

ÜBER  
DAS GEFÄSSSYSTEM DER RÖHRENKNOCHEN,  
MIT BEITRÄGEN ZUR KENNTNISS  
DES BAUES UND DER ENTWICKLUNG DES KNOCHENGEWEBES.

VON  
✓  
PROF. **KARL LANGER**,  
WIRKLICHEM MITGLIEDE DER KAISERLICHEN AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

(Mit 6 Tafeln.)

VORGELEGT IN DER SITZUNG DER MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHEN CLASSE AM 15. JULI 1875

So sehr Bau, Entwicklung und Wachsthum der Knochen die Aufmerksamkeit der Anatomen in Anspruch nahmen und sie noch immer beschäftigen, so sind doch seit den Publicationen von Breschet nur vereinzelte Mittheilungen über die Gefässe derselben erfolgt. Seit längerer Zeit mit hierauf bezüglichen Untersuchungen beschäftigt, habe ich doch erst in diesem Jahre die nöthige Musse gefunden, um wenigstens einen Theil der beabsichtigten Monographie zum Abschluss zu bringen.

Zum Gegenstande der vorliegenden Abhandlung wählte ich die Gefässe der Röhrenknochen. Obgleich die Angaben zunächst nur das Femur und die Tibia betreffen, weil jene zwei Knochen für diese Untersuchung am leichtesten zugänglich sind, so werden sie doch auch allgemeine Beziehungen gestatten; überhaupt scheint es mir, dass namentlich die Darstellung der Veränderungen, welche im Gange der Entwicklung an dem sich bildenden Knochen zur Ansicht gelangen, an Übersichtlichkeit gewinnt, wenn der Untersuchung stets dasselbe Object zu Grunde gelegt wird.

Ich glaubte ausser den feineren Verhältnissen auch die makroskopischen berücksichtigen zu sollen, weil meines Wissens bisher nur wenig hierüber bekannt geworden ist, insbesondere nicht über die Venen. Doch habe ich von einer systematischen Beschreibung der Astfolge derselben abgesehen, und nur die typischen Verhältnisse ihrer Anlage hervorgehoben. Details über die Astfolge der Periost-Arterien, wären bei Bar-kow<sup>1</sup> einzusehen.

Bei der Untersuchung der feineren Verhältnisse der Gefässe habe ich auch das Histologische, sowohl am fertigen, wie auch am wachsenden Knochen ins Auge gefasst, und glaube auch nach dieser Richtung auf manches Neue oder weniger Beachtetes aufmerksam machen zu können.

<sup>1</sup> Comparative Morphologie, 6. Theil, Breslau, 1868.

Es sei mir noch gestattet, einleitend einen kleinen Beitrag zur Geschichte der Anschauungen über den Verknöcherungsprocess und das Wachsthum der Knochen anzuschliessen. Es hat nämlich G. Prochaska in einer 1810 in Wien gedruckten Brochure<sup>1</sup> Anschauungen über diese Processe mitgetheilt, welche mit den heutigen fast vollständig übereinstimmen. Da diese Brochure nur wenig verbreitet und daher kaum allgemein bekannt geworden ist, so dürfte die wörtliche Mittheilung der betreffenden Stellen nicht ohne Interesse sein. Dieser ausgezeichnete Mann äussert sich über den Verknöcherungsprocess (pag. 103) folgendermassen:

„Das Ernährungsgeschäft geht auch dahin, dass es ganze Organe, welche eine Zeitlang nützlich waren, bei anderen eintretenden Umständen vernichtet, und sie mit neuen und zweckmässigen ersetzt. Wir sehen dieses an den Knorpeln, welche bei Kindern die Stelle der Knochen eine Zeitlang vertreten, und, um den Wuchs der Knochen zu begünstigen, nothwendig sind. Diese Knorpel verknöchern sich zu verschiedener, doch aber für einen jeden Knochen zu bestimmter Zeit, so dass die, an den langröhrigen Knochen befindlichen Knorpeln erst im zwei- bis vierundzwanzigsten Jahre ganz verknöchert werden. Diese Verknöcherung geschieht nicht durch eine Verhärtung oder Verwandlung des Knorpels in den Knochen, sondern der Knorpel wird von dem, in seinem Schoosse entstandenen und genährten Knochen verdrängt und vernichtet. Es entstehen nämlich seiner Zeit in dem Knorpel einige Blutgefässe, welche sich meistens aus dem angränzenden Knochentheil dahin zu verlängern scheinen, und mit den Gefässen erscheinen auch schon die ersten Ossificationspunkte, welche nach und nach einen knöchernen Kern bilden. In dem Verhältnisse, als dieser Kern zunimmt, und sich seiner bestimmten Grösse und Form nähert, in demselben wird der, ihn umgebende, Knorpel immer dünner, bekommt dann Löcher, wo der neue Knochen schon zum Vorschein kommt und verschwindet endlich ganz; der an den Körper der Knochen angränzende Theil des Knorpels scheint etwas später sich zu verlieren. Das Verschwinden dieser Knorpel ist allerdings zum Theil eine Wirkung der Lymphgefässe, nicht aber, als ob jene von diesen aufgezehrt würden; sondern es scheinen die Knorpeln als todte Theile aufgelöst, und dann absorbirt zu werden, sowie auch das, ins Zellengewebe angetretene Blut aufgelöst und eingesogen wird.“

Anlangend die Wachstumsverhältnisse junger Knochen finde ich (p. 111) folgende Stelle:

„Vergleicht man den inneren Bau der langen Kinderknochen mit denselben eines Erwachsenen, so findet man einen Unterschied sowohl an der Zahl als an der Lage und Richtung der Knochenblättchen und Fasern, es haben auch die Kinderknochen beinahe keine Höhle. Wenn die Knochen nur durch Einschlebung neuer Elemente wüchsen, so müsste die nemliche Proportion und die nemliche Beschaffenheit des innern Baues bleiben; es kann folglich die Verschiedenheit, die man in erwähnten Knochen findet, nicht anderst hervorkommen, als dass die Natur bei der Ernährung und bei dem Wachsthum der Organe, sowohl den gegenwärtigen als künftigen Nutzen derselben berücksichtigend, den alten Bau unvermerkt zerstört, und einen neuen dabei anlegt, sowie ein Baumeister, der aus einem alten Haus ein neues banet, die Mauern, welche seinem Plane nicht gemäss sind, niederreisst, und die andern beibehält und benützt.“

In Betreff der Veränderungen, welche der Knochen in höherem Alter erleidet, sagt Prochaska Folgendes:

„Der Unterkiefer an einem vollkommen ausgewachsenen Manne hat eine Breite von zwei starken Querfingern, ist dick, umfasst die ganzen Wurzeln der Zähne; der Unterkiefer eines Greises hat hingegen kaum die Stärke eines kleinen Fingers, die Zahnfurchen sind verschwunden, so dass kein Zahn mehr darin Platz findet; er hat wohl dann zwei Drittheile an Gewicht verloren, die schwammigte Substanz ist verschwunden, die compacte vermindert, und was davon übrig geblieben war, ist näher aneinander gerückt und zum Theil durchsichtig geworden. Diese Veränderung kann nicht erfolgen blos durch einen grösseren Abgang und kleineren Ersatz des phosphorsauren Kalkes: dadurch würde der Knochen nur lockerer und leichter werden; wir sehen aber eine grosse Veränderung sowohl an der Form als an dem inneren Bau, es sind alle Fasern und Blättchen aus ihrer vormaligen Lage verrückt und in eine neue gebracht, welches in dem rigiden Bau der Knochen und bei dem beständig nothwendigen Wechsel des phosphorsauren Kalkes nicht anders geschehen kann, als dass allmählig die vormaligen Fasern und Blättchen zerstört und dabei neue in anderer Lage und Richtung angelegt werden.“

<sup>1</sup> Bemerkungen über den Organismus des menschlichen Körpers und über die denselben betreffenden arteriösen und venösen Haargefässe, nebst der darauf gegründeten Theorie von der Ernährung.

#### A. Die grösseren zu- und ableitenden Gefässe.

Ich beginne mit den Arterien, welche immerhin die ganze Anlage bestimmen und daher auch erläutern, und fasse die Darlegung ihrer Verhältnisse in folgende Punkte zusammen:

1. Der Schaft langröhriger Knochen bekommt seine grösseren Arterienzweige immer von Punkten her, welche in die Ansatzlinien von Muskeln, insbesondere von Aponeurosen und Fascien fallen. Am Oberschenkel kommen daher diese Gefässe nur von der *Linea aspera* heran und von ihren nach oben gegen die Trochanteren und nach unten gegen die Epicondylen abgehenden Abzweigungen; an der Tibia sowohl von der Ansatzlinie der tiefen *Fascia cruris* als auch von der *Membrana interossea*.

Die Gefässe bilden dann Reife, deren Schenkel von beiden Seiten kommend den Schaft umgreifen. Am Femur gibt es ungefähr 6—7 solcher Reife, deren unterster aber schon aus Abkömmlingen der oberen Kniegelenksarterien sich bildet. Ausser diesen Quergefässen treten auch von den Enden sowohl am Femur als auch an der Tibia Längszweige hinzu, welche mit den Ringarterien anastomosiren, so dass durch das Zusammentreten aller dieser Stämmchen und ihrer Vertheilungen ein lockeres, unregelmässiges periostales Netz zu Stande kommt, welches beiderseits bis in die sogenannten *Retia articularia* sich fortspinnit.

Bemerkenswerth sind noch die Anastomosenketten, welche am Femur längs dem Ansätze der Adductoren, an der Tibia längs den Kanten, insbesondere eine an der medialen Kante sich hinziehen, und alle Quergefässe schon in den Stämmchen verketten. Diese *Arteriae lineae asperae*, wie sie Barkow nennt, besorgen die bekannten, doch nicht immer constanten zwei *Arteriae nutritiae femoris*. Auch die *Nutritia tibiae* steht mit einer an der lateralen, hinteren Kante des Schaftes herablaufenden Anastomosenkette in Verbindung.

2. Die Gefässe der Gelenkenden sind ganz im Sinne des Gelenkmechanismus angeordnet; indem nämlich die bereits am Knochen fixirten Stämmchen ihre Astfolge theils in die Radien, theils in die Peripherie der Bewegung verlegen. Es ist dieses besonders deutlich an den convexen Gelenkkörpern, so namentlich an den Condylen des Femur zu sehen, welche zum Beweise für das Gesagte als sehr instructives Paradigma dienen können. Siehe Fig. 1 und 4. Für die oberen Kniegelenksarterien bilden fast geradezu die Epicondylen die Ausgangspunkte, wie ja auch die *Vena saphena magna* dicht am Epicondyl, einem der Fixpunkte des Kniegelenks zum Oberschenkel aufsteigt; und wie diese Vene ihre Hautzweige am Knie quer weg ober und unter der Patella her bezieht, so sind wieder die von den oberen Kniegelenksarterien an der Streckseite zur Oberfläche, namentlich die zur Patella abgehenden Zweige gerade an jene Theile der fibrösen Kniegelenkkapsel angeschlossen, deren Fasern die Patella mit den Epicondylen verbinden und mitunter als Seitenbänder der Knie Scheibe bezeichnet werden. Andere Zweige, welche über das ganze Kniegelenk hinweg gehen und mit Zweigen der unteren Kniegelenksarterien sich verbinden, schmiegen sich wieder an die *Ligamenta lateralia* genau an, oder begleiten von der Patella an, um welche herum innerlich ein Gefässkranz gelegt ist, das Endstück der Strecksehne, nämlich das sogenannte *Ligamentum patellare*.

Selbst die tiefen, den unteren Endstücken des Femur zukommenden Gefässe sind an den Seitenflächen der Condylen radiär hingelegt, mit einem nahe an den Epicondyl hinfallenden Centrum. Bemerkenswerth ist gleichfalls seiner Lage wegen ein beiderseits aus dieser Astfolge heraustretender Zweig, welcher gedeckt von dem Lateralbände und bogenförmig den Epicondyl umgreifend längs des Randes der Condylusfläche nach hinten verläuft. Ein ähnliches an die Peripherie verlegtes Gefässchen, doch etwas feiner, umgreift die Ansatzlinie eines jeden Krenzbandes. Ist doch auch die laterale untere Kniegelenksarterie, welche ihre Zweige zu den im Wechsel der Bewegung einer grösseren Spannung ausgesetzten Theilen der Kapsel



absendet, in den Meniscus fest eingegraben, an den sie gerade im Knickungswinkel des Gelenkes und dicht an seinem hinteren Ligament herantritt, so dass sie auch vor den eigenen umfangreicheren Verschiebungen des Meniscus geschützt ist. Eine ähnliche Vorkehrung ist selbst an der hinteren, mittleren Kniearterie nicht zu verkennen, da sie die Zweige, welche an die vordere Fläche der Kreuzbänder gelangen, gerade zu dem Überkreuzungspunkte dieser Bänder hinschickt, der dadurch zum Radiationspunkte dieser Astfolge wird.

3. In so lange die Epiphysenfugen noch nicht verstrichen sind, bilden die losen Endstücke der Röhrenknochen eigene, wenn auch nicht immer vollständig von denen der Diaphysen abgechiedene Gefässbezirke, so dass sich die Astfolge insbesondere der oberen, hauptsächlich dem Femur zugewiesenen Kniegelenkarterien nach vierfacher Ordnung gliedern lassen:

- a) In die bereits erwähnten oberflächlichen Zweige der fibrösen Ausbreitungen der Patella und der vorderen Kapselwand;
- b) Zweige für das untere Ende der Diaphyse;
- c) Zweige für die beiden Condylen, nämlich die Epiphyse, endlich
- d) Zweige für die Synovialis.

Alle zusammen bilden eine gemeinschaftliche Astfolge des untersten Arterienreifes, sind mit Ausnahme der erstgenannten allenthalben eng an den Knochen angeschlossen, und stellen indem die einzelnen Äste sich dichotomisch verzweigen, dabei verjüngen und unter einander anastomosiren, das sogenannte *Rete articulare* dar, welches aber keineswegs so schematisch aufzufassen ist, wie es mitunter gezeichnet wird; indem sich bei genauerer Untersuchung an demselben eine regelmässige Anordnung und fast die gleichen Verhältnisse ergeben, wie an dem Arterienfächer des Dünndarms; nur mit dem Unterschiede, dass die meisten der radiären namentlich an den Seitenflächen gegen den Gelenkrand ziehenden Zweige nach und nach zuerst Diaphysen-, dann Epiphysen und endlich Synovialgefässchen besorgen; darauf beruht eben die Verjüngung derselben und auf den anastomostischen Bögen zwischen ihnen die Bildung des Netzes (Fig. 1). Dass ausser diesen grösseren Zweigen, welche ins Innere der Knochen durch discrete grössere, aber ihrer Gruppierung nach meistens variable Öffnungen eindringen, auch feinere Periostzweige abgegeben werden, ist geradezu selbstverständlich.

4. Die Anlage dieser Astfolge am unteren Ende des Femur ist zwar bei Jung und Alt dieselbe; dennoch ist aber an ihr eine gewisse Altersverschiedenheit nicht zu verkennen, insoferne nämlich als die von dem letzten Gefässreif abgehende Astfolge mit der Ausbildung des Epiphysenkernes sich immer mehr vervielfältigt und ihre Zweige an Caliber zunehmen. Beim ersten Anblick hat es auch den Anschein, als ob der Gefässreif beim Neugeborenen näher an der Gelenkfläche läge, als beim Erwachsenen; doch ergab sich aus dem Vergleiche direct abgenommener Maasse, dass der Abstand des Gefässes vom unteren Ende des Condyls um ebenso viel zugenommen habe, als die Länge des ganzen Knochens. Die Täuschung scheint offenbar nur dadurch veranlasst zu sein, dass beim Neugeborenen das ganze untere Ende des Knochens, den Schaft mit inbegriffen, relativ dicker ist als beim Erwachsenen. Das Gefäss umgreift übrigens beim Neugeborenen den Knochen gerade an der Stelle, wo sich die Verknöcherung der Diaphyse begränzt. Fig. 2.

5. Kleinere Arterien dringen zwar im ganzen Umkreise in das Knochengewebe ein, es sind dies die als periostale Gefässe bezeichneten, was aber die grösseren betrifft, so sind deren Eingangspunkte, wenn auch bald grösser, bald kleiner und variirend gruppiert, doch nur auf bestimmte Flächenstücke beschränkt. Nach Durchsicht einer grösseren Anzahl theils injicirter, theils nicht injicirter *Femora* glaube ich sagen zu können, dass die grösseren Gefässe der beiden Theilstücke zumeist im Umkreise der noch vorhandenen oder bestandenen Epiphysenfuge eintreten, beziehungsweise auch die Venen austreten. Das untere Diaphysenende nimmt sie hauptsächlich vorne, ober der Patellarfläche auf, da die von hinten eindringenden in der Regel kleiner sind und sich als solche schon mehr an die Periostalgefässe anreihen; an den Seitenflächen des Diaphysenendes habe ich nie grössere Gefässlücken angetroffen. Auch die Epiphyse nimmt mehrere grössere Arterien auf, und entlässt Venen vorne ober der Patellarfläche, die meisten aber an den äusseren Seitenflächen beider

Condylen und zwar durch zahlreiche Lücken, welche mitunter erst in tieferen Furchen, Einlagerungsrinnen der Venen, wahrzunehmen sind.

Ein dritter Ort für grössere Gefässöffnungen der Epiphyse ist constant die *Incisura intercondyloidea*, zwischen den oberen Ansätzen der beiden Krenzbänder, also wieder ganz nahe an der Epiphysenfuge und fast in der Flexionsaxe des Gelenkes. Diese letzteren Gefässöffnungen entsprechen den Zweigen der *Arteria* und *Vena articularis genu media*. Fig. 3, 5.

Alle diese grösseren Öffnungen führen in Canälehen, die man ohne weiteres als *Canaliculi nutritii accessorii* bezeichnen kann. Die Epiphysencanäle gehen an den Seitenflächen senkrecht durch die Begränzungslamelle in die Spongiosa ein, die vorderen aber in etwas absteigender, die hinteren aus der Incisur kommenden in mässig aufsteigender Richtung; unter jenen der Diaphyse, gibt es oft genug einige, und zwar die am meisten nach oben beginnenden, welche sehr steil aufsteigen und einen manchmal fast zwei Zoll langen, in die Compacta eingegrabenen Canal darstellen.

Mir scheint diese Verlaufsweise der Gefässcanälehen mit Bezug auf das Knochenwachsthum von Interesse zu sein. Ich habe vorhin gezeigt, dass der unterste Gefässreif seinen Platz kann, jedenfalls nicht auffallend wechselt; es ist daher klar, dass sich die von ihm aus in den Knochen eindringenden Gefässe in dem Maasse strecken müssen, in welchem die Diaphyse innerhalb der Verknöcherungslinie stetig an Länge gewinnt und dass ein Canal zu Stande kommen muss, der sich nach oben aufsteigend immer tiefer in die compacte Rinde einsenkt.\* Damit im Zusammenhange nehmen die etwas weiter unten eintretenden Canälehen einen weniger steilen, mehr schiefen Verlauf an, gelangen also früher in die Spongiosa, und die noch weiter unten, allerdings nicht weit davon anliegenden Öffnungen führen endlich direct ins Innere hinein.

Der Umstand, dass solche längere in die Compacta eingegrabenen Canäle nicht immer vorhanden sind, lässt sich daraus erklären, dass die Gefässe dann direct in die Spongiosa eingehen und erst in dieser ihren senkrecht oder schief aufsteigenden Verlauf durchmachen.

Es versteht sich von selbst, dass die hier bezüglich des Femur besprochenen Details auf die Verhältnisse anderer Knochen nur insofern übertragen werden können, als sich auch an diesen die Concentrirung der accessorischen grösseren Ernährungsgefässe um die Epiphysenfugen und die äusseren Flächen der Gelenkkörper, dann die Scheidung derselben in Diaphysen- und Epiphysengefässe und deren nach dem Mechanismus der Gelenke modificirte Anlage nachweisen lassen dürfte.

So wenig Schwierigkeiten die Darstellung der grösseren Arterien bei Jung und Alt darbietet, so schwierig ist es den Venen beizukommen; es sind mir auch in der Literatur über die ableitenden grösseren (äusseren) Venen langröhriger Knochen keine weiter gehenden Angaben bekannt, als die sind, welche sich aus der Betrachtung frischer blutüberfüllter Knochen ergeben. Man kann sich diese Venen auch leicht dadurch zur Ansicht bringen, dass man die nachgiebigen Knochenenden mit grösseren, breiten Zangen oder am Querschnitte das Mark drückt, und dadurch das Blut von innen heraus in die äusseren Venen presst. Ich habe nur eine einzige Abbildung der Venen der Schenkelcondylen aufgefunden und zwar bei Mascagni<sup>1</sup>, der aber über die Darstellungsmethode derselben Nichts angibt; wahrscheinlich hat er dieselben von den Arterien aus gefüllt.

