedenen Auffassung herausfinden können.

Solger weist ebenfalls auf die erwähnten knöchernen Gefäßscheidenscheiden und auf die einander parallelen „Verdichtungszone“ hin, ferner auf das Vorhandensein der schon 1791 von Palfin und später von H. von Meyer beschriebenen, „das Mark stützenden feineren spinnegewebeartigen Fäden im Inneren des Calcaneus“<sup>1)</sup>, endlich auch auf die „Verschiedenheit im anatomischen Bau eines fibrösen Bündels und eines Knochenbälkchens“<sup>2)</sup> bzw. auf die der Bälkchenrichtung nicht entsprechende Stellung der linsenförmig platten Knochenzellen“<sup>3)</sup>. Auf Grund dieser Dinge glaubt er zu der Aeusserung berechtigt zu sein, dass die von H. von Meyer, mir und Roux gegebene Erklärung der Knochen-Architectur auf einer „falschen Theorie“ beruhe, und dass „die trübe Brille, durch welche man bislang nach dieser Theorie die Objekte betrachtet habe, abzulegen sei“<sup>4)</sup>.

Indess hat doch dieser Autor ebenfalls übersehen, dass, so werthvoll auch jede sorgfältige Erörterung der kleinen wirklichen oder scheinbaren Abweichungen von dem allgemeinen Gesetz der functionellen Struktur und Gestalt der Knochen ist, doch durch die Feststellung solcher kleinen Abweichungen das Gesetz selbst unmöglich erschüttert werden kann.

Im Munde Solger's aber ist die betreffende Aeusserung um so unzulässiger, als dieser Autor, wie er selbst sagt<sup>5)</sup>, „über Objekte, die in das ihm ferner liegende Gebiet der pathologischen Verhältnisse“ fallen, — also gerade in dasjenige Gebiet, von dem das Gesetz der „Transformation der Knochen“ und die Lehre von der „functionellen Knochengestalt“ ausgegangen sind, — „nur wenige eigene Erfahrungen hat.“

Roux<sup>6)</sup> hat den Darlegungen v. Recklinghausen's und Solger's die folgenden Aeusserungen entgegeng gehalten:

„Dass unsere Einsicht in das Problem der Architectur des

1) a. a. O. S. 24 und 26.

2) e. l. S. 14.

3) e. l. S. 18.

4) e. l. S. 32.

5) e. l. S. 10.

6) Gesammelte Abhandlungen I S. 718 und 721.

fertigen und der Architectur-Umwälzung des wachsenden Knochens noch sehr mangelhaft ist, habe ich wiederholt hervorgehoben. Dieser Mangel hindert aber nicht, schon jetzt mit Sicherheit auszusprechen, dass es z. B. für die Festigkeit einer gothischen Kirche unzweckmässig ist, wenn die langen schmalen Fenster statt in Richtung der Schwere, also des Druckes, schief oder wagerecht angebracht würden, und dass es dieselbe functionelle Bedeutung hat, wenn die nicht widerstandsfähigen, linsenförmig platten Knochenzellen mit ihrer Flächenausdehnung schräg oder rechtwinklig zur Druckrichtung der Knochenbälkchen, oder -Röhrchen stehen.“

„Auf Ausnahmen von der functionellen s. „statischen Struktur“ habe er selber“, — so fügt Roux hinzu — „aufmerksam gemacht, und zwar sogar auch auf bleibende Ausnahmen, die auf besonderen Ursachen beruhen. Die weiteren, besonders von anderen Autoren hervorgehobenen Abweichungen von der statischen Struktur der Knochen Erwachsener beruhen, so weit sie nicht überhaupt pathologische Produkte betreffen (v. Recklinghausen), nach seiner Auffassung auf zwei Ursachen: erstens auf der langsamen Wirkung, besonders des Prinzips der Inactivitätsatrophie, weniger der Activitätshypertrophie, so z. B. die langsame Umänderung der Knochenstruktur zur statischen Struktur an und neben der intermediären Epiphysenlinie nach deren Verknöcherung; und zweitens auf den Struktur-Umänderungen, die durch die fortwährende Zerstörung und Erneuerung der Knochensubstanz bedingt sind. In Folge dieses etwas langsamen Verlaufes der functionellen Anpassung aber zu sagen, dass die Lehre von der durch diese Anpassung hervorgerufenen statischen Architectur der Substantia spongiosa ihren Werth als die Knochenstruktur erklärendes Prinzip zum grossen Theil verloren habe, ist nicht zu billigen.“

