ARCHITEKTUREN DER SPONGIOSA

BEI

ABNORMER BEANSPRUCHUNG DER KNOCHEN.

VON

HERMANN TRIEPEL,

GREIFSWALD.

Mit 2 Figuren im Text und 9 Figuren auf den Tafeln 18/20.

Einleitung.

Auf den folgenden Blättern gebe ich die Schilderung verschiedener Knochenarchitekturen, die sich während der Einwirkung anormaler Beanspruchungen gebildet haben ¹⁾. Von den Präparaten, die der Darstellung zu Grunde liegen, kamen drei auf dem Präpariersaale in Greifswald zur Beobachtung und wurden mir von Herrn Professor Bonnet gütigst zur Beschreibung überlassen; eines — das unten unter No. I verzeichnete — verdanke ich der Liebenswürdigkeit des Herrn Professor Solger.

Meine Präparate zeigen zwei Erscheinungen, die beide sehr wohl gekannt sind, und die sich nicht, wie man vielleicht meinen könnte, gegenseitig ausschliessen, sondern neben einander bestehen, nämlich Transformation des Baues und Erhaltung ursprünglicher Bauelemente.

Die Lehre von der Transformation der Knochen ist am ausführlichsten von Jul. Wolff behandelt worden, in seinem grossen Foliowerke ²⁾ und in zahlreichen kleineren Schriften. Wolff hat das Verdienst, ein umfangreiches Material (wenn auch auf einem begrenzten Gebiete) zusammengetragen und

¹⁾ Die im folgenden beschriebenen Präparate wurden in der Sitzung des medizinischen Vereins zu Greifswald vom 7. XI. 1903 demonstriert. Referat in d. deutschen mediz. Wochenschr.

²⁾ Wolff, J. Das Gesetz der Transformation der Knochen. Berlin 1892.

gute photographische Bilder von sorgfältig hergestellten Schnitten veröffentlicht zu haben. Aber leider sind die Deutungen, die er von seinen Befunden gibt, durchaus einseitig, alle Erklärungen scheinen durch eine vorgefasste Meinung beeinflusst zu sein, durch die Anschauung nämlich, dass alle Knochenarchitekturen, die sich bei Veränderung der Beanspruchung bilden, »funktionell« (im Sinne Roux') sein müssen. Ein Beweis dafür, dass die Züge der neugebildeten Spongiosa den Trajektorien der Mechanik entsprächen, wird in keinem der zahlreichen Fälle gegeben, ja er wird nicht einmal versucht. Offenbar kann die Behauptung, die bei Wolff öfter wiederkehrt, hier lägen Zug-, dort Druckbälkchen vor, nicht genügen, sie hat keine wissenschaftliche Berechtigung, wenn Belege dafür fehlen, dass an den fraglichen Stellen maximale oder in anderer Weise ausgezeichnete (s. u.) Spannungen vorkommen. Wolff hat bei der Bearbeitung des mechanischen Teils seines Werkes die Unterstützung des berühmten Züricher Statikers Culmann gefunden, und das, was auf diesen zurückgeht, ist in mathematischer Beziehung sicher einwandfrei. Mit Culmann's Hilfe ist aber nur ein Problem (das des normalen proximalen Femurendes) exakt untersucht worden, und Wolff bedachte nicht, dass bei jedem Falle von Transformation nur eine neue mathematische Analyse zu befriedigenden Ergebnissen führen kann. Ich will durchaus nicht die Möglichkeit bestreiten, dass in vielen Fällen Wolff's maximale Spannungen insubstanziert erscheinen, aber ein Beweis dafür ist nicht geliefert worden.

Weiterhin wurde es von Wolff nicht in ausreichender Weise beachtet, dass bei Veränderung der Beanspruchung neben Bauelementen, deren Entstehung offenbar auf eine Transformation zurückzuführen ist, doch noch viele Architekturteile aus der älteren Zeit erhalten sind. Es sei zugegeben, dass man bei manchen Plättchen und Bälkchen zweifelhaft sein kann, ob sie die alte Form und Lage bewahrt haben oder verändert

worden sind, und deswegen würde es zwecklos sein, sämtliche Fälle Wolffs daraufhin nachzuprüfen.

Wolff gibt, was nicht verkannt werden soll, gelegentlich an, es seien alte Strukturteile in die neue Architektur mit hinübergenommen worden. Ich möchte nur aus seinen Abbildungen noch öfter den Schluss auf Erhaltung von alter Materialverteilung ziehen, auch manchmal dort, wo Wolff mit Bestimmtheit für Transformation eintritt, wie z. T. in No. 7 auf S. 45 (Extracapsuläre Fraktur durch Collum femoris und Trochanter maior) oder in No. 9 auf S. 46 (Intracapsuläre Schenkelhalsfraktur). In allen diesen Fällen ist es natürlich wieder sehr zu bedauern, dass wir über keine exakte Analyse der Beanspruchung verfügen, die uns darüber Aufschluss geben könnte, ob vielleicht die erhaltenen Elemente in ihrer neuen Lage maximalen (oder in besonderer Weise ausgezeichneten) Spannungen entsprechen.

Solger¹⁾ hat zuerst nachdrücklich darauf hingewiesen, dass der Bau des Knochens nach Änderung der Beanspruchung unter Umständen Jahre lang in der alten Form erhalten bleiben kann. Solger erkennt an²⁾, dass der Knochen infolge äusserer Einflüsse Umbildungen erfahren kann, und beschreibt selbst hierher gehörende Fälle. Er wendet sich aber vor allem gegen die Ansicht, der Knochen reagiere auf Spannungsänderungen schnell und unfehlbar. Und ferner weist er darauf

¹⁾ Solger, B. Gesuch um Überlassung Pirogoff'scher oder Chopart'scher Stümpfe, geheilter Frakturen und ankylotischer Gelenke. Arch. f. Entwicklungsmech. d. Organismen, 1. Bd. 1895, S. 449. — Derselbe. Der gegenwärtige Stand der Lehre von der Knochenarchitektur. Untersuchungen zur Naturlehre d. Menschen u. d. Tiere. 16. Bd., 1896, S. 187. — Derselbe. Spongiosaarchitektur in einer geheilten Fraktur des Oberschenkelhalses und in einem Pirogoff'schen Stumpfe. Vortrag, gehalten im mediz. Verein zu Greifswald. Ref. deutsche medicin. Wochenschr. 1901, No. 4.

²⁾ Solger, l. c. (1896, 1901).

hin, dass man beim Versuch vorkommende Transformationen zu erklären nicht in erster Linie, wie es Wolff tue, die die Intercellularsubstanz angreifenden Beanspruchungen berücksichtigen sollte, sondern vor allem an die Tätigkeit der knochenzerstörenden und knochenbildenden Zellen und ihre Ernährung zu denken habe.

Sehr eingehend hat Roux¹⁾ einen Fall von knöcherner Kniegelenksankylose geschildert, das Präparat wird später von Wolff mit verwendet, der auch photographische Abbildungen der durch den Knochen geführten Schnitte bringt. Die Arbeit Roux' erhebt sich auf viel breiterer wissenschaftlicher Grundlage als die Darstellungen, die Wolff von seinen transformierten Objekten gegeben hat. Roux bringt durch seine schöne Methode der mechanischen Selbsterzeugung der Trajektorien den Verlauf der Kurven maximaler Spannungen zur Anschauung, und hat so natürlich die Möglichkeit, durch Vergleich die Beziehungen zwischen Spongiosazügen und Trajektorien festzustellen. Er versieht (vergl. Roux, l. c. S. 127 ff., Ges. Abh., S. 672 ff.) eine Gummipatte, die die Form der aus dem Präparat geschnittenen Scheibe hat, mit einem Überzug von Paraffin und beansprucht sie so, wie das Objekt vermutlich im Lebenden beansprucht worden ist. Dann entstehen in dem Paraffinguss Sprünge, die bei primärem Zug dem Verlaufe der maximalen Druckspannungen folgen, bei primärem Druck dem der maximalen Zugspannungen.

Aber das Verfahren kann doch, wie sich bei näherem Zusehen ergibt, nur in beschränktem Umfang zu einwandfreien Resultaten führen. Die Methode ist nämlich, wie man sieht,

¹⁾ Roux, W. Beiträge zur Morphologie der funktionellen Anpassung. 3. Beschreibung und Erläuterung einer knöchernen Kniegelenksankylose. Arch. f. Anat. und Phys., anat. Abt. 1885, S. 120. Auch Ges. Abhandl. 1. Bd. Leipzig 1895, S. 662.

nur dann brauchbar, wenn die Beanspruchung genau bekannt ist, das ist sie aber bei den meisten Knochen nicht, und sie ist es auch nicht bei Kniegelenksankylosen. Roux ahmte bei der Biegung seiner Gummimodelle offenbar nur die Beanspruchung nach, denen die Knochen der unteren Extremität infolge der Belastung mit dem Oberkörper ausgesetzt waren, den Zug der Muskulatur vernachlässigte er vollkommen.

Von seiten der Muskeln wird aber der Knochen in mehrfacher Weise beansprucht, einmal nämlich durch ihre Kontraktionen, andererseits durch ihre elastischen Kräfte; jene werden im allgemeinen zu anderen Zeiten ausgeübt als die Körperlast einwirkt, diese setzen sich auf jeden Fall mit ihr zusammen. Selbst wenn man voraussetzt, der Muskelzug könne vernachlässigt werden (etwa, weil die Muskulatur atrophisch gewesen ist), so bliebe immer noch zu überlegen, ob die durch die Körperlast bedingten maximalen und minimalen Spannungen tatsächlich in lauter parallelen den Winkel der Ankylose enthaltenden Ebenen liegen; in solche parallele Scheiben hat aber Roux naturgemäfs sein Präparat zerlegt.

Man darf vielleicht das Präparat als einen auf Biegung beanspruchten Balken ansehen, bei dem die biegende Kraft in der Biegungsebene liegt, wenn auch seine Oberfläche recht unregelmässig gestaltet ist, da nur die medialen Condylen von Femur und Tibia mit einander vereinigt sind, die (defekten) lateralen Condylen dagegen um mehrere cm von einander abstehen. Nach den Regeln der graphischen Statik¹⁾ hängt nun die Lage der Trajektorien in einem gebogenen Balken z. T. von der Form und Orientierung seines Querschnittes ab: nur wenn dieser rechteckig ist und zwei seiner Seiten der Ebene der Mittelkraft parallel sind, liegen die maximalen und minimalen

¹⁾ Vgl. Ritter, W. Anwendungen der graphischen Statik. I. T. Die im Innern eines Balkens wirkenden Kräfte. Zürich. 1888. S. 46 ff.

Spannungen in ebenen parallelen Flächen. Man müsste daher, um die Ableitung Roux' zu stützen, weiterhin annehmen, der Querschnitt seiner Ankylose sei zum mindesten nur wenig von der Form eines Rechteckes abgewichen.

Es muss natürlich auffallen, dass die Anordnung der Spongiosaelemente, die Roux als »ersten Strukturtypus« beschreibt, recht gut mit den künstlich erzeugten Trajektorien übereinstimmt, und man ist geneigt zu folgern, dass die gemachte Annahme in der Tat zu Recht besteht. Aber zu anderer Ansicht gelangt man, wenn man zum »zweiten Strukturtypus« übergeht, denn das so bezeichnete Gefüge ist gar nicht in einem einzelnen Schnitt vorhanden, sondern es ergibt sich erst bei Kombination verschiedener Schnitte. Zur Erläuterung des »dritten Strukturtypus« wird von Roux ein Gummimodell mit künstlich erzeugten Trajektorien nicht herangezogen.

Wenn man nun annehmen wollte, bei dem Präparate Roux' sei der Querschnitt des gebogenen Balkens elliptisch oder annähernd elliptisch, so müssten maximale Spannungen doch in einer ebenen Fläche, nämlich in der Symmetrieebene gelegen sein. Diese könnte man wohl annähernd an derjenigen Stelle suchen, an der Roux seinen »zweiten Strukturtypus« findet, aber der zweite Typus ist ja gerade, wie soeben erwähnt, nicht in einer einzelnen Ebene zu finden. Da die Strukturbilder, die zu seiner Kombination verwandt werden, in verschiedenen Ebenen liegen, gehört vielleicht — so könnte man glauben — der Typus einer gekrümmten Fläche an; in diesem Fall wäre aber der Vergleich mit dem ebenen Gummimodell nicht statthaft.

Bei dieser Lage der Dinge ist ein Zweifel berechtigt, ob wirklich der Beweis erbracht worden ist, dass in dem Falle Roux' die Spongiosaelemente insubstantiierte Trajektorien vorstellen. Die Möglichkeit, dass es so ist, will ich nicht in Abrede stellen.

Ich möchte nicht versäumen, darauf hinzuweisen, dass Roux verschiedentlich auch auf die Erhaltung einiger Elemente aus der alten Knochenstruktur aufmerksam macht.

Vor kurzem habe ich den Vorschlag gemacht¹⁾, eine Struktur (bezw. Architektur) dann als eine »mechanische« zu bezeichnen, wenn durch ihre Elemente nur Achsen derjenigen Spannungsellipsoide (bezw. Spannungselipsen) insubstantiiert erscheinen, die sich bei typischer Beanspruchung des die Struktur besitzenden Organes konstruieren lassen. Im Anschluss daran äusserte ich mich dahin, dass zur Bezeichnung dieser Strukturform sich der Name »trajectorielle Struktur« vielleicht besser eigne. Man solle aber auch ihn nur dann verwenden, wenn man wirklich eine Verkörpernung von Trajektorien der graphischen Statik vor sich habe.

Die Trajektorien sind drei Scharen von aufeinander senkrecht stehenden Linien (Zug- und Druckkurven). Alle drei Systeme sind in beanspruchten Körpern unter gewöhnlichen Verhältnissen stets vorhanden, auch dann, wenn nicht alle drei insubstantiiert sind oder man — bei ebenen Konstruktionen — nur zwei zeichnet. Die Begriffe »trajectorielle« und »funktionelle« Struktur decken sich nicht vollkommen.

Eine ebene Konstruktion kann beim coxalen Femurende ausgeführt werden, in dessen frontaler Symmetrieebene. Unter den Knochen ist dieses Objekt das einzige, für das die Verhältnisse in genügend exakter Weise festgestellt sind, und zwar von Culmann. Am Femurkopf und -hals greifen unmittelbar keine Muskeln an, und dadurch werden die Schwierigkeiten, die anderwärts meist sehr erheblich sind, etwas verringert. Freilich

¹⁾ Triepel. Über mechanische Strukturen. Anatomischer Anz. 23. Bd. 1903. S. 480. — Derselbe. Trajectorielle Strukturen. Anatomischer Anz. 24. Bd. S. 297.

sind die Ableitungen Culmanns, was wohl z. T. auf Rechnung H. Meyers zu setzen ist, auch nicht ganz einwandfrei ¹⁾, einmal ist der elastische Zug der um das Hüftgelenk gelagerten Muskeln nicht berücksichtigt, der mit der Mittelkraft der Körperlast vereinigt werden muss, zweitens ist die gewöhnliche Stellung des Femurschaftes nicht richtig, nämlich genau senkrecht angenommen worden, und drittens sind die Trajectorien bis in den Schaft hineingezeichnet worden, während die beanspruchenden Kräfte nur bis zum Ansatz des Halses bekannt waren. Ich zweifle aber nicht, dass bei Anbringung geringer Korrekturen die Zeichnung Culmanns, soweit sie den Femurkopf und -hals betrifft, im grossen und ganzen sich als richtig erweisen wird. Man hätte hiernach zuzugeben, dass in der Symmetrieebene von Kopf und Hals des Femurs eine trajectorielle Architektur vorliegt, die allerdings infolge verschiedener Umstände, wie des Vorhandenseins der Epiphysenlinie, der oft auffallend grossen Dichtigkeit der im Kopf liegenden Spongiosa u. a. m., sich nicht in vollkommener Reinheit und Durchsichtigkeit darstellt. ²⁾

Ausser diesem einen Fall von Spongiosaarchitektur hat bisher kein einziger eine exakte Durcharbeitung erfahren, das gilt sowohl für die normale wie für die pathologische Anatomie. Die Schwierigkeit der zu lösenden Aufgaben macht das begreiflich. Man sollte sich nun auch nicht scheuen die Unzulänglichkeit unserer Einsicht einzugestehen. Die Versuchung ist natürlich gross, beispielsweise Knochenbälkchen, die an der

¹⁾ Vgl. Meyer, H. Die Architektur der Spongiosa. Arch. f. Anat., Physiol. u. wissensch. Medizin. Jahrg. 1867. S. 615.