Den Knochenvenen direct beizukommen und ihre Stämmchen anzufüllen, ist mir bisher nur an den periostalen Venen des Schienbeins von der *Vena saphena magna*, und dies auch nur theilweise, dann an der *Vena nutritia tibia*, hier allerdings vollkommen gelungen; da dieses Verfahren nicht ausreichte, um die ganze Suite der aus einem Knochen austretenden Venen bleibend zur Ansicht zu bringen, versuchte ich es, gestützt auf die Erfahrungen Hoyer's<sup>2</sup> mit Injectionen in die Spongiosa durch Anbohrung der Endstücke, und als die

<sup>1</sup> Prodomo della grande anatomia. Florenz 1819, Tab. 8, Fig. 14 et 15.

<sup>2</sup> Centralblatt f. d. med. Wissenschaften 1869, Nr. 17.



Versuche mit löslichem Berlinerblau vollständig gelungen waren, benützte ich auch Harzmassen welche mittelst in den Knochen eingeschraubten Canillen injicirt wurden. Auf diese Weise gelang es mir, etliche ganz instructive Präparate über die äusseren Venen zu gewinnen und bei richtiger Placirung des Bohrloches nach und nach alle anführenden Venen und deren Zusammenhang mit den Stämmen darzustellen.

Ich muss auch da wieder von einer detaillirten Beschreibung der Präparate absehen, und beschränke mich auf die Schilderung der allgemeinen Verhältnisse, die ich wieder in den folgenden Punkten zusammenfasse.

1. Alle die an der äusseren Oberfläche der Knochen (Femur und Tibia dienen auch hier wieder als Paradigma) bemerkbaren Öffnungen, gross und klein, werden auch von den austretenden Venen zum Durchgange benützt, woraus sich ergibt, dass im Querschnitte einer jeden Öffnung je eine Arterie und mindestens eine Vene, wenn nicht zwei enthalten sind. In der Regel aber treten die Venen einzeln aus dem Knochen heraus, und erst aussen, wo sie sich zu grösseren Ästchen und Stämmchen sammeln, gruppiren sie sich paarweise um die entsprechende Arterie, so dass diese dann zwischen zwei Venen zu liegen kommt, die sich zu einander in der gewöhnlichen Weise verhalten. In den Fettlappen des Kniegelenkes traf ich stets an der Seite der Arterie nur eine einfache Vene. Fig. 3 und 4.

2. Aus dem engeren Anschlusse der Venen an die Arterie ergibt sich, dass dieselben sowohl mit Beziehung auf den Bewegungsmechanismus, als auch in Betreff der Scheidung in Diaphysen- und Epiphysenvenen unter den gleichen Verhältnissen angeordnet sind, wie die Arterien; sie verfolgen daher rückläufig zu ihren Stämmchen dieselben Wege wie die Arterien; doch gibt die Tibia und theilweise auch das Kniegelenk an den Orten, wo an sie die *Vena saphena magna* herantritt Venenstämmchen unmittelbar an diese ab, weshalb mitunter die theilweise Injection der Tibia von der Saphena aus gelingen kann.

Bemerkenswerth scheint mir noch die Astfolge der inneren Kniegelenkvenen; es sind dies jene, welche der Astfolge der *Arteria impar* entsprechen. Wenn die Knochen nur einigermaßen mit Blut gefüllt sind, kann man nach Abtragung der Kapsel sowohl in der *Incisura intercondyloidea* oben, als auch vorne an den Kreuzbändern grössere Venen wahrnehmen, welche sich an dem Überkreuzungspunkte der beiden Bänder in zwei Stämmchen vereinigen. Da ein Theil dieser Venen aus dem Femur stammt, ein anderer aus der Tibia im Umkreise des Ansatzes der Kreuzbänder, durch die daselbst befindlichen, allerdings bald grösseren, bald kleineren Öffnungen hervorgeht, so bildet die *Vena articularis impar* einen gemeinsamen ganz eminenten Abzugscanal für das venöse Blut beider Knochen, während die entsprechende nur aus sehr feinen Zweigen bestehende Arterienramification kaum als eine der Art gemeinsame zu betrachten sein dürfte. Wohl bekommt, wie schon erwähnt, das Femur daraus innerhalb der Incisur grössere Zweige, den Rest aber bilden nur feine Gefässe, welche sich in den verhältnissmässig blutarmen Kreuzbändern, zum Theil auch im *Ligamentum mucosum* bis an die Tibia und in dem Fettgewebe vertheilen und nur sehr feine Anastomosen vermitteln. Durch die Öffnungen zwischen den Gelenkflächen der Tibia gehen wohl auch Arterien in den Knochen ein, doch konnte ich sie bei grösserem Caliber leichter zu den unteren Kniegelenkarterien hin verfolgen als nach oben hin. Dass auch Anastomosen der *Vena impar* sowohl an der Tibia, als auch durch das *Ligamentum mucosum* mit den unteren Kniegelenkvenen und den Venen der Fettlappen bestehen, ist selbstverständlich. Fig. 5 und 6.

3. Die Knochenvenen sind wie alle anderen zahlreicher, beträchtlich grösser und viel dünnwandiger als die Arterien, ausserdem zeichnen sie sich durch die Anwesenheit von Klappen aus. Dass diese letzteren auch an anderen Knochenvenen, namentlich an den Knochen der oberen Extremität vorkommen, kann ich nur vermuthen, da ich darüber keine eingehenden Untersuchungen vorgenommen habe; an den Venen des Kniegelenkes aber fand ich sie constant. Sie finden sich schon ganz nahe an den Austrittsöffnungen und meistens so zahlreich, dass die prall injicirten Gefässe mitunter geradezu ein rosenkranzartiges Aussehen bekommen. Kaum zu übersehen sind sie an jenen Venen, welche sich an die *Ligamenta cruciata* anschliessen und zur Astfolge der *Vena impar* gehören.

4. Es liegt sehr nahe, diese Einrichtung an den Venen mit Eigenthümlichkeiten des Blutkreislaufes in den Knochen in nahe Verbindung zu bringen.

Vorerst ist es klar, dass die Gefäße der Knochen, welche in einem unnachgiebigen, dem äusseren Muskeldrucke widerstehenden Aufbau eingetragen sind, und weil jeder Rücktritt des Blutes durch die an den Ausgängen angebrachten Klappen verhindert ist, in sich einen eigenen Gefässbezirk darstellen, auf dem nur der Arteriendruck lastet, ein Druck, welcher schon in den engen Röhren der kleinsten Arterie herabgesetzt wird, im Bereiche der Venen aber vollends auf ein Minimum sinken muss. Wie sich zum Theile hieraus die äusserste Dünnwandigkeit der Venen begreift, erklärt sich andererseits, wie es möglich ist, dass der Blutlauf innerhalb des so überaus nachgiebigen und zarten Markgewebes ohne jede Störung, namentlich Extravasation vor sich gehen könne. Es ist auch die Annahme gewiss nicht unbegründet, dass der Blutlauf in dem venösen Kreislaufszweige ein äusserst retardirter sei, und dass andere äussere Einflüsse eingreifen werden, denselben zu fördern. Es wird dies gerade am Kniegelenk sehr einsichtlich, von dem ja bekannt ist, dass sich seine Capacität während der Bewegungen stetig ändert, zur Streckung vermindert, zur Biegung vergrössert, und dass somit im letzteren Falle das Blut aus den Knochen in die inneren, an die Kreuzbänder angeschlossenen Venen geradezu eingesogen werde. Das Gleiche kann wohl auch für die anderen Venen gelten, deren Stämmchen sich ja in die Kniekehle öffnen, einen Raum, der gleichfalls wieder während der Biegebewegung des Gelenkes, nämlich durch das Abheben der nahe an den Gelenkflächen angehefteten Biegemuskeln sich vertieft. Während also sonst die Muskulatur auf die internusculär verlaufenden Venen drückt, und dadurch in ihnen den Blutlauf fördert, würde hier durch die Zusammenziehung der Muskeln geradezu eine Pumpvorrichtung in Thätigkeit gesetzt.

## B. Gefäße des Periost und der compacten Rindensubstanz.

Gleich wie sich an dem Periost des Erwachsenen histologisch zwei verschiedene Lagen unterscheiden lassen, so lässt sich dasselbe auch bezüglich der Gefässvertheilung in zwei Schichten zerlegen. Die äussere ist an Gefässen reicher; sie enthält die kleinen Arterien und Venen, welche, im Falle Fleischbündel am Perioste haften mit den Gefässen dieser anastomosiren, aber auch eigene Capillaren, weshalb man oft genug, wenn die Injection durch Arterien und Venen ausgeführt wurde, Übergangsgefäße wahrnehmen kann, in welchen sich beide Farbstoffe mengen. Doch gehören nicht alle Capillaren dem eigenen Gewebe an, sondern auch den Einlagerungen, dem Fette und den Nerven.

Die Anordnung der Gefäße entspricht jener in fibrösen Membranen, insbesondere jener in lockerer gewebten bindegewebigen Hüllen, wie man solche beispielsweise auf grösseren Sehnen, z. B. der Achillessehne findet. Die Arterien sind stets von paarigen Venen begleitet, an welche sich feine Nervenzweige aber auch Fettklümpchen anschliessen, so dass mit dem gemeinsamen Gefässstrang auch Bänder eines ganz zierlichen Capillarnetzes fortziehen. Die Richtung dieser auch untereinander wieder zusammenhängenden Gefässcomplexe ist je nach der Gestalt des Knochens und der Lage der Zu- und Abgangsstellen der Gefäße verschieden; in der Mitte der Röhren aber meistens eine quere.

An der muskelfreien Fläche der Tibia lässt sich noch eine dritte fibröse Lamelle darstellen, als ganz oberflächliche Schichte, gleichfalls reich an Gefässen, welche offenbar einer *Fascia superficialis* gleich zu halten ist, und die grösseren Venenzweige zur Saphena ableitet.

In der tiefen mit elastischen Fasern reichlich ausgestatteten Schichte liegen die Gefäße unmittelbar am Knochen und graben sich häufig genug in die Oberfläche desselben ein, so dass ihr Verlauf auch am macerirten Knochen in mehr oder weniger tief eingeschnittenen Längsfurchen erkennbar ist, die aber nur eine kürzere Strecke weit fortlaufen, um zwischen sich neue Furchen entstehen zu lassen. In diesen Furchen befinden sich bald dichter, bald weiter aus einander gerückte Öffnungen, welche in das Innere der compacten Substanz leiten. Bemerkenswerth scheint mir, dass diese Öffnungen in der oberen Hälfte des



Femur zumeist senkrecht eindringen, in der unteren Hälfte aber in zumeist schief aufsteigende Canälehen leiten.

Hat sich eine Röhre z. B. die des Femur bereits mit Grundlamellen umgeben, und damit auch das Periost als besondere Membran gegen den Knochen begrenzt, so sieht man an Querschnitten des Schaftes entsprechend den Längsfurchen Einbiegungen des Contours und in diese die Querschnitte der Gefässchen eingebettet. Es sind dies nie einzelne Gefässe, sondern immer mindestens ein Paar, wenn nicht ein ganzes Bündel von Röhren, darunter stets eine Vene und eine Arterie.

Während tangential abgelöste Lamellen dieser Periostschichte die Gefässe in Züge zahlreicher elastischer Faserbündel eingehüllt zeigen, sieht man an Querschnitten diese Fasern in netzartig zusammentretenden Linien doch so geordnet, dass die stärkeren Balken dieses Netzes an die Gefässrinnen herantreten und auf diese Weise die daselbst liegenden Gefässe umgreifen. An jüngeren und entsprechend behandelten Knochen findet sich dann noch unter dieser Periostlage, die äussere unfertige Knochenlamelle und das Gefässbündel umgebend die bekannte Schichte der sogenannten Osteoblasten.

Diese in unmittelbarer Nähe an die Oberfläche des Knochens sich anschliessenden Gefässe besorgen die aus dem Periost ins Innere der compacten Substanz, in die Haver'schen Canäle eindringenden Zweige. Es sind also nicht vereinzelter Arterien oder Venen, welche in ein Canälehen eintreten, sondern immer mindestens zwei Gefässe. Es ist mir einigemal gelungen, namentlich in den oberflächlichen Schichten der Tibia die zwei Gefässe mit verschiedenen Farbstoffen zu füllen, und so darzuthun, dass das eine Gefässchen der Ausläufer einer Vene, das andere einer Arterie ist. An Längs- und Querlamellen gut injicirter Knochen<sup>1</sup> lässt sich die der Anordnung der Haver'schen Canälehen entsprechende Netzformation leicht überblicken. Tangential abgenommene Längslamellen wiederholen in Betreff der Gefässanordnung das Bild der tiefen Gefässschichte des Periost.

An feinen Querschnitten überzeugt man sich alsbald, dass nur wenige Canälehen so enge sind, um nur ein Gefässchen zu fassen, zumeist sind zwei oder drei, in den grösseren aber auch mehr enthalten. Sind zwei beisammen, so ist stets das eine grösser, das andere kleiner; das grössere ist die Vene. Fig. 26.

Im Ganzen gewinnt man alsbald den Eindruck, dass in der compacten Substanz, nämlich in den Haver'schen Canälehen von mässigem Caliber nur wenige so feine Gefässe enthalten sind, die man als eigentliche Capillaren bezeichnen kann. Es gibt aber grössere Haver'sche Canäle, wie z. B. in der Tibia, nahe dem unteren Ende derselben, welche in mehr gerundeten Maschen zusammentreten und die man, wie mir scheint ganz allgemein für sinusartige Räume zur Aufnahme von Venenwurzeln grösseren Calibers ansieht. Diese finde ich von einem aus kleinen Gefässröhren bestehenden Maschenwerke durchzogen, wovon gewiss ein grosser Theil derselben unter die Capillaren zu zählen ist. Fig. 18.

Dass die Gefässe der compacten Substanz sowohl mit den periostalen als auch mit den Markgefässen communiciren, ist bekannt und lässt sich leicht an nur halbwegs gelungenen Injectionspräparaten darthun. Alle Gefässe zusammen bilden somit ein Ganzes, eine Formation, welche nach der Periostseite durch zahllose kleine und die besprochenen grösseren Stämme mit den allgemeinen Kreislaufsorganen zusammenhängt.

Anlangend die histologischen Verhältnisse habe ich vorerst über eine das compacte Knochengewebe betreffende Beobachtung zu berichten.

Als ich das Mittelstück der Tibia eines Mannes in einer mehr concentrirten Salzsäure und durch mehrere Tage hindurch maceriren liess, lockerte sich das Gewebe der Art, dass die, jeden einzelnen Haver'schen Canal einschliessenden Lamellengruppen auseinander wichen und sich an einander wie gröbere Schuppenbündel ordneten. Jede einzelne dieser Lamellengruppen liess sich isoliren und liess in ihrem Inneren noch den

<sup>1</sup> Nach meiner Erfahrung dringt der Carminleim viel leichter ein, ergibt also gelungenere Injectionspräparate als das Berlinerblau; nur hat der Carminleim die Untugend, dass er, nachdem das Präparat aus der Salzsäure gehoben ist, nur zu leicht in Weingeist diffundirt. Um dies zu verhindern, legte ich die entkalkten und ausgewässerten Knochenstücke in concentrirte Kochsalzlösung, worin sich die Injectionspräparate durch lange Zeit intact erhalten.



Haver'schen Canal als einen glashellen, bandartigen Streifen erkennen, welcher nicht selten aus dem Ende ganz nackt hervortrat. Er liess sich sogar durch Druck auf das Deckgläschen aus den durch die Säure hinreichend macerirten Lamellen isolirt darstellen. Nachdem die Säure noch länger auf den Knochen eingewirkt und die Lamellen zu einer krümmlichen Masse zerlegt hatte, konnte ich diese glashellen, den Haver'schen Canälchen entsprechenden Bänder als feine verzweigte, mitunter sogar netzförmig zusammenhängende Fäden herausziehen. Fig. 27. In dem Detritus der Lamellen waren die isolirten Knochenkörperchen ohne weiteres zu erkennen.

Da das Object injicirt war und in diesen Fäden die Gefässe enthalten waren, so konnte ich nicht mehr daran zweifeln, dass sich die Haver'schen Canälchen gleich wie die Knochenkörperchen in ihrer vollen Gänze isoliren lassen, und zwar auf Grund einer eigenen Begrenzungsmembran, welche dem Einflusse der Säure länger widersteht, als all' die um jedes Canälchen geschichteten Knochenlamellen. Eine theilweise Isolirung der Haver'schen Canälchen ist auch schon Neumann gelungen<sup>1</sup>.

Diese Grenzmembran ist ganz hyalin, so steif, dass man leicht das klaffende Lumen des Röhrchens daran beobachten kann, und so spröde, dass an den Abgangsstellen abgerissener Zweige stets scharf umschriebene ovale oder runde Öffnungen sich zeigen, manchmal mit aufgekräpften Rändern, zwischen welchen hindurch der Inhalt nackt zu Tage tritt. Fig. 28. Bei starken Vergrösserungen und scharfer Einstellung an die Oberfläche kann man an den durch Maceration ganz isolirten Canälchen in ihrer Begrenzungsmembran auch noch unregelmässig vertheilte, äusserst feine Pünktchen, selten Lücken wahrnehmen.

Betrachtet man dagegen die aus den weniger macerirten Knochentheilen herausgezogenen oder durch Druck von dem Detritus der Lamellen befreiten Canälchen, namentlich die grösseren, so wird man ihre Oberfläche mit zahlreichen Härchen besetzt finden, welche in verschiedener Weise geordnet sind, bald in Reihen, bald garbenförmig. Fig. 30.

Ich glaube nicht zu irren, wenn ich die Ansicht ausspreche, dass Pünktchen sowohl als Härchen auf die Canälchen der Knochenhöhlen zu beziehen sein werden, um so sicherer, als ich mitunter auch einzelne Knochenkörperchen noch im Zusammenhange mit der Röhrenwand angetroffen habe. Da wie früher schon Fürstenberg<sup>2</sup>, später Neumann<sup>3</sup> die Ansicht aussprachen, dass sich nicht eigentlich die Knochenzellen, sondern die bereits verkalkten Wandungen der Knochenhöhlen und der feinen Canälchen in der Säure erhalten, worauf die Isolirbarkeit der Knochenkörperchen beruht, so lässt sich wohl die Ansicht begründen, dass das ganze, das Knochengewebe durchziehende Röhrensystem von einer dem Einflusse der Säure widerstehenden Membran begrenzt ist. In welche Beziehung dieselbe zu der Knochensubstanz sich stelle, wie sie überhaupt histologisch zu definiren sei, muss ich vorerst unentschieden lassen.

Da diese Membran ganz durchsichtig ist, so lassen sich durch sie hindurch die darin liegenden Gefässe untersuchen, für die sie eine Scheide abgibt; mitunter aber hat man Gelegenheit, die Gefässe auch ohne alle Hülle zu untersuchen, wenn Stücke derselben an der Bruchstelle der Röhre herausragen.

Die grösseren Gefässe in den Canälchen, welche ich alle für Venen halten möchte, sind äusserst dünnwandig und nur mit vereinzelten spindelförmigen Kernen versehen, die bald randständig, bald auf die Fläche hingelegt sich darstellen. Die feineren Gefässe, deren Durchmesser um das Zwei bis Vierfache kleiner ist, als des grösseren Gefässes, durchziehen oft auf weite Strecke die Canälchen, treten mit den feineren Gefässchen der Asteanäle zusammen, ohne dass schon eine Verbindung mit dem grösseren Gefässe sich nachweisen liesse, indess diese wieder mit anderen grösseren in benachbarten Canälen durch feinere, innerhalb eines Quercanals liegende sich verbinden können. Die feineren Gefässe zeigen gleichfalls nur Kerne, welche aber mitunter so dicht liegen, dass man die Röhrchen offenbar nicht als feine Capillaren bezeichnen und an das Vorhandensein einer zweiten Gefässhülle denken kann; für eine solche Mittelstellung spricht auch ihr Durch-

<sup>1</sup> Henle - Meisser's Bericht pro 1863, pag. 76.

<sup>2</sup> Müller's Archiv 1863, pag. 1 u. s. w.