„Wir verfügen (ausser in dem geschilderten Objecte von knöcherner Kniegelenksankylose des Menschen) besonders in der grossen Abhandlung Julius Wolff's über so ausgezeichnete Beispiele von Anpassung der Knochenstruktur an weit von der Norm abweichende functionelle Verhältnisse, dass ein Zweifel an dem Thätigsein diese Anpassung

leistender gestaltender Reactionsweisen überhaupt nicht bestehen kann.“

In gleichem Sinne hat sich Roux auch noch in seiner kürzlich erschienenen Arbeit: „Für unser Programm und seine Verwirklichung“<sup>1)</sup> ausführlicher über die Arbeiten Solger's ausgesprochen.

Es sei von mir — so sagt Roux in dieser Arbeit — zuerst erkannt worden, dass die Knochen in abnormen statischen Verhältnissen eine neue, diesen Verhältnissen entsprechende statische s. funktionelle Struktur ausbilden. Das sei von verschiedenen Pathologen und Klinikern, sowie von ihm an vollkommen beweisendem Material bestätigt worden. Die an einzelnen Stellen vorkommenden Abweichungen von der functionellen Struktur und Gestalt können nicht aufheben, dass „an Millionen anderer Stellen sich die funktionelle Struktur und an vielen Stellen auch die funktionelle Gestalt bis in überaus feine Merkmale ausgebildet zeigt.“

„Eine Flaumfeder oder sonst ein specifisch leichter Gegenstand von grosser Oberfläche“ — so fügt Roux hinzu — „fällt im Freien in einer Weise, dass Niemand das Fallgesetz daran entdecken oder das entdeckte Gesetz daran bestätigen könnte.“ „Die in der freien Natur vorhandene Luft kommt als dritte bei dem Geschehen beteiligte Componente in Folge der relativ grossen Oberfläche der Feder im Verhältniss zu dem Gewicht so stark zur Geltung, dass nicht bloss alles Quantitative der Fallgesetze, sondern sogar die Fallrichtung verwischt wird. Aber darum nimmt kein Physik-Kundiger an, das Fallgesetz erleide hier eine Ausnahme oder das Gesetz sei aufgehoben.“ „Wenn wir Solger's Schlussweise von den an der Knochengestaltung beteiligten Wirkungsweisen auf die Wirkungen beim Fall specifisch leichter Körper übertragen, so würde sie also lauten: Da ein Celluloidball oder eine Feder nicht den Fallgesetzen „entsprechend“ fällt, ist das von den Physikern aufgestellte Fallgesetz falsch.“

Uebrigens ist noch zu erwähnen, dass Roux bereits im Jahre 1885 darauf hingewiesen hat<sup>2)</sup>, „dass überhaupt nur die

1) Archiv für Entwicklungsmechanik der Organismen. V. Bd. 2. Heft 1897.

2) Arch. f. Anat. 1885 S. 157; Gesammelte Abhandl. I. S. 718.

aus den Röhrcchen, Plättchen, Bälkchen und General-lamellen aufgebaute Knochenstruktur der Function „vollkommen“ angepasst werden kann,“ während dagegen der Aufbau dieser Theile selber aus Havers'schen Lamellen nicht durch in gleicher Weise anpassungsfähige Bildungsmechanismen bewirkt wird. Diese Mechanismen produciren nur dann höchst Zweckmässiges, wenn die Axe der Havers'schen Lamellensysteme genau in der Richtung des Drucks, bezw. Zugs liegt, was aber vielfach selbst in trajectoriell gerichteten Bälkchen und Plättchen nicht der Fall ist. Hierin sieht Roux mit Recht eine Grenze der Leistungsfähigkeit der Knochenbildungsprinzipien.