²⁾ Der recht unglückliche Vergleich des oberen Femurendes mit einem Kran, — dieser wird in der Praxis immer anders konstruiert — ist durch die Arbeiten Alberts (s. u.) und Solgers nunmehr hoffentlich aus der Literatur verbannt.

convexen Seite eines gebogenen oder geknickten langen Knochens verlaufen, als »Zugbälkchen« zu bezeichnen, aber der Beweis, dass ihre Richtung wirklich mit der Richtung maximaler Spannungen zusammenfällt, erfordert im allgemeinen die Heranziehung eines grösseren mathematischen Apparates.

Bei der Lage der Dinge wird es mir auch nicht möglich sein, eine erschöpfende, auf mechanischer Grundlage beruhende Deutung meiner Präparate zu geben. Nur an einzelnen Stellen wird mir der Nachweis möglich sein, dass die neugebildete Architektur keine trajectorielle ist, und ich glaube, dass selbst mit diesem negativen Resultat ein Gewinn erzielt wird. Ich werde zunächst beschreibend vorgehen, und vor allem zeigen, dass zwei Erscheinungen, die, wie ich oben ausführte, bereits bekannt sind, die Erhaltung alter Formen und ihre Umbildung, neben einander vorkommen. Welche Gründe es bedingen, dass bei Knochen, deren Beanspruchung sich ändert, bald die Erhaltung, bald die Umbildung vorwiegt, ist nicht klar. Man könnte vermuten, dass das Alter eine Rolle spielt, das die Kranken erreicht hatten, als bei ihnen die Änderung der Beanspruchung eintrat. Aber eine genaue statistische Aufstellung hierüber zu veranstalten ist nicht möglich, weil einmal die Altersangaben bei den veröffentlichten Fällen nicht ausreichend sind, weil andererseits individuelle Schwankungen vorkommen werden und die Entscheidung, ob man es mit erhaltenem oder modifiziertem Material zu tun hat, oft nicht durchaus sicher zu treffen ist.

Zunächst möchte ich im folgenden auf einige Punkte hinweisen, die meine Präparate im allgemeinen betreffen. So sind die Ecken der Spongiosamaschen überall mehr oder weniger abgerundet. Dieses Verhalten springt dort sogleich in die Augen, wo die Bälkchen der Spongiosa aus Lamellen, die von regelmässig angeordneten Löchern durchbohrt sind, herausgearbeitet zu sein scheinen. Aber auch dann, wenn die Begrenzung der Lücken im wesentlichen geradlinig ist, stossen doch nie zwei

ihrer Seiten unter einem scharfen Winkel zusammen, sondern überall gehen sie in einem sanften Bogen in einander über, wenn auch freilich oft die den Winkel ausfüllende Masse äusserst spärlich ist. Dass Abrundung der Maschenecken vorkommt, ist übrigens schon früher von anderen, ja selbst von Wolff¹⁾ hervorgehoben worden. An den Kreuzungsstellen der Bälkchen und Plättchen ist hiernach auf jeden Fall die Struktur (Architektur) verwischt, und die Richtung derjenigen Bauelemente, die für uns von Bedeutung sind, ist hier nicht mehr festzustellen. Die Beschaffenheit der Kreuzungsstellen gehört zu denjenigen Eigentümlichkeiten, durch die die trajectorielle Architektur der Spongiosa dort, wo sie besteht, nicht rein, (vgl. o. S. 218), sondern »gefälscht«²⁾ erscheint.

Dass Orthogonalität der Spongiosaelemente für die richtige Würdigung der Architektur eine hohe Bedeutung besitzt, wurde zuerst nachdrücklich von Wolff betont. Ihr Wert wird vor allem klar, wenn man in der Spongiosa nach den Kennzeichen einer trajectoriellen Architektur sucht, wie sie sich aus der Definition des Begriffes (vgl. o. S. 217) ergeben. Die Achsen einer Ellipse oder eines Ellipsoïdes stehen zu einander senkrecht, und somit können Strukturelemente auch nur dann, wenn ihre Richtungen zu einander senkrecht stehen, eine trajectorielle Struktur bilden. (Natürlich kann es vorkommen, dass eine oder zwei der im Raum zu einander senkrecht stehenden Richtungen nicht insubstantiiert sind.) Leider ist die Orthogonalität der Elemente mehr in negativem als in positivem Sinn zu verwenden. Wenn sich nämlich die Teile eines Gefüges in einem normalen oder pathologischen Präparat unter spitzem (bezw.

¹⁾ Wolff, l. c. S. 11.

²⁾ Wie man auch davon spricht, dass die Ontogenese keine reine abgekürzte Wiederholung der Phylogenese ist, sondern dass die Stammesgeschichte durch die Erscheinungen der Caenogenese »gefälscht« wird.

stumpfen) Winkel schneiden, so liegt sicher keine trajectorielle Struktur vor. Wenn dagegen Orthogonalität besteht, so ist die Struktur nur möglicherweise eine trajectorielle, ja es muss sogar, namentlich wenn drei im Raum auf einander senkrecht stehende Richtungen insubstantiiert sind, als wahrscheinlicher bezeichnet werden, dass sie es ist als dass sie es nicht ist, -- aber ein Beweis wird damit nicht geliefert.

In meinen Präparaten sind die Spongiosaelemente an zahlreichen Stellen rechtwinklig zu einander angeordnet, gar nicht selten sieht man aber auch, dass sie sich deutlich unter spitzem Winkel kreuzen. Öfter ist freilich die Entscheidung darüber nicht ganz leicht zu treffen, ob Abweichungen von der Orthogonalität bestehen, wo solche aber unverkennbar sind, soll ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht werden.

Eines meiner Präparate (das unter No. IV beschriebene) nimmt den anderen gegenüber eine Sonderstellung ein. Es handelt sich um das Skelett eines angeborenen oder sehr früh erworbenen *Pes equinus*, in diesem Fall haben die abnormen mechanischen Bedingungen von der frühesten Kindheit an vorgelegen, und es wird hier zu untersuchen sein, ob sich aus dem Präparate Anhaltspunkte für die Frage nach der Erbllichkeit von Architekturen der Spongiosa ergeben.

Über die von mir befolgte Methode habe ich hier nur zu erwähnen, dass die Objekte in Scheiben zerlegt wurden, deren Anzahl und Dicke von der Beschaffenheit des Knochens abhängig gemacht werden musste. Beim Zerlegen der Präparate benutzte ich zuerst (No. I und II) eine Kreissäge, später (No. III und IV) eine Bandsäge, die ein bequemerer Arbeiten gestattete.

Zum Vergleich zog ich vor allem Schnitte heran, die ich selbst von normalen Knochen herstellte. Ausserdem konnte ich die Abbildungen der in Frage kommenden Strukturen verwenden, die bis jetzt in der Literatur vorliegen, die nur leider z. T.

ziemlich stark schematisiert sind. Ich hatte die modernen Atlanten zu berücksichtigen, und besonders die Arbeiten von H. Meyer¹⁾, Rasumowsky²⁾, Joachimsthal³⁾, Albert⁴⁾.

I. Linksseitige Kniegelenksankylose A.

Das Präparat ist in der Erde eines Budapester Friedhofes gefunden worden, wo es während eines nicht genau zu bestimmenden, aber sicher sehr langen Zeitraumes gelegen hatte. Es wurde von Prof. Török vor einigen Jahren an Prof. Solger übersandt, der es in seiner Abhandlung über den »gegenwärtigen Stand der Lehre von der Knochenarchitektur«⁵⁾ erwähnt und die ausserordentlich starke Hypertrophie beschreibt, die an ihm die Kompakta von Femur und Tibia, und zwar vorzugsweise an der vorderen und hinteren Seite erfahren hat. Herr Prof.

1) Meyer, H. l. c.

2) Rasumowsky, W. Beitrag zur Architektonik des Fuss skeletts. Internat. Monatsschr. f. Anat. u. Phys. 6. Bd., 1889, S. 197.

3) Joachimsthal. Über Struktur, Lage und Anomalien der menschlichen Kniescheibe. Arch. f. klin. Chir. 67. Bd., 2. Heft, 1902, S. 342.

4) Albert, E. Die Architektur des erwachsenen menschlichen Femur. Bulletin international de l'Académie des Sciences de Bohême, 1900, S. 1.

Derselbe. Die Architektur der Tibia. Wiener mediz. Wochenschr. 1900, S. 161, S. 219, S. 265.

Derselbe. Die Architektur des menschlichen Talus. Wiener klin. Rundschau 1900, No. 10.

Derselbe. Die Architektur des menschlichen Fersenbeins. Wiener mediz. Presse 1900, No. 1.

Derselbe. Einführung in das Studium der Architektur der Röhrenknochen. Wien 1900.

5) Solger. l. c. (1897).

Solger hat mir später das Präparat in lebenswürdiger Weise zur Verfügung gestellt.

Es handelt sich um Femur, Tibia und Patella einer linken unteren Extremität, die fest mit einander verwachsen sind. Der Winkel, den Femur und Tibia mit einander einschliessen, beträgt etwas weniger als 90° . Das Präparat war, als es in meine Hände kam, in zwei Teile zerlegt, durch einen frontalen Sägeschnitt, der parallel zur Vorderfläche der Patella 4 cm unter dieser Fläche geführt war. Von den Eigentümlichkeiten, die die Schnittflächen zeigten, sind nur einige angeschnittene Lamellen erwähnenswert, die den alten Konturlamellen¹⁾ der Femurkondylen zu entsprechen schienen. Die beiden Stücke wurden durch Tischlerleim wieder mit einander verbunden.

Dann zeigt sich, dass die obere Kante der Patella in der Ebene der oberen (vorderen) Femurfläche liegt, und dass die vorderen Flächen der beiden Knochen mit einander einen Winkel von 110° bilden. Femur und Tibia liegen nicht genau in derselben Sagittalebene, sondern fassen, wie es ja auch physiologisch ist, an der Aussenseite einen sehr stumpfen Winkel zwischen sich. Die Folge ist, dass die wesentliche Übertragung der Körperlast durch die beiden lateralen Kondylen stattfindet. Hier liegt auch an der Hinterseite des Präparates eine sehr dicke Substanzbrücke, die weit vorsteht und einen gleichmäfsig abgerundeten Bogen bildet, während die medialen Kondylen nur durch eine dünne Brücke mit einander verbunden sind. Medial von der dicken Brücke und auch medial von der Mittellinie ist das Präparat von einem Loch durchsetzt, offenbar der ursprünglichen Fossa intercondyloidea femoris; es öffnet sich vorn schräg medial unter der Spitze der Patella. Die Tibia hat eine

1) Die Bezeichnungen, „Konturlamellen“ und „Nischenwerk“, die ich im folgenden öfter zu gebrauchen haben werde, sind von Albert (l. c. Einführung) vorgeschlagen worden.

Rotation um ihre Längsachse nach aussen ausgeführt, sodass die Tuberositas weit nach aussen gerückt ist (jedenfalls weiter, als es bei Beugung physiologisch wäre). Die Patella ist ein Stück nachgefolgt, sie sitzt mit etwas mehr als ihrer Hälfte auf dem lateralen Femurkondylus. Die Querschnitte von Femur und Tibia sind zu Ellipsen deformiert (vgl. Solger l. c., 1897), deren lange Achsen zwar im allgemeinen die Richtung von vorn nach hinten haben, aber doch (in Gemälsheit der von der Tibia ausgeführten Drehung) nicht in einer Ebene liegen.

An dem Präparat sind durch sagittale Sägeschnitte die äussersten Teile der beiderseitigen Kondylen entfernt, so dass hier schon die Spongiosa freigelegt ist.

Durch einen in die Biegungsebene fallenden, durch die dicke Verbindungsbrücke der lateralen Kondylen geführten Sagittalschnitt wurde das Präparat annähernd halbiert. Der Schnitt traf Femur und Tibia in einer Ebene, die bei Streckstellung sagittal sein würde, etwas lateral von der Mitte. Die Anfertigung mehrerer paralleler Scheiben verbot sich, weil im Gegensatz zu dem derben festen Gefüge der Kompakta die Knochensubstanz in den spongiösen Teilen ziemlich morsch war, aber schon durch die Halbierung des Präparates erhält man wegen der weit vorgeschrittenen Atrophie der inneren Teile einen genügenden Einblick in seine Architektur. Es zeigen sich manche Einzelheiten, die offenbar aus der alten Struktur gerettet sind, daneben sind verschiedene Veränderungen bemerkbar. Das Alter des Trägers der Ankylose ist nicht bekannt, ebensowenig die Zeit, während der sie bestanden hat.

a) Mediales Teilstück. (Taf. 18, Fig. 1).

Man sieht von der lateralen Seite her in die geräumige Markhöhle des Femurs hinein, die sich sehr weit nach dem distalen Knochenende erstreckt und hier eine sagittale Lamelle

erschneidet, die hinter dem Ansatz der Patella gelegen ist. In der Umgebung dieser Lamelle, von ihr selbst reliefartig abgehoben, und im Grunde der Markhöhle liegen zwei Systeme mittelstarker Balken, die sich unter einem Winkel von 90° und die Längsachse unter einem solchen von 45° kreuzen¹⁾. Bälkchen, die zu derselben Formation gehören, sieht man auch an der medialen Seite des Stückes, dort, wo die Spongiosa freigelegt ist. Die Diaphysenwände sind sehr stark, hinter der vorderen befindet sich ein Nischenwerk, das aus drei vielfach verstreuten Lamellen besteht, die hintere Wand steht einmal mit der beschriebenen Sagittallamelle in Zusammenhang und geht andererseits in die kompakte Substanz der Verbindungsbrücke über, wie auch in einen bogenförmigen Streifen, der die untere Grenze des lateralen Femurkondylus bildet, in seinem hinteren Teil mit der Tibia verwachsen, in seinem vorderen frei ist. Unmittelbar über dem Streifen liegt Spongiosa mit kleinen rundlichen Maschen.