<sup>3</sup> L. c.

messer, der immer noch 0.0175 bis 0.02 Mm. beträgt; an einem dieser feinen Gefässchen, das offenbar ein Ausläufer einer Arterie war, liessen sich sogar einzelne Querkerne unterscheiden. Fig. 29. Überhaupt habe ich kein Gefässchen in den Haver'schen Canälen mässigen Kalibers gefunden, dessen Durchmesser weniger als 0.0125 Mm. betragen hätte.

Berücksichtigt man den Abstand der Haver'schen Canäle, nämlich die Menge der zwischen zwei Gefässzüge aufgenommenen Gewebsmasse, und dann das Kaliber der in der compacten Substanz enthaltenen Gefässe, so dürfte sich wohl im Vergleich mit anderen Geweben ergeben, dass die Knochensubstanz zu denjenigen Geweben zu rechnen sei, welche an und für sich schon mit wenigen Gefässen ausgestattet sind und dass sich auch das Blut in denselben in viel weniger feine Strömchen vertheilt; ersteres eine Eigenthümlichkeit, welche das Knochengewebe als solches an das fibröse Gewebe reiht.

Wenn man eine grössere Reihe von Querschnitten der compacten Substanz von Röhrenknochen — die man zu diesem Zwecke allerdings etwas dicker anfertigen muss — durchsieht, so wird man oft genug Gelegenheit haben, Gefässe zu finden, sowohl arterielle, wie auch venöse, welche als Voreapillaren zu betrachten sind, und die ganze Dicke der Compacta durchsetzen, d. h. man wird finden, dass Arterien mässigen Kalibers, welche aus dem Periostem abgehen, allerdings nach Abgabe von Seitenästen mit den aus dem Marke austretenden arteriellen Gefässen in Verbindung stehen. Darauf hin kann man dann wohl sagen, dass die in den Haver'schen Canälen enthaltenen arteriellen Gefässe zu einem grossen Theile nur eine Folge von Anastomosen vorstellen, ohne dazwischen geschobene Capillaren.

Da sich somit eine grosse Reihe dieser Gefässe geradezu den *Arteriae nutritiae* gleich halten lässt, nur mit dem Unterschiede, dass sie kleiner sind, so erklärt sich daraus leicht die Variabilität der eigentlichen *Arteriae nutritiae*, deren Canäle nicht so selten ganz fehlen, oft genug, auch an grossen Knochen, sehr verengt sind und selbst nach ihrer Lage variiren.

Der Zusammenhang der äusseren und inneren Arterien durch die Compacta ist wohl schon seit Bichat bekannt, doch ist, wie ich glaube, über die Art des Zusammenhanges noch nichts Näheres angegeben.

Wie es in einem Falle von obturirter *Arteria nutritia* Bichat<sup>1</sup> gelungen ist, durch die Beinhautgefässe hindurch das Mark der Tibia zu injiciren, so habe ich von der Nutritia aus die Beinhautgefässe gefüllt, und zwar immer zunächst die Arterien, zum Beweise, dass der Übergang nicht durch Capillaren, sondern durch arterielle Anastomosen vermittelt wurde.

Ich habe früher gesagt, dass die grösseren Haver'schen Canäle, wie solche an den Knochenenden doch immer noch in einer hinreichend dicken compacten Substanz vorkommen, von einem Netze kleinerer Blutgefässe durchzogen werden. Fig. 18. Die Anordnung des Netzes ist eine räumliche, und man überzeugt sich alsbald, dass es nicht der Knochensubstanz als solcher, sondern dem in diesen Canälen eingelagerten Marke angehört, dessen Fettzellen gruppenweise in die Lücken des Netzes aufgenommen sind. Die einzelnen Gefässchen sind mit deutlichen, hin und wieder mit Kernen belegten Wandungen versehen, und gehören zu den feinsten, welche sich im Knochengewebe finden; manche von ihnen zeigten einen Durchmesser von nur 0.005 Mm.

Die grösseren Gefässe, in welchen diese feinen zusammentreten, und die sich hauptsächlich in den Knotenpunkten des Haver'schen Canalnetzes finden, deute ich als Venen, theils ihres Aussehens wegen, theils auch weil die Injection derselben durch die *Vena nutritia tibiae* vorgenommen wurde.

Ausser den Gefässen und dem Marke befinden sich in diesen grösseren Canälen zusammenhängende Züge von fibrillärem, reichlich mit Kernen ausgestattetem Bindegewebe, welches, wie stärkere Vergrösserungen zeigen, hauptsächlich als ein Wandbeleg sich ordnet. Feinere bindegewebige Züge umgeben aber auch in den marklosen Haver'schen Canälen kleineren Kalibers die darin enthaltenen Gefässchen.

<sup>1</sup> Anatomie generale. Paris Ann. X. Tom III, pag. 37.



Die Präparate, auf Grund welcher ich diese Gefässnetze beschrieben habe, sind dem unteren Drittel der Tibia zunächst ihrer Crista entnommen; dringt man aber an derselben Stelle in die Tiefe oder geht weiter gegen die Epiphyse vor, so sieht man, wie sich die Canäle noch mehr erweitern, und theils mit den Markräumen der Spongiosa communiciren, unten aber auch nach aussen führen. Diese letzteren sind es namentlich, welche in der That Wurzeln der austretenden Venen fassen.

Es ist mir einigemale gelungen, diese Venenwurzeln am unteren und oberen Ende der Tibia mit Harzmasse zu füllen, theils von der Nutritia aus, theils durch Anbohrung der Spongiosa (an entfernterer Stelle), und mich an corrodirtten Präparaten zu überzeugen, dass sie sich schon unter den äusseren Lamellen der compacten Substanz fast sternförmig gruppiren, um in den austretenden Venen sich zu vereinigen; manche von ihnen schliessen sich bald einzeln, bald aber auch, doch seltener, schon paarweise an die daselbst eintretenden Arterien an.

### C. Die Markgefässe.

Aus den bisher gemachten Angaben geht hervor, dass in das Innere der Röhrenknochen nicht blos die eigentlich sogenannten *Arteriae nutritiae* eingehen, sondern auch grössere Arterien an den Knochenenden, und kleinere durch die Compacta, und dass alle diese Arterien mit einander in Verbindung stehen. Gleiches gilt auch von den Venen. Wird die unter allen Nutritiae am leichtesten zugängliche *Arteria nutritia tibiae* isolirt, mit leicht flüssigen Farbstoffen injicirt: so füllen sich oben wie unten, am leichtesten aber in der Mitte des Knochens auch die äusseren Arterien, gleichwie es auch gelingt von der *Vena nutritia* aus periostale Venen zu füllen und den Injectionsstoff selbst in Stämme der Extremität zu treiben.

Direete, durch Bohrlöcher in die Spongiosa der Condylen des Femurs vorgenommene Injectionen mit wässerigem Berlinerblau füllten sogar fast das ganze Capillarsystem des Periosts bis zur Mitte der Röhre des Femur und vollends die Synovialis des Kniegelenkes.

Über Verlauf und Vertheilung der *Arteria nutritia tibiae* liegen mehrfache Mittheilungen vor: die älteste von Haller<sup>1</sup>, die neueste von Hyrtl<sup>2</sup>. Nach der Angabe Haller's soll sie noch im Canal einen in die Spongiosa eintretenden rücklaufenden Ast abgeben; nach Hyrtl geht sie ungetheilt hindurch und beugt erst beim Beginn des unteren Drittels des Knochens, wo sie ins Mark eingetreten, nach oben um, und zerfällt darauf in drei aufsteigende feine Äste, an der Umbengungsstelle aber gehen noch zwei Zweige nach dem unteren Ende der Tibia herab. Im Canale selbst hat Hyrtl keine Seitenöffnungen wahrgenommen.

Diese Angabe Hyrtl's ist in Betreff der geschilderten Hauptvertheilung und für die Mehrzahl der Fälle ganz richtig, nur möchte ich die Umbengungsstelle des Stammes, welche ich stets S-förmig gekrümmt antraf, etwas näher an die Mündung des Canales verlegen, darf aber auch die Angabe Haller's nicht ganz bestreiten, da ich bei einem zweijährigen Kinde von der Arterie gleich bei ihrem Eintritte in den Canal einen ansehnlichen Ast abgeben sah, der in dem aus dem Canale herausgezogenen Gefässbündel abgerissen endigte, wahrscheinlich also in den Markraum durch eine Seitenöffnung des Canals eintrat (Fig. 7).

In Betreff der feineren Vertheilung der Arterie haben mir meine Untersuchungen Folgendes ergeben (Fig. 8 und 9):

Ich sehe, dass die aufsteigenden Äste, welche aber nicht bis über das obere Ende des Ernährungscanals hinausreichen, nachdem sie sich in das Mark eingesenkt und von einander entfernt haben, unter einander mehrfach anastomosiren, durch Ästchen, welche manchmal schlangenförmig gebogen, einige sogar verknäult sind, und ein grossmaschiges, das Mark nach allen Richtungen durchziehendes Netzwerk darstellen. Ich sehe diese Anastomosen auch an den absteigenden Zweigen, da sie aber näher beisammen liegen, so kommen da nur lange, sehr spitzwinkelige Maschenräume zu Stande. Diese absteigenden Gefässe schliessen sich

<sup>1</sup> Icon. anatom. Fasc. V, p. 35.

<sup>2</sup> Normale und abnorme Verhältnisse der Schlagadern des Unterschenkels, 1864. XIII. Band der Wiener Akademie. Denkschriften.

anfangs näher an die muskelfreie Tibiafläche an, und dringen dann mit zahlreichen nach unten gerichteten Zweigen in das Centrum des Markes ein. Am oberen wie auch am unteren Ende des Knochens anastomosirt die ganze Astfolge mit den Zweigen der daselbst eintretenden Arterien.

Erst von diesen aus den Anastomosen hervorgegangenen Netzen gehen die feineren Zweige ab, welche als eigentliche Endzweige für das Mark zu betrachten sind, von einem so kleinen Kaliber, dass sie mit einer scharfen Loupe gerade noch erreicht werden können.

Ausser dieser dem Marke zugewiesenen Verästlung stammen aus der *Arteria nutritia tibiae* nicht wenige Zweige, welche in die Corticalis eintreten (Fig. 8). Ich konnte in einem Falle an einer einzigen, nach der Länge gerichteten Durchschnittsfläche drei in geringen Abständen von den inneren Ästen der Nutritia abgehende Zweige auffinden, welche in die Canäle der Compacta eintraten, und konnte deren Ramification ganz leicht mit der Loupe überblicken, auch einen der Zweige bis nahe an die Periostschichte der inneren Tibiafläche verfolgen.

Ausser dieser an und für sich schon reichen und gewissermassen typischen Astfolge gibt es noch eine zweite, welche aus sehr feinen Gefässchen besteht und sich eng an die Arterie anschliesst.

An gut injicirten Präparaten der *Arteria nutritia tibiae*, besonders deutlich aber, wenn das Gefäss mit körnigem, gelb oder zinnoberrothem Pigment gefüllt war, sah ich einen ganzen Pinsel feiner Ästchen, welche von der Arterie gerade da abzugehen schienen, wo diese den Markraum betrat (Fig. 9). Die ganze Suite dieser Zweigchen vertheilte sich weiter in absteigender Richtung, bald gegen die Röhrenwand hin, bald ins Mark hinein. An der inneren Öffnung des *Canalis nutritius* lagen sie dicht an dem da anlangenden Gefäss- und Nervenbündel. Sie vertheilten sich dichotomisch, traten aber bald wieder zusammen, so dass die ganze Formation ein Netz mit langen, gestreckten engen Maschen darstellt. Mit Sicherheit konnte ich nachweisen, dass mindestens ein Theil jener Arterien, welche vom Markraume aus in die Haver'schen Canäle der Compacta eintraten, von diesem Netze abgingen.

Bei genauerer Untersuchung zeigt sich, dass dieses Netz nur die Fortsetzung ist eines ebenso zarten Netzes, welches schon im *Canalis nutritius* die Arterie, die Vena und die Nervenstämmchen umspinnt, auch das Innere des ganzen Bündels durchzieht, und sich aus kurzen, fast quer von der Arterie abgehenden Ästchen, welche wieder longitudinal zerfallen, sich bildet (Fig. 7 a). Es weist dieses Verhalten darauf hin, dass dieses ganze Netz zum Theil als *Vasa vasorum et nervorum* aufzufassen ist. Seine Bedeutung scheint mir aber wesentlich darin zu liegen, dass es die Muttergefässe enthält von jenen feinen Zweigen, welche in die Compacta abgegeben werden, aber nicht allein von jenem Abschnitt desselben, der sich bereits im Markraum befindet, sondern auch von jenem Theile, der noch in dem *Canalis nutritius* eingeschlossen ist.

Wenn man an einem möglichst gut arteriell injicirten Präparate den *Canalis nutritius* aufstemmt und den Gefässstrang herausholt, so wird man leicht feine Fäden nachweisen können, welche in die den Canal begrenzende compacte Substanz eintreten, und wenigstens in einzelnen dieser Fäden feine Gefässe wahrnehmen. Legt man darauf das ganze Bündel unter das Mikroskop, so wird man ausser den, an den Gefäss- und Nervenstrang sich anschliessenden feinen Gefässchen auch noch eine Menge austretender wahrnehmen; diese sind es, welche in die Haver'schen Canäle der Umgebung eintreten.

Es heisst zwar, dass der Canal keine Seitenöffnungen besitze, stemmt man aber den Canal eines macerirten Knochens auf, so wird man schon mit der Loupe zahlreiche kleine Öffnungen wahrnehmen, wie solche auch an der Oberfläche des Knochens vorkommen. Gegen das untere Ende des Canales aber wird man auch ein oder zwei grössere Öffnungen finden, deren Kaliber aber in der Regel nicht einem arteriellen, sondern einem venösen Zweige angepasst ist. Man kann sich von dem Vorhandensein dieser Communication der umliegenden Haver'schen Canäle mit dem *Canalis nutritius* auch an einer Suite von Querschnitten des Canales überzeugen. Anzahl und Vertheilung der grösseren Nebenöffnungen variirt, aber die Porosität der Canalwände ist ein constanter Befund.

Wenn daher auch die *Arteria nutritia* im Canal keine grösseren Äste in die Markhöhle abgeben sollte, so kann man doch nicht sagen, dass sie ungetheilt bis in die Markhöhle fortziehe; sie gibt darin in der That



Zweige ab, in der Regel wohl nur kleinere, nämlich die Muttergefässe des beschriebenen Plexus und daraus die feinen Abzweigungen in die Haver'schen Canäle.

Die Darstellung der Markvenen gehört unter die schwierigeren Aufgaben der anatomischen Technik. Es gelingt zwar mitunter sehr leicht, von einem Bohrloche aus auch einen Theil der inneren Venen mit Berlinerblau zu füllen, doch hängt das Gelingen immer nur vom Zufall ab, denn nur zu oft dringt der Farbstoff nicht in die Venencanäle ein, und bildet, indem er sich in den Markräumen vertheilt, namhafte Extravasate, zudem sind auch die mit löslichem Berlinerblau gewonnenen, wenn auch gelungenen Präparate nur dazu geeignet, die feinere Vertheilung der Venen kennen zu lernen, nicht aber die Stämmchen. Injectionen mit Harzmassen füllen bei glücklicher Wahl der Bohröffnungen zwar die Stämme, doch wird diese Anordnung derselben im Innern wieder unkenntlich gemacht durch die Extravasate, welche die Markräume nur zu gern füllen, dies auch der Grund, warum die Darstellung der inneren Venen durch Corrosion, wie ich anfangs gehofft, zum grössten Theile misslangen.

Man ist also an die directe Injection grösserer Markvenen angewiesen. Die am leichtesten ausführbare ist wieder die der *Vena nutritia tibiae*, welche ich sowohl mit löslichen als auch körnigen Farbstoffen, auch mit Harzmassen und zugleich mit jenen der Arterie vorgenommen habe. Zweierlei ist dabei zu beobachten.

Man muss vorerst die Klappen zerstören, welche an diesen Venen gleich beim Austritte derselben aus dem Canale vorkommen und nur im höheren Alter insufficient gefunden werden. Dann dürfen die Harzmassen nicht strengflüssig sein und müssen unter einem nur geringen Drucke injicirt werden, weil sonst wieder nur zu leicht Extravasate zu Stande kommen.

Im Eingange des Canals liegen zwei Venen, eine feinere und eine stärkere; diese letztere, welche, von der Arterie bedeckt, in der Rinne lagert, welche vom Canale weg noch eine Strecke nach oben fortläuft, habe ich zu den isolirten Injectionen verwendet; sie ist beim Erwachsenen in der Regel weit genug, um auch eine Canüle grösseren Kalibers zu fassen. Es füllte sich natürlich gleich auch die zweite kleinere Vene und nebst dieser noch im Canal eine Reihe feiner, unter einander anastomosirender Zweigchen, welche offenbar das Analogon sind des vorhin besprochenen feinen arteriellen Geflechts.

Der Canal enthält somit nebst der in der Regel einfachen Arterie eine grössere Vene und eine kleinere, welche mit der grösseren anastomosirt, sich aber, wie mir scheint, nur aus den feineren Venen des Geflechts sammelt. Ausserdem kommen auch Nerven aus markhaltigen Fasern bestehend vor, welche ebenfalls schon im Canal in Zweige zerfallen. Auch Fettzellen finden sich, welche sich um die Peripherie des ganzen Bündels lagern. Den besten Aufschluss über den reichen Inhalt des *Canalis nutritius* ergibt eine systematisch fortgeführte Folge von Querschnitten. Das ganze ist, wie gesagt, von einem zarten arteriellen und venösen Plexus durchzogen, dessen feinste Gefässe, wie ich deutlich gesehen, auch in die Nerven eindringen, gewiss aber auch zum Theile in dem fetthaltigen Bindegewebe sich vertheilen.

Bemerkenswerth scheint mir noch ein zartes Venengeflecht zu sein, welches ich nach einer ganz gelungenen Venenjection dicht an der Wand einiger noch grösserer arterieller Stämmchen auflagernd angetroffen habe; es bildete enge, rundliche Maschen (Fig. 15) und dürfte wohl ein Abkömmling des bereits beschriebenen Netzes sein.

Es dürfte daher nicht ungerechtfertigt sein, diesen Geflechten, insbesondere den venösen, noch eine weitere Bestimmung zuzumuthen. Der ganze Gefässecomplex ist in feste, unnachgiebige Wände eingeschlossen; ein Verschieben der wenn auch noch so nachgiebigen Marksubstanz ist daher nur möglich auf Grund des wechselnden Inhalts der Venen. Da nun auch die schon ins Mark eingetretenen Arterien, selbst die mittleren Kalibers, noch mit allen Häuten ausgestattet sind, sich daher selbst bis zum vollen Anschluss der Wände contrahiren können, somit ihr Volum in verhältnissmässig grösseren Differenzen verändern, so dürfte wohl den benachbarten Venen, deren Stämmchen ja so zahlreiche und grosse Emissare besitzen, aber auch dem die Arterie umspinnenden Plexus die Aufgabe zufallen, diese rasch wechselnden Differenzen eben so rasch wieder zu begleichen.

Die Vertheilung der *Vena nutritia tibiae* (Fig. 10) entspricht nicht ganz jener der Arterie, so genau sich im Canal die Stämme aneinander anschliessen und so oft sie sich in ihren Ästen auch treffen mögen.

Verfolgt man die Vene peripheriewärts, so sieht man, dass sie eine ganze Strecke weit im Markcanal verläuft, ohne andere als bloss vereinzelte Zweige aufzunehmen; erst, wenn sie an das untere Drittel des Knochens gekommen ist, tritt sie in etwa fünf bis sechs Stämmchen auseinander, welche anfangs schief, später ganz in der Richtung des Knochens absteigend in die Spongiosa des unteren Endstückes eindringen, nachdem sie während ihres Verlaufes durch wiederholte spitzwinkelig abgehende anastomosische Zweigchen zu einem gröbere Längsmaschen bildenden Netze zusammengetreten sind. Bis dahin hielt sich der Hauptstamm näher an der hinteren Wand des Knochens, von da an aber nähern sich die Äste der inneren muskelfreien Fläche des Knochens, verlaufen also immer an oder doch in der Nähe der Oberfläche des Markkörpers.

In diese Stämmchen treten wieder längsgerichtete, noch kleinere Äste, welche zum Theil aus der Spongiosa des unteren Knochenendes zum Theil aus dem unteren Ende des Markkörpers hervorgehen. Es geht also das Geäste der *Vena nutritia* nur aus der unteren Hälfte des Knochens hervor, also aus jenem Theile, in welchem sich der *Ramus descendens* der Arterie ramificirt. Ein Stammast, welcher dem *Ramus ascendens* der Arterie entsprechen würde, existirt als solcher nicht. Dieser wird durch vereinzelte Seitenäste vertreten, deren einen, den grössten, der Stamm kurz vor seinem Eintritte in den *Canalis nutritius* aufnimmt, und noch einen oder zwei, selbst drei, welche durch Seitenöffnungen des Canals zur Hauptvene gelangen; der oberste ist der kleinste.