Es bleibt mir zum Schluss noch zu erwähnen übrig, dass auch von rein mathematischem Gesichtspunkte aus gegen die von Culmann entdeckte Uebereinstimmung der Richtungen der Knochenbälkchen am coxalen Femurende und anderen Knochenstellen mit den Richtungen der Druck- und Zuglinien in einem Oberschenkelähnlichen Krahn Einwendungen erhoben worden sind.

Diese Dinge dürfen hier nicht übergangen werden, weil ich bei Aufstellung des Gesetzes der Transformation der Knochen und der Lehre von der functionellen Knochengestalt mich vielfach wesentlich auf Culmann gestützt habe, — was allerdings nur in dem Sinne geschehen durfte, dass eine Bezugnahme auf mathematische Betrachtungen und Formeln in medicinischen Beweisführungen immer nur dann einen Sinn hat, wenn zugleich, wie es bei dem hier in Rede stehenden Gegenstande geschehen ist, durch die direkten anatomischen Untersuchungen die Richtigkeit der Herbeiziehung der mathematischen Betrachtungen dargethan werden kann.

Zschocke zunächst hat die Ansicht ausgesprochen, dass im Innern des Knochens keinerlei Zugwirkungen vorkommen, dass vielmehr die Knochensubstanz überall nur Druckspannung auszuhalten habe<sup>1)</sup>.

Hierzu bemerkt Roux<sup>2)</sup>: „Sogar bei reiner direkter Druck-

<sup>1)</sup> a. a. O.

<sup>2)</sup> Gesammelte Abhandlungen I. S. 681.

einwirkung entsteht auf secundäre Weise“ — also nicht bloss bei Biegungsbeanspruchungen, bei denen das Bestreiten der Zugbeanspruchung geradezu unverständlich wäre — „Beanspruchung auf Zug. Es ist daher schon aus diesem Grunde nicht zutreffend, dass von Zschocke die Ansicht vertreten wird, es finde im Inneren der Knochen nur Druck statt.“

Demnach ist es auch wohl ebensowenig zutreffend, dass der Mathematiker Ritter<sup>1)</sup> die Zschocke'sche Behauptung „immerhin als wahrscheinlich“ ansieht.

Ritter's Hauptgrund hierfür, dass „die Schenkel- und Fussknochen“ von aussen „grösstentheils“ pressende Kräfte aufnehmen, so dass man mit Sicherheit annehmen könne, dass in ihrem Inneren die Druckspannungen bei Weitem überwiegen“, ist überdies ganz hinfällig, da dadurch offenbar für die Zschocke'sche Behauptung der ausschliesslich stattfindenden Druckspannungen gar nichts bewiesen wird.

Ritter's zweiter Grund, der darin liegen soll, dass „die meisten durch Sehnen oder Bänder ausgeübten äusseren Kräfte tangential zur Knochenoberfläche wirken, und dass da, wo ein Muskel sich mehr oder weniger normal ansetzt, stets eine kleine Vertiefung oder Aushöhlung vorhanden ist, deren Grund frei bleibt, während die Seitenwand die Spannung im transversalen Sinne aufnimmt,“ lässt ihn die Richtigkeit der Zschocke'schen Behauptung nur noch als „immerhin denkbar“ annehmen.

Aber auch dies wieder ist nicht zutreffend. Es muss dem mit den anatomischen und physiologischen Verhältnissen wohl nicht genügend vertrauten Mathematiker entgegengehalten werden, dass, wenn man beispielsweise bei rechtwinklig gekrümmtem Ellenbogengelenk und wagerechtem Vorderarm einen Anker frei in der Hand hält, die Ulna rein auf Biegung in Anspruch genommen wird, dass also dann an der Oberfläche des Vorderarmes Zugspannungen stattfinden.