Unzweifelhaft alt, bezw. in der alten Richtung erhalten, sind die Balken, die sich, wie beschrieben, rechtwinklig kreuzen. Gleichgerichtete Elemente finden sich auch im distalen Ende normaler Femora, nur stellen die Züge hier Durchschnitte durch Lamellen dar, die ungemein zarter sind, als die Balken in unserem Präparat; und ferner ist normalerweise die Architektur viel deutlicher im Medianschnitt, als seitlich davon, während bei unserer Ankylose gerade die zentralen Partien durch Atrophie verloren gegangen sind. Das Neue besteht eben in dem Ver-

1) Manche Autoren bezeichnen solche und ähnliche Bildungen als „schöne trajektorielle Systeme“, ohne dass sie jemals ernsthaft versucht hätten, ihre trajektorielle Bedeutung nachzuweisen. Ich kann es auch nicht billigen, wenn Albert (l. c. Einführung S. 14) den Terminus Trajektorien „seiner historischen Bedeutung wegen“ für die reinbeschreibende anatomische Darstellung beibehalten will. Ursprünglich ist von Trajektorien ja gerade in mechanischem Sinne gesprochen worden.

lust an Spongiosa, der mit einer eigentümlichen Hypertrophie¹⁾ der übriggebliebenen Elemente verknüpft ist. Die charakteristische Anordnung der Architekturelemente tritt hier, wie es schon öfter an atrophischen Knochen beobachtet worden ist, besonders gut in die Erscheinung. Alt sind wahrscheinlich auch die Nischenlamellen hinter der vorderen Diaphysenwand.

Auch die Patella zeigt unverkennbar alte Strukturbestandteile, nämlich in den vier bis fünf zarten vielfach verstreuten Lamellen, die hinter der vorderen Wand des Knochens liegen und dieser parallel laufen. Hinter ihnen, bis zur Verwachsungsstelle hin, liegen rundliche Spongiosamaschen. Nur in der Höhe des unteren Randes der Patella kann man noch ein System durchschnittener Lamellen bestimmen, die gekrümmt und nach vorn oben konkav sind.

Die Verwachsungsstelle zwischen Femur und Tibia zeigt vorn Spongiosa mit kleinen rundlichen Maschen, hinten die kompakte Verbindungsbrücke, die einige längliche Spalten aufweist.

In der Tibia fallen vor allem zwei Systeme von Bälkchen auf, die sich aus der vorderen und hinteren Wand entwickeln, und die — namentlich an den hinteren Bälkchen ist das deutlich — Teile von wesentlich frontalen Lamellen zu sein scheinen. Die vorderen Lamellen steigen fast parallel in gebogenem Verlauf nach hinten oben auf. Die hinteren Lamellen dagegen gehen fächerförmig von der Kompakta ab; die unteren von ihnen nähern sich der Horizontalen, diejenigen, die sich nach oben anschliessen, richten sich mehr und mehr auf, so dass die letzten senkrecht zur Verwachsungsstelle in die Höhe ziehen. Hier liegen sie hinter den von vorn aufstrebenden Lamellen,

¹⁾ Die Beschaffenheit der Erde, in der der Knochen lange Zeit gelegen, hat ihm einen rötlichen Farbenton verliehen; vielleicht ist auch z. T. durch sie die Verdickung der Spongiosaelemente veranlasst worden.

mit denen sie sich also nicht kreuzen. Weiter unten findet dagegen eine Kreuzung der beiden Systeme statt, die im allgemeinen rechtwinklig ist, nur am oberen Ende der Kreuzung schneiden sich einige Lamellen deutlich unter schiefem Winkel. Etwa in der Mitte des Diaphysenkolbens sind einige starke Balken des hinteren Systems seitlich plattgedrückt. An der vorderen oberen Ecke der Tibia ist das Präparat etwas beschädigt, man kann aber noch gut einige hier durchschnittene frontale Lamellen erkennen. Distal vom Diaphysenkolben hat man einen Einblick in die Markhöhle, die, weil auch die Tibia wie das Femur etwas exzentrisch getroffen ist, besonders tief erscheint. und in der sich einige wenige Reste feinsten atrophischer Spongiosa finden. Von der vorderen Wand hebt sich eine Nischenlamelle ab

Auch die Architektur der Tibia erinnert durchaus an normale Verhältnisse. In derselben charakteristischen Weise findet man auf Sagittalschnitten durch normale Tibien die beiden Lamellensysteme und die fächerförmige Anordnung des hinteren Systems.

Neu ist natürlich die starke Hypertrophie der Kompakta beider Röhrenknochen und die Ausbildung des mächtigen Bogens, der Femur und Tibia mit einander verbindet. Es ist wohl kaum zu bezweifeln, dass die Entstehung wenigstens des Bogens eine Folge der mechanischen Beanspruchung gewesen ist.

b) Laterales Teilstück.

Es zeigt im grossen und ganzen Verhältnisse, die denen des medialen Teilstückes analog sind, es gleicht diesem in Bezug auf die wesentlichen Eigentümlichkeiten wie ein Spiegelbild dem Objekt. Im besonderen sind beim Femur und bei der Tibia die beiderlei Systeme wieder vorhanden, bei der Patella die durchschnittenen dünnen Lamellen. Ausserdem sind jetzt noch

in den beiden langen Knochen sagittale auf der lateralen Kompakta aufliegende Nischenlamellen zu sehen. Die im Femur auftretenden Lamellen sind in der Weise mit Löchern durchsetzt, dass die zwischen ihnen erhaltenen Streifen die Achse des Knochens unter einem spitzen Winkel schneiden und mit einander Winkel bilden, die proximal und distal etwas kleiner als 90° sind. An die Streifen schliessen sich distalwärts rechtwinklig gekreuzte Balken an, von denen die von der hinteren Wand kommenden sich in ihrem Verlauf einer zur Knochenachse senkrechten, die anderen einer ihr parallelen Richtung nähern.

II. Linksseitige Kniegelenksankylose B.

Aus der Krankengeschichte der unverehelichten N., von der das Präparat II stammt, haben die folgenden Angaben für uns Interesse. Die N. war vom März bis zum August 1882 wegen einer »Zellgewebsentzündung des linken Oberschenkels« in Anstaltsbehandlung und wurde bei ihrer Entlassung als »fast ganz arbeitsunfähig« bezeichnet. Der Halbbauer R., zu dem sie in Privatpflege gegeben wurde, beantragte im März 1883 Erhöhung des Pflegegeldes, da die N. »auf der einen Seite ganz gelähmt und daher nur sehr wenig arbeitsfähig sei«. Vom November 1894 an war sie in einer Landarmenanstalt untergebracht, hier »konnte sie wegen der Steifheit ihres linken Beines und wegen ihrer allgemeinen Schwächlichkeit nur mit Federreissen beschäftigt werden«. Sie starb im Februar 1901 im Alter von 62 Jahren, als Todesursache wurde »Schlaganfall« angegeben. Die Ankylose, die bei der Leiche der N.

gefunden wurde, hat hiernach sicher 6 Jahre, höchstwahrscheinlich aber länger als 18 Jahre bestanden.

Bei der Präparation der mäfsig atrophischen Extremität ergibt sich, dass die Fascie in der Gegend des Kniegelenks, besonders an der lateralen Seite, stark verdickt ist. Das Lig. collaterale tibiale ist nicht herauszusetzen, das fibulare Seitenband ist deutlich, aber dünn. An dem Musc. popliteus ist keine Sehne nachweisbar, der Muskel hört an einem Knochenvorsprung auf, der dem lateralen Tibiakondylus zu entsprechen scheint. Das Lig. popliteum obliquum ist deutlich; gut entwickelt ist das Lig. patellare, seine Masse betragen $45:30:3,5$ mm. Die Tibia ist nach aussen rotiert und die Patella offenbar auf den lateralen Femurkondylus luxiert. Der Knochen ist sehr lübel, er ist am oberen Rand der Patella und am medialen Femurkondylus eindrückbar.

Das durch die Mazeration gewonnene Präparat zeigt, dass Femur, Tibia und Patella mit einander knöchern vereinigt sind, Femur und Tibia schliessen in der Sagittalebene einen Winkel von 160° ein, es handelt sich also um eine sehr stumpfwinklige Ankylose. Die beiden Knochen bilden auch an ihrer äusseren Seite zusammen einen (sehr stumpfen) Winkel — hierin wie in einigen anderen Punkten ähneln die beiden Präparate A und B einander — trotz des verschiedenen Grades der Ankylose. Die Tibia hat ferner eine Rotation um (schätzungsweise) 20° nach aussen ausgeführt und hat sich gegen das distale Femurende verschoben, so dass die Kondylen der Tibia die Femurkondylen nach hinten um ca. $1\frac{1}{2}$ cm überragen und ausserdem der laterale Kondylus der Tibia ca. $\frac{1}{2}$ cm nach aussen vorsteht. Die Körperlast wird offenbar wesentlich von dem lateralen Femurkondylus ungefähr auf die Mitte der Tibia übertragen. Dementsprechend zieht auch ein dicker zylindrischer Knochenwulst von der medialen Seite des lateralen Kondylus etwa zur Mitte der Tibiaoberfläche. Der Wulst grenzt an eine Aushöhlung

des Präparates, in die man von hinten her hineinsehen kann (die alte Fossa intercondyloidea femoris). Die Patella sitzt fast ganz auf dem lateralen Femurkondylus, mit ihrer Spitze 4 cm von der Tuberositas tibiae entfernt. Die Knochen sind äusserst atrophisch und haben bei der Mazeration an ein paar Stellen gelitten, so an den Rändern der Patella und am hinteren Ende des medialen Femurkondylus. Der Querschnitt der Diaphyse ist beim Femur annähernd kreisförmig, bei der Tibia dreieckig und seitlich komprimiert.

Das Präparat wird durch parallele Sägeschnitte, die das Femur in sagittaler Ebene treffen, in 4 Scheiben zerlegt. Diese sind im folgenden von der medialen zur lateralen Seite mit fortlaufenden Nummern versehen.

1. Scheibe. Sie enthält ungefähr die Hälfte des im Präparat vorhandenen Femuranteiles und etwas mehr als ein Drittel des proximalen Tibiaendes.

An der (lateral gelegenen) Schnittfläche sieht man zunächst, dass im Femur die Markhöhle distalwärts verlängert ist. Im Schaft und Diaphysenkolben haben sich ein bis drei Nischenlamellen von der vorderen Wand abgeblättert. Die Spongiosa besteht im wesentlichen aus zwei Systemen feiner sich kreuzender Bälkchen, die sich als Teile von Lamellen darstellen. Als solche machen sich bemerkbar vorn einige sagittale, besonders aber frontale leicht gebogene Lamellen, die sich nach unten hin aus den Nischenlamellen entwickelt haben, ferner zu dem hinteren System gehörend Vertikallamellen, die von der sagittalen Richtung nach hinten medial um circa 45° abweichen. Die Lamellenebenen stehen ausgesprochen spitzwinklig zu einander. Das hindert aber nicht, dass in ihnen viele rektanguläre Maschen (neben vielen anderen) liegen, und dass auch Bälkchen aus Lamellen verschiedener Systeme mit einander rechte Winkel

bilden¹⁾. Besonders in der Projektion auf die Schnittebene ist die rechtwinklige Kreuzung der Bälkchen auffallend. Dazu kommen noch zwei horizontale (hinten etwas nach oben abweichende) durchlöchernte Lamellen, nämlich eine frei in der Markhöhle, die andere am oberen Ende des beschriebenen hinteren Systems, sie wird von einigen zu diesem gehörenden Bälkchen sehr spitzwinklig geschnitten. Die untere Grenze des Femurs ist in Gestalt einer dünnen Lamelle gut zu erkennen.

Durch die rechtwinklige Bälkchenkreuzung erinnert die Spongiosa wiederum an Verhältnisse, die beim normalen Femur auftreten. Trotzdem kann man nicht sagen: die vorliegenden Bälkchen sind die alten. Die Beschränkung, die uns auferlegt ist, wird besonders bei diesem Präparat bemerkbar, bei dem wir die Bälkchen zumeist als Teile von Lamellen erkennen. Denn gerade die Lage und Anordnung der Lamellen in der Spongiosa des distalen Endes normaler Femora ist noch nicht vollständig bekannt. Die Untersuchung des normalen Objektes gestaltet sich allerdings oft äusserst schwierig, da hier im allgemeinen die Spongiosa ein sehr gleichmäßiges Aussehen hat und die Lage der Lamellen, zu denen die Bälkchen gehören, bei dichter Spongiosa in den angefertigten Scheiben kaum bestimmt werden kann. Albert, dessen schöne Untersuchungen unsere Kenntnisse von der Knochenarchitektur bedeutend erweitert haben, muss zugestehen²⁾, dass es bisher nicht geglückt ist, die Bilder, die sagittale Längsschnitte durch ein distales Femurende liefern, mit den bei anderer Schnittrichtung sich ergebenden Bildern zu kombinieren.

Der Zwischenraum zwischen Femur und Tibia, der hier nur schmal erscheint, weil der Schnitt hinten die Fossa inter-

¹⁾ Das geht natürlich nur, wenn immer je eines solcher Bälkchen in der Schnittlinie der beiden Lamellen steht.

²⁾ Albert, l. c. (Femur) S. 5.

condyloidea femoris getroffen hat, zeigt vorn ein paar feine vertikale Bälkchen, die durch wenige kurze sagittale Elemente verstrebt sind. Bei den dahinter liegenden Stäbchen ist keine Richtung als bevorzugt zu bezeichnen.

Die obere Wand der Tibia ist auch im vorderen Abschnitt, wo der Knochen an die Zwischenraumspungiosa anstösst, als ein dünnes Blättchen gut erhalten. Nach einem Punkte der vorderen Wand, der 3 cm unter der oberen Fläche gelegen ist, konvergieren Bälkchen und Lamellen eines Spungiosasystems. In ihm liegen am weitesten nach vorn einige frontale Lamellen, dann folgen, von zwei grösseren Lücken unterbrochen, nach oben auseinanderweichende Bälkchen, die häufig durch rechtwinklig zu ihnen stehende Bälkchen verbunden sind. Dahinter befindet sich eine Lücke, auf deren Grund eine sagittale durchlöchernte Lamelle liegt, und unter ihr wird das System durch einen dicken fast gerade nach hinten gehenden Balken, der in eine sagittale Lamelle ausläuft, abgeschlossen. Von der hinteren Wand steigen zur oberen Fläche einige fast frontale (nach medial vorn abweichende) Lamellen, die ziemlich weit von einander abstehen, und die sich oben etwas nach vorn neigen. Hinter ihnen, in dem nach hinten hervorragenden medialen Kondylus, befindet sich eine grosse Lücke und in der Nähe der Wand einige dünne aus gebogenen Lamellen ausgeschnittene Bälkchen. Auch distal von den beschriebenen Systemen liegen in der Diaphyse noch dünne Bälkchen, die sich spitzwinklig kreuzen und deren Hauptrichtung die sagittale ist.

In der Architektur der Tibia sind kaum mehr Reste der normalen Spungiosa zu entdecken. Nur die hinteren vertikalen Lamellen deuten vielleicht noch auf alte Verhältnisse zurück.

2. Scheibe. Sie ist ca. 6 mm dick. Fig. 2 auf Taf. 18 stellt sie von der lateralen Seite dar.

In der Diaphyse des Femurs blättern sich von der vorderen Wand einige verstreute Nischenlamellen ab. Ähnliche ab-

geblätterte Lamellen sieht man an der hinteren Begrenzung des Kondylus (lateralis), die vermutlich Konturlamellen entsprechen. Die Spongiosa des distalen Femurendes wird aus zwei Systemen von Bälkchen gebildet, die sich im wesentlichen rechtwinklig kreuzen. Die gekreuzten Bälkchen gehören vorn zu sagittalen Vertikallamellen, die selbst wieder von frontalen Gittern gekreuzt werden (so dass hier Bälkchen in drei Richtungen auf einander senkrecht stehen); hinten gehören sie zu Lamellen, die von hinten, oben, aussen, nach vorn, unten, innen geneigt sind. Die untere Kondylenwand ist in ihrem vorderen Abschnitt zwar stark verdünnt, aber als dünnes horizontales Blättchen gut zu erkennen. In ihrem hinteren Abschnitt sieht sie so aus, als hätte sie sich lateral nach unten gedreht, um hier den Zwischenraum auszufüllen.