In einem Falle, wo im Ganzen nur zwei solche Seitenäste vorhanden waren, waren beide Äste grösser, und es zerfiel der unterste, der grösste, der noch innerhalb der Markröhre in die Hauptvene eingehende, alsbald in stärkere, aber kurze Zweige, die gleich wieder in feinere Zweige sich theilten und sich so in kleinerem Raume zerstreuten.

Der nächst oberhalb befindliche, dessen Stämmchen schon die Wand des *Canalis nutritius* durchbohrte, war kleiner; auch er zerfiel alsbald wieder in kleinere Markzweigen, deren eines aber eine kurze Strecke an der Oberfläche des Markes sich hielt, dann aber wieder, wie die übrigen Zweige, rasch in feinere Zweigchen sich auflöste. (Siehe das Schema Fig. 10.)

Meistens traf ich drei, wovon der oberste, welcher etwa unter der Mitte des Ernährungscanales die Wand durchbrach, und weil er der kleinste war, den Typus der feinen Venenramificationen am deutlichsten versinnlichte.

Es haftet nämlich an den in den Ernährungscanal eintretenden Stämmchen eine ganze Quaste von Zweigen, welche dichotomisch sich immer weiter vertheilen, und immer tiefer ins Mark eindringen. Von der Oberfläche aus betrachtet, stellt daher eine solche Quaste einen Gefässstern vor, aus dessen Mitte das Stämmchen hervorgeht (Fig. 12). Hält sich ein grösserer Zweig des Stämmchens eine Strecke weit an der Oberfläche, so ist die Abzweigung nicht mehr central, sondern linear geordnet, und macht, von der Oberfläche aus betrachtet, den Eindruck einer bilateralen Anordnung (Fig. 11).

Die lineare Anordnung solcher Seitenzweige findet sich selbstverständlich auch in der unteren Hälfte des Knochens, doch aber allseitig im ganzen Umfang des Gefässes, so dass der Querschnitt derselben wieder die Sternform bekommt.

Verschafft man sich durch Zusammenstellung aus einer Anzahl von Präparaten — es gelingt aber bei glücklicher Eröffnung der Markhöhle auch an einem einzigen — eine Übersicht über die ganze Venenvertheilung (Fig. 10), so wird man finden, dass dieselbe in der oberen Hälfte des Knochens, so weit noch der Markkörper reicht, grösstentheils nach dem Durchmesser des Knochens geordnet ist; in der unteren Hälfte aber nach der Länge der Markröhre, in der Nähe der Einnündung des Ernährungscanales übergangsweise schief. Es liegt diese Verschiedenheit in der Placirung der Muttergefässe, die ja oben von der hinteren Wand der Knochenröhre, nämlich von dem Ernährungscanal, ausgehen, und gegen die innere Knochenfläche zielen, in der unteren Hälfte aber, wo sie zum Theil schon mitten ins Mark eingedrungen sind, senkrecht absteigen.



Die Querschnitte des Knochens unterscheiden sich daher auch bezüglich der Venenvertheilung von einander: oben strahlen die Zweigchen grösstentheils von der Wand weg, wobei immerhin auch manche Zweige quer getroffen sein können; unten aber, am Ende des Markkörpers, sind zahlreichere querdurchschnittene Gefässe mittlerer Grösse zu sehen, um welche sich die feineren Zweige sternartig gruppiren (Fig. 14).

Ausser der soeben beschriebenen, aus dem Markkörper anstretenden Astfolge gibt es noch eine zweite, nämlich die der compacten Substanz der Diaphyse. Allenthalben sieht man nämlich bald von den Stämmchen, bald von den Zweigen in die Knochenwände Gefässe eintreten, beziehungsweise aus denselben hervorkommen, woraus sich der constante Übergang der Farbstoffe aus der Nutritia in die oberflächlichen Venen erklärt. Der Übergang geschieht zuerst an der muskelfreien Fläche des Schienbeins und am unteren Ende, was sich daraus erklärt, dass die grösseren Venen dieser Fläche sich anschliessen und der Injectionsdruck gerade dahin gerichtet ist. Dieser Übergang geschieht auch nur zu leicht, und vereitelt dann die Vollständigkeit der Füllung der inneren Gefässe; wird aber der äussere Abfluss gehemmt durch Druck auf den Knochen oder durch Unterbindung der Saphena, so breitet sich die Injectionsflüssigkeit auch äusserlich auf weitere Strecken aus, dann gelingt es auch, die Venenzweige der Spongiosa an beiden Enden des Knochens, aber wieder leichter am unteren Ende, zu füllen; zum Beweise, dass eine durchgreifende Anastomose sämmtlicher Venen eines Knochens besteht.

Es ist mir dreimal begegnet, und zwar mit körnig gefärbten Injectionsstoffen, dass sich ausser den beschriebenen Venencanälen auch noch ein an der inneren Fläche der muskelfreien Knochenwand der Tibia herablaufendes, sehr reguläres grobes Netz zeigte; es lag bald frei, bald in jener grösstentheils aus Blättchen zusammengesetzten Spongiosa, welche die ganze bezeichnete Knochenwand nach innen, auch dem grossen Markraum entlang, in dünner Schichte bekleidet. Einmal begleiteten dieses Netz entschiedene grössere Extravasate, zweimal aber doch nicht, so dass ich schon im Zweifel war, ob dieses Netz nicht auch ein wirkliches Venennetz wäre, kam aber schliesslich zu der Überzeugung, dass die Bildung doch auf Extravasation beruhe, trotz der Regelmässigkeit in der Anordnung, welche nur durch die Vertheilung der Blättchen bedingt war.

Ich muss hier auch noch darauf aufmerksam machen, dass sich nach sonst ganz misslungenen Injectionen durch Anbohrung manchmal in der Compacta ein reguläres Netz findet, welches um so leichter für ein Gefässnetz genommen werden könnte, weil es den Vertheilungen der Haver'schen Canäle folgt; und dennoch ist auch dieses Netz nur ein in die Haver'schen Canäle ergossenes Extravasat, das sich nach der Räumlichkeit dieser Canäle so regelmässig begrenzt hat.

In die Spongiosa der Knochenenden gelangen von der *Vena nutritia* nur die äussersten Ansläufer, die sich aber mit den Wurzeln der aus den Endstücken austretenden Stämmchen in Verbindung setzen. Von diesen Anastomosen abgesehen, könnte also das innere Venensystem als ein Ganzes betrachtet werden.

Anlangend die Anordnung der Gefässe in dieser Spongiosa ist hervorzuheben, dass sie sich der Architektur möglichst anschliessen. Beide Gefässarten sind daher an den Enden nach der Länge des Knochens angeordnet; nur an der Stelle, wo ehemals die Epiphyseinfuge bestanden, und wo die Längsbalken durch einen dicken Querbalken wie unterbrochen erscheinen, trifft man Arterien mit daran angeschlossenen einfachen Venenstämmchen, welche quer das Trabeculargewebe durchsetzen und mit auf- und absteigenden Zweigen in Verbindung treten.

Bemerkenswerth ist noch das Verhältniss der Venen zu den Arterien. Da es im Ganzen viel mehr venöse als arterielle Äste gibt, zudem die Ausgangspunkte für die Vertheilung zumeist andere sind, so können beide nicht durchaus aneinander angeschlossen verlaufen; sie treffen sich allerdings oft genug, aber in verschiedener Weise. Bald gehen die Arterien im Anschlusse an Venen, bald durchsetzen sie blos das venöse Geäst. Daher kommt es auch, dass man Arterien trifft, die eigentlich mit keiner Vene gleichlaufen, ein anderes Mal wieder findet man eine Arterie mitten zwischen zwei Venen eingeschoben. Dies letztere Verhältniss findet sich, wie mir scheint, meistens an der Oberfläche des Markes, und entsteht, wenn grössere

Venenzweige sich theilen, aber bald darauf wieder vereinigen; da ist dann die Arterie in die Masche der Vene eingeschoben.

Ein genauerer Anschluss der Venen an die Arterie findet sich häufiger nur in der unteren Hälfte des Knochens, weil da beiderlei Gefässe, mindestens die grösseren an dem Ende des Ernährungscanals einen gemeinsamen Ausgangspunkt haben. Hier aber ist die erste arterielle Verzweigung geradezu in ein engmaschiges Strickwerk von grösseren und kleineren Venenzweigen eingelagert, welches seinerseits wieder von den beschriebenen zarten arteriellen Geflechten durchzogen ist.

Seit Neumann<sup>1</sup> und unabhängig von ihm Bizzozero<sup>2</sup> Übergänge in den Formen der lymphoiden Markzellen zu farbigen Blutkörperchen beobachtet hatten, ist den Capillaren des Markes grössere Aufmerksamkeit zugewendet worden. Neumann zunächst sprach sich dahin aus, dass die Capillaren auffallend weit sind, ein dichtes Netz bilden und seitliche blinde Sprossen tragen, dass aber die arteriellen Übergangsgefässe ein viel schmäleres Lumen haben, daher mit trichterförmigen Erweiterungen in dieses Capillarnetz übergehen müssen.

Als nun Hoyer<sup>3</sup> auf Grund dieser Mittheilung Neumann's die Gefässe des Markes untersuchte, gelang es ihm nicht, feste Grenzen zwischen den die rothen Blutkörperchen führenden Canälen und den umgebenden Markzellen nachzuweisen. Dieser Umstand veranlasste ihn zu der Annahme, dass das Blut des Markes innerhalb wandungsloser Bahnen sich bewege. Eine Bestätigung dieser Annahme fand er auch in dem Umstande, dass es ihm gelungen war, die durch ein feines Bohrloch eingespritzte Masse in die — wie er meint — wandungslosen canalartigen Räume einzubringen; doch hat sich bereits Bizzozero<sup>1</sup> gegen die Beweiskraft dieses Injectionsergebnisses ausgesprochen; er glaubt vielmehr geradezu für das Vorhandensein von Begrenzungsmembranen eintreten zu sollen, welche allerdings hinreichend zart und fein sind, doch aber eine scharfe Abgrenzung der Blutkörperchensäule von den umgebenden Markzellen und selbst Kerne erkennen lassen.

Noch entschiedener trat für das Vorhandensein einer Begrenzungsmembran Rustizky<sup>4</sup> ein, dem es bei Fröschen gelungen war, mittelst Silberlösung an den allerdings zarten, sonst kaum bemerkbaren Wänden der grossen (venösen) Capillaren die bekannten Endothelzeichnungen hervorzurufen, und an den feineren arteriellen Capillen auch deutliche Conturen von spindelförmigen Bindegewebszellen, an den Stämmchen der Arterien die deutlich hervortretenden Kerne von Muskelfasern nachzuweisen.

Anlangend die Vertheilung der grossen Capillaren gibt Bizzozero<sup>5</sup> die Abbildung eines venösen Netzes aus dem Markquerschnitte einer Kaninchentibia, welches sich in einer central neben der Arterie gelegenen Vene concentrirt und peripheriwärts mit auf- und absteigenden Schlingen begrenzt. Dies bestätigt auch Rustizky nach seinen Befunden beim Frosche.

Die Untersuchung der Capillaren im Mark nach Vertheilung und Beziehung derselben zum Gewebe kann nur an Durchschnitten vorgenommen werden, welche als Längs- und Querschnitte durch den Markkörper der Röhre, wie auch durch die Spongiosa der Endstücke gezogen sind.

Insolange das Mark kein Fett aufgenommen hat — es scheint dies fast durch die ganzen zwei ersten Lebensjahre der Fall zu sein — so stellt das Mark sowohl in der Röhre, als auch in der Spongiosa grössere und kleinere compacte Körper vor, wovon jedes Segment gänzlich aus den bekannten Markzellen zu bestehen scheint; nur an den feinen Ausgängen der Schnittchen sind auch Elemente des fibrillären Gerüsts mitunter ganz deutlich wahrnehmbar. Jedes Markklümpehen wird von den Blutgefässen nach allen Richtungen durchzogen, ohne dass sich daraus irgend eine Gliederung in der Textur des Markes herausbilden würde.

<sup>1</sup> Centralblatt f. d. med. Wissensch. 1868, pag. 689; 1869, pag. 230.

<sup>2</sup> Ebendaselbst 1868, pag. 885; dann Sull midollo dell ossa Napoli 1869, pag. 20 u. s. w.

<sup>3</sup> Centralblatt f. d. med. Wissensch. 1869, pag. 244 und 258.

<sup>4</sup> Centralblatt f. d. med. Wissensch. 1872, pag. 562.

<sup>5</sup> L. c. pag. 23.



Wie aber in dem Marke Fettzellen auftreten, wird der noch nicht fetthaltige Theil des Markes in mehr undurchsichtige Balken zerlegt, welche die Fettzellen einzeln oder gruppenweise umgreifen. In den Balken sind dann die Blutgefässe enthalten und die Reste der Markzellen.

Mit der Zunahme des Fettes werden die Balken immer dünner, so dass endlich in dem ausschliesslich so genannten gelben Mark, wenn dasselbe durch Benzin entfettet wird, nur noch das Gefässnetz zurückbleibt, welches durch ein zartes Faserwerk geknüpft wird, in welchem hin und wieder noch ein oder das andere Körperehen, offenbar dem bindegewebigen Gerüste angehörig, wahrnehmbar ist. Dann hat es den Anschein, als ob unmittelbar von den Gefässwänden weg die Äste des bindegewebigen Gerüsts des Markes abgingen, die Gefässe selbst also das Markgerüste darstellen würden.

Diese Verschiedenheiten ergeben sich mit den Jahren, scheinen aber auch von verschiedenen physiologischen und pathologischen Zuständen, von der Fundstätte und von der Thierspecies abzuhängen. Das mittlere Stadium — nämlich breite Balken, deren Contouren sich noch ganz von der Gefässwand abheben — habe ich im Markkörper der Tibiaröhre noch bei einem fünf Jahre alten Kinde angetroffen, sah es auch an demselben Knochen bei der Katze (Fig. 19), während das Mark des Oberschenkelknochens desselben Thieres schon viel mehr Fettzellen enthalten hat. Bei sehr stark abgemagerten Thieren scheint eine gelatinös-schleimige, unter der Präparation mit Säuren körnig werdende Substanz das Fett zu ersetzen.

Sowohl in dem zusammenhängenden Markkörper des Mittelstückes, als auch in den Markklümpchen der Spongiosa an den Endstücken lassen sich alsbald sowohl in Quer-, als Längsschnitten gelungener Injectionspräparate zweierlei Gefässe unterscheiden, dünnere von 0.005 Mm. Durchmesser und dickere von 0.015 Mm.<sup>1</sup> Die dickeren sind in überwiegend grösserer Anzahl vorhanden, als die dünneren, und bilden ein Netz mit verhältnissmässig engen Maschen (Fig. 21 von einem Knaben, Fig. 20 von der Katze). Beide Arten dieser Gefässe stellen den Capillarbezirk vor, und es ist alsbald ersichtlich, dass die feineren dem arteriellen, die gröberen Gefässe dem venösen Gebiete angehören; es lassen sich deshalb auch die feineren Gefässe leicht von den Arterien, die gröberen von den Venen aus füllen. Es gelingt auch, bei fortgesetzter arterieller Injection wenigstens Theile des venösen Netzes darzustellen, doch kommen auch an gelungenen venösen Injectionspräparaten die dünnen Gefässe, aber nur sehr vereinzelt zur Ansicht.

Hieraus ergibt sich, dass das Capillargebiet nicht wie an anderen Orten aus einem System gleich grosser intermediärer Gefässe besteht, welche alsbald einerseits in Arterien, andererseits in Venen übergehen, dass sich vielmehr Verhältnisse wiederholen, wie sie in der Milz vorkommen, worauf auch schon Neumann hingewiesen hat. Es vertritt offenbar das venöse, aus den gröberen Gefässen bestehende Netz das capillare System, während die allerdings schon capillarfeinen arteriellen Zweige immer noch als blosse Zuleitungsröhren fungiren.

Die Anordnung des venösen Netzes in dem zusammenhängenden Markkörper ist auch beim Menschen im Wesentlichen gleich jener, welche Bizzozero vom Kaninchen beschrieben hat. Es gehen nämlich aus dem Netze grössere, dichotomisch sich sammelnde Zweigchen hervor, welche man als Venenwurzeln bezeichnen kann und die schliesslich im Umkreise eines Venenquerschnittes in Sternchen sich vereinigen. Diese Bilder räumlich an einander gereiht, sagen, dass sich die feinen Venenwurzeln um die Venenstämmchen linear ordnen. Damit erklären sich auch jene Venenansichten, wie z. B. in Fig. 13, worin kleinere Venenstämmchen dargestellt sind, an deren Seiten reihenförmig geordnete grössere und kleinere Ausbuchtungen sich bemerkbar machen und die gewiss nichts anderes darstellen als Stümpfe der unvollständig injicirten Venenwurzeln.

Die Wurzeln für sich ergeben somit die bereits erwähnten sternförmigen Figuren, welche man allemal zur Ansicht bekommt, wenn irgend ein Stämmchen quer getroffen ist. Da mehrere solche Stämmchen in

<sup>1</sup> Zur Messung wurden injicirte Gefässe genommen, doch zeigten sich die mit körnigem Farbstoffe injicirten meistens etwas dicker.

der unteren Tibiahälfte nach der Länge des Knochens ziehen, wird ein Querschnitt dieses Knochenstückes immer solche sternartige Anordnungen zeigen. Da ferner, wie früher geschildert, die Venenstämmchen bald peripherisch, bald central verlaufen, bald vereinzelt, bald in grösserer Menge in dem Markkörper sich finden, so kann der Querschnitt an verschiedenen Stellen eines und desselben Knochens, selbstverständlich auch bei verschiedenen Thieren eine verschiedene Menge und Anordnung dieser Venensternchen zeigen. Liegen die Venenstämmchen peripherisch, so ist die radiäre Anordnung der Venenwurzeln nur eine halbseitige (Fig. 11, 12 und 21), bei centraler Lage aber ein das Stämmchen allseitig umfassende; finden sich mehrere Sterne in einem Querschnitte, so kann man die auslaufenden Capillaren der benachbarten Sterne in einander übergehen sehen (Fig. 14). Liegt ein Zweigchen einer Arterie neben dem Venenstämmchen, so trifft es sich, dass man zwischen den Radien der Venenwurzeln feine Arterien sich hindurch winden sieht (Fig. 12); doch treten manchmal auch Querschnitte von Arterien abseits von dem Venenstämmchen in Sicht, welche sich also schon durch das feinere Netz hindurch schlingen (Fig. 14).

Gegen die compacte Wand der Knochenröhre begrenzt sich das im Durchschnitte dargestellte Venennetz in auf- und absteigender Richtung durch Bögen, wie dies auch schon Bizzozero gesehen; selbstverständlich aber nur da, wo sonst kein Zusammenhang der Gefässe des Markkörpers mit den Gefässen der Compacta vorhanden ist, der sich auch oft genug an Längs- und Querschnitten durch feine arterielle Zweigchen, wie auch feinere und gröbere Venen hergestellt nachweisen lässt; die das Marknetz nach aussen begrenzenden Bögen bilden zusammen wieder ein Netz, welches die äussere Oberfläche des Markkörpers, in dem sogenannten *Periosteum internum* gelegen, umspinnt (Fig. 11 die rechts unten befindliche Partie). Ist das Netz nur theilweise injicirt, so kann man die aus der Tiefe gegen die Oberfläche gerichtete Astfolge und deren Übergang in dieses oberflächliche Netz sehr gut verfolgen (Fig. 11 und 12).