Ritter selbst fügt seinen hier angeführten Bemerkungen hinzu, das mit der Zschocke'schen Annahme „die Bedeutung der Knochenfasern in der Spongiosa als Spannungstrajectorien durchaus nicht verloren zu gehen braucht“,

<sup>1)</sup> Ritter. Anwendungen der graphischen Statik. Nach Culmann. I. Theil Zürich 1888, S. 128—133.

da es auch gar zu merkwürdig wäre, wenn diese Fasern ganz den Gesetzen der Trajectorien folgten, ohne mit diesen irgend einen inneren Zusammenhang zu haben.“ Wenn die Spongiosa ausschliesslich Druckcurven darstelle, „so lässt es sich schwer sagen, ob es gelingen werde, diese Curven auf Grundlage gegebener äusserer Kräfte zu berechnen oder zu zeichnen. Die Aufgabe sei eine sehr schwierige und verwickelte und mit unseren heutigen Kenntnissen und Hilfsmitteln kaum durchführbar, selbst wenn uns die wirkenden Kräfte ihrer Grösse nach bekannt wären“.

Im Uebrigen geht die geringfügige Bedeutung der Zschocke'schen Behauptung am besten aus der folgenden, auch in anderer Beziehung, und zwar wegen der Uebereinstimmung mit Roux' oben angeführter Aeusserung über das Fallen der Flaumfeder, hier erwähnenswerthen Bemerkung Ritters<sup>1)</sup> hervor:

„Freilich lassen sich nicht sämmtliche Fasern“ (der Spongiosa des oberen Femur-Endes) „bis ans Ende deutlich verfolgen; sie bewegen sich stellenweise etwas unsicher und gehen gelegentlich ganz verloren; ferner besitzen die einzelnen Zellen keine mathematisch rechtwinklige Form. Aber wie im Wasserfalle die einzelnen Wasserfäden sich durcheinander schlingen und am Rande zerstäuben, während doch die Masse als Ganzes die parabolische Linie des freien Falles verfolgt, so springen auch in der Spongiosa des Hüftknochens bei allen Unregelmässigkeiten im einzelnen, sobald man das Ganze erblickt, die zwei charakteristischen Curvensysteme aufs Unverkennbarste ins Auge<sup>1)</sup>).

Endlich hat auch noch neuerdings ein Autor, F. Bähr, in einer Reihe von Veröffentlichungen<sup>2)</sup> sich in die Erörterung der

<sup>1)</sup> a. a. O. S. 129.

<sup>2)</sup> F. Bähr. Beobachtungen über die statischen Beziehungen des Beckens zur unteren Extremität. Zeitschrift für orthopädische Chirurgie, 5. Bd. S. 52 ff. Derselbe: Bemerkungen zu Wolff's Lehre: „Das Transformationsgesetz“. Münchener medic. Wochenschr. 1897 No. 20. Derselbe: Wolff's Transformationsgesetz und die Hueter-Volkman'sche Drucktheorie. Centralbl. für Chirurgie 1897. No. 10. Derselbe: Erwiderung an Julius Wolff. Zeitschrift für orthop. Chir. 5. Bd. S. 245 ff. Derselbe: Berichtigung. Centralbl. für Chir. 1897. S. 1096. Derselbe: Zur Entstehung der Belastungsdeformitäten. Volkmann's Sammlung klinischer Vorträge. 1897. No. 194.

Frage von der functionellen Struktur und Gestalt der Knochen eingemengt.

Dieser Autor ist indess der Meinung, dass die hier in Rede stehenden Verhältnisse auch ohne Durchforschung oder Beachtung der den Darlegungen zu Grunde liegenden anatomischen Verhältnisse, lediglich auf Grund mathematischer Betrachtungen, und namentlich auf Grund einiger von ihm mitgetheilten mathematischen Formeln ihre Erledigung finden können. „Nur um Mathematik“, — so sagt er, — „handelt es sich hier, nicht um anatomische und klinische Forschungsergebnisse“.