Die Architektur erinnert wie bei der 1. Scheibe an den normalen Befund, aber auch hier kann man es nicht mit Sicherheit ausschliessen, dass eine Transformation stattgefunden hat.

Der Zwischenraum wird vorn und hinten durch kompakte Substanz abgeschlossen, die die Kompakta der beiden Röhrenknochen mit einander in Verbindung setzt. Die hintere Wand, die stärker als die vordere ist, hängt mit der umgelegten Kondylenwand zusammen. Auf der medialen Seite der Scheibe hat sie die Form eines vertikalen Wulstes, dies ist der oben (S. 229) beschriebene Verbindungsstrang. Nahe der vorderen Wand liegen einige dünne vertikale, horizontal und sagittal verstreute Bälkchen. (Es sind also drei zu einander senkrechte Richtungen insubstantiiert).

In der Tibia sieht man vorn oben (vor der eigentlichen Spongiosa) einige starke Nischenlamellen. Dahinter steigen Bälkchen, die frontalen, oben nach hinten geneigten Lamellen entstammen, von der vorderen zur oberen Wand auf. Sie sind vielfach verstreut, wobei aber eine rechtwinklige Kreuzung nicht

scharf ausgeprägt ist. Dem System ist unten auf der lateralen Seite ein kleines sagittales Vertikalplättchen aufgelagert. Aus der hinteren Wand steigen 6 starke frontale, mehrfach rechtwinklig verstreute Lamellen auf, um in die hintere Kompakta des Zwischenraumes auszulaufen. Dahinter liegen in dem vorragenden Abschnitte der Tibia nur zarte Reste einer engmaschigen Spongiosa. Aus dem hinteren Lamellensystem ragen nach vorn ein paar stachlichte sagittalen Lamellen entstammende Bälkchen vor.

Hinsichtlich der Deutung der in der Tibia gefundenen Elemente gilt das, was schon bei der 1. Scheibe gesagt wurde.

Interessant ist es die Scheibe bei durchfallendem Licht zu betrachten. Man sieht hier zwei breite dunkle Bänder, die fast parallel durch das ganze Präparat hindurchziehen. Sie entsprechen oben und unten den kompakten Wänden von Femur und Tibia mit den Nischenlamellen, in der Mitte der Kompakta des Zwischenraumes und den Frontallamellen des hinteren Systemes der Tibia.

Man kann sich unmöglich dem Eindruck entziehen, dass in unserem Fall die Spongiosa mehr und mehr zurückgebildet, dass der hintere Vorsprung der Tibia allmählich eliminiert, und dass die Bildung einer einheitlichen durch die ganze Knochenkombination hindurchgehenden Kompakta in die Wege geleitet wird.

Es wäre möglich, dass diese Tendenz zur Herstellung einer gemeinsamen Knochenrinde auf die Einwirkung der mechanischen Beanspruchung zurückzuführen ist. Einen einwandfreien Beweis hierfür zu geben, dürfte jedoch mit grossen Schwierigkeiten verknüpft sein, da die Spannungen in der Zwischensubstanz und in der Spongiosa der Epiphysen eine sehr komplizierte Verteilung gefunden haben. Etwas einfacher liegen die Verhältnisse in dem unter No. III zu besprechenden Fall (Ergebnis einer Kniegelenksresektion), bei dessen Unter

suchung sich die gleiche Frage ergeben wird; dort sind die Knochenröhren von Femur und Tibia gut aufeinander gepasst, während sie bei unserer Ankylose gegen einander verschoben sind.

Beiläufig sei erwähnt, dass auch in einer ganzen Reihe der Fälle Wolffs sich die Tendenz zur Herstellung einer für verbundene Knochen gemeinsamen Knochenrinde zu erkennen gibt. Man sehe daraufhin an bei Wolff (l. c.) z. B. Fig. 36 auf Taf. V. (Fraktur des Femurs), Fig. 46 auf Taf. VII (Fraktur der Tibia), Fig. 60 auf Taf. IX (Hüftgelenksresektion), ferner einige der abgebildeten Schnitte durch Kniegelenksankylosen, Fig. 51 und Fig. 55 auf Taf. VIII (s. auch u. S. 248). Wenn man die Verdichtung einzelner Teile der Spongiosa als den Anfang zur Bildung einer »funktionellen Gestalt« hinstellen will, so muss man zuerst überzeugend dartun, dass die dicht gelagerten Lamellen und Bälkchen zu einer »funktionellen« (bezw. trajectoriellen) Struktur gehören.

3. Scheibe. Sie ist ca. 7 mm dick und enthält ausser den entsprechenden Anteilen von Femur und Tibia ein von der medialen Kante begrenztes Stück der Patella. Fig. 3 auf Taf. 18 stellt die Scheibe von der lateralen Seite dar.

Im Femur sieht man ganz ähnlich wie bei der vorigen Scheibe Nischenlamellen hinter der vorderen Wand der Diaphyse und weiter distal zahlreiche rechtwinklig gekreuzte Bälkchen. Diese sind hier vielfach im Bereich der ganzen Breite der Spongiosa aus sagittalen Lamellen herausgearbeitet. Dort, wo die Patella angelagert ist, sind im unmittelbaren Anschluss an die dünne vordere Kompakta die Elemente der Spongiosa ausserordentlich dicht gelagert. Die hintere Kompakta geht unter dem Abgang des hinteren Bälkchensystems in frontale Lamellen über, und diese nebst dazwischen gelagerten vertikalen Stäbchen stehen auf einem etwa 1 cm langen Rest der unteren Kondylenwand (lateralen Kondylus) auf, der nach unten ver-

schoben zu sein scheint. Ausser ihm ist von der unteren Femurwand nichts mehr zu sehen.

Die Patella hat im Schnitt die Form eines Kreisausschnittes, der etwas kleiner als der vierte Teil einer Kreisfläche ist. Die in ihr vorhandenen Spongiosaelemente sind zwar dünn aber deutlich. Sie bestehen einmal in Schnitten durch radiär gestellte Gitter, die von einem Punkte ausgehen, der 3 cm oberhalb der unteren Femurgrenze liegt, und andererseits aus konzentrisch verlaufenden, rechtwinklig zu den Gittern gestellten Bälkchen, die als Fortsetzung der von der hinteren Femurwand ausgehenden Bälkchen erscheinen.

Der Zwischenraum zwischen Femur und Tibia ist vorn durch eine dünne, Spalten aufweisende Kompakta mit Nischenwerk abgeschlossen. Dahinter liegen dichtstehende vertikale Stäbchen, und dann folgt eine grosse Lücke, die in das untere Femurende hineinreicht. Sie ist nur durch wenig Knochen substanz von einer engen Spalte getrennt, die zwischen der herabgerückten Femurcondylenwand und der oberen Tibiawand von hintenher eingreift. Die Spalte erweitert sich nach hinten etwas, wird aber nicht breiter als 3 mm.

Die obere Wand der Tibia ist vorn garnicht mehr zu erkennen, unter der grossen Lücke des Zwischenraumes ist sie nur in Gestalt einiger dünner sagittaler, mit einander verbundener Bälkchen, unter der kurzen von hinten eindringenden Spalte als ein dünnes Plättchen vorhanden. In dem der Epiphyse entsprechenden Teil der Tibia liegen vorn einige starke frontale Lamellen, die durch sagittale Lamellen verstrebt sind. Darauf folgt eine grosse dreieckige Lücke, die nach hinten durch schräg von der vorderen Wand zur Gegend der hinteren Spalte aufsteigende Bälkchen begrenzt wird. Von ihnen gehen unter spitzem Winkel (fast) sagittale vielfach seitlich komprimierte Bälkchen ab, die durch weitere von der hinteren Kompakta aufsteigende Bälkchen rechtwinklig gekreuzt werden. Die

hintere Kompakta selbst setzt sich nach oben in der Richtung auf die von hinten eindringende Spalte in starke dichtliegende frontale Lamellen fort, die durch sagittale Lamellen verbunden sind. Dahinter liegt nur eine dürrtige atrophische Spongiosa in dem vorspringenden lateralen Tibiakondylus.

In der Durchsicht fallen als breite Bänder die Massen auf, die die Femur- und Tibiakompakta mit einander verbinden. Hinten ist die dichte Spongiosa durch die einspringende enge Spalte unterbrochen.

Auch von der 3. Scheibe erhält man wie von der vorhergehenden den Eindruck, als ob die Spongiosa zum grossen Teil im Rückbildung begriffen wäre (im Zwischenraum, in der Tibia, im vorspringenden Teil des Tibiakondylus), und als ob eine gemeinsame Kompakta gebildet werden sollte (s. o. S. 234 f.). Die Architektur der Femurspongiosa erinnert an alte Verhältnisse. Neu ist die Architektur der Patella, und man kommt fast unwillkürlich zu der Vermutung, dass sie unter dem Einfluss der Funktion entstanden ist und eine trajektorielle Struktur darstellt. Nähere Angaben hierüber werden später gemacht werden, bei der Schilderung von sekundären durch die Patella gelegten Schnitten.

4. Scheibe. Sie enthält nur noch einen schmalen Streifen vom Femur, den grössten Teil der Patella und von der Tibia etwas über ein Drittel. Von der Architektur, die auf der medialen Seite freiliegt, ist folgendes zu erwähnen.

In der Diaphyse des Femurs kreuzen sich schief zur Längsachse des Knochens stehende plattgedrückte Bälkchen, die aus konturierenden, der Kompakta benachbarten Lamellen herausgearbeitet sind. Die Kreuzung geschieht teilweise deutlich unter spitzem Winkel. Die Kompakta ist vorn, unterhalb des Patellaransatzes, verdickt und weist viele längliche Lücken auf. Unmittelbar hinter ihr liegt dichte Spongiosa, die wesentlich aus starken frontalen und sagittalen Lamellen gebildet ist.

Die hintere Kompakta löst sich nach unten hin in dichte Spongiosa mit vertikalen Lamellen und starken vertikalen querverstrebten Balken auf. Die Balken und Lamellen stehen auf einem Rest der unteren Femurwand, die eine von hinten eindringende Spalte deckt. In der Mitte der alten Epiphyse ist eine grosse Lücke, die oben durch ein horizontales Plättchen (Rest der Epiphysennarbe?) abgegrenzt wird.

Die Patella zeigt die radiär und zirkulär gestellten Bälkchen, ebenso wie in der vorigen Scheibe.

Der Zwischenraum lässt vorn die Fortsetzung der Femurkompakta und der mit ihr verbundenen dichten Spongiosa erkennen, in der Mitte eine grosse Lücke, auf deren Grund sehr feine ungeordnete Spongiosa liegt. Hinten wird er gegen die erwähnte Spalte durch ein niedriges Stück dünner Kompakta abgegrenzt.

Die obere Wand der Tibia liefert wiederum die andere Grenzfläche der Spalte. An deren hinterem Ende erhebt sich die dünne Kompakta zu einer querverlaufenden Leiste, wodurch der Eindruck erweckt wird, als wachse der hintere Teil der Tibia dem Femur entgegen. Vor der Spalte verlaufen als Rest der oberen Tibiawand einige dünne horizontale Bälkchen, sie ziehen frei durch eine grosse, teils im Zwischenraum (s. o.), teils in der Tibia liegende Lücke. Die vordere Kompakta löst sich nach oben in starke frontale Lamellen auf, weiter distal liegen ihr ein paar Nischenlamellen an. An die vordere Kompakta schliesst sich unterhalb der erwähnten Lücke eine sagittale Lamelle an, die nach hinten in sagittale (wenig ansteigende) Bälkchen übergeht. Diese werden von Bälkchen, die von der hinteren Wand kommen, rechtwinklig gekreuzt. Die hintere Kompakta löst sich oben, vor dem mit atrophischer Spongiosa versehenen vorspringenden Teil des Kondylus in starke frontale Lamellen auf. Auf dem Grunde der grossen Lücke in der Tibia liegt eine durchlöchernte sagittale Lamelle und wenig aus feinsten ungeordneten Bälkchen bestehende Spongiosa.

Es war wünschenswert, von der Architektur der Patella noch weitere Einzelheiten kennen zu lernen. Zu diesem Zwecke wurden durch die 4. Scheibe noch einige sekundäre Schnitte geführt, deren Ebenen, damit die (luxierte) Patella sagittal getroffen würde, sich mit den Ebenen der zuerst gelegten Schnitte spitzwinklig kreuzten.

In Fig. 4 auf Taf. 19 ist ein Schnitt abgebildet, der wenige mm medial von der Medianebene der Patella gelegen ist, der übrigens in den wesentlichen Punkten mit dem Medianschnitt und überhaupt den benachbarten Schnitten übereinstimmt¹⁾. Wir sehen hier, dass die Elemente der Spongiosa eine ganz gleiche Anordnung besitzen, wie in der Patella der 3. Scheibe, nur ist der Umriss des Knochens anders geworden, er ähnelt jetzt einem Viereck mit leicht vorspringenden Ecken. Insubstantiiert sind wiederum Linien, die von dem oberen an das Femur anstossenden Endpunkte radiär ausstrahlen, und solche, die konzentrisch um diesen Punkt verlaufen. Bei genauerer Untersuchung ergibt sich, dass die Bälkchen, mit denen man es zu tun hat, an vielen Stellen plattgedrückt sind und so aussehen, als seien sie aus Lamellen herausgearbeitet. Diese Lamellen gehören drei Scharen an, die alle aufeinander senkrecht stehen, und von denen die eine sagittal und vertikal gestellt ist, die zweite eine gemeinschaftliche, horizontal liegende Schnittlinie besitzt, die dritte um diese Linie als Achse gekrümmt ist.

Die bei der mechanischen Analyse des Objektes sich ergebende Aufgabe kann in der Ebene gelöst werden. Man darf die Patella als einen am Femur befestigten Balken ansehen, an dessen freiem Ende die parallel der Femurachse wirkende Kraft, der Zug des Rectus femoris, angreift. Die Kraft ist ver-

¹⁾ Der Medianschnitt war beschädigt und wurde deswegen nicht photographiert.

mutlich gleichmäfsig über die Breite des Balkens verteilt, ihr Angriffspunkt findet sich auf dem Längsschnitt an der oberen freien Ecke. Die Form des Querschnittes ist wegen der Beschädigungen am Rande des Knochens nicht genau festzustellen; ist der Querschnitt rechteckig, so dürfen alle Längsschnitte berücksichtigt werden (vgl. o. S. 215 f.), ist er rund oder oval, so hat man sich an den Medianschnitt zu halten. Dem Medianschnitt gleicht nun, wie bemerkt, Fig. 4 auf Taf. 19, vollkommen, und es ist zu untersuchen, ob, was man zunächst vermutet, die konzentrischen Bälkchen Zugtrajektorien die radiären Bälkchen Drucktrajektorien entsprechen.

Es macht keine besonderen Schwierigkeiten, bei einfachen Objekten die Zug- und Druckkurven zu zeichnen. Man wird hier, wenn man auch von ausführlichen graphischen Konstruktionen absieht, keine grossen Fehler machen, solange man sich an die Hauptregeln der graphischen Statik hält. Man hat zu bedenken,

1. dass die Trajektorien sich überall unter rechten Winkeln schneiden,
2. dass sie die neutrale Achse unter Winkeln von 45° scheiden,
3. dass die beiden Scharen von Kurven auf je einer Seite des Balkens senkrecht aufstehen, der anderen Balkenseite dagegen parallel verlaufen, wobei das senkrecht aufstehende Ende einer Kurve dem freien Ende des Balkens näher ist.