Auch in dem Marke der Spongiosa der Endstücke findet sich das Netz der Venencapillaren; die Anordnung desselben ist aber wesentlich von der der Netze in dem zusammenhängenden Markkörper verschieden. Es durchsetzt nämlich alle Markräume, und seine Anordnung richtet sich somit nach der Architektur des Trabeculargewebes. An Längs- und Querschnitten des Knochens ergibt sich somit auch ein verschiedenes Bild; in den ersteren erscheint es in gestreckten Zügen, während es in den letzteren in verschiedenen Verschlingungen die Knochenbalken umspinnt. Da sich aber die Gefässe, selbst die venösen Capillaren, nach der Länge der Trabecularlücken fortziehen, fallen in die Querschnitte des Knochens auch zahlreichere Querschnitte von den Gefässen. Dass auch hier das Netz in jeder der Marklücken räumlich sich ausbreitet, ist selbstverständlich (Fig. 22 und 23, die erstere einen Längsschnitt, die letztere einen Querschnitt darstellend). Anlangend die Beziehungen der Gefässe, insbesondere des venösen Netzes zu dem Gewebe, habe ich bereits hervorgehoben, dass dieselben erst dann sichtlich auf die Gliederung der Marks substanz Einfluss nahmen, wenn sich Fettzellen ausgebildet haben, in Folge dessen dann die Gefässe in die bindegewebigen Balken zu liegen kommen, welche die Fettzellen bald einzeln, bald, wie es beim erwachsenen Menschen der Fall ist, gruppenweise in ihre Lücken einschliessen. Dass in diesen Balken, so lange sie noch breit sind, auch Markzellen sich finden, wurde gleichfalls schon gesagt. Nun aber muss ich hervorheben, dass trotz des engen Anschlusses dieser Zellen die eigenthümliche Gefässhaut unter günstigen Bedingungen dennoch wahrnehmbar ist, sei's am Ausgange des Schnittes, z. B. Fig. 19 an der Katze, wenn Gefässchen frei aus dem Balkengewebe heraushängen, sei's an Zupfpräparaten, wo die Gefässe isolirt zur Ansicht kommen, aber auch im Inneren von glücklich getroffenen Balken. Man kann da nicht nur an den venösen Capillaren, sondern auch an den feinen arteriellen eine scharfe Seitencontour und in dieser stellenweise mit aller Sicherheit die eingelagerten Kerne wahrnehmen. Ich sah sogar an einem isolirten Gefässchen Theilchen der zerrissenen Begrenzungsant von der Säule des injicirten Carminleims sich abheben und frei wegflotiren.

Sind die Markbalken, wie im gelben Marke, ganz dünn geworden, dann allerdings ist die Gefässwand von dem Grundgewebe des Balkens schwer zu scheiden, und bleibt nur an solchen Stellen sichtbar, wo feine gefässlose Faserbündel, aber mit Fächern von der Wand abgehend, zwischen die Fettzellen sich einschieben, (Fig. 24 und 25. Die erstere arterielle, die letztere venöse Capillaren darstellend). Nun handelt es sich noch



um den Modus des Abschlusses des Kreislaufs, um die Beantwortung der Frage, wie die feinen, arteriellen Capillaren mit den groben, venösen in Zusammenhang treten.

An entsprechend gelungenen Injectionen der *Arteria nutritia tibiae* lässt sich leicht die Endansbreitung des Gefässes zur Ansicht bringen. Ich sah in dem compacten Markkörper eines 13monatlichen Kindes fast in jedem Schnittchen die Endzweige von einem Durchmesser von etwa 0.0075 Mm. noch anastomosiren und ein Netzwerk mit weit offenen Maschen darstellen; darauf hin isolirten sich die nur mehr 0.005 Mm. dicken Zweigchen und senkten sich in Theile des natürlich nur unvollständig injicirten venösen Netzes ein. Da die Röhren dieses Netzes um mehr als das Zweifache dicker sind, konnte der Übergang nicht anders als mit einem trichterförmigen Ende stattfinden. Mehrere solche Übergänge sind in Fig. 20 aus dem Marke der Katze dargestellt.

Zu demselben Resultate bin ich auch bei der Durchsicht von Schnitten arteriell injicirter Spongiosa des erwachsenen Menschen gekommen. Alles zusammen, der plötzliche Übergang weniger und enger Gefässröhrchen in zahlreiche und weite beweist, dass der Kreislauf des Blutes im Marke im Bereiche der eigentlichen venösen Capillaren ein äusserst retardirter sein müsse.

#### D. Begrenzung des inneren Gefässsystems.

Es muss nun noch ein Punkt zur Sprache gebracht werden, nämlich die Weise, wie sich das innere Gefässsystem der Knochen gegen den Gelenksknorpel begrenzt. Meines Wissens hat in dieser Beziehung nur Toynbee<sup>1</sup> einige Andeutungen gegeben. Er sagt, dass die Gefässe der reticulären Knochensubstanz an der inneren Oberfläche des Gelenksknorpels Ausbuchtungen und Einrollungen bilden und sich rückläufig mit den Venen vereinigen. Die daselbst auf Platte 15, Fig. 4 und 5 gegebenen Abbildungen stellen nur Spuren unvollständig injicirter Gefässe dar.

An gut injicirten Knochen zweier Erwachsenen sah ich Folgendes:

Für das unbewaffnete Auge begrenzt sich die reticuläre Substanz mit einer compacten Lamelle; bei stärkeren Vergrösserungen feiner Durchschnitte findet man aber, dass sich in diese Lamelle noch sehr kleine Ausläufer der zelligen Markräume hinein erstrecken, welche sich von den grösseren Räumen der Spongiosa schon dadurch unterscheiden, dass sie kein Mark, weder Fett- noch Markzellen, blos bindegewebige mit Kernen ausgestattete Bündel enthalten. In diesem Bindegewebe liegen auch Blutgefässe, so dass eine jede solche Ausbuchtung mit ihrem Inhalte eine Art Papille vorstellt, welche gegen den Knorpel hin von vollständig ausgebildeter, compacter, mit Knochenkörperchen ausgestatteter Knochensubstanz umgeben ist. Einzelne dieser kleinen Knochenfortsätze sind einfach, andere, und zwar die meisten, sind getheilt in zwei bis drei, so dass stets mehrere zusammentreten, ehe sie sich in einem grösseren schon Mark enthaltenden Canal öffnen. Es würde daher auch die Knochensubstanz mit kleinen Höckerchen in den Gelenksknorpel eingreifen, wenn die Unebenheiten nicht durch die bekannte Schichte verkalkter Knorpelsubstanz geradezu ausgeglichen würden.

Diese papillenartigen Höckerchen sind in der Regel senkrecht gegen die Gelenksfläche gerichtet; weshalb man bei ihrem geringen Durchmesser, trotz der kleineren Abweichungen an den verzweigten Canalfortsätzen doch nur dann eine gute Ansicht von denselben erhalten kann, wenn man die Durchschnitte in senkrechter Richtung auf die Gelenksflächen, bei gekrümmten also parallel mit ihren Krümmungsradien anfertigt. Solche Durchschnitte geben auch über das Verhalten der in den Knochenpapillen enthaltenen Gefässe die richtigste Auskunft (Fig. 31).

Der Vergleich mit Papillen ist um so mehr gerechtfertigt, als auch die in ihnen enthaltenen Gefässe wie jene in den Papillen sich verhalten, sie bilden nämlich wahre capillare Schlingen, die man je nach der Schnitt- richtung bald in weiten Bögen gekrümmt, bald enger verschlungen, selbst in schärferem Winkel geknickt

<sup>1</sup> On the organisation and nutrition of non vascular animal tissues. Phil. transact. 1841. pag. 171.

antrifft. Ich habe in solchen Fortsätzen (des Oberschenkels und der Tibia) immer nur einfache Schlingen angetroffen, und wo Theile eines Netzes sich zeigten, glaubte ich wahrgenommen zu haben, dass da die Papillen nicht ihrer vollen Länge nach erhalten, dass mehr ihre basalen Theile, nämlich ihre Übergänge in die markhaltigen Räume an den Schnitttrand gekommen waren. Im Ganzen genommen müsste an der, der inneren Fläche des Gelenksknorpels aufliegenden Knochenwand ein Gefässnetz zur Ansicht kommen, woraus sich wie etwa aus der Oberfläche der Cutis, die feinen Gefässschlingen papillenartig erheben würden.

An allen diesen Gefässen habe ich deutliche scharfe Contouren und so eng angeschlossene Kerne gesehen, dass kaum eine Verwechslung dieser Kerne mit jenen des umliegenden Bindegewebes annehmbar war, daher auch diese Gefässe als vollständig abgeschlossen betrachtet werden dürften.

Je nach dem Gange des Messers sind zwei bis drei Lagen von Knochenkörperchen im Umkreise der beschriebenen Gefässschlingen anzutreffen. In einiger Entfernung von den Kuppen der kleinen Knochen-erhabenheiten markirt, an den ausgelaugten Knochen, eine wellenförmig darüber hinwegziehende Linie die Grenze der verkalkten Knorpelschichte.

Hier dürfte es am Platze sein, einige Bemerkungen über das Verhalten der Blutgefässe im Batrachierknochen einzuschalten.

Vorerst in Betreff einer auffälligen Verschiedenheit des Markkörpers. Während derselbe, nämlich bei *Rana (temporaria)* und der Kröte (*B. cinereus*), sich an den Enden des Oberschenkelknochens in sich abgerundet begrenzt, fand ich bei *Pelobates*, dass der ungetheilte Markraum der Röhre mit mehreren fingerförmig vorgestreckten Buchten in das Endstück des Knochens eingreift, doch immer noch im Bereich der in das knorpelige Gelenksstück hineingewachsenen compacten Rinde. (Fig. 16).

In alle diese Buchten dringt auch Mark ein, und mit ihm die Gefässe des Markkörpers. Da das Exemplar, an dem ich die Untersuchung vornahm, jene Grösse erreicht hatte, welche bei dieser Art der Batrachier die gewöhnliche ist, so glaube ich annehmen zu können, dass damit ein generischer Unterschied sich ausspricht; immerhin aber ist es mir wahrscheinlich, dass diese Beschaffenheit des Knochens auch bei *Rana* und *Bufo*, aber nur während des Jugendzustandes derselben, vorkommen dürfte. Da mir aber kein Materiale dieser Art bisher zugekommen ist, muss ich die Entscheidung bis auf weiteres vertagen.

An allen den drei genannten Froschgattungen konnte ich die mit dem Periost in den Epiphysenknorpel eindringenden Gefässe verfolgen, welche an Längendurchschnitten mitunter ihrer ganzen Länge nach herablaufend sich gezeigt haben, an Querschnitten aber, welche durch den Endknorpel gelegt wurden, Reife bildeten, welche das Lumen der compacten Röhren umgreifen. Da, wenn der Querschnitt nicht zu tief eingreift, innerhalb und ausserhalb des Reifes durchaus Knorpelmasse sich findet, so hat es beim ersten Anblick den Anschein, als ob der Knorpel eigene Gefässe besässe (Fig. 17).

Ich habe nur noch rücksichtlich des Erwachsenen das Verhalten der Blutgefässe an jenen Stellen zu besprechen, wo sich an den Knochen Bandmassen anheften. Die Abgrenzung der periostalen und synovialen Gefässe am Rande der Gelenksknorpel ist ja seit Mascagni und Prochaska bekannt, welche die da vorkommenden capillaren Netze und zottenartig angeordneten Schlingen dargestellt und beschrieben haben.

Die Bündel der Ligamente heften sich ganz in derselben Weise unmittelbar an den Knochen an, wie dies Kolliker an vielen Sehnen gesehen. In dem unmittelbar an den Knochen herantretenden Theil der Bündel lassen sich an den mit Säuren behandelten Objecten verschieden geformte Körperchen, spindelförmige aber auch rundliche mit einem körnigen Inhalte nachweisen, welche reihenweise, die letzteren auch in Gruppen vereinigt, geordnet sind.

Die äussere Lamelle des Knochens setzt sich immer scharf gegen die Sehne ab, erscheint aber, offenbar wegen verschiedenem Eingreifen des Schnittes, bald als eine mehr gleichmässig fortlaufende, bald als eine gebuchtete Linie. In beiden Fällen sieht man dicht unter der Begrenzungslamelle engere Canäle ziehen, Ausläufer der zelligen Markräume, in denen aber kein Mark mehr, sondern wieder nur fibrilläres, mit Kernechen ausgestattetes Bindegewebe nebst Blutgefässen enthalten ist (Fig. 32).



Wo die Lamellen continuirlich fortlaufend den Contour bilden, ist öfter auch ein nach der ganzen Länge des Weges hinziehendes gefäßhaltiges Canälchen (Haver'sches Canälchen) zu sehen; in den fingerförmig ausgebuchteten Ausläufern der Markröhren aber sind wieder ganz einfache, meist aus eng zusammengelegten Schenkeln bestehende Schlingen enthalten. Diese, abermals wieder papillenartig sich darstellenden Fortsätze der Knochensubstanz trifft man meistens in Richtungen gelegt, welche der Ansatzrichtung der Bandbündel entsprechen, daher manchmal auch schief von der Knochenoberfläche abgehen, gleichsam als ob sie durch Zug des Bandes in diese Richtung gebracht wären.

Es isolirt sich also das innere Gefäßsystem des Knochens auch nach den Ansatzflächen der Bänder im Wesentlichen ganz in derselben Weise wie gegen den Gelenksknorpel.

Aber auch in den Bändern selbst lässt sich ein gegen den Knochen in Abschluss befindliches Gefäßsystem nachweisen. Es ziehen nämlich in dem lockeren, die derben Faserbündel verknüpfenden Gewebe ganze Plexusstränge bis nahe an die Oberfläche des Knochens heran, wo sie dann in vervielfältigten Schlingen endigen. Ausser diesen kann man auch ganz einfache, aber oft mehrere dicht beisammen liegende und dabei lang ausgezogene Schlingen wahrnehmen, welche sich im engeren Anschlusse an die derberen Bandfaserbündel halten, vielleicht sogar ins Innere derselben eingelagert sich finden (Fig. 33).

Um dabei die dem fibrösen Gewebe als solichem zukommenden Gefäßverhältnisse von jenen scheiden zu können, welche durch den Ansatz am Skelete zu Stande kommen, habe ich darauf hin eine ganz vortrefflich injicirte Achillessehne untersucht, und gefunden, dass die Sehne zunächst in ihrer lockeren bindegewebigen Hülle von einem äusserst zarten Gefäßplexus umspinnen ist, der in seiner Anordnung mit dem oberflächlichen Geflechte des Periost nahezu übereinstimmt, und sich mit Astgeflechten auch nach der Länge der Sehne fortspinnt; dass sich ferner auch ins Innere der Sehne, in das lockere Gewebe zwischen den Bündeln feine Plexus hineinziehen, welche gleichfalls wieder mit Quer- und Längsgefässen die Bündel umgeben.

An tiefer aus der Sehne herausgeholtene Längslamellen kann man daher da und dort ganze Stränge von parallel zwischen den Sehnenbündeln eingelagerter Längsgefässe wahrnehmen, welche durch quer gelegte Zweige miteinander anastomosirend, im Ganzen und aus verschiedenen Tiefen zusammengefasst, eine leiterförmige Anordnung zeigen. Die Längsbündel reichen natürlich bis ans Ende der Sehne herab, aber einzelne ihrer Zweige zeigen noch in der Continuität der Sehne ganz deutliche, mitunter lang ausgezogene Schlingen. Diese letzteren können daher nicht ohne weiteres und als ganz eigene Abschlussformen der Sehnengefässe gegen den Knochen angesehen werden, gewiss aber die Plexus in den Zwischenräumen der Bündel, welche verengt ganz nahe an der Oberfläche des Knochens mit rücklaufenden Zweigchen endigen.

Wenn man irgend ein in die Gelenkkapsel hineinragendes, dabei gut injicirtes Band, z. B. ein *Ligamentum cruciatum genu* genauer betrachtet, findet man zunächst an seiner Oberfläche den reichlich mit Gefässen ausgestatteten Synovialüberzug mit den an der Ansatzlinie des Bandes hervortretenden zottenartig combinirten Gefässschlingen. Nach Abtragung dieser Schichte, zeigen sich in den Zwischenräumen der sehnenigen Bandbündel, Gefäßplexus, wie sie auch in der Achillessehne vorkommen, nur reicher; weil die Bündel dieses Bandes nicht so dicht, wie in der Achillessehne aneinander anhaften. Schneidet man darauf den Bandansatz mit der den Condyl begrenzenden Kruste ab, was am leichtesten gelingt, wenn diese, wie bei jugendlichen Individuen, noch knorpelig ist, macht dann die Kruste mittelst einer Säure durchsichtig, so erblickt man eine ganze Reihe von Endplexus, welche alle etwas verschmälert gegen diese Kruste gewendet sind, und mit Gefässschlingen endigen.

Diesen Angaben entspricht auch der in Fig. 33 gezeichnete Durchschnitt des *Ligamentum fibulare tali anticum*, worin ein solcher Plexus und eine nahe daran liegende Gefässschlinge abgebildet sind.

Bei der Abtragung eines solchen Bandes überzeugt man sich aber auch, dass an der Ansatzstelle desselben doch hin und wieder Öffnungen in dem Knochen bestehen, wodurch factisch grössere Gefässe aus- und eintreten, welche somit, allerdings vereinzelt, doch aber die Gefässe des Bandes mit dem inneren Gefäßsystem des Knochens in Verbindung setzen. Sind doch auch die Bänder ganz allgemein, insbesondere aber die an der unteren Extremität vorkommenden inneren Bänder zugleich auch die Leiter von Blutgefässen,

die nicht ihnen als solchen allein, sondern auch den Knochen zukommen. An günstigen Schnittlamellen kann man daher auch stellenweise kleinere oder grössere Gefässe antreffen, welche, aus dem Bande kommend, durch die oberflächliche compacte Knochenschichte hindurch sich mit den inneren Gefässen des Knochens in Verbindung setzen.

Die geschilderten Gefässverhältnisse der Bänder haben um so mehr Bedeutung, als sie sich auch am *Ligamentum cruciatum* des Kniegelenkes und dem *Ligamentum teres* des Hüftgelenkes wiederholen, und weil darüber immer noch in manchen Punkten abweichende Anschauungen bestehen.

Bekanntlich hat Hyrtl<sup>1</sup> die Ansicht ausgesprochen, dass die Blutgefässe des runden Bandes nicht in die Substanz des Schenkelkopfes eindringen, sondern sich an der Einpflanzungsstelle des Bandes schlingenförmig umbiegen. Ich habe bereits in meinem Lehrbuche der Anatomie<sup>2</sup> gesagt, dass einzelne Äste der *Arteria obturatoria* durch das Band in die Epiiphyse des Schenkelkopfes gelangen, dass wohl die oberflächlichen Capillaren der synovialen Bandbekleidung am Gelenksknorpel runde Schlingen bilden, dass aber schon die grösseren und kleineren selten fehlenden Öffnungen im Umbo des Schenkelkopfes, der Ansatzstelle des Bandes, auf eine in der Regel vorkommende Gefässverbindung hinweisen. Auch habe ich angegeben, dass ich grössere in den Schenkelkopf eintretende Gefässe beim Kinde nie vermisst und selbst beim Erwachsenen einigemal injicirt habe.

Auch Luschka<sup>3</sup> hat die bestimmte Erklärung abgegeben, dass er im Inneren des Bandes niemals Zweigchen der *Arteria obturatoria* vermisst habe, welche ihren Weg durch die Poren der Fovea in die Substanz des Schenkelkopfes nahmen.

Welker<sup>4</sup> dagegen fand, dass in  $\frac{1}{3}$  der Fälle die Fovea gar keine Poren hat, in diesen Fällen also absolut keine Vascularisation des Schenkelkopfes vom *Ligamentum teres* aus stattfinden konnte, während in  $\frac{2}{3}$  der Fälle allerdings feine Durchbohrungen, offenbar Gefässlöcher, vorhanden sind, meint aber doch, dass bei der geringen Menge Blutes, die da einzudringen vermag, die Bedeutung des Bandes als *Gubernaculum vasorum* kaum in Anschlag kommen dürfte, wichtiger seien wohl jene Gefässe, welche vom Halse her in den Schenkelkopf eintreten.

Ich habe meine schon vor mehr als 10 Jahren in dieser Beziehung vorgenommenen Untersuchungen bei Beginn dieser Arbeit wieder aufgenommen und auf ein grösseres Material ausgedehnt; dabei hat sich Folgendes ergeben:

Vorerst, dass in jeder nur halbwegs gelungenen arteriellen Injection von Kindesleichen ein von der Obturatoria abgehender Zweig nachweisbar ist, welcher durch das *Ligamentum teres* hindurch in den noch knorpeligen Gelenkskopf eintritt, dass derselbe, sowohl im Bande selbst, als in den Knorpelanälen des Gelenkskopfes alsbald Zweige abgibt. Ausser diesem vertheilen sich in dem Gelenkskopf auch die Zweige jener Arterien, welche am Rande der Gelenksfläche, entsprechend der späteren Epiphysenfuge eintreten. Alle diese Arterien senden Zweigchen zum Centrum des Gelenkskopfes, wo sich binnen kurzem der Epiphysenkern ansetzt, aber auch solche, welche sich mehr peripherisch, also unterhalb der Gelenksfläche vertheilen. Anastomosen zwischen all' diesen Zweigchen kommen nicht vor, und finden sich erst dann, wenn der Verknöcherungspunkt entstanden ist, in welchen alle centralwärts eindringenden Gefässchen zusammenlaufen. Auch bei älteren Kindern und selbst bei Erwachsenen ist es mir einigemal gelungen, durch das Ligament durchlaufende Arterien zu injiciren. Besonders instructiv gestalten sich die Präparate, wenn isolirte Injectionen der *Arteria obturatoria* vorgenommen werden, und man durch Abkappen des Scheitelstückes des Gelenkskopfes den thatsächlichen Beweis vom Eindringen der Arterien beibringen kann. Eine Vorsicht aber kann

<sup>1</sup> Zeitschr. d. Gesellschaft der Ärzte in Wien 1846. Bd. I, pag. 58, und in seiner Topographischen Anatomie, Bd. II, pag. 521.