Dabei schreibt er sich selbst eine ausreichende Competenz in den mathematischen Dingen zu. Wenigstens hat er den Versuch nicht für nöthig befunden, durch irgend einen hervorragenden Mathematiker von Fach die Richtigkeit seiner Formeln und Schlüsse prüfen, bezw. bestätigen zu lassen.

Mittelst seiner mathematischen Betrachtungen räumt er radikal gleich mit dem Fundament des Transformationsgesetzes, mit Culmann's grosser Entdeckung der Identität der Richtungen der Knochenbälkchen mit den Spannungslinien der graphischen Statik, d. i. also mit der Culmann'schen „Krahntheorie“ auf. „Das Femur hat“ nach ihm „keinen Anspruch auf die Vergleichung mit einem Krahn“. „Die Existenz eines sich kreuzenden Curvensystems, eine entfernte Aehnlichkeit beweist“ — nach ihm — „rein gar nichts für die Krahntheorie“. — Auf die Frage, ob der Oberschenkelknochen ein krahnartig tragender Balken sei, müsse er ein bestimmtes Nein zur Antwort geben“. „Mit der von ihm gelieferten knappen Skizze (Zeitschr. für orthopäd. Chr. V. S. 58) schwinde die Berechtigung der Krahntheorie für das Femur in toto dahin“. — „Nur für den Schenkelhals liege die Möglichkeit einer Biegungsbeanspruchung vor; die Diaphyse des Femur werde dagegen beim Stehen wahrscheinlich überhaupt nicht auf Biegung beansprucht“.

Was die Drucktheorie anbelangt, so werde dieselbe „durch das Transformationsgesetz nicht im Geringsten in ihrer Existenz bedroht. Sie werde nach ihrer Grablegung durch mich ihre berechnete Auferstehung feiern“.

„Sollte ein Leser“, — so sagt er zum Schluss seiner Arbeit „über die statischen Beziehungen des Beckens zur unteren



Extremität“ — „nach dieser seiner Ausführung noch Zweifel an der Unrichtigkeit meiner mathematischen Widerlegung der Drucktheorie haben, so müsse er ihn bitten, sich die Anfangsgründe der Statik anzueignen. Zweifeln der Leser auch dann noch, so könne ihm leider nicht geholfen werden!“

Ich habe gleich nach der ersten Veröffentlichung Bähr's in einer besonderen Entgegnung<sup>1)</sup> dargethan, dass Bähr durch seine sogenannten mathematischen Betrachtungen zu sehr verkehrten, mit den thatsächlichen anatomischen Verhältnissen in Widerspruch stehenden Anschauungen geführt worden ist.

Auch ist Bähr durch J. Riedinger<sup>2)</sup> auf die Irrthümlichkeit seiner Darlegungen, und namentlich auch darauf aufmerksam gemacht worden, dass die Gefahr des Unterganges der Culmann'schen Krahntheorie und des Wiederaufstehens der „Drucktheorie“ als eines Ergebnisses der Bähr'schen Auseinandersetzungen eine sehr geringe sei.

Es mag vielleicht für Bähr's fehlerhafte Beurtheilung der die hier in Rede stehenden Fragen betreffenden anatomischen und klinischen Verhältnisse eine gewisse Entschuldigung in dem Umstande gefunden werden, dass es sich für ihn hier „nur um Mathematik“ handelt.

Da indess, wie sich aus dem Folgenden ergeben wird, auch dasjenige, was der Autor als „Mathematik“, bzw. als „Anfangsgründe der Statik“ bezeichnet, grossentheils irrtümlich ist, so ergibt sich daraus zur Genüge die Hinfälligkeit der hier in Kürze zusammengestellten die Gestalt und Architectur der Knochen betreffenden Aeusserungen dieses Autors.