Die Lage der neutralen Achse ist in unserem Falle nicht von vornherein bekannt, es lässt sich nur vermuten, dass sie von der oberen äusseren Ecke in gebogenem Verlauf etwa zur Mitte der Befestigungslinie zieht. Ich habe daher, um zu genauen Resultaten zu kommen, mich der von Roux angegebenen (s. o. S. 214) Methode der mechanischen Selbsterzeugung der Trajektorien bedient und die Ergebnisse, zu denen sie führte, nach den unter 1 und 3 verzeichneten Regeln verwertet. Auf

diese Weise ist die Textfigur 2 entstanden, in der die Zug- und Druckkurven in einen sich aus der Tafelfigur ergebenden Umriss eingezeichnet sind. Zum Vergleich ist in der Textfigur 1 die wirkliche Lage der Spongiosabälkchen schematisch wiedergegeben.

Fig. 1.

Fig. 2.

Man sieht auf den ersten Blick, dass die in der wirklichen Architektur auftretenden Linien sich nicht mit den Trajektorien decken. Die konzentrischen Linien (Zugsystem) haben allerdings hier und dort (annähernd) den gleichen Verlauf, dagegen sind im Präparat diejenigen Bälkchenzüge, die vermutlich den Druck zu übertragen haben, gerade und laufen alle nach einem Punkte zusammen, während die Druckkurven im allgemeinen wirkliche Kurven, also gekrümmt sind und an verschiedenen Punkten der Befestigungslinie aufhören. Man kann somit nur zu dem Schluss gelangen, dass in unserem Präparat keine trajectorielle Struktur vorliegt.

Man kann sich freilich trotz der gewonnenen Einsicht des Eindrucks nicht erwehren, dass auch die radiär stehenden ge-

raden Bälkchenzüge ihrer Aufgabe, dem Druck zu widerstehen, ganz gut gerecht werden. Aber ich weiss in der Tat nicht, ob und in welcher Weise man eine derartige Meinung verwerten kann. Wir müssen uns eben an die Tatsache halten, dass die Funktion nicht im Stande gewesen ist, eine Insubstantiierung der Achsen der Spannungsellipsen zu bewirken, also eine trajectorielle Struktur zu erzeugen. Die neugebildete Architektur ist einer trajectoriellen zwar ähnlich, sie ist ihr aber nicht gleich.

Noch zu erwähnen ist, dass, wie auch die Abbildung (Fig. 4 auf Taf. 19) zeigt, die vordere kompakte Wand des Femurs auf die obere Seite der Patella übergeht. Man wird hierdurch an die von verschiedenen Stellen her bekannten »Tragleisten« erinnert.

III. Ergebnis einer rechtsseitigen Kniegelenksresektion.

Bei dem Arbeiter D. wurde in der chirurgischen Klinik zu Greifswald am 21. XII. 1891 wegen Arthritis deformans eine Resektion des rechten Kniegelenks mit Exstirpation der Patella vorgenommen. Die Heilung verlief glatt, und Patient konnte am 3. II. 1892 entlassen werden. Am Tag der Entlassung ist in die Krankengeschichte — sie wurde mir in liebenswürdiger Weise zur Verfügung gestellt — die Bemerkung aufgenommen worden: »Federnde Festigkeit«. Später, 1896, litt D. an *ulcera cruris dextri*, und in der hierüber angefertigten Krankengeschichte findet sich hinsichtlich des Ausgangs der Operation nur die Angabe: »Ankylose des Kniegelenks in gestreckter Stellung«. D. starb, 66 Jahre alt, am 31. X. 1902, so dass sich

Femur und Tibia seines rechten Beines über 10 Jahre hindurch in knöcherner Vereinigung befunden haben. Während dieser Zeit ist von der rechten unteren Extremität offenbar ausgiebiger Gebrauch gemacht worden, da sie an der Leiche nicht wesentlich schwächer ist als die linke.

Bei der Präparation der Kniegegend fällt auf, dass die Gefässe in der Kniekehle einen medial konkaven Bogen beschreiben und über den lateralen Femurkondylus hinwegziehen. Die Patella fehlt. Das Lig. patellae ist gut entwickelt und geht unmittelbar in den Musc. rectus femoris über, es sieht aus, als ob es dessen Sehne wäre.

Nach der Mazeration zeigt sich, dass Femur und Tibia in geringer Hyperextension (ca. 5°) fest mit einander vereinigt sind. Von den Femurkondylen fehlt offenbar ein Stück von ca. 1 cm Höhe, von der Tibia eine dünnere Scheibe, die Gelenkfläche für die Fibula ist intakt. Die Tuberositas tibiae steht, wie normal, etwas lateral von der Medianebene. Die Formen der beiden Knochen sind, soweit diese vorhanden, im allgemeinen gut erhalten, nur sind die Femurkondylen hinten osteoporotisch und an den Seiten durch schwammige Exostosen leicht uneben geworden. An der Stelle, an der Femur und Tibia mit einander vereinigt sind, ist Knochensubstanz in Form eines etwa $\frac{1}{2}$ cm breiten Ringes um das Präparat herumgelegt. Im allgemeinen liegt der Ring dem alten Knochen fest an, nur dort, wo die beiden medialen Kondylen verbunden sind, springt die neugebildete Masse wurstförmig gewulstet ziemlich weit vor.

Das Knochenpräparat wird in 9 Scheiben zerlegt, die je 4—5 mm dick sind (nur die äussersten Scheiben sind etwas dicker ausgefallen). Es ist indessen überflüssig jede Scheibe gesondert zu beschreiben, denn die Architektur des Knochens ist infolge weitgehenden Schwundes der Spongiosa sehr durchsichtig geworden, so dass es keine grossen Schwierigkeiten hat, eine Vorstellung von dem Bau in seiner Gesamtheit zu gewinnen.

Die Figuren 5 und 6 auf Taf. 19 stellen die 5. und die 7. Scheibe von der lateralen Seite gesehen dar (die Nummern der Scheiben beginnen auf der medialen Seite des Präparates).

Die Verwachsung von Femur und Tibia ist — nach einer bogenförmigen Resektion — in gekrümmter Fläche erfolgt. Offenbar entsprechen der Verwachsungsstelle gebogene Linien, die in den Schnitten von vorn nach hinten ziehen und oben konkav sind. Die Linien sind Schnitte durch ein dünnes Plättchen, das als solches hinten und in der Mitte gut zu erkennen ist, vorn dagegen zu einer dicken Kompaktamasse anschwillt. Streckenweise — wie in der 6. Scheibe gut gesehen werden kann — ist das Plättchen von 2 bis 3 gleichgerichteten Lamellen begleitet. In der 5. Scheibe (der median gelegenen) läuft das Verbindungsplättchen hinten in einen kleinen kompakten Kern aus, der in der Fossa intercondyloidea femoris neugebildet ist. Es wird an einzelnen Stellen, wie im hinteren Teil der lateralen Kondylen und an der Seite der medialen Kondylen, deutlich von vertikalen Lamellen gekreuzt. In seiner unmittelbaren Nähe findet sich meistens in geringer Ausdehnung Spongiosa mit sehr feinen rundlichen Maschen.

Die Kompakta des Femurs besitzt die normale, in dem unteren, dem Diaphysenkolben entsprechenden Abschnitt vielleicht sogar etwas übertnormale Dicke. Man beachte, dass in Fig. 5 (Taf. 19) die vordere Kompakta entgegen dem normalen Verhalten fast bis zur distalen Grenze des Knochens die gleiche Stärke behält. Die Spongiosa ist äusserst reduziert und atrophisch geworden. In den mittleren Teilen ist sie ganz verloren gegangen¹⁾, so dass hier nur einzelne Reste an der Kompakta haften und die Markhöhle der distalen Femurgrenze bis auf 1—2 cm genähert ist. Je weiter man nach den Seitenteilen vor-

¹⁾ Eine geringe Menge höchst feiner spinnengewebähnlicher Spongiosa fiel beim Aufertigen der mittleren Scheiben aus.

geht, um so reichlicher ist die Menge der Spongiosa, die man vorfindet. Das Bild, das sich hier bietet, wird ganz beherrscht von der Anwesenheit der Konturlamellen, die ohne Zweifel alten Besitz darstellen. Im medialen Kondylus und dem darüber gelegenen Teil des Diaphysenkolbens sind sie stärker ausgebogen als im lateralen, wo sie sich der sagittalen Richtung nähern. Diese sagittalen Lamellen sind so durchlöchert, dass es scheint, es seien aus ihnen plattgedrückte Bälkchen herausgeschnitten, die symmetrisch schräg zur Längsachse des Knochens gestellt sind und sich selbst unter Winkeln schneiden, die proximal und distal etwas weniger als 90° betragen. Zu den bisher beschriebenen Architekturelementen kommen noch einige frontale Lamellen, die beiderseits in den Kondylen liegen, als eine nach unten gehende Fortsetzung der hinteren Diaphysenwand, (vergl. Fig. 5 auf Taf. 19). Durch sie wird der hintere vorspringende Teil der Kondylen abgegrenzt, in dem sich nur wenig atrophische Spongiosa findet. Ob diese frontalen Lamellen alte Bildungen darstellen, möchte ich nicht mit Sicherheit entscheiden. Sie könnten allenfalls zu den äussersten Lamellen des Albert'schen Radianten¹⁾ gehören. Neu ist an ihnen jedenfalls ihre Isolierung und die Beziehung, die sie zur hinteren Diaphysenwand gewonnen haben. Die Epiphysennaht ist in allen Scheiben (mit Ausnahme der ersten) gut zu sehen. Hinten ist sie ca. 13 mm von der Verwachsungsstelle entfernt, vorn kommt sie ihr sehr nahe und steht mit der kompakten Masse, in die diese ausläuft, in Zusammenhang.

Die Spongiosa der Tibia lässt zwei verschiedene Teile unterscheiden, einen oberen und einen unteren, die von einander durch eine grosse Lücke getrennt sind. Der obere Teil besteht in der Hauptsache aus verstreuten Lamellen, die aus den Wänden des Knochens sich erheben und zur Verwachsungsstelle auf-

1) Albert, l. c., Femur.

steigen, im wesentlichen frontal gestellt sind, aber doch etwas von hinten und von den Seiten her nach oben konvergieren, so dass sie die grosse Lücke, die sie von der unteren Spongiosa trennt, an deren oberem Ende einengen. Einige der Lamellen im hinteren Teil des lateralen und an der Seite des medialen Kondylus stehen, wie schon bemerkt, deutlich mit Lamellen des Femurs in Zusammenhang. Die aufsteigenden Elemente der Tibia werden von der Epiphysennarbe gekreuzt, die fast überall deutlich ist und, wie normal, von der Gegend der Tuberositas in einem nach oben konvexen Bogen aufwärts und dann nach hinten verläuft. Hinten ist sie von der oberen Grenze der Tibia nur 3 bis 4 mm, also um weniger als in der Norm entfernt, vorn ist der Abstand fast normal, doch sieht hier die Epiphyse blasig aufgetrieben aus, und ihre vordere Wand ist leicht vorgewölbt. Hier muss die Tibia an Höhe gewonnen haben, die Lamellen zeigen nicht das glatte Aussehen wie anderwärts, sondern fassen mit ihren Verstrebnngen blasige Hohlräume zwischen sich. Unter dem Kern, in den die Verwachsungsfläche hinten in der Mitte ausläuft, sind die frontalen Tibialamellen ziemlich stark entwickelt. Vor ihnen finden sich an derselben Stelle einige vertikale verstrebt Stäbchen. Die frontalen Lamellen fehlen vorn in der Mediangegegend (5. Scheibe), hier und in der Nachbarschaft ist die Kompakta (Tuberositas tibiae) von länglichen Spalten durchsetzt (vergl. die Abbildung).

In dem unteren Teil der Spongiosa machen sich vor allem in der Mitte rechtwinklig gekreuzte Bälkchen bemerkbar, die mit der vorderen Kompakta in Zusammenhang stehen, und von denen die eine Schar fast sagittal (hinten ein wenig abwärts gerichtet), die andere Schar fast vertikal (oben ein wenig nach hinten geneigt) verläuft. Ausserdem kommen in der Mitte Gitter vor, die schräg auf der hinteren Wand aufstehen und der medialen Seite des Knochens parallel zu sein scheinen. Die Systeme werden gegen die grosse Lücke, also nach oben, durch ein horizontales durchlöchertes Plättchen begrenzt, das von der

hinteren Wand abgeht, aber nicht die ganze Tibia durchsetzt.

In den seitlichen Scheiben ist die Spongiosa, sowohl in dem oberen als in dem unteren Abschnitt, viel reichlicher entwickelt als in den mittleren. Sie setzt sich hier im wesentlichen aus alten Konturlamellen zusammen, aus denen, wie wenigstens lateral deutlich ist, viele sich kreuzende Bälkchen herausgearbeitet sind. Man kann diese in ein annähernd sagittales und ein annähernd vertikales System bringen, indessen sind doch, wie auch in Fig. 6 auf Tafel 19 gut zu sehen ist, zahlreiche spitzwinklige Bälkchenkreuzungen vorhanden. Nach der Diaphyse zu schliessen sich Nischenlamellen an.

Alles in allem genommen, finden sich in der Tibia viele Bauelemente, die aus früherer Zeit zu stammen scheinen, so die Konturlamellen, wohl auch der untere Teil der Spongiosa und die hinteren frontalen Lamellen, soweit sie unterhalb der Epiphysennarbe liegen. Ihre Fortsetzung nach oben dagegen ist neu erworben worden, ebenso die weitmaschige, von frontalen Lamellen durchzogene Spongiosa über dem vorderen Teil der Epiphysennarbe.

Von dem Präparat erhält man unstreitig den Eindruck, als ob die in der Mitte gelegene Spongiosa immer mehr reduziert und die kompakte Wand von Femur und Tibia durch einen Ring aus Kompakta oder sehr fest gefügter Spongiosa verbunden werden sollte. Die nach hinten vorstehenden Teile der Femurkondylen sind überflüssig geworden und scheinen allmählich vollständig zu schwinden. In diesen Punkten ähnelt das Präparat auffallend der unter II beschriebenen Kniegelenksankylose B, wenn auch die Betrachtung der Scheiben im durchfallenden Licht keine so auffallenden Bilder liefert wie bei dieser. Ähnlich liegen übrigens die Verhältnisse auch bei der von Wolff¹⁾ beschriebenen Kniegelenksresektion mit knöcherner Vereinigung.

¹⁾ Wolff, l. c. No. 9 auf S. 58.