<sup>2</sup> Wien 1865, pag. 146.

<sup>3</sup> Die Anatomie des Menschen, Bd. III, 1 Abtheilung, pag. 365.

<sup>4</sup> Zeitschr. für Anatomie und Entwicklungsgeschichte. Von W. His und W. Braune, 1875, 1 Heft, pag. 65.



ich bei Vornahme solcher Injectionen empfehlen, nämlich die: während des Actes das Gelenk in die Mittellage zu bringen, da das Misslingen der Injection gewiss meistens keinen anderen Grund hat, als dass während der Extensionslage des Gelenkes die Knochen zu sehr an einander angepresst erhalten werden. In Fig. 41 sind die arteriellen Gefässverhältnisse im Schenkelkopf eines Neugeborenen dargestellt, wobei allerdings manches in tieferer Schichte lagernde Zweigchen in das Bild aufgenommen wurde.

Wenn nun schon damit das runde Band als Leiter von Gefässen für den Schenkelkopf sich erweist, und zwar zunächst für das arterielle Gebiet, so lässt sich in noch umfassenderer Weise der Ausgang von Venen aus dem Schenkelkopf durch das Band direct beweisen und zwar mittelst Injection in das Gewebe der Spongiosa. Um den Erfolg möglichst zu sichern, muss man das Bohrloch ober der Einpflanzungsstelle des Bandes, also am Scheitelpunkte des Kopfes, anlegen und die anderen Abzugscanäle des venösen Blutes am Schenkelhalse und im Umkreise der Trochanteren möglichst verstopfen, am besten durch Umschnürung des Knochens mit Kautschuckröhren oder Bändern. Bei diesem Vorgange wird man alsbald die Injectionsflüssigkeit, auch Harz in vollem Strom aus dem nahe am Acetabulum abgeschnittenen Bande hervorquellen sehen, und wenn man die Schlinge eines früher schon um das Ligament herangelegten Fadens zusehnürt, kann man auch alle die feineren, im Bande befindlichen Gefässe, selbst die der Synovialis, füllen. Bei der Ansicht der Oberfläche und von Durchschnitten des Bandes, die dann auch bis in den erweichten Knochen fortgesetzt werden, überzeugt man sich, dass auch hier, wie allenthalben, ein Theil der Gefässe des Bandes sich gegen die Knochen aussen sowohl an der Synovialis, wie auch innen zwischen den Bandbündeln durch Schlingenbildung abschliesst, dass aber ein Theil der Gefässe direct aus dem Knochen hervortritt, sei's gleich als Stämmchen, sei's mit feineren Wurzeln, die sich erst im Bande zu grösseren Stämmchen vereinigen. Aus diesem letzteren Verhältnisse erklärt sich, wie es kommen kann, dass trotz des Abganges grösserer Öffnungen in der Fovea, dennoch Gefässe aus- oder eintreten können.

Das beschriebene Experiment ist mir nur äusserst selten misslungen, so dass ich mit Berücksichtigung der Ergebnisse directer arterieller Injectionen, den Übergang von Gefässen in und aus dem Schenkelkopf durch das Band als ein typisches betrachten muss, und dasselbe namentlich in Betreff des Bildungsvorganges des Knochens für ein höchst wichtiges halte.

Zugegeben, dass sich nachträgliche Varietäten hier wie auch allenthalben ausbilden, wodurch der Gefässverkehr durch das Band selbst bis zur Bedeutungslosigkeit eingeschränkt werden kann; aber erst dann, wenn sich einmal durch den begonnenen Verknöcherungsprocess Anastomosen mit den anderen vom Halse herkommenden Gefässen, Arterien und Venen hergestellt haben, ist die Möglichkeit gegeben, dass diese Gefässe ausschliesslich die Zu- und Ableitung des Blutes übernehmen. In der überwiegend grösseren Mehrzahl der Fälle bleiben die Blutbahnen für den Schenkelkopf im Bande gewiss offen, bald enger, bald weiter; darnach richtet sich dann auch die Menge und Weite der Gefässöffnungen im Umbo. Ich kenne Fälle, wo neben vier bis über 1 Millimeter breiten Öffnungen darin noch zahlreiche kleinere — bis zu solchen, die man noch ohne Loupe wahrnehmen kann — sich fanden, so dass die Spongiosa als an dieser Stelle geradezu geöffnet bezeichnet werden müsste; andere Fälle, wo nur eine oder zwei grössere neben vielen feinen, noch andere, wo nur ganz feine Lücken sich vorfanden. Allerdings sind mir auch Fälle, aber nur von Greisen bekannt, wo das Band gänzlich fehlte, die *Fovea femoris* und der *Recessus acetabuli* nur durch Bindegewebe bedeckt waren. Wenn nur wenige Gefässlücken, namentlich peripherisch vertheilte, vorhanden sind, begrenzt sich der Knochen in der Fovea mit einer dichten Kruste, in der sich mitunter Rinnen zeigen, welche zu den Gefässlücken leiten. Dass man zur Untersuchungen dieser Gefässöffnungen nur ganz gut ausmacerirte Knochen verwenden darf, ist selbstverständlich.

Denselben Befund, welchen ich soeben mit specieller Beziehung auf das *Ligamentum teres coxae* besprochen, traf ich auch am *Ligamentum cruciatum genu anticum* beziehentlich seines Ansatzes vorn an dem oberen Ende der Tibia; und in Betreff der *Vena genu impar* habe ich bereits nachgewiesen, dass dieselbe aus den beiden, das Kniegelenk darstellenden Knochen das Blut zurückleitet. Wenn also auch die *Vena acetabuli* einerseits vom Hüftknochen, andererseits vom Schenkelknochen Zweige aufnimmt, und die Arterie

beiderseits Zweige abgibt, so ist damit nicht bloß eine Analogie hergestellt, sondern geradezu das typische Verhältniss eingehalten.

### E. Der Knochenknorpel und seine Canäle.

Bekanntlich entwickeln sich in jedem sogenannten verknöchernden Knorpel bald früher, bald später Gefässe, welche von der Oberfläche her in eigene Canäle eingeschlossen in ihn eindringen und denselben nach bestimmten Richtungen durchziehen. Es unterliegt wohl keinem Zweifel mehr, dass ein inniger Zusammenhang zwischen diesen Gefässen und dem Verknöcherungsprocesse besteht, ja dass die Ausbildung derselben den Verknöcherungsprocess gewissermassen einleitet.

Ausser vereinzelt Notizen in allbekannten histologischen Werken und Monographien hat sich meines Wissens mit der Anordnung und dem Auftreten der Knorpelcanäle specieller nur Toynbee<sup>1</sup> beschäftigt, doch ohne den Sachverhalt vollends zu erheben, schon deshalb nicht, weil er nach anderer Richtung hin die Untersuchung unternommen.

Um einen Ausgangspunkt für die Beschreibung der Anordnung der Knorpelcanäle zu haben, beziehe ich mich auf den Befund am unteren Ende des Femur eines Neugeborenen, entnommen einer systematisch angelegten Suite von dünneren und dickeren Segmenten. Der besseren Orientirung wegen wurde in den Segmenten die Verlaufsline der späteren Epiphysenfuge eingezeichnet.

Wenn man durch einen geringen Grad von Maceration das Perichondrium vom unteren Femurende eines Neugeborenen ablöst und die Flächen des Knorpels mit Karmin bestreicht, findet man sowohl an den Seitenflächen der Condyleu, als auch in der *Incisura intercondyloidea* deutlich die Eingangsöffnungen zahlreicher Knorpelcanäle; und wenn man nun diesen Öffnungen entsprechend Schnitte durch den Knorpel führt, so wird man finden, dass schon im Bereiche der Diaphyse sowohl von vorne als auch von hinten Gefässe eindringen, die man an einer sagittal angelegten Schichtenfolge nebst der von der Incisur kommenden leicht überblickt. In Fig. 37 sind die Gefässchen von einem etwa 5½ Monat alten Embryo abgezeichnet, deren Anlage sich von jener des Neugeborenen höchstens darin unterscheidet, dass der Diaphysenknorpel, weil auch weiter herauf reichend, noch etwa ein Gefässchen mehr enthält. Es sind darin drei bis vier gewissermassen in Schichten vertheilte Gefässe wahrzunehmen, wovon die obersten parallel mit der Verknöcherungsgränze verlaufen, die anderen aber in einer mehr absteigenden Richtung gegen die Epiphyse sich verzweigen. Von den untersten gehen Zweige in die Epiphyse, von den obersten auch Zweige gegen die Verknöcherungsgänge, welche in solchen Sagittalschnitten fast fingerförmig sich ordnen.

Um einen Überblick über den ganzen Verlauf dieser Gefässstämmchen zu bekommen, fertigte ich auch horizontale mit der Verknöcherungsgrenze parallel abgenommene Lamellen an, wie die in Fig. 38 von einem Neugeborenen, woraus zu ersehen, dass diese Stämmchen auch im Horizonte sich ramificiren.

Die aus der Incisur sagittal eindringenden Stämmchen begeben sich zur Mitte des unteren Femurendes zur Grundlage der Patellar-Rolle.

Sagittale durch die Condyleu geführte Schnitte enthalten oben mehr Querdurchschnitte von Canälchen unten aber, gegen die Umrandung der Gelenksfläche hin, zahlreiche verzweigte Ausläufer, welche zumeist radiär gegen die Gelenksfläche herantreten. Dasselbe sieht man, ob diese Schnitte näher der äusseren Fläche oder näher an der Incisurenfläche angelegt sind; woraus folgt, dass auch von dieser letzteren her, also nicht, bloß von den äusseren Flächen, Gefässe in die Condyleu, die Epiphysen eintreten. Den Verlauf beider lassen dann frontale Schnitte erkennen, und man wird sich daran die Überzeugung holen, dass alle Canäle radiär vertheilt bis zur Mitte des Condyls und bis nahe an die Gelenksfläche eindringen, sie wachsen somit gegen einander, und trotzdem sie den Knorpel nach allen Richtungen durchdringen, lassen sie doch nirgends auch nicht eine Andeutung einer Anastomose der Äste oder der Stämmchen unter einander wahrnehmen.

<sup>1</sup> L. c. pag. 165.



Aus dem Gesagten ergibt sich vor Allem, dass die Anlage der Canäle, beziehungsweise der Knorpelgefässe, vollständig mit der Anordnung der späteren Gefässeanäle in den fertigen Knochen übereinstimmt. Es versteht sich dies fast von selbst, denn wenn auch der sogenannte verknöchernde Knorpel nur ein vorübergehendes Gebilde ist, so baut er doch schon in allen wesentlichen Stücken den künftigen Knochen vor, und deshalb mussten auch schon die Canäle an allen jenen Seiten des knorpelig präformirten Skeletstückes eindringen, von wo aus später die Gefässe aus- und einge-  
gehen.

Als ein zweites Ergebniss ist zu verzeichnen, dass die ganze Astfolge eines jeden einzelnen, von aussen eindringenden Canälchens ein in sich abgeschlossenes Ganze darstellt, indem jedes einzelne Ästchen blind und zwar mit einer bald mehr, bald weniger ausgebauchten, kolbenförmigen Anschwellung endigt. Anastomosen sind also auch nicht vorhanden und bilden sich nicht vor dem Auftreten des Knochens und nur in ihm aus; ein Befund, der sich leicht in jedem Epiphysenkern constatiren lässt.

Eine Scheidung der Knorpelcanäle in solche, welche der Diaphyse, und in solche, welche der Epiphyse zukommen, ist da noch kaum thunlich, in so lange nicht, als sich auch der Knorpel histologisch noch nicht der Art gegliedert hat, dass auch der Epiphysenanteil desselben erkennbar wäre; es zeigt sich vielmehr an der Stelle, wo späterhin die Fuge zu liegen kommt, dass Gefässe, welche unmittelbar ober der Gelenkfläche vorn eintreten, auch Zweige nach unten senden, und die obersten aus der Incisur kommenden auch nach oben zu sich vertheilen. Das bestehende Verhältniss kann sich erst dann richtig stellen lassen, wenn nach dem Auftreten eines Epiphysenkernes sich auch schon ein Fugenknorpel ausgeschieden hat. Vorläufig muss ich aber die Aufmerksamkeit auf jene entschieden der Diaphyse angehörigen Canäle lenken, welche aufwärts durch die Verknöcherungsgrenze hindurch in den bereits ossificirten Theil der Diaphyse eindringen, deren Stammcanälchen ober der Gelenkfläche des Condyls und ober der Incisur eindringen. Es dürften dies wohl dieselben Canälchen sein, welche E. H. Weber<sup>1</sup> bespricht, indem er sagt, dass aus dem verknöcherten Theile des Knochens in dem Knorpel eine Menge von Canälchen gebildet sind, welche rothes Blut führende Gefässe besitzen.

Es sind nur die zunächst an der Verknöcherungslinie in den Knorpel eindringenden Canälchen, von wo aus diese Zweigcanäle nach oben abgehen. Wie diese in dem Knorpel situirt sind.

Bekanntlich zeigen sich in dem sogenannten verknöchernden Knorpel bezüglich auf seine Textur mehrere Zonen. In die erste, unmittelbar an die Verknöcherungslinie anstossende, aus den zu Reihen sich ordnenden Zellen bestehende Zone sah ich nie ein direct von aussen eindringendes Stammcanälchen eintreten, sondern erst weiter unten in die zweite Zone, welche aus den zu kugeligen oder ovalen Haufen gruppirten Zellen besteht. Trifft der sagittale Längsschnitt ein solches Stammcanälchen seiner ganzen Länge nach, so bildet dasselbe eine fast scharfe Grenze zwischen der Zone der schon gerichteten und den noch ungeordneten Zellen. Manchmal sieht man allerdings schon im Niveau der Verknöcherungsgrenze knapp am Ende der periostalen Rinde ein Canälchen eintreten, in diesem Falle aber umgeht es die ganze erste Schichte, lenkt sogar die äusseren Zellenreihen gegen die Mitte in Bogenform ab, und tritt erst dann unter denselben seinen horizontalen Verlauf an.

Da also diese obersten horizontalen Canälchen erst an der Grenze der zweiten Zone die senkrecht aufsteigenden Zweigcanälchen abgeben, so müssen diese letzteren, um zu den Markräumen zu kommen, die Zone der Zellensäulen durchsetzen, und zwischen diesen hindurch sich den Weg bahnen.

Ich habe diese von unten her in die Diaphysenknochen eindringenden Canäle schon bei sehr jungen Embryonen, beiläufig aus der Zeit von 4½ Monaten, angetroffen, beim Menschen aber nie in so grosser Menge, wie bei einem Rindsembryo ungefähr desselben Alters, an dem ich überhaupt in den entsprechenden Skeletstücken alle Knorpelcanälchen zahlreicher, viel mehr verzweigt und daher auch feiner gesehen habe.

<sup>1</sup> Meckel's Archiv, 1827.

Es könnte sich noch fragen, wie die Verbindung dieser Canälchen mit den Markräumen der Diaphyse hergestellt wird, ob die Anastomosen von oben herab, oder umgekehrt, von unten hinauf wachsen. Ich glaube das letztere mindestens als Regel betrachten zu können, weil ich sowohl beim Kinde, als auch bei dem Rinds-Embryo ausser und neben bereits bestehenden Verbindungen mehrmals Canälchen gefunden habe, welche als Abzweigungen der horizontalen Canälchen zwar schon zwischen die Zellsäulen eingedrungen waren, daselbst aber kolbig aufgeschwollen endigten, ohne noch die Verknöcherungsgänge erreicht zu haben. Eine Verwechslung mit einem schief durchschnittenen Canälchen war unmöglich, weil das kolbige Ende mitten zwischen zwei unversehrten Schnittflächen der Knorpelsubstanz enthalten war.

Anlangend die Wände der Knorpelcanälchen, so ist bekannt, dass die Räume gerade nur in die Substanz des Knorpels eingegrabene Lücken darstellen, ohne eigene wandbildende Elemente. In dem Epiphysenantheil Fig. 42 zeigen Querschnitte der Canälchen an ihren Begrenzungen kaum eine bemerkenswerthe Umordnung der Zellen; im unteren Ende des Diaphysenknorpels sieht man aber spindelförmige Knorpelzellen nach der Länge des Canals geordnet, auch dichter um das Canallumen sich gruppieren wodurch namentlich in der Zone der Zellenwucherung mitunter beträchtliche Textur-Umordnungen zu Stande kommen.

Rücksichtlich der durch die Zone der Zellsäulen aufsteigenden Canälchen liess sich von vornherein eine Einflussnahme derselben auf die Knorpeltextur vermuthen; es zeigte sich denn auch an Querschnitten eine fast regelmässige, radiäre Anordnung der Zellen um das Lumen der Canälchen. Überdies zeigten sich die Querschnitte jener Zellsäulen, welche den Canälchen zunächst liegen, kleiner, als die weiter davon abliegenden; ein Befund, den ich in schönster Regelmässigkeit am Embryo des Rindes, aber auch am neugeborenen Menschen constatiren konnte (Fig. 43 vom Rindsembryo). Wie ich aus einer Note in Quain's Elements of Anatomy<sup>1</sup> ersehen, kannte bereits Baly die radiäre Gruppierung der Knorpelzellen in dem verknöchernden Knorpel; doch wird daselbst über die Localisation dieses Verhältnisses nichts Näheres angegeben.

Anlangend die Untersuchung der Zeit der Entstehung der Knorpelcanäle konnte ich bis auf Embryonen, die etwas mehr als 2 Monate alt waren, zurückgreifen, und fand weder in diesen, noch auch in 3 Monate alten Embryonen irgend eine Spur eines Knorpelcanälchens im unteren Femurende. Bald aber nach dem 3. Monate erschienen in sagittalen Durchschnitten des Femurs durch die Incisur die ersten Spuren derselben (Fig. 34 von einem etwa 2½ Monate alten Embryo; Fig. 35 von einer etwa mehr als 3 Monate alten Frucht). Ich traf drei Canälchen von der Incisur aus in den Knorpel eindringen, welche alle geradezu follikelartige Einbuchtungen darstellten; nur an einem davon war der Beginn einer Ramification angedeutet. Im Bereiche der Diaphyse habe ich um diese Zeit gleichfalls schon die erste Anlage eines solchen Canälchens wahrgenommen, doch weiter abstehend von der bisherigen Verknöcherungsgrenze. Es wäre wohl möglich, dass noch ein oder das andere Canälchen schon vorhanden gewesen wäre, obgleich ich in andern parallel mit der ersten abgenommenen Lamellen nichts davon gefunden habe; gewiss aber waren sie nicht viel zahlreicher und gewiss auch nicht mehr, als dargestellt, ramificirt. In die Zeit kurz nach dem 3. Embryonalmonate dürfte somit die erste Anlage der Knorpelcanälchen mindestens des Femurs zu verlegen sein.

Zahlreicher und bereits mehrfach verzweigt finden sie sich schon beim 4 Monate alten Embryo (siehe Fig. 36) und es dürfte die beobachtete, wiederholte Theilung an den aus der Incisur eingedrungenen Canälchen, dagegen der Mangel an Verzweigungen an jenen Canälchen, welche gerade ober der Gelenksfläche, also auch in den Diaphysenantheil eingetreten waren, dafür sprechen, dass die aus der Incisur kommenden Gefässe nebst den obersten horizontalen, die erst entwickelten sind.

Später vermehrt sich die Anzahl der Canälchen, und man findet unter denselben wieder einige, welche ungetheilt sind, und als einfache Buchten sich darstellen, offenbar also wieder später entstanden sind, wäh-

<sup>1</sup> Herausgegeben von Sharpay und Viner Ellis, 1856. Vol. I, pag. CXXXI.



rend sich die Ramification der älteren wieder vermehrt hat. Mittlerweile ist auch, schon im Beginne des 6. Monates die Verknöcherungsgrenze bis an die obersten Canälchen vorgerückt, bis an jene, denen die gegen die Diaphyse aufstrebenden, früher beschriebenen Asteancälchen entkeimen (Fig. 37).