Auf meine Bitte an Herrn Prof. Wilhelm Roux, — einen Forscher, dem in den uns hier beschäftigenden Fragen auf mathematischem Gebiete eine gleich hohe Competenz zukommt, wie auf anatomischem — mir sein Urtheil über die mathematischen Darlegungen Bähr's mitzuthemen, hat mir derselbe gütigst, zum Zweck der Veröffentlichung an dieser Stelle, die folgende Antwort gegeben:

„Indem ich Ihnen für die Uebersendung der Arbeiten des Herrn Dr. F. Baehr danke, bemerke ich Ihnen, dass sie neben einigem zu Billigendem auch Urtheile enthalten, denen ich nicht zustimmen kann, obwohl der

<sup>1)</sup> Zeitschr. für orthopäd. Chirurgie. V. Bd. S. 60 ff.

<sup>2)</sup> Centralblatt für Chirurgie 1897. S. 982 und 983.

Autor durch Verwendung mathematischer Formeln seinen Darlegungen einen Schein von Exactheit verleiht. Das ist aber vielfach nur ein Schein, weil er einerseits nicht alle wesentlich beteiligten Componenten heranzieht, und andererseits zwar von ihm verwendete Componenten nicht in der richtigen Weise verwerthet.“

„Die genaue mathematische Formulirung der uns am Menschen interessirenden statischen Verhältnisse ist zur Zeit meistens überhaupt nicht möglich.“

„Deshalb habe ich mich schon vor 16 Jahren nach einem Ersatz umgesehen, und diesen in der Verwendung von Gummimodellen gefunden, welche den natürlichen Formen nachgebildet sind und dann möglichst in der natürlichen, bezw. in der zu prüfenden Weise auf Druck, Zug, Biegung oder Torsion in Anspruch genommen werden.“

„Die Modelle sind aus dicken Gummiplatten anzufertigen, welche nach der genialen Erfindung von E. Winkler, Professor der Statik an der technischen Hochschule zu Charlottenburg, oberflächlich mit kleinen, sich tangirenden Kreisen bedeckt sind. Diese verwandeln sich bei jeder Deformation in Ellipsen und zeigen in den Richtungen der grossen Ellipsenaxe direkt die Richtungen des stärksten Zugs, in den Richtungen der kleinen Axe die Richtungen des stärksten Drucks an. Ausserdem gestatten sie auch, die Grösse dieser Beanspruchung zu messen.“

„Für manche subtilere Verhältnisse habe ich eine andere Methode, die, wie die vorige, in meiner Arbeit über Kniegelenks-Ankylose vom Jahre 1885 [Vgl. meine gesammelten Abhandlungen Bd. I S. 675—683] beschrieben ist, angeben.

Für Jemandem, der durch vielfache solche Versuche und Beobachtungen an Gummimodellen in der Vorstellung von Deformationswirkungen bereits geübt ist, genügt es für spätere Beurtheilung ähnlicher Verhältnisse oft schon, sich die Knochen statt starr, leicht biegsam, wie aus Gummi gebildet, oder osteomalacisch, bezw. rachitisch zu denken, um sich die durch äussere Kräfte an den bezüglichen Objecten hervorgebrachten Deformationen (also beim starren Knochen die Tendenz zu diesen Deformationen) richtig vorstellen zu können. Daraus vermag man dann wieder, aber nur annähernd, die Richtungen stärkster Zug- und Druckwirkungen sich abzuleiten.“

„Ich wünschte, dass die Anwendung dieser Methoden allen Interessenten zur Gewohnheit würde, und bin gern bereit, Herrn Prof. E. Winkler um die generelle Erlaubniss an die Fabrik zu bitten, die Gummiabgüsse seiner Zinkmatrize dem Handel freizugeben<sup>1)</sup>.“

„Bei einiger Uebung in der Anwendung dieser Methoden erkennt man nun leicht, dass jetzt viele Irrthümer, — nicht allein von Baehr —, über die Beanspruchungsweise unserer Knochen beim Stehen, Gehen, und bei der Wirkung besonderer Muskelgruppen vertreten werden, und sich zum Theil ausgebreiteter Anerkennung erfreuen.“

<sup>1)</sup> Eine Gummi-Platte von etwa  $40 \times 30$  cm Fläche und 12 mm Dicke kostet 39 Mark. R.