Es liegt nahe, dass man sich nach einer mechanischen Erklärung der in den Präparaten ausgesprochenen Tendenz zur Herstellung eines einheitlichen Röhrenknochens umsieht. Ich glaube, man geht nicht fehl, wenn man für die Ausbildung und Erhaltung des ringförmig gestalteten Materials zwischen Femur- und Tibiakompakta die mechanische Beanspruchung verantwortlich macht. Denn an allen Punkten des Röhrenquerschnittes wirkt der durch die Körperlast hervorgerufene Druck auf seiten beider Knochen (annähernd) parallel ihrer Längsachse. Dazu kommt, dass bei der äusserst stumpfwinkeligen Vereinigung der Knochen sämtliche Muskeln, die über die Stelle des ehemaligen Kniegelenks hinwegziehen, bei ihrer Wirkung eine sehr bedeutende Kraftkomponente liefern, die in dieselbe Richtung fällt. Ebenso gerichtet sind die längsten Achsen der Spannungsellipsoide in den in der Verlängerung der Knochenröhren liegenden Teilen der Spongiosa und des Callus. Der gewebusbildende Einfluss der Beanspruchung erstreckt sich offenbar auf die Tätigkeit der Osteoblasten.¹⁾ Ich muss es dahingestellt sein

¹⁾ Es würde zu weit führen, wenn ich an dieser Stelle den Versuch machen wollte, das Verhältnis zwischen Gewebusbildung und Formbildung beim Knochen zu erörtern. Ebenso wenig ist es meine Absicht, mich hier auf das Problem der (ontogenetischen und phylogenetischen) Entstehung normaler Röhrenknochen einzulassen. Nur soviel sei gesagt, dass es allerdings sehr gut und nützlich ist, dass beim Bau eines Röhrenknochens, der oft auf Biegung beansprucht wird, der Grundsatz des Technikers „Material aus der Mitte“ befolgt erscheint. Nur soll man nicht meinen, dass in einem gebogenen massiven Balken (oder auch in den Wänden einer gebogenen Röhre) die grössten Achsen der Spannungsellipsoide oder, sofern man geeignete Schnitte betrachtet, die maximalen Zug- und Druckspannungen überall dieselbe Richtung wie die Längsachse des Balkens (oder der Röhre) einhalten. In einem (symmetrisch liegenden) Balkenlängsschnitt bekäme man als Zug- und Druckkurven zwei Scharen von Linien, die die Balkenachse kreuzen. Funktionelle Selbstgestaltung von Röhrenknochen ist hiernach ausgeschlossen, sofern man den formativen Reiz der Beanspruchung in die Ellipsoidachsen (bez. die Zug- und Druckkurven) verlegt, und sofern man die Beanspruchung auf Biegung als die maßgebende ansieht.

lassen, ob etwa für die Tendenz zur Bildung einer gemeinschaftlichen Knochenrinde noch andere Momente ausser den mechanischen veranlassend wirken.

IV. Rechtsseitiger Pes equinus.

Es handelt sich um einen Fall von reinem Spitzfuss. Der Träger der Deformität war der Arbeiter N., der im Alter von 70 Jahren an Kehlkopfkrebs starb. Der Spitzfuss war angeboren, wie von einem Krankenwärter der Landarmenanstalt, in der N. starb, auf grund einer Erzählung des N. ausgesagt wurde. Wenn diese Angabe auch nicht ganz zutreffend sein sollte, so ist doch soviel mit Sicherheit anzunehmen, dass die Deformation seit sehr früher Kindheit des N. bestanden hat.

Die Verbildung war derart, dass die normalerweise dorsale Fläche des Fusses zur vorderen geworden und stark gewölbt war; der Fuss berührte den Boden beim Gehen mit den Köpfchen der Metatarsalknochen, die Zehen standen, wie normal, mit der distalen Phalanx nach vorn.

Bei der Präparation des Pes equinus fallen schon manche Einzelheiten des deformierten Skeletts auf, die am mazerierten Objekt noch deutlicher hervortreten und nachher beschrieben werden sollen. Ausserdem zeigt sich, dass die Fascie an der dorsalen Seite des Fusses sehr stark entwickelt ist, und dass auch die dorsalen Bänder der Fusswurzel ungewöhnlich stark sind. Zu den auffallenden Bändern gehören vor allem das Lig. malleoli lateralis ant., das Lig. talotibiale ant., das Lig. talofibulare ant., ferner zwei Bänder, die beide vom unteren vorderen Rande der Tibia ausgehen, und von denen das mediale sich am Kopf, das laterale am Hals des

Talus ansetzt. Besonders stark sind ferner die dorsalen Ligamenta naviculari-cuneiforme I und naviculari-cuneiforme II. Im Gegensatz hierzu sind die Plantarapneurose und die plantaren Bänder nur schwach entwickelt.

Die Knochen des Fuss skeletts, die durch die Mazeration gesondert erhalten worden sind, werden nachträglich durch Tischlerleim wieder mit einander vereinigt, in einer Stellung, die durch die Anordnung der Gelenkflächen, sowie durch zuvor aufgenommene Zeichnungen gegeben war. Das auf diese Weise gewonnene Präparat und die es zusammensetzenden Knochen lassen die folgenden Eigentümlichkeiten erkennen (vgl. Fig. 7 auf Tafel 20).

Die Tibia hat am hinteren Ende ihrer unteren Gelenkfläche eine Exostose, durch deren Vermittelung sie mit dem stark nach hinten oben gedrehten Calcaneus artikuliert. Davor liegt die grosse Gelenkfläche der Tibia für den Talus und an deren äusserem Ende eine kleine nach unten und aussen sehende Gelenkfläche für die Fibula.

Der Talus hat eine Drehung um eine horizontale Achse ausgeführt und trägt die Tibia auf dem hintersten Abschnitt seiner Rolle. Er ist durch die Annäherung zwischen Tuber calcanei und Tibia auch nach vorn verlagert und sieht aus wie herausgedrängt zwischen den benachbarten Knochen. Der Hals ist kaum eingeschnürt und, besonders an der oberen Fläche, sehr uneben. Der Processus post. ist länger und dünner als gewöhnlich, er ruht mit seinem medialen Abschnitt auf dem Sustentaculum tali des Calcaneus.

Der Calcaneus steht mit dem Fersenhöcker stark nach hinten und oben vor. Seine grösste Längsausdehnung, die beiläufig 85 mm misst, bildet mit der Unterschenkelachse einen Winkel von ca. 45° . Die obere Gelenkfläche besteht aus drei ungleich grossen Abschnitten, durch die die Artikulation mit Tibia, Talus und Fibula vermittelt wird. Sie geht unmittelbar

in die Gelenkfläche des Sustentaculum über und dieses artikuliert nicht mit dem Hals, sondern dem Processus post. des Talus. Oberhalb des gut ausgebildeten Tuber calcanei ist die hintere (jetzt obere) Wand des Knochens bei der Mazeration defekt geworden, und man erhält hier einen Einblick in das Gefüge der Spongiosa. Man sieht auf ein Netzwerk aus Bälkchen, die die vertikale Richtung bevorzugen.

Das Naviculare hat eine stark entwickelte Tuberositas, die mit dem Sustentaculum an dessen Unterseite gelenkig verbunden ist, so dass dieses zwischen Processus post. tali und Naviculare eingekeilt erscheint.

Das Cuboid ist nicht würfelförmig gestaltet, sondern hat die Form eines Keiles, der zwischen Processus ant. calcanei und die Basen des 4. und 5. Metatarsalknochens eingeschoben ist. Der Keil besitzt eine dorsal gelegene Basis mit starken Rauigkeiten für Ligamenta tarso-metatarsea und auf der plantaren Seite eine horizontal gestellte Schneide.

Von den Cuneiformia ist das erste besonders zu erwähnen, das an der plantaren Seite um das zweite Cuneiforme herumgreift. Hierdurch wird es in erster Linie veranlasst, dass der Fuss in horizontaler Richtung auffallend stark gewölbt ist.

Die Metatarsalia liegen mit ihren Längsachsen in einer stark gekrümmten Fläche. Das Köpfchen des ersten Metatarsale liegt medial hinter dem des zweiten, so dass es zweifelhaft erscheinen muss, ob dem ersten Metatarsalknochen eine wesentliche Stützfunktion zukam. Die Körperlast wurde wahrscheinlich in der Hauptsache vom 2., 3. und 4. Metatarsalknochen getragen. Die für die ersten Phalangen bestimmten Gelenkflächen der Mittelfusssknochen sitzen vor den Capitula und nehmen die Stelle des untersten Endes der dorsalen Kanten ein.

Die ersten Phalangen sind dementsprechend an ihrer Basis nicht senkrecht zur Längsachse, sondern schräg abgeschnitten. Am dorsalen Ende der Gelenkflächen, dort, wo

die Phalangen bei der Dorsalflexion an die Metatarsalia anstiessen, finden sich Exostosen.

Das Präparat wird durch Schnitte, die den 2., 3. und 4. Metatarsalknochen in ihrer Längsachse treffen, in vier Scheiben zerlegt. Es sind somit sechs Schnittflächen zu beschreiben. Hierbei soll auf zwei von ihnen, nämlich die lateralen Flächen der ersten und der dritten Scheibe besonderes Gewicht gelegt werden, da an ihnen zwei verschiedene Strukturtypen in sehr schöner Weise zum Ausdruck kommen. Die beiden Architekturformen entsprechen den beiden verschiedenen Wegen, auf denen der Druck der Körperlast von der Tibia aus bis zum Fussboden geleitet wird. Die Körperschwere wird nämlich getragen einerseits von Tibia, Talus, Naviculare, 2. und 3. Cuneiforme, 2. und 3. Metatarsalknochen, andererseits von Tibia, Calcaneus (auch Tibia, Talus, Calcaneus), Cuböid, 4. Metatarsalknochen. Damit will ich nicht sagen, es müssten notwendigerweise die beiden Strukturtypen eine bestimmte mechanisch zu erklärende Bedeutung besitzen; wenn das auch nicht unwahrscheinlich ist, so ist es mir doch nicht gelungen, hierfür einen sicheren Beweis beizubringen.

Das ganze Präparat ist sehr leicht, die Knochen sind in geringem Grade atrophisch, und offenbar bietet deswegen die Feststellung ihrer Architektur verhältnismässig wenig Schwierigkeiten.

In der folgenden Beschreibung beziehen sich die Ausdrücke »oben, unten, sagittal, frontal« u. ähnl. m. auf die Lage, die die Knochen infolge der Deformierung des Fuss skeletts erhalten haben. Dabei ist nur angenommen, dass die nach vorn konvexe Biegung des Fusses ausgeglichen sei und die Längsachse der Tibia und der Metatarsalknochen dieselbe Richtung hätten.

1. Scheibe. Laterale Fläche (vergl. Taf. 20, Fig. 8).

Der Schnitt hat die Tibia ungefähr in ihrer Mitte getroffen, den Talus etwas medial von der Mitte, den Calcaneus ganz nahe seinem medialen Rande. Er geht ferner durch das Naviculare, das 2. und dahinter auch durch das 1. Cuneiforme, endlich durch den 2. Metatarsalknochen, der erste ist an seinen beiden Enden angeschnitten.

In der Diaphyse der Tibia findet sich vorn und medial ein Nischenwerk mit wenig aufliegender feinsten netzförmiger Spongiosa. In halber Höhe des vorhandenen Tibiastumpfes spannt sich quer durch die Markhöhle eine isolierte Lamelle. Im Diaphysenkolben und in der Epiphyse sind zahlreiche Lamellen getroffen, die (ganz ähnlich wie im normalen Knochen) sich von der Wand abblättern, fast vertikal stehen, etwas nach unten konvergieren und annähernd senkrecht zur Gelenkfläche gerichtet sind. Sie werden von drei im Schnitt S-förmigen nicht ganz vollständigen Lamellen gekreuzt, die zur Gelenkfläche parallel sind und von denen die oberste wohl die verzerrte Epiphysennarbe vorstellt. Etwas weiter proximal liegen an der Markhöhleseite der senkrechten Lamellen viele Stäbchen, die sich fast nur spitzwinkelig kreuzen. In der Epiphyse ist hinten die Spongiosa sehr dicht und rundmaschig.

Der Talus zeigt hinten oben rechtwinkelig verstreute, dicht gelagerte Lamellen, die senkrecht zur oberen Gelenkfläche stehen und zur Compacta am Sulcus tali ziehen. Davor liegt eine Lücke, die wenig feinste Spongiosa enthält und vor dieser sind weitmaschige und weit von einander abstehende Gitter einmal parallel zur vorderen (normalerweise oberen) Taluswand, andererseits horizontal, also senkrecht zu einander angeordnet. Die Stäbchen der vertikalen Gitter lassen sich bis zur Facies navicularis verfolgen, auf der sie, feiner geworden, pallisadenförmig aufstehen. In der Gegend des Talushalses ist die Struktur

durch einige sagittal gestellte Plättchen etwas undeutlich geworden, aber man erkennt doch, dass die horizontalen Bälkchen die Form von Bogen mit oberer Konkavität angenommen haben und leicht divergierend von der vorderen Begrenzung des Sulcus tali herkommen, so dass sie die jenseits des Sulcus gelegenen Lamellen fortzusetzen scheinen.

Im Calcaneus, von dem nur ein kleines Stück zu sehen ist, liegt oben rundmaschige Spongiosa, unten vorn finden sich einige frontale, senkrecht verstreute Lamellen, dahinter einige schräg geschnittene Lamellen, die der medialen Wand parallel sind.

Im Naviculare liegen oben vertikale Stäbchen und dazu senkrecht sagittale Stäbchen, vorn einige dicht gedrängte frontale Lamellen. Hinten sind Vertikallamellen zu sehen, die fast sagittal (hinten nach der medialen Seite abweichend) verlaufen.

In der Mitte des 2. Cuneiforme finden sich frontale Lamellen, davor ist eine Lücke, dahinter kreuzen sich frontale und vertikale, von der sagittalen Richtung nach hinten medial abweichende Lamellen. Der Winkel zwischen vorderer und distaler Fläche wird von einigen Lamellen überbrückt.

(Im 1. Cuneiforme liegen hinten vier ziemlich starke frontale Lamellen, die von sehr schwachen sagittalen Bälkchen unter annähernd rechtem Winkel gekreuzt werden. Weiter nach vorn wird auf dem Grunde einer Lücke eine durchlöchernte sagittale Platte sichtbar.)

Die Architektur im proximalen Ende des 2. Metatarsalknochens ähnelt derjenigen, die man auf dem mittleren Frontalschnitt durch Kopf und Hals des Femurs findet. Sie besteht aus durchgeschnittenen Lamellen, von denen die eine Schar von der vorderen Wand aufsteigend zur Gelenkfläche zieht und dabei den vorderen oberen Winkel überbrückt, die andere Schar dagegen aus der hinteren Wand kommt, in einem nach oben konvexen Bogen zum vorderen oberen Winkel zieht und dabei vorn die Lamellen des ersten Systems rechtwinklig

kreuzt. Im distalen Ende sind aus plattgedrückten Bälkchen meist rundliche Maschen gebildet. Die Bälkchen stehen auf der Endfläche senkrecht. Sie scheinen Lamellen anzugehören, deren Lage allerdings nicht klar zu erkennen ist; wahrscheinlich sind solche dabei, die divergierend von der vorderen Wand ausgehen.

(Im angeschnittenen proximalen Ende des 1. Metatarsalknochens liegen meist rechtwinkelig verstreute Lamellen, die in vermehrter Zahl die Lamellen des 1. Cuneiforme fortzusetzen scheinen.)