Hieraus ist also ersichtlich, dass die Knorpelcanälchen, wie dies auch schon Toyneee ausgesprochen hat, als von aussen eindringende Grübchen entstehen, welche sich nach und nach verlängern und während des Wachsthum's weiter vertheilen. Es ist gar kein Zweifel, dass der bindegewebige Inhalt der Knorpelcanälchen vom Perichondrium ausgeht, und wie Kölliker<sup>1</sup> beschreibt, eine geradezu zapfenartige Verlängerung desselben darstellt. An gelungenen Durchschnitten sind thatsächlich die kernigen in den Canälen enthaltenen Faserstränge deutlich als Fortsätze des Periosts zu erkennen. Es ergibt sich daraus auch noch ferner, dass die Knorpelcanäle zunächst an den Stellen sich bilden, welche der Verknöcherungslinie und den Verknöcherungspunkten nahe liegen, und dass zwischen beiden eine von der Diaphyse nach unten fortschreitende Neubildung von Canälchen vorhanden ist; gewiss ein weiterer Beweis für die engen Beziehungen der Canälchen zu der Verknöcherung. Gleich beim ersten Auftreten dieser Canälchen machen sich bereits Veränderungen in der Textur des Knochenknorpels bemerkbar, welche, so scheint es, gleichen Schritt halten mit der weiteren Ausbildung der Canälchen, bis schliesslich jene so vielfach beschriebene und abgebildete Anordnung der Elemente zu Stande kommt, welche sich bis zur Vollendung des Wachsthum's erhält, aber im menschlichen Femur erst nach der Geburt ihr typisches Gepräge erreicht.

Ich finde noch an Embryonen aus der 10.—11. Woche des Intrauterinlebens noch jene bekannten Texturbilder, worin zunächst an der Grenze der primitiven Markräume eine Lage grosser hyaliner Knorpelzellen sichtbar ist, welche von einem Reticulum von Verkalkungsbalken gleichmässig und einzeln umgriffen werden. Darauf folgt eine mächtige Schichte von kleineren, aber quer verlängerten Zellen, welche in queren Linien beinahe festonartig geordnet sind. Der Rest des Knorpels enthält bis zum Gelenksrande die ganz kleinen, gleichmässig vertheilten Zellen. Es ist dies jenes Texturstadium, in welchem der Knorpel noch gar keine Gefässcanälchen enthält.

Aber schon bei zwei Embryonen aus dem 4. Monate, wo also bereits Canälchen und in diesen Gefässe in den Knorpel eingedrungen waren, sah ich an ganz gleichen Sagittaldurchschnitten eine andere Anordnung. Es schlossen sich zwar noch immer jene grossen hyalinen Zellen an die Grenzen der Markräume an, doch waren in dem Netze der Verkalkungsbalken bereits die Längsbalken schärfer hervorgetreten und daher deutlicher als die Querbalken sichtbar, so dass also schon eine Art „Richtung“ der Zellen eingeleitet war. Peripherwärts waren diese Längsbalken manchmal länger als in der Mitte der Durchschnittslamellen, reichten aber doch nicht über das Ende der periostalen Knochenrinde hinaus, und gerade da war es, wo das oberste horizontal verlaufende Knorpelcanälchen eintrat. Dieses gelangte also erst in die zweite Zone, wo statt der früher noch kleineren Zellen nun kleine, 4 bis 5 Zellen enthaltende Gruppen sich zeigten, welche rundlich oder queroval aussahen. Den Übergang von dieser Zellenlage zu der Zone der Verkalkungsbalken bildeten aber immer noch grössere vereinzelte Zellen. Es dürfte daher kaum zu bestreiten sein, dass die bereits eingetretene Gruppierung der Zellen als Ausdruck der Zellenvermehrung und als Grund dieser das Eindringen der Gefässe zu betrachten ist.

Die weiteren Texturveränderungen, welche von da an bis zur Zeit der Geburt von Statten gehen, offenbar schon unter dem Einflusse der gegen die Diaphyse entsendeten Gefässzweige, bestehen darin, dass die Zellengruppen (Kapseln) der mittleren Lage sich verlängern, anfangs eine ovoide, näher am „Verknöcherungsrande“ schon eine fast spindelförmige Gestalt annehmen, sich mit ihrem längeren Durchmesser in die Axenrichtung der Diaphyse einstellen und bis unmittelbar an das Netz der Verkalkungsbalken heranrücken, so dass diese mit ihren feinen Ausläufern in die Zwischenräume derselben eingreifen. Es ist dies

<sup>1</sup> Dritter Beitrag zur Lehre von der Entwicklung der Knochen. Aus der Würzburger Zeitschrift, 1873.

jenes Stadium des Verknöcherungsprocesses, dessen Bild Waldeyer<sup>1</sup> so getreu dargestellt hat. Im Hintergrunde derselben befinden sich immer noch die kleinen ungeordneten Zellen.

Diese Anordnung der Elemente des Knochenknorpels erhält sich, wie gesagt, bis zur Geburt, so dass erst um diese Zeit, und, wie ich glaube, mit dem Erscheinen eines Knochenkernes in der Epiphyse jene so vielfach geschilderte Anordnung an der Verknöcherungsgrenze der Diaphyse in Sicht kommt, wobei die Knorpelzellen lange parallel neben einander gereichte Säulen darstellen. Das früher aus der Verknöcherungslinie herausragende, so auffallend und zwischen verzeinzeltten grossen Zellen sich auflösende Balkennetz ist nicht mehr sichtbar, statt dessen die anfangs ganz schmalen, später sich verbreiternden Längsbalken der Knorpelgrundsubstanz auftreten, wodurch die Zellenreihen von einander abgehalten werden; doch auch die Markräume haben ein anderes Aussehen bekommen. Während des embryonalen Lebens, nach Art eines cavernösen Gewebes confluirend, senden sie erst nach der Geburt jene fingerartig austretenden Fortsätze ab, an deren blinde Enden die Zellensäulen sich reihen. Und nachdem diese gebildet, schreitet auch die Verknöcherung bis an die Zellenreihen vor, indem jene bekannten, gebuchteten Knochenlamellen sichtbar werden, welche die Markraumfortsätze bis fast an ihr Ende begrenzen. Da sich in den Zwischenräumen derselben immer noch Reste verkalkten Knorpels finden, so kann man sagen, dass in diesem Stadium die Verknöcherungszone in die Verkalkungszone tief eingreift, indem sie innerhalb derselben, den Contouren der Markraumfortsätze entsprechend, mit einer Zickzacklinie sich begrenzt, während noch beim Neugeborenen, jedenfalls noch kurz vor der Geburt die Verknöcherungslinie weiter hinter der vordersten Verkalkungslinie zurücksteht. Wenn durch Einbeziehung seitlich abliegender Zellensäulen die Markraumfortsätze mit einander verschmelzen, bilden sich dann an ihren Basen die bekannten, an Durchschnitten inselförmig erscheinenden Knochenlamellen, welche noch Reste verkalkten Knorpels einschneiden. Später, wenn die Zellensäulen weiter aus einander rücken, schalten sich zwischen dieselben jene Faserbündel ein, welche v. Brun<sup>2</sup> als elastische Stützfasern des ossificirenden Knorpels beschrieben hat.

Sehr aufklärende Bilder über das Verhältniss der Verkalkungszone zu der Verknöcherungszone, gleichwie auch über die Anordnung der Markraumfortsätze gewährt jene anscheinend compacte Lamelle, welche die dem Knorpel zugewendete Endfläche der Diaphyse begrenzt. Sie besteht hauptsächlich aus dem verkalkten Antheile des Knorpels, und besitzt in Folge dessen im trockenen Zustande ein kreideweisses Aussehen; wird sie aber entkalkt und mit etwas Carmin gefärbt, so lässt sie auch deutlich die ersten Anlagen echter Knochensubstanz erkennen, welche bald tiefer, bald näher an der Oberfläche sichtbar wird. Worauf ich diesfalls insbesondere aufmerksam machen möchte, ist die Verschiedenheit in der Anordnung der Markraumfortsätze, welche als kleine, runde Lücken dieses Gewebe durchbrechen. Diese Lücken sind noch bei ganz jungen Kindern im ersten Lebensmonate — gleichmässig vertheilt und dicht, wie an einem Siebe geordnet; Knochensubstanz ist erst in grösserer Tiefe erkennbar, in Form von kleinen Halbmonden, welche die bisher blos nach Art eines cavernösen Gewebes confluirenden Lücken theilweise begrenzen.

Bei einem Kinde aus dem Beginn des dritten Lebensjahres aber sehe ich nur wenige vereinzelte Lücken, die meisten sind schon gruppenweise geordnet und all die Gruppen durch merkbare Zwischenräume von einander geschieden. Von der Oberfläche her sind in den Lücken die Reste verschmumpfter Knorpelzellen aus dem daran stossenden Ende der Zellensäulen wahrnehmbar, und alsbald darunter sieht man schon den aus Halbmonden bestehenden Beleg von echter Knochensubstanz. Von der inneren (oberen) Seite her kann man wieder durch Heben und Senken des Mikroskopes das allmälige Anwachsen der grösseren Markräume und knöchernen Markraumbalken verfolgen.

In höherem Alter, nahe der Zeit der kommenden Vereinigung der beiden Knochenstücke, sind die Lücken der Markraumfortsätze, seien sie einzeln oder gruppirt, durch noch grössere Zwischenräume von einander

<sup>1</sup> M. Schulz's Archiv, I. Bd. pag. 359, Tab. 22, Fig. 2.

<sup>2</sup> Reichert und Du Bois, Archiv, 1874, pag. 1.



geschieden, in welchen man dann stellenweise gleich unter der dünneren Verkalkungskruste auch schon breit nach der Fläche hingelegte Knochenlamellen wahrnehmen kann.

Bemerkenswerth sind ferner die Veränderungen der Textur, welche im Reste des Knochenknorpels, im Fugenknorpel, nach und nach auftreten, nämlich in jener Knorpelschichte, welche nach dem Erscheinen des Knochenkernes in der Epiphyse den Diaphysen- und Epiphysenknochen scheidet, beziehungsweise verbindet, und bis zur Zeit der Verstreichung der Epiphysenfuge immer noch das Material zum Fortwachsen der beiden Theilstücke des Knochens nach der Länge liefert. Es finden sich da beim Vergleiche verschiedener Objecte von verschiedenen Individuen zwar manche Abweichungen, fast Unregelmässigkeiten, insbesondere in Betreff des localen und zeitlichen Auftretens von Fasermassen, welche den Fugenknorpel manchmal ganz unregelmässig durchsetzen und scharf spitzig verlängerte Körperchen einschliessen, doch, glaube ich, nach Durchsicht eines grösseren Materiales Folgendes über den Gang dieser Veränderungen aussagen zu können:

Gleich anfangs, also schon nach dem Erscheinen des Epiphysenkernes, sind beiderseits präparatorische Zellenwucherungen in einem sagittalen Längsschnitte des unteren Femures wahrnehmbar, auf Seite der Epiphyse statt der Zellensäulen die von H. Meyer und H. Müller beschriebenen und abgebildeten rundlichen oder ovalen Gruppen grosser Zellen. Zwischen diesen beiden Zonen befindet sich eine mächtige Lage, bestehend aus kleinen, noch vereinzelter Zellen, wie sie früher im ganzen unteren Ende des Knorpels sichtbar waren. Es ist dies gewissermassen eine neutrale Zone, welche die beiden präparativen Zonen vollständig von einander scheidet.

Mit der Zeit wird aber die Anzahl dieser Zellen immer kleiner, auch rücken sie weiter aus einander, und bei einem Kinde von vier Jahren traf ich nur mehr wenige solche vereinzelter Zellen, dagegen schon viele Gruppen, welche aber erst aus zwei bis drei Zellen bestanden. Bei einem sieben Jahre alten Kinde fand ich keine solchen Zellen mehr, in der Zwischenzone nur mehr Gruppen von 3 bis 4 Zellen, und diese Anordnung konnte ich noch an Kindern aus dem elften Lebensjahre constatiren.

Hervorheben muss ich noch, dass sich die Dicke des ganzen Fugenknorpels, welche bei Kindern aus dem vierten Monate nicht mehr als 3 Millimeter beträgt, lange unverändert erhält; dass aber die Begrenzungsfläche durch entgegenwachsende Fortsätze sich manchmal sehr unregelmässig gestaltet und dass in Folge dessen der Durchschnittsrand der Fuge manchmal ein gezacktes Aussehen bekommt. Beiläufig bemerkt, sind gerade diese inconstanten Zacken die Ausgangspunkte von dichten Fasermassen, welche den Knorpel oft nach seiner ganzen Dicke durchsetzen. Wichtig und für das Wachsthummaass der beiden zusammenstossenden Knochenstücke bezeichnend ist der Umstand, dass von der ganzen Dicke der Fugenscheibe noch im elften Lebensjahre etwa  $\frac{2}{3}$  des ganzen Zellenlagers auf die präparative Zone der Diaphyse entfällt, woraus sich wohl ebenfalls wieder ergeben dürfte, dass der Diaphyse ein grösseres Wachsthummaass zukömmt, als der Epiphyse.

Erst bei 17-jährigen sah ich die Dicke des Fugenknorpels bis auf etwa 2 Millimeter zurückgehen, wobei sich abermals wieder, wie ich an zwei Individuen dieses Alters gesehen, bemerkenswerthe Veränderungen ergeben haben. Diese bestehen in Folgendem, Fig. 53:

Es sind nur mehr zwei Zonen von Knorpelzellen vorhanden, nämlich die Zellensäulen der Diaphyse und rundliche Zellengruppen der Epiphyse. Von den letzteren sind nur wenige vorhanden, so dass die Zellensäulen bis nahe an die Knochengrenze der Epiphyse heranreichen; das Zellenmaterial der Zwischenzone ist daher schon vollständig aufgezehrt. Die Zellensäulen liegen aber nicht mehr, wie früher, vereinzelt, sondern sind in Gruppen oder Felder zusammengefasst, welche bald mehr, bald weniger solcher Säulen enthalten, und von anschnlich breiten, die Knorpelscheibe fast senkrecht durchsetzenden Bündeln einer Fasermasse (elastische Stützfasern von Brunn) begrenzt, beziehungsweise von einander geschieden werden. Diese Faserstränge gehen compact aus den Zwischenräumen der Markraumfortsätze der Diaphyse hervor und zertheilen sich an der Epiphysenseite, indem sie bogenförmig die Gruppen der Knorpelzellensäulen umgreifen, um schliesslich in die hyaline Knorpelmasse der Epiphyse einzugehen. Stellenweise, insbesondere aber da, wo die Verknöcherungsgrenze der Diaphyse winkelig in die Fuge eingreift, sind die Fasermassen dichter und

breiter, stellen fast Bänder vor, welche bis an den Epiphysenknochen heranreichen. Aber auch zwischen diesen Zacken stellt sich die Verknöcherungsgrenze als eine mehrfach gebuchtete Linie dar, da nur mehr grössere Markräume an dieselbe herantreten, woraus nur ganz kurze Markraumfortsätze hervorgehen. Diese sind aber schon unregelmässig ihrer Form und Anordnung nach; an dünneren Segmenten findet man zwischen ihnen auch grössere Zwischenräume, wo sich die grossen Markräume durch Lamellen vom echten Knochen abschliessen. Das Ganze weist schon darauf hin, dass das Wachsthum des Knochens in die Länge vollendet ist, und dass der weitere Fortgang nur mehr dahin abzielt, die Vereinigung der beiden noch losen Stücke herzustellen.

Bekanntlich lässt sich auch noch in der Zeit, wo bereits die Theilstücke eines langrührigen Knochens untrennbar mit einander vereinigt sind, in der Spongiosa die Grenze zwischen Epiphyse und Diaphyse leicht erkennen an einer deutlich hervortretenden Unterbrechung des nach der Länge des Knochens geordneten Trabeculargewebes. Es ergibt sich diese Grenze aus einer Knochenlamelle, welche anfangs von einer compacten, von gröberen und feineren Haver'schen Canälen durchzogenen Substanz dargestellt wird, die sich aber später durch Erweiterung der sie durchziehenden Canäle zu einer spongiösen Substanz umbildet. So lange die Lücken darin kleinzellig sind, zum Unterschiede von den mehr röhrenförmigen Canälen, welche sowohl in der Diaphyse, als auch in der Epiphyse vertical geordnet auf einander zulaufen, ist die Grenze immer noch erkennbar; sie verschwindet aber später vollständig wieder, nachdem das beiderseitige Röhren-, beziehungsweise Balkensystem unmittelbar in einander übergegangen ist.

Der Fugenknorpel verknöchert also als Ganzes und wird zunächst zu einer compacten Lamelle, die aber doch wieder nur als eine provisorische Formation zu betrachten ist. Diese Bildung hat offenbar in dem Formellen des Vorganges ihren Grund. Es begegnen sich ja an der Grenze noch keine fertigen Markräume, wie sie die Spongiosa besitzt, sondern nur die feinen Markraumfortsätze, so dass also die Verbindung der beiden Theilstücke zunächst nur auf der Verschmelzung feinerer Gefässe beruht, welche gegen und in einander wachsen.

Die Markraumfortsätze sind, wie gesagt, nicht mehr so zahlreich, auch nicht mehr so dicht an einander reiht, die grossen Markräume zum Theile schon durch compacte Knochenlamellen gegen den Knorpel abgeschlossen, und daher kommt es, dass die in den Fugenknorpel hinwachsenden Canälchen und Gefässe auch nach der Fläche Äste treiben, und dass, wenn sich diese Röhren (Haver'sche Canälchen) mit Knochenlamellen umgeben, die Systeme derselben bei jeder Schnittrichtung gegen einander wie verworfen erscheinen, wie denn auch die Lumina der Canälchen bald quer, bald schief geschnitten in die Bildebene fallen. An einem etwa 19 Jahre alten Individuum hatte ich Gelegenheit, die Structur dieser compacten Lamelle, also das Resultat der Verknöcherung des Fugenknorpels zu untersuchen. Bald aber lernte ich an einem Individuum ungefähr desselben Alters auch ein früheres Stadium dieses Verknöcherungsprocesses kennen. Es war dies ein Fall, wo die um je ein Haver'sches Canälchen sich reihenden Lamellensysteme noch nicht allenthalben zum vollen Anschlusse an einander gekommen sind, und in Folge dessen zwischen sich verschieden gestaltige, in Winkel auslaufende Lücken begrenzten, die sich schon beim ersten Anblicke durch ihren Glanz von der benachbarten lamellosen Knochensubstanz abhoben. Anwendung der Strelzoff'schen Doppeltinction und das Auffinden der charakteristischen Zellen ergaben alsbald, dass darin Reste verkalkten, aber noch nicht verknöcherten Knorpels enthalten waren, wie dies auch schon vorauszusetzen war, da ja diese Lamelle, wie das ganze Balkengewebe der Spongiosa sich auf Grundlage des Knorpels ausgebildet hat. Zur Erläuterung des Geschilderten diene Fig. 54. Es erinnert dies an einen Fund Kölliker's<sup>1</sup>, welcher an einem 16jährigen in der Diaphyse, in bedeutender Entfernung vom knorpeligen Ende eine Zone von verkalkter Knorpelgrundsubstanz auffand, die mit grösseren und kleineren Nestern längs der Grenze gegen die Periostablagerungen vertheilt und allerseits von lamellöser Knochensubstanz begrenzt war.

<sup>1</sup> Handbuch der Gewebelehre, 1867. pag. 221.



## F. Gefässe des wachsenden Knochens.

Nach all' den in neuester Zeit über den Vorgang der Entwicklung der Knochen aus zahlreichen Untersuchungen gewonnenen Ergebnissen dürften wohl anlangend das Gefässsystem zwei Punkte als erwiesen zu betrachten sein: 1. dass sich kein echtes Knochengewebe entwickelt ohne Intervention von Blutgefässen, und 2. dass alle Gefässbildung vom Perioste ausgeht und fortschreitend von aussen nach innen eindringt. Daraus ergibt sich in weiterer Folge, dass gerade die Grenzen der Gefässterritorien die Bildungsstellen echter Knochensubstanz sind, und erklärt sich der allseitige Zusammenhang der äusseren und inneren Gefässe eines jeden Skeletstückes, so dass auch die sogenannten *Vasa nutritia* eben nur als grössere Abzweigungen des eigentlich periostalen Gefässsystems sich darstellen und daher auch leichtlin entfallen können.

Die Fragen also, welche in Betreff des Gefässsystems sich bildender und wachsender Knochen zu stellen sind, betreffen zunächst nur mehr die Formverhältnisse, bei deren Darlegung allerdings auch auf den Gang ihrer Ausbildung Rücksicht zu nehmen sein wird.