„Von den Darlegungen des genannten Autors will ich nur ein Beispiel herausgreifen.“

„Er sagt<sup>1)</sup>, dass die Oberschenkelknochen trotz ihrer gekrümmten Gestalt beim zweibeinigen Stehen nicht ähnlich wie Krahren fungiren, nicht, wie diese, auf Biegung in Anspruch genommen werden können, weil das Becken zwischen beiden Schenkelköpfen eingeschaltet ist und ein Widerlager darstellt, das die Näherung der Schenkelköpfe gegen einander verhindert. Deshalb könnte auch speziell in den wagerechten Bälkchen im Schenkelhals unter keinen Umständen Zug stattfinden. Dies ist beides unzutreffend.“

„Denken wir uns zunächst den Knochen erweicht, so wird es sofort einleuchten, dass die Last des Beckens und Rumpfes heruntersinken muss, indem die Oberschenkelhäuse herabgebogen und die Mittelstücke der Oberschenkel nach aussen gebogen werden.“

„Dies hat sich Baehr wohl auch gedacht; denn er ruft, um beides verhindern zu lassen, die Spannung der äusseren und inneren Schenkelmuskeln zu Hilfe. Die äusseren, am Trochanter major sich ansetzenden Muskeln (Glutaeus medius und minimus) verwendet er aber unrichtig, indem er glaubt, sie würden das Herabsinken des oberen Femurendes und damit des Beckens verhindern. Als dabei betheiligte könnten überhaupt nur die vom Femur stark aufsteigenden, also die mittleren Theile, nicht die fast wagerechten vordersten und hintersten Fasern dieser Muskeln gedacht werden. In Wirklichkeit haben aber diese ersteren Fasern bei ihrer Spannung oder Verkürzung das mechanische Bestreben, die beiderseitigen Befestigungspunkte, nemlich den nach oben vom Hüftgelenk gelegenen Theil des Darmbeines und den Trochanter major des Femur einander zu nähern, und sofern wir uns mit Baehr den Menschen als zweibeinig gerade stehend denken wollen, womit die Abduction der ganzen Schenkel verhindert wird, so werden die genannten Muskeltheile die Darmbeinschaufel und den Trochanter major gegen einander biegen und dabei, im Gegensatz zu Baehr's Annahme, das Becken und damit auch den Schenkelknopf herabzudrücken streben, statt das Herabsinken zu verhindern.“

„Wenn wir uns dagegen den Menschen am Kopf oder an den Händen hängend denken, wobei das Becken der mehr fixirte Theil gegenüber den Beinen ist, so würden natürlich in umgekehrter Weise die geschlossenen Beine durch Contraction der genannten Muskeltheile nach oben gezogen werden. In beiden Fällen aber fände Verstärkung der Krümmung des weichen Schenkelhalses statt, die mit Zugbeanspruchung der wagerechten Bälkchen in ihm verbunden ist, wovon man sich am Gummimodell leicht überzeugen kann.“

„Die inneren Schenkelmuskeln, die Adductoren, sollen nach Baehr beim zweibeinigen Stehen die Abbiegung der Mittelstücke der normalen Femora nach aussen verhindern. Nach dieser Behauptung hätten wir also beim Stehen

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. orthopaed. Chirurgie. Bd. V. S. 53.

unsere Oberschenkelknochen activ durch Muskelzug gerade zu halten, um nicht durch seitliche Ausbiegung der Schenkel zusammenzusinken. Das wäre allerdings etwas Neues.“