Ein Vergleich der den ersten Strukturtypus (s. o. S. 252) zeigenden Schnittfläche mit Schnitten durch normale Fusseskelette zeigt, dass nur wenig an normale Verhältnisse erinnert. In der Tibia haben allerdings die geschilderten vertikalen Lamellen annähernd normale Beschaffenheit, aber schon die Verzerrung der Epiphysennarbe ist abnorm. Die Bevorzugung der Längsrichtung des Fusses durch die Strukturelemente im Naviculare und im 2. Cuneiforme — nur dieses interessiert uns — entspricht dem gewöhnlichen Befund, aber ungewöhnlich sind die überbrückenden Lamellen im Cuneiforme. Im höchsten Grade auffallend ist die Architektur des Talus und die des proximalen Endes des 2. Metatarsale. Bei oberflächlicher Beurteilung könnte man leicht zu der Annahme kommen, es lägen hier wie dort trajectorielle Strukturen vor. Man könnte sagen, in dem leicht gekrümmten Talus entsprächen die Schnitte durch die hinteren Lamellen und Bälkchen den Drucktrajektorien, die der vorderen Wand parallelen Bälkchen den Zugkurven, und man könnte ferner sagen, durch die beiden sich kreuzenden Systeme im Metatarsale seien ebenfalls die Zug- und Druckkurven vertreten. Aber ein Beweis hierfür wird sich wohl kaum erbringen lassen. Beim Talus würde dem Versuch einer mechanischen Analyse die komplizierte Form hinderlich sein, beim Metatarsale die Zusammensetzung der Bean-

spruchung aus verschiedenen, auch Muskelkräften. Die Ähnlichkeit der Struktur im Metatarsale mit der des normalen proximalen Femures genügt nicht zu einem Schluss auf ihre mechanische Bedeutung, zumal bei dem Pes equinus, wie ein Blick auf die Abbildung lehrt, die nach (hinten und) oben gerichtete Seite des Metatarsale der Druckseite des gebogenen Balkens entspricht. Die rechtwinkelige Kreuzung der Lamellen und Bälkchen, die in einer trajectoriellen Architektur auf jeden Fall vorhanden sein muss, ist an dem Schnitt zwar sehr häufig zu sehen, aber doch nicht, was ich besonders betonen möchte, an allen Stellen durchgeführt.

2. Scheibe. Mediale Schnittfläche.

Von der medialen Seite gesehen scheint die zweite Scheibe in vielen Stücken den Bau der ersten Scheibe zu wiederholen bzw. fortzusetzen. Stäbchen und Lamellen sind in derselben Weise angeordnet. Im Besonderen gilt das von der Tibia; im Talus ist die in der Mitte liegende Lücke undeutlich, darüber findet sich eine sagittale Platte; im Naviculare liegt vor den nach hinten medial gerichteten Vertikallamellen eine nach hinten lateral ziehende Lamelle; im 2. Cuneiforme liegen zwischen den Lamellen einige ungeordnete Bälkchen; im 1. Cuneiforme und im proximalen Ende des 2. Metatarsale wird die Struktur durch einige hinzutretende, annähernd sagittal gerichtete Lamellen kompliziert. Am Calcaneus kommt zu einem vorderen Abschnitt, der die Architektur des entsprechenden Teils der ersten Scheibe fortsetzt, noch ein hinterer Abschnitt hinzu; hier kreuzen sich Bälkchen unter rechtem Winkel, von denen die zu dem einen System gehörenden von der Gegend des Achillessehnenansatzes und der hinteren Fläche herkommen und abwärts ein wenig divergieren.

2. Scheibe. Laterale Schnittfläche.

Von der Tibia ist die äussere Ecke abgeschnitten. Man sieht, besonders in der Mitte und in der Nähe des hinteren Randes Konturlamellen, die teils ihre Fläche zeigen, teils schräg zwischen sich hinein sehen lassen, Sie sind in der Nähe des hinteren Winkels rechtwinklig verstrebt, am unteren Rande ist die Spongiosa rundmaschig. Weiter proximal schliessen Bälkchen und Lamellen deutlich spitze Winkel ein.

Im Talus liegt hinter der vorderen Wand in dem grösseren oberen; dem Körper angehörenden Teil (vom Kopf ist nur ein ganz kleines Stück im Schnitt gelegen) grobmaschige, aus rechtwinklig gekreuzten Bälkchen bestehende Spongiosa, dahinter kreuzen sich feinere Fäden unter spitzem Winkel. In der hinteren oberen Ecke sind dicht gelagerte Lamellen geschnitten, die rechtwinklig zu einander stehen und von denen die zu dem einen System gehörenden in einem nach unten konvexen Bogen verlaufen und auf dem Calcaneus aufzustehen scheinen. Die hintere untere Ecke enthält überbrückende Lamellen.

Der Calcaneus, der seiner ganzen Länge nach vom Schnitt getroffen ist, lässt deutlich zwei verschiedene Abteilungen unterscheiden. In der hinteren liegen rechtwinklig gekreuzte, äusserst zarte Bälkchen; die eine Bälkchenschar verläuft fast senkrecht, sie ist nur leicht gekrümmt mit der Konkavität nach vorn. Im vorderen Abschnitt liegt oben eine durchlöchernte sagittale Lamelle, deren oberes Ende ein wenig medialwärts geneigt ist. Darunter und im Processus ant. werden von Bälkchen die wenigstens teilweise schräg stehenden Gittern angehören, rechtwinklige Maschen gebildet. Die Bälkchen bilden zwei Systeme; die zu dem einen gehörenden Bälkchen gehen divergierend von der (hier noch niedrigen) Facies cuboidea aus, die des anderen Systems sind in Form konzentrischer Bogen angeordnet. Im Processus ant. ist eine kleine sagittale Lamelle sichtbar.

Vom Cuboid liegt nur ein kleines Stück vor, das wesentlich durch die Anwesenheit einiger frontaler Lamellen ausgezeichnet ist, die von der für den Calcaneus bestimmten Gelenkfläche divergierend nach vorn und unten verlaufen.

Im 3. Cuneiforme fallen vor allem zwei Systeme von Lamellen auf, die um eine frontale Achse gebogen sind. Die vorderen Lamellen sind nach hinten, die hinteren nach vorn konkav. Sie streben spitzbogenartig der distalen Knochen- seite zu und kreuzen sich unter rechten Winkeln.

Das proximale Ende des 3. Metatarsalknochens zeigt in der Mitte eine Lücke, davor und dahinter verstreute frontale Lamellen.

Von den Phalangen der 3. Zehe ist die erste an ihren Enden, die zweite und dritte ganz mit grobmaschiger Spongiosa erfüllt.

Beim Durchblick durch die ganze Scheibe fällt eine dichte Stelle im Calcaneus auf, die bogenförmig mit vorderer Konkavität von der Gegend der am hinteren Tibiarand gelegenen Exostose zur Artikulation mit dem Cuboid verläuft.

3. Scheibe. Mediale Schnittfläche.

Die Scheibe enthält ein kleines Stück des distalen Fibula- endes, ferner den mittleren Teil des Calcaneus und den mittleren Teil des Cuboids. Die anderen in der Scheibe liegenden Knochen ergeben sich aus der Lage der Schnitte.

Die mediale Schnittfläche zeigt fast durchgehend eine Architektur, die diejenige der lateralen Schnittfläche der vorigen Scheibe ergänzt. Besonders erwähnt werden mag nur, dass im vorderen Teil des Calcaneus eine grosse Lücke liegt, die von einigen starken, dem Kreissystem angehörenden Balken durch- setzt wird, dass ferner im proximalen Ende des 3. Metatarsal-

knochens ein starker, von vorn nach hinten ziehender Balken liegt, und dass an der dritten Zehe das Mittelstück der zweiten Phalanx leer ist.

3. Scheibe. Laterale Schnittfläche (Fig. 9 auf Taf. 20).

Der Bau, der sich hier zeigt, wurde oben als zweiter Strukturtypus bezeichnet, weil er wiederum ein sehr auffallendes Gepräge trägt und durch die Einbeziehung und charakteristische Ausgestaltung der Spongiosa des Calcaneus und Cuboïds in einen Gegensatz zu dem ersten Typus tritt.

Bei Tibia und Talus ist nur an einer sehr kleinen Stelle die Spongiosa aufgedeckt, bemerkenswerte Einzelheiten sind nicht mehr zu verzeichnen.

Die Fibula lässt eine grobmaschige Spongiosa erkennen, in der sich Bälkchen und Lamellen mit stark wechselnder Richtung erkennen lassen. Die Elemente kreuzen sich vielfach unter spitzen Winkeln.

Im Calcaneus kann man auch hier zwei verschiedene Abschnitte, einen hinteren und einen vorderen unterscheiden. Der hintere Abschnitt enthält rechtwinklig gekreuzte dünne Bälkchen, die zu Gittern zusammengesetzt sind; diese verlaufen von vorn oben medial nach hinten unten lateral. Ein System der Bälkchen zieht von der hinteren oberen Ecke zur unteren Fläche. In der Nähe des oberen Randes ist die Spongiosa feiner und ungeordnet. Der vordere Abschnitt wird nach hinten abgegrenzt durch einige aus der frontalen Lage herausgebogene Gitter, die nach vorn konkav sind. Davor liegt in dem oberen Teil eine mit feinsten Spongiosa ausgefüllte Lücke; dicht unter der oberen Wand sind zwei sagittale und fast vertikal stehende (nach oben innen abweichende) Lamellen angeschnitten, die offenbar der lateralen Wand des Calcaneus parallel sind. In dem unteren Teil des vorderen Abschnittes, also im Processus anterior und seiner

Nachbarschaft, liegt zunächst ein System von Lamellen, die von einem in der unteren Hälfte der Facies cuboïdea gelegenen Knochenkern radienförmig ausstrahlen. Diese Lamellen werden von einem aus konzentrisch angeordneten Bälkchen und Lamellen bestehenden System rechtwinklig geschnitten; die konzentrischen Lamellen sind unmittelbar unter der oberen Fläche des Processus ant. sehr dicht gelagert. Hierzu gesellen sich noch mehrere sagittale Lamellen, deren Flächen im wesentlichen zu den Flächen der anderen Systeme gleichfalls rechtwinklig stehen.

Auch das Cuboïd besitzt einen Compactakern, der dem des Calcaneus benachbart ist. Von dem Kern gehen hier wie dort Lamellen radienförmig aus und er wird ebenfalls von konzentrischen Bälkchen und Lamellen umkreist. Die radiären Lamellen lassen hinter der vorderen Wand ziemlich grosse Lücken zwischen sich. Auch hier kommen vertikale Lamellen vor, die aber nicht genau sagittal verlaufen, sondern vorn nach der medialen Seite abweichen. Die konzentrischen Elemente im Calcaneus und Cuboïd ziehen um denselben Kreismittelpunkt herum und die radiären Elemente gehen (annähernd) von demselben Punkte aus, so dass die Spongiosa in beiden Knochen nach einem einheitlichen Prinzip gebaut zu sein scheint und man meinen könnte, im Calcaneus und Cuboïd Teile eines einzigen Knochens vor sich zu haben.

Im proximalen Ende des 4. Metatarsale fallen vor allem rechtwinklig verstreßte frontale Lamellen auf, die sich aus der vorderen und hinteren Wand erheben und fast gerade aufwärts ziehen. Die unterhalb der proximalen Gelenkfläche liegende Spongiosa weist einige grössere Lücken auf, ausserdem enge rundliche Maschen, die von bogenförmig verlaufenden, nach oben konvexen Linien begrenzt werden. Im distalen Ende des Knochens kreuzen sich Lamellen, die aus der vorderen und hinteren Wand kommen, unter spitzen Winkeln. Am äussersten

Ende finden sich rundliche Maschen und Stäbchen, die senkrecht auf der Wand aufstehen.

Die Phalangen der 4. Zehe sind sämtlich mit unregelmäßig angeordneter Spongiosa erfüllt.

Im durchfallenden Lichte sieht man, wie von derjenigen Stelle der oberen Calcaneuswand, auf der die Exostose der Tibia ruht, ein dunkler Streifen bogenförmig mit vorderer Konkavität zum unteren Rande des Processus ant. verläuft. Das Band wird beiderseits von sehr hellen Partien begrenzt.

Der Anblick des zweiten Strukturtypus muss den Gedanken entstehen lassen, dass seine Eigentümlichkeiten funktionell erworben worden sind. Eine solche Vermutung wird vor allem durch die Zusammengehörigkeit von Calcaneus und Cuboïd nahe gelegt und ebenso durch die starke Verdichtung, die die Spongiosa des Calcaneus dort gefunden hat, wo man sich die hintere Tibiawand nach unten fortgesetzt denken kann. Es fragt sich nun, ob der (vermutete) Einfluss der Funktion zur Bildung trajectorieller Architekturen geführt hat; die Annahme, dass dies der Fall ist, würde von vornherein durch das Auftreten dreier zu einander senkrechter Lamellensysteme im Calcaneus gestützt werden.

Man wird durch die Form des Baues von Calcaneus und Cuboïd an die Patella in dem oben unter Nr. II beschriebenen Fall erinnert. Bei unserem *Pes equinus* lässt sich zum mindesten kein Beweis dafür erbringen, dass die Architektur das Beiwort trajectoriell verdient. Das gilt ebenso für den zweiten Strukturtypus, wie es schon für den ersten Typus ausgeführt wurde. Man könnte glauben, dass die konzentrischen Bälkchen und Lamellen einem Zugsystem, die radiären Lamellen einem Drucksystem entsprächen, diese Meinung wird sich aber kaum mit Hilfe einer exakten Analyse verteidigen lassen. Ja, wenn man annehmen wollte, der Schnitt entspräche, soweit er durch

Calcaneus und Cuboïd geht, einem symmetrisch gelegenen Schnitt durch einen gebogenen bzw. geknickten Balken, so würden die Trajektorien, die eingezeichnet werden können, doch einen anderen Verlauf nehmen, als es die im Präparat sichtbaren Linien tun (wenigstens gilt das für den vom Cuboïd repräsentierten Teil des Balkens). Ich möchte jedoch hierauf nicht zu viel Gewicht legen, da der Vergleich mit dem geknickten Balken natürlich nicht einwandfrei ist. Wenn wirklich im Calcaneus und Cuboïd eine trajectorielle Architektur vorliegen sollte, so ist diese doch sicher nicht bei dem ganzen zweiten Strukturtypus durchgeführt, denn das Vorkommen spitzwinkliger Kreuzungen, wie sie, wenn auch in geringer Zahl, vorgefunden wurden, schliesst eine solche Verallgemeinerung aus.

4. Scheibe.

Sie enthält von Tibia und Talus nur minimale Reste, (fast) die ganze Fibula, das äussere Drittel des Calcaneus und des Cuboïds, Metatarsale und Phalangen der 4. Zehe halb, der 5. Zehe ganz. Auf der medial gelegenen Schnittfläche erscheint die Struktur des distalen Fibulaendes, des Cuboïds, des 4. Metatarsale und der durchschnittenen Phalangen als die unmittelbare Fortsetzung der Strukturen auf der lateralen Schnittfläche der 3. Scheibe.

Besondere Erwähnung verdient der Calcaneus. In seinem hinteren Teil sind die Bälkchenzüge undeutlich geworden, eine rechtwinklige Kreuzung ist nur in der Nähe der hinteren Wand zu erkennen. Der vordere Teil wird nach hinten unten und aussen durch eine starke Lamelle abgegrenzt, auf deren dem Beschauer zugewandten Seite wenig aus spitzwinklig gekreuzten Bälkchen bestehende Spongiosa liegt. Die Lamelle

setzt Elemente fort, die auf der lateralen Schnittfläche der 3. Scheibe zu sehen waren, nämlich die Platte, die dort unter der oberen Wand des Calcaneus lag und ausserdem die gebogenen, nach vorn konkaven Gitter, die in der Mitte des Knochens lagen.

Im Processus anterior sind wie bei der lateralen Schnittfläche der 3. Scheibe Kern, radiäre, konzentrische und sagittale Lamellen zu sehen.

Die Eigentümlichkeiten des Präparates Nr. IV geben noch zu weiteren Schlussfolgerungen Anlass. Die äusseren Formen der Knochen sind nämlich trotz der abnormen mechanischen Bedingungen, denen der Fuss seit der Geburt, und vielleicht schon intrauterin, ausgesetzt gewesen ist, im grossen und ganzen die gewöhnlichen. Ich verkenne natürlich nicht die Abweichungen vom Normalen, die sich in manchen Einzelheiten ergeben, und die auch oben (S. 250 f.) geschildert worden sind. Es ist aber doch nicht zu leugnen, dass die gröberen Formverhältnisse gewahrt sind. Im Gegensatz dazu weicht in manchen Knochen des Pes equinus die Struktur der Spongiosa von der normalen Struktur in ganz auffallender Weise ab. Namentlich an den Talus möchte ich erinnern, an den Calcaneus (dessen vorderen Abschnitt), an das Cuboïd, an das proximale Ende des 2. Metatarsalknochens. In allen diesen Knochen ist hiernach das Gefüge der Spongiosa nicht vererbt. Das schliesst natürlich nicht aus, dass möglicherweise die Anlage der Architektur vererbt worden ist. Aber selbst wenn das der Fall sein sollte, so ist doch die Architektur während des individuellen Lebens durch äussere Einflüsse umgemodelt worden, das Vererbungsprinzip hat sich diesen nicht gewachsen gezeigt. Da die erwähnten Knochen mit ihrer Architektur gerade die auffallendsten Bestandteile des Fuss skeletts bei unserem Pes equinus sind, und da ihnen sicher bei der Übertragung der beanspruchenden

Schwerkraft eine sehr wichtige Rolle zukommt, so halte ich den Schluss für gestattet, dass in dem vorliegenden Präparat überhaupt keine Spongiosastrukturen als vererbte anzusprechen sind. Es finden sich allerdings an einzelnen Stellen, wie z. B. im Naviculare, Verhältnisse, die an normale Befunde erinnern, aber damit ist natürlich nicht gesagt, dass an solchen Stellen Vererbung im Spiel gewesen sein müsste.

Die Strukturen sind also während der Entwicklung des *Pes equinus* unter der Einwirkung der von den normalen abweichenden Bedingungen neu entstanden. Zu den Bedingungen gehören in erster Linie die mechanischen und diese haben sich vom Normalen mindestens ebenso sehr unterschieden wie andere Bedingungen, wie diejenigen der Ernährung, vermutlich aber in noch höherem Grade. Dass die mechanische Beanspruchung bei der Ausgestaltung der Spongiosa wesentlichen Einfluss gehabt hat, lässt sich schon deswegen vermuten, weil die beanspruchenden Kräfte ohne Zweifel dort wirksam gewesen sind, wo die erwähnten Abweichungen der äusseren Knochenform von der normalen Form sich finden. Bemerkenswert scheint mir hier vor allem die Zusammendrückung des Cuboïds zu einem Keil mit nach hinten gerichteter Schneide zu sein und ferner die Entstehung von Exostosen an solchen Stellen wo Knochen mit ihren Längsachsen unter spitzen Winkeln aufeinander treffen, während sie normalerweise ebendort stumpfe Winkel einschliessen (s. o. S. 250 ff.). Die Exostosen haben sich jeweils an dem einen Knochen gebildet, dessen Gelenkfläche mit ihrem Rande bei den Bewegungen des Fusses oder seiner Teile an den anderen Knochen anstiess.

Man hätte hiernach eigentlich Grund zu der Erwartung in der Spongiosa trajectorielle Strukturen zu finden. Aber trotzdem sind an manchen Stellen trajectorielle Strukturen sicher nicht vorhanden, nämlich dort, wo sich die Elemente spitzwinklig kreuzen. Und es ist eigentlich nicht recht ein-

zusehen, warum die Beanspruchung nur gelegentlich zur Bildung trajectorieller Strukturen führen sollte, während sie oft¹⁾ sicher nicht dazu führt. Manche Eigentümlichkeiten der Architektur wie die lamellöse Insubstantierung dreier auf einander senkrecht stehender Richtungen im Calcaneus, liessen allerdings daran denken, dass trajectorielle Strukturen vorlägen, eine exakte Untersuchung ist jedoch bei der Kompliziertheit der Formen nirgends möglich gewesen²⁾).

Auch auf die Entwicklung normaler Knochen lassen sich aus den erhobenen Befunden Schlüsse ziehen. Denn die Knochen des Pes equinus sind ohne Zweifel aus durchaus normalen Anlagen hervorgegangen, ihre Entwicklung wurde nur die Einwirkung abnormer Bedingungen, vor allem mechanischer Natur, in besondere Bahnen gelenkt, es spricht aber nichts dafür, dass die Gewebe krankhaft beeinflusst und ihre Eigenschaften abgeändert worden wären. Hiernach wird es wahrscheinlich, dass die Architektur der Spongiosa auch bei vollkommen normalem Bau der Knochen nicht vererbt werden kann. Ich möchte nun aber doch nicht sofort behaupten, dass es überhaupt keine Details im inneren Gefüge der Knochen gäbe, die erblich übertragbar sind. Gewisse, in der Spongiosa auftretende Elemente müssen auch ohne Zweifel als erblich erworbene angesehen werden, wie z. B. die Epiphysennähte. Es wird indessen kaum möglich sein, anzugeben, wie weit sich der Einfluss der Vererbung erstreckt, nach den Beobachtungen, die ich an dem beschriebenen Pes equinus machen konnte, möchte ich aber glauben, dass die

1) Man ist nur zu leicht dazu geneigt, über der Anwesenheit rechtwinklig gekreuzter Bälkchen und Lamellen das Vorhandensein spitzwinkliger Kreuzungen zu übersehen.

2) Es wäre lehrreich, auch den mikroskopischen Bau der Spongiosaelemente in den Bereich der Untersuchung und Besprechung zu ziehen. In dessen würde uns dies auf ein Gebiet führen, dessen Bearbeitung ich in der vorliegenden Abhandlung nicht beabsichtige, sondern mir für später vorbehalte

Architektur der Spongiosa zum grössten Teil während der individuellen Entwicklung neu entsteht.

Sicher spielt bei der individuellen Ausbildung der Knochenarchitekturen die mechanische Beanspruchung eine wichtige Rolle. Eine ganz andere Frage ist es aber, ob die Beanspruchung in der Spongiosa zur Bildung trajectorieller Architekturen führt. Das Vorkommen solcher Gefüge ist zwar an vielen Stellen des Skeletts vermutet worden, exakt nachgewiesen hat man es aber, wie schon bemerkt, bisher nur am mittleren Frontalschnitt durch Kopf und Hals des Femurs (nicht etwa in dem sich anschliessenden Teil des Femurschaftes oder dem grossen Trochanter), und auch hier hat man noch einzelne Einschränkungen zu machen (s. o. S. 218). Die trajectorielle Struktur, die hier (und möglicherweise auch anderwärts) vorliegt, ist aber nicht als vererbte Bildung anzusehen, sie ist also weder durch Selektion entstanden noch phylogenetisch erworben worden, sie stellt vielmehr einen individuellen Erwerb dar. Dass die Funktion der Knochen bei ihrer Entstehung eine grosse Rolle spielt, wurde soeben gesagt. Sie stellt aber bei der Entstehung der Spongiosastrukturen nicht den allein ausschlaggebenden Faktor dar; das folgt einfach daraus, dass sie nicht, wie man sonst erwarten müsste, überall in der Spongiosa die Bildung trajectorieller Strukturen durchsetzt. Diese fehlen sicher dort, wo Elemente der Spongiosa sich spitzwinklig kreuzen, und solche Stellen sind auch in vollkommen normalen Knochen nicht selten.

Schlusswort.

Eine Reihe von Bemerkungen allgemeiner Natur habe ich bereits in die Schilderung der Präparate eingeflochten. Ich möchte, um nicht Gesagtes wiederholen zu müssen, zum Schluss nur auf die früheren Ausführungen hinweisen; sie finden sich auf den Seiten 217 f., 219 ff., 225 Anm., 231, 234 f., 239 ff., 248, 248 Anm., 255 f., 261 f., 263 ff.

Meine Arbeit führte zu folgenden Ergebnissen:

1. Ändert sich die Beanspruchung, der ein Knochen ausgesetzt ist, so können sich doch Teile seiner alten Architektur unter Umständen viele Jahre lang erhalten.
2. Daneben kommen auch Transformationen der Bauelemente vor, die wenigstens zum Teil von der veränderten Beanspruchung abhängen.
3. Die neue Beanspruchung führt möglicher Weise an manchen Stellen zur Bildung trajectorieller Strukturen, aber ein **Beweis** hierfür ist bisher noch in keinem Falle erbracht worden. An manchen Stellen kommt es **sicher nicht** zur Bildung trajectorieller Strukturen.
4. Wenn zwei Knochen mit einander verschmelzen, kommt vielfach eine Tendenz zur Herstellung einer gemeinschaftlichen Knochenrinde zum Ausdruck. Bisweilen scheint die Veranlassung hierzu in der mechanischen Beanspruchung zu liegen. Ob diese aber immer eine Rolle dabei spielt, und ob die entscheidende, kann vorläufig nicht sicher festgestellt werden.

5. Architekturen der Spongiosa werden im allgemeinen nicht vererbt.
6. Das Vorkommen einer trajectoriellen Architektur am normalen Skelett kann bisher nur für den mittleren Frontalschnitt durch Kopf und Hals des Femurs als **erwiesen** angesehen werden; die trajectorielle Architektur ist hier und an den anderen Stellen, an denen sie möglicher Weise vorkommt, während der individuellen Entwicklung erworben worden.
7. Die Entstehung einer trajectoriellen Architektur der Spongiosa am normalen Skelett ist eine Folge der Beanspruchung. Die Beanspruchung ist aber für die Anordnung von Spongiosaelementen nicht allein maßgebend. Führt sie zur Bildung einer trajectoriellen Architektur, so wird ihre Wirkung nicht durch andere strukturbildende Momente beeinträchtigt.

Erklärung der Abbildungen auf den Tafeln 18, 19, 20.

- Fig. 1. Linksseitige Kniegelenksankylose A. Mediales Teilstück von der lateralen Seite gesehen. Beschreibung S. 224 ff.
- Fig. 2. Linksseitige Kniegelenksankylose B. Zweite Scheibe von der lateralen Seite gesehen. Beschreibung S. 232 ff.
- Fig. 3. Dasselbe Präparat. Dritte Scheibe, von der lateralen Seite gesehen. Beschreibung S. 235 ff.
- Fig. 4. Dasselbe Präparat. Schnitt durch die Patella, wenige Millimeter medial von ihrer Medianebene. Beschreibung S. 239.
- Fig. 5. Ergebnis einer rechtsseitigen Kniegelenksresektion. Fünfte Scheibe, von der lateralen Seite gesehen. Beschreibung S. 243 ff.
- Fig. 6. Dasselbe Präparat. Siebente Scheibe, von der lateralen Seite gesehen. Beschreibung ebenda.
- Fig. 7. Skelett eines rechtsseitigen Pes equinus von der lateralen Seite gesehen. Beschreibung S. 250 f.
- Fig. 8. Dasselbe Präparat. Erste Scheibe, von der lateralen Seite gesehen. Schnitt durch die 2. Zehe. Beschreibung S. 253 ff.
- Fig. 9. Dasselbe Präparat. Dritte Scheibe, von der lateralen Seite gesehen. Schnitt durch die 4. Zehe. Beschreibung S. 259 ff.

Die Figuren geben die Objekte, nach denen sie angefertigt wurden, nicht alle in dem gleichen Maßstab wieder. Die Präparate sind abgebildet bei Fig. 7 in $\frac{1}{3}$, den Figuren 6 und 8 in $\frac{2}{5}$, den Figuren 1 und 5 in $\frac{1}{2}$, Fig. 9 in $\frac{3}{5}$, den Figuren 2 und 3 in $\frac{2}{3}$, Fig. 4 in $\frac{4}{3}$ der natürlichen Grösse.

Nachschrift.

Während der Drucklegung der vorstehenden Arbeit erschien eine Publikation Walkhoffs, die mich zum Niederschreiben der folgenden Zeilen veranlasst.

Walkhoff hatte entdeckt, dass im Unterkiefer der Anthropoiden und in den ältesten prähistorischen menschlichen Unterkiefern sich an die Ansatzstelle des *Musc. genioglossus* kein System von Spongiosabälkchen anschliesst, wie es beim heutigen Menschen gut ausgebildet ist (leider nennt Walkhoff ein solches System ein »Trajektorium«, s. o. S. 225 Anm.). Er glaubte daher, dass die besondere Architektur beim Menschen infolge der Ausübung der Sprachfunktion des *Musc. genioglossus* entstanden ist. Fischer machte dagegen geltend, dass auch bei stummen Menschen das System vorhanden ist, worauf nunmehr Walkhoff (*Anatom. Anz.* 24. Bd. S. 129 ff.) seine Ansicht dahin präzisirt, dass die *Genioglossus*-Bälkchen phylogenetisch erworben worden seien und ihre Anlage jetzt vererbt würde; ihre weitere Ausbildung erhielten sie durch die Tätigkeit des *Genioglossus* bei den verschiedenen Zungenbewegungen, unter Umständen schon allein durch sein Funktioniren beim Bewältigen der Nahrung. Er bezeichnet aber trotzdem die in Rede stehende Architektur ohne einschränkenden Zusatz als »vererbt«.

Die Anschauungen Walkhoffs decken sich mit den meinigen, soweit ihnen der Gedanke zu Grunde liegt, eine Knochenarchitektur könne in ihrer Anlage vererbt sein, ihre Ausbildung erfahre sie durch die individuelle Beanspruchung (s. o. S. 263 ff.). Dagegen besteht zwischen Walkhoff und mir

eine formelle Differenz, auf die ich in Kürze hinweisen möchte. Ich bin nämlich der Meinung, dass man ein Organ, nach dem es während des individuellen Lebens durch die Einwirkung äusserer Einflüsse bestimmte charakteristische Eigenschaften erlangt hat, nicht mehr als vererbt bezeichnen soll. Seine Anlage kann wohl vererbt sein, das fertige Organ aber mit seinen Eigentümlichkeiten kann nicht vererbt heissen, wenn nicht dieselben Eigentümlichkeiten auch ohne die Einwirkung äusserer Einflüsse entstehen würden. Der Begriff »Vererbung« hat immer Beziehung zum Alter des Individuums, eine jede vererbte Eigenschaft tritt zu einer feststehenden Zeit des individuellen Lebens, des embryonalen oder des postembryonalen, auf; der Einfluss des Vererbungsprinzips kann sich fast auf die ganze Lebensdauer erstrecken, wo er nicht mehr vorhanden ist, hat man keine Berechtigung von Vererbung zu sprechen.

Die Frage, auf welche Momente die Entstehung des an den Genioglossus-Ansatz angeschlossenen Bälkchensystems beim spät-diluvianischen und beim heutigen Menschen zurückzuführen ist, beabsichtige ich nicht an dieser Stelle zu erörtern. Nur das möchte ich bemerken, dass sie m. E. noch nicht als gelöst zu betrachten ist und man ihrer Lösung durch eine sorgfältige Berücksichtigung mechanischer Gesichtspunkte näher geführt werden wird.

Die Abhandlung v. Friedländer's über die Architektur spongiöser Knochen, die jüngst erschienen ist (Anatom. Hefte, 72. H.). konnte in der vorstehenden Arbeit noch nicht berücksichtigt werden.