„Wäre der Knochen weich, so vermöchten die Adductoren wenigstens in diesem Sinne zu wirken. Ob dies in ausreichendem Maasse möglich wäre, das ist eine andere Frage, die durch Betrachtung von geeigneten osteomalacischen Schenkeln gelöst werden kann.“

„Der normale Knochen ist aber starr, und dabei so fest, dass er auch durch maximale Contraction der Adductoren nicht nach einwärts gebogen werden kann. Dieser Leistung müssten die Adductoren aber fähig sein, wenn sie andererseits die Auswärtsbiegung des Femur sollen verhindern können. Der einfachste Gegenbeweis zu der Annahme Baehr's ist aber der, dass die Adductoren beim einfachen symmetrischen zweibeinigen Stehen, um das es sich hier handelt, überhaupt nur wenig mehr, als durch den gewöhnlichen Tonus, gespannt sind. Davon überzeugt man sich leicht, wenn man Jemandem, der vor Einem steht, unversehens an die Adductoren fasst.“

„Es ist im Gegentheil gewiss recht gut, dass wir, entgegen Baehr, unsere normalen Knochen nicht erst durch Muskelwirkungen zu versteifen brauchen, damit sie uns tragen können, sondern dass sie nebst den Bändern schon an sich fest genug sind, um dies allein zu thun, sofern nur die Muskeln die leicht beweglichen Stellen des Körpers, die Gelenke, genügend fixiren.“

„Aus meiner vorstehenden Erörterung folgt natürlich nicht, dass die Muskeln bei ihren Spannungen und Verkürzungen nicht die Knochen erheblich beeinflussen. Für die Berücksichtigung dieser letzteren Wirkungen bin ich schon seit langer Zeit eingetreten, und habe speziell auf die Verminderung, vielleicht gar Aufhebung der Zugspannung im Schenkelhalse hingewiesen, die unter ganz besonderen Verhältnissen, wie Schiefstellung des Körpers bei einbeinigem Stehen, verbunden mit bestimmten äusseren Gegenwirkungen (beim Zerren nach der Seite) durch die Wirkung der Hüftmuskeln bewirkt werden kann. (Gesammelte Abhandl. I S. 682 u. 760 Anm.)“

„Ein Eingehen auf die weiteren Irrthümer Baehr's halte ich nicht für nöthig. Die gewohnheitsmässige Anwendung der oben genannten Methoden wird diese und andere bezügliche statische Irrthümer bald beseitigen.“

Für die Zukunft darf erwartet werden, dass die verschiedenen anscheinenden oder wirklichen Abweichungen vom Gesetz der functionellen Struktur und Gestalt der normalen und pathologischen Knochen, die sich bereits vorgefunden haben oder noch vorfinden werden, fortgesetzt dieselbe Aufmerksamkeit und Gründlichkeit der Untersuchung erfahren werden, wie es Seitens der meisten beteiligten Forscher schon bisher geschehen ist.

Voraussichtlich wird sich dann auch hier bezüglich der Nachuntersuchungen mancher Autoren, welche statt der von Früheren ermittelten Regelmässigkeit eine Regellosigkeit fanden, das Wort Wilhelm Roux's bewähren, dass die anscheinende Regellosigkeit „gewöhnlich auf dem ungenügenden Ausschliessen der Fehlerquellen der Untersuchung beruht“, während „die Regelmässigkeit eine Beschränkung ist, welche meistens erst bei Ausschluss der Fehler hervortritt“.

---

### Erklärung der Abbildungen.

#### Tafel VII.

- Fig. 1. Röntgen-Bild des durch Rachitis verbogenen linken Oberschenkels eines lebenden fünfjährigen Mädchens.  
 Fig. 2. Röntgen-Bild der mit Genu valgum behafteten rechten unteren Extremität desselben Mädchens.  
 Fig. 3. Röntgen-Bild derselben rechten unteren Extremität,  $7\frac{1}{2}$  Monate später.