Anlangend die Gefässe des jungen Periosts hat sie meines Wissens zuerst Billroth<sup>1</sup> am Neugeborenen dargestellt und ausgesprochen, dass die innerste Schichte dieser Knochenhülle — von ihm als Cambium bezeichnet — eigentlich als schon zum Knochen gehörig anzusehen sei; was gewiss gerechtfertigt ist, da sie ja die Osteoblasten enthält, daher mit der äussersten Schichte der periostalen Knochenablagerung in innigem histologischen Zusammenhange steht; sie ist auch von zahlreichen Gefässen durchzogen, welche eingeschlossen in Fortsätze des Cambiums bei weiter fortschreitender Knochenablagerung in das Innere der anfangs noch weiten Canäle einbezogen werden. Netzartig verflochten durchziehen dann die Gefässe diese primitiven Haver'schen Canäle.

Dieses Eindringen der Gefässe in die Rinde ist gewiss nur eine kaum modificirte Wiederholung jenes Processes, welcher die Gefässe durch Lücken der ersten abgelagerten periostalen Lamelle hindurch in den Verkalkungspunkt der Diaphyse leitet. Anfangs werden wohl die Vertheilungen der inneren Markraumgefässe noch von den äusseren geschieden sein; wenn aber einmal die endochondrale Verknöcherung des Schaftes bis an die periostalen Schichten vorgedrungen ist, und wenn sich die inneren Balken mit den äusseren in Verbindung setzen, so stellt sich auch schon an allen diesen Stellen ringsum eine Verbindung der beiderlei Gefässe her.

Ich sah an dem Längendurchschnitt der Phalange eines Embryo, aus dem Beginn des sechsten Monats, Fig. 51, in dem sanduhrartig eingeschnürten endochondralen Markgewebe von der engsten Stelle aus nach beiden Enden des Knochens einen dendritisch sich ramificirenden Arterienast bis nahe an die Enden der Markraumfortsätze sich hinziehen. Den Ausgangspunkt bildete ein Stämmchen, in der Figur im Querschnitt dargestellt, von wo aus deutlich genug der Zusammenhang des Granulationsgewebes mit dem Inhalt eines periostalen Knochencanales verfolgt werden konnte. Es war dies gewiss die Stelle, wo das Hauptstämmchen (*Arteria nutritia*) eintrat. Obgleich die Gefässe der periostalen Knochenrinde in diesem Präparate nicht ganz gut injicirt waren, konnten doch da und dort in den Canälen, eingelagert in Granulationsstränge und im Zusammenhange mit den Periostgefässen Theile derselben beobachtet werden. Auch öffneten sich mehrere dieser Rindencanäle in den Markraum, und ich konnte deutlich aus dem Lumen des einen den Markstrang, allerdings ohne injicirtes Gefäss in den inneren Markkörper hinein verfolgen; zum Beweise, dass bereits in diesem Stadium, wo gegen die Enden des Knochens hin noch endochondrale Balken mit Knorpelresten vorhanden sind, andere Verbindungen der äusseren mit den inneren Gefässen sich herstellen. Noch überzeugender entnahm ich das Bestehen dieser Gefässanastomosen an Querschnitten einer anderen Phalange, worin ringsum der Zusammenhang der periostalen Markstränge, wovon einige auch injicirte Gefässe enthielten, mit dem endochondralen Markkörper nachzuweisen waren, und zwar um so zahlreicher, je näher gegen die Mitte der Länge des Knochens die Lamelle entnommen war.

<sup>1</sup> Langenbeck's Archiv für Clin. Chir., VI. Bd., pag. 713.

An der hinreichend gut injicirten Tibia desselben Embryo liess sich der Nachweis der Communication der äusseren und inneren Gefässe durch die periostale Rinde hindurch an Längs- und Querschnitten nicht nur in der Mitte des Knochens, sondern auch an den Endflächen desselben, wo noch endochondrale Balken mit Knorpelresten vorhanden waren, unzweifelhaft darthun.

Dass die Gefässe im Ganzen ein Netz darstellen ist klar; doch fand ich bei der allerdings nicht durchgreifenden Injection in den engeren Canälen der periostalen Rinde oft genug nur ein Gefäss in dem Querschnitte eines Haver'schen Canales, dagegen zahlreiche Querschnitte und Längssegmente von Gefässen in den inneren Markräumen, was darauf hinweist, dass es wieder eigentlich Netzstränge sind, welche diese Räume durchziehen. An einem Rindsembryo ist es mir gelungen, diese Netze in grösserer Ausdehnung darzustellen und nachzuweisen, dass sie aus feinen Gefässen zusammengesetzt sind. Im Querschnitte des Knochens ergab sich davon die in Fig. 52 dargestellte Ansicht.

Das Wesentlichste in Betreff der Beschaffenheit der Knorpelgefässe ergibt sich von vorn herein, wenn man sich erinnert, dass jeder Canal von aussen nach innen eindringt, und dass jeder mit all' seinen Verzweigungen ein selbstständiges, in sich begrenztes Röhrensystem vorstellt, welches weder mit den benachbarten noch mit den entgegenkommenden in irgend einer Anastomose steht. In Folge dessen muss das enthaltene Blutgefässsystem, vereinfacht aufgefasst, eine Schleife mit einem zu- und ableitenden Schenkel darstellen, also mindestens aus einem arteriellen und einem venösen Gefässchen bestehen, welche an dem blinden Ende des Canals oder seiner Zweige in einander übergehen. Es muss ferner das ganze Gefässsystem gleichfalls von aussen, vom Perioste hineinwuchern und im Ganzen dieselbe dendritische Astfolge eingehen, wie die es beherbergenden Knorpelcanäle.

Doch ist die Blutgefässformation nicht ganz so einfach als blos vertheilte Sehlinge aufzufassen; es zeigt vielmehr jeder Querschnitt eines Canales, dass meistens drei, oft genug sogar mehr Gefässröhren darin enthalten sind; kleine und grosse, Fig. 42. Wenn es dann gelingt, solche Lamellen darzustellen, welche die ganze Breite des Canales umfassen, so wird man darin Netze finden, wie sie auch schon Billroth<sup>1</sup> zeichnet, welche mitunter namentlich in den grösseren Canälen vielfach vertlochten angetroffen werden (Fig. 40). An Querschnitten kann man sich auch von der Anwesenheit kleiner Nervenstämmchen überzeugen.

Das ganze Packet ist in dem sogenannten Knorpelmarke eingebettet, welches aus faserigem, reichlich mit Kernen ausgestatteten Bindegewebe besteht, worin auch noch zahlreiche granulirte Zellen mit Kernen enthalten sind. Die Abkunft dieser Zellen ist noch nicht sichergestellt; sie werden bald von den in der Umgebung der Canäle eingeschlossenen Knorpelzellen abgeleitet, wohl auch als ausgewanderte lymphoide Körperchen betrachtet.

Allem Anscheine nach ist das kleinere Längsgefäss des Canales die Arterie; es weist darauf seine mit zahlreichen Kernen ausgestattete Wand und dann der Umstand hin, dass bei unvollständiger arterieller Injection dieses Gefässchen öfter gefüllt erscheint, als das stärkere. In grösseren Canälen, welche ein dichteres Netz enthalten, löst sich auch gerade dieses Gefäss in die feinen netzartig verstrickten Gefässchen auf, und es lassen sich daraus auch wieder die Wurzeln des grösseren Gefässes — der Vene — leicht verfolgen. Wie schon an Querschnitten zu erkennen, ist das Netz nicht blos an die Oberfläche verlegt, sondern dringt auch ins Innere des Knorpelmarkes ein. Alle Stammcanäle und alle grösseren Asteancäle enthalten Netze, auch die in die Diaphyse aufsteigenden; während in den Zweigeanälen dritter und vierter Ordnung, insbesondere gegen die Enden derselben, die Gefässformation bis auf drei Röhren sich vereinfacht.

Ein Beispiel dieses Verhaltens soll Fig. 44 zur Ansicht bringen, an zwei gabelförmig von einander abgehenden Endknospen, deren Gefässe, namentlich in dem einen durch Injection sowohl, als auch nach dem Baue der Wände mit aller Schärfe verfolgt werden konnten. Eine feine Stammarterie, welche ich auch noch weiter zurück ganz ungetheilt verlaufen sah, spaltete sich im Winkel der beiden Endzweige des Canales auch gabelig in zwei Zweige, deren jeder bis ans Ende des Canälchens wieder ungetheilt verlief, und dort nach zwei

<sup>1</sup> L. c.



Richtungen in rücklaufende venöse Gefässchen übergang. Es bestehen daher in diesen Endcanälen echte Schlingen, dargestellt von einer einfachen Arterie, einer wahren Endarterie, übergehend in zwei Venen, welche zum Unterschiede von der Arterie alsbald und beträchtlich zunehmen. Ausläufer dieser Gefässe, etwa als Keime werdender neuer, habe ich nirgends wahrgenommen, das Ganze ist in ein kerniges Bindegewebe eingebettet, in welchem auch nicht wenige rundliche körnige Zellen sichtbar sind. Verdichtungen in dem umgebenden Knorpelgewebe habe ich nicht wahrgenommen.

Ganz das gleiche Verhalten zeigte sich an den Gefässen der zahlreichen und feineren Knorpelcanäle des Rindsembryo, wo die Endschlingen aber fast Knäule zu bilden scheinen. In allen Objecten reichten, wenn die Injection gelungen war, die Gefässe bis an das blinde Ende der Canäle heran.

Aus dem jetzt über das Gefäßsystem der Knorpelcanäle Mitgetheilten ergibt sich auch schon bereits der Modus der Entstehung und des Wachstums der Canäle und ihrer Gefässe.

Gleich wie der bindegewebige Inhalt der Canäle eine Fortsetzung ist des Periosts, welche sich, wie Toynbee schon angegeben, immer tiefer in den Knorpel einsenkt, so sind auch die Gefässe der Canäle Abkömmlinge der periostalen Gefässe. Es gelang mir an einem Präparate eine solche gut injicirte periostale Knospe zur Ansicht zu bekommen (Fig. 45), und darin die Gefäßverhältnisse zu untersuchen. Es sind in der That Convolute von ramificirten Blutgefässen, welche sich mit Schlingen begrenzen und so eine Art Körbchen oder Knäuel darstellen. Dass ich es da wirklich mit einer Knospung eines Canales und nicht mit einem durch den Schnitt bewirkten nicht natürlichen Abschluss der Gefässe zu thun hatte, beweist schon die allseitige Begrenzung des Ganzen und der Umstand, dass an dem Segmente noch beiderseits Knorpel Elemente als Decke nachzuweisen waren. Auch da habe ich nichts von Ausläufern der Gefässe, dagegen allenthalben dentliche Begrenzungsmembranen wahrgenommen.

Anlangend das Verhalten der Gefässe an der Grenze ihres Territoriums, im Bereiche der Verknöcherungslinie, so ist bereits allgemein bekannt, dass sich in den Markraumfortsätzen capillare Schlingen befinden, womit sich daher das Gefäßsystem der Diaphyse vorläufig abschliesst. Diese Schlingen wurden vor Kurzem erst durch L. Levsehin<sup>1</sup> ausführlich beschrieben; ich werde daher nur wenig hinzuzufügen haben.

Vorerst muss ich auf Unterschiede aufmerksam machen, welche bezüglich der Grenzformen der Gefässe an den Diaphysen und Epiphysen bestehen. In den letzteren greifen die Markraumfortsätze nicht fingerförmig in den umgebenden Knorpel ein, sondern in der Gestalt von mehr oder weniger breiten, oft ganz nahe am Verknöcherungsrande verzweigten Buchten, welche bald wieder zur Bildung der zelligen Markräume confluiren. In diesen begrenzt sich das Gefäßsystem nur selten mit einfachen Schlingen, meistens mit einem Plexus, dessen Gestaltung, entsprechend der Räumlichkeit, die ihn beherbergt, sich fast in Form eines Körbchens ausbildet, der ungefähr also so aussieht, wie die soeben beschriebenen Netze in den Knospen der neu sich bildenden Knorpelcanäle (Fig. 48).

Diese Form der Grenzgefässe findet sich im ganzen Umfange des Epiphysenkernes, allenthalben, wo derselbe noch vom Knorpel überlagert ist, also sowohl nach den Seiten, als auch gegen die Gelenkfläche und gegen die Epiphysenfuge. Da man diese Formation als eine Vervielfältigung der Schlingenbildung betrachten kann, so lässt sich das, was noch über das Wesentliche der Diaphysenschlingen gesagt werden soll, auch auf sie beziehen.

Entsprechend der Gestaltung des Markraumfortsatzes sind die Schlingen im Verknöcherungsrande der Diaphyse bald einfache Umbeugungen eines aufsteigenden Gefässes, bald ist aber schon eine Vertheilung dieses Gefässes insofern vorhanden, als dasselbe nach zwei Seiten in ein rücklaufendes Gefäss einlenkt. Die Umbeugungsstellen entsprechen den unteren Enden der Knorpelzellensäulen und es hat oft genug den Anschein, als ob die Schlinge schon in die letzt eröffnete Zelle hineinragen würde. Die Gestalt des Schlingenbuges ändert sich nach der Schnittrichtung und der in Folge dessen variirenden Ansicht; variirt aber auch factisch in den Formen, wie sie bei Levsehin abgebildet sind (Fig. 47). Häufig genug bekommt man an

<sup>1</sup> Bulletin de l'acad. d. St. Pétersbourg. Taf. VIII, 1871, pag. 307.

der Umbengungsstelle befindliche Auftreibungen des Rohres zu sehen, welche ich aber, ich möchte sagen immer, nur an dem rückläufigen, also an dem venösen Schenkel wahrgenommen habe, wie dies ja auch an den Schlingen in den Knorpelcanälen vorkommt. Anastomosen können selbstverständlich nur da verkommen, wo Verschmelzungen der Markraumfortsätze vorhanden sind; sie kommen aber nie an dem arteriellen Schenkel der Schlinge, immer nur an dem venösen vor. Durch diese allerdings verschiedenen placierten Röhren werden die Schlingen mit einander verbunden, und es kommt so im Ganzen genommen an der Endfläche des Diaphysenstumpfes ein lockeres Netz zu Stande, wovon Theile an Querschnitten leicht zur Ansicht gebracht werden. In voller Flächenübersicht ist diese Grenzformation der Gefässe nur an Präparaten zu erlangen, welche mit körnigen in Harz suspendirten Pigmenten injicirt sind. Dann lässt sich durch fortgesetzte Maceration der Knorpel vollständig entfernen, und wenn man dann die so frei gelegte Endfläche der Diaphyse betrachtet, so sieht man thatsächlich ein, allerdings lockeres Netz, aus dessen Fläche sich die einzelnen Schlingen geradezu papillenartig abheben; ich sah dies an einem in der hiesigen anatomischen Sammlung befindlichen Präparate von Proehaska. Ein ähnliches Präparat gab mir Gelegenheit, auch den injicirten Epiphysenkern von der Oberfläche zu besehen, wovon wieder die in den Markraumbuchten eingelagerten Körbechen fast wie zottenartige Gebilde über das Niveau des Netzes hervortraten.

An allen diesen Gefässen ist bei starken Vergrösserungen und in dünnen Lamellen die Begrenzungsmembran mit aller Deutlichkeit wahrzunehmen; auch glaube ich einigemal solche Fortsätze der Capillaren wahrgenommen zu haben, wie sie Levschin beschreibt, wie in dem Fig. 50 gezeichneten Exemplare. Es kam da eine breite Schlinge in Sicht in einem Markraumfortsatze, der nach drei Richtungen hin kleine Buehten ansendete. In diese Buehten ragten auch stumpfe knrze Fortsätze des Gefässrohres hinein, und da ich von beiden Seiten des Präparates diese Gefässbueht gedeckt sah, und in Berücksichtigung der allseitig freien Lage des Markröhrehens an eine durch den Schnitt unterbrochene Anastomose mit benachbarten Schlingen nicht denken kann, so halte ich dieses Präparat nach der bezeichneten Richtung für überzeugend.

Die Wahrnehmung, dass die Kerne der Capillaren unregelmässig geordnet sind, selbst verschieden tief in die Wand eingreifen, veranlasst Levschin zu der Annahme, dass sie nichts anderes als extravasirende Elemente aus den Blutgefässen sind. Es ist dies eine Annahme, welche aus theoretischen Gründen nicht unwahrscheinlich ist.

Von grösster Wichtigkeit ist noch die Beantwortung der Frage, wie sich zu diesen Grenzformationen des Gefässsystems die zuleitenden Röhren der Arterie stellen, ob dieselben noch nahe daran unter einander Verbindungen eingehen, wie sich überhaupt die Astfolge der feinsten Arterien gestaltet.

Nach Durchsicht einer grösseren Reihe von Präparaten kann ich darüber Folgendes aussagen. Es verlaufen die Arterien, welche ja alsbald, schon an ihrem kleinen Kaliber auch mitten in einer diehteren Injection zu erkennen sind, fort und fort dendritisch ramificirt gegen das Knochenende, gehen auch während ihres Verlaufes Anastomosen ein, und bilden somit ein lockeres Geflecht. Wie sie sich aber dem Verknöcherungsrande nähern, hören die Anastomosen auf, nicht aber auch die Vertheilung, welche manchmal bis in die Nähe der Schlingenbildung fortschreitet, dann nämlich, wenn Theilungen der Markraumfortsätze vorhanden sind. In der Regel aber hat jeder Markraumfortsatz, beziehungsweise jede terminale Schlingenformation ihre eigene, und deshalb oft genng hinreichend lange Arterie. Was an Anastomosen im Bereiche des Verknöcherungsrandes sichtbar ist, gehört daher schon zum Venensystem, dessen Äste auch bald, meistens schon im Bereiche der Markraumfortsätze anastomosiren, darüber hinaus aber, also in den eigentlichen Markräumen schon vielfach zusammentreten.

Es gibt somit auch hier solche voreapillare Arterienzweige, die man mit Recht im Sinne Cohnheim's als Endarterien bezeichnen kann. Was also bei der Ansicht von der Endfläche her als Netz sich gestaltet, ist gleichfalls zu dem Venensystem zu zählen.

In Fig. 49 habe ich ein Schema dieser Verhältnisse dargestellt, welches aber in seinen Einzelheiten tren copirt ist und nur deshalb als schematisch bezeichnet wird, weil die Einzelheiten zwar aus einem und demselben Objecte, aber aus verschiedenen Distanzen zu einem Ganzen vereinigt worden sind.



Ich habe vorhin dargethan, dass die obersten, d. i. die zunächst der Verknöcherungsgrenze in den noch knorpeligen Theil des Knochens eindringenden Canäle, auch senkrecht aufsteigende Abzweigungen in die Diaphyse senden. Ich kann nun hinzufügen, dass auch diese Canäle, wie alle die grösseren Knorpelcanäle, Blutgefässnetze führen, und dass ich einigemal beobachtet habe, wie sich diese Gefässe mit den Gefässen der Diaphyse in Verbindung setzen, und dass so eine directe Verbindung der innern Gefässe der Diaphyse mit diesen von unten eindringenden hergestellt wird. Die Verbindung geschieht aber nicht unmittelbar an der äussersten Grenze des Gefässterritoriums, also nicht mittelst der Gefässe der Markraumfortsätze, diese werden vielmehr mit den dazu gehörigen Zellensäulen zur Seite abgedrängt, und es wird die Verbindung erst hinter (ober) der Zone der terminalen Schlingen hergestellt.

Es ergeben sich in Betreff dieser Verbindungsgefässe folgende Fragen: Ob dieselben zahlreich sind oder nur sporadisch vorkommen, ob sie bleibend sind, d. h. bis zur Vereinigung der beiden Theilstücke des Knochens bestehen, und ob durch sie etwa auch eine Verbindung des Diaphysenknochens mit dem Epiphysenkern hergestellt wird.

Um mich in der ersten und zweiten Frage auf möglichst sichere Weise und auf kurzem Wege bezüglich des factischen Bestandes zu informiren, habe ich die Fugenfläche gut macerirter Diaphysen und Epiphysen untersucht, von Neugeborenen und Individuen aus späteren Lebensperioden, bis zur Zeit der vollen Vereinigung der beiden Theilstücke des Knochens.

Dabei ergab sich, dass an den Endflächen — namentlich der Femur-Diaphyse — immer mehrere grössere Lücken vorhanden sind, ungefähr von dem Caliber einer mässig dicken Borste, welche offenbar Öffnungen von Gefässcanälen darstellen, welche in fast senkrechter Richtung durchgängig sind. Die Anzahl dieser Öffnungen ist aber nicht constant, auch nicht ihre Lage; ich fand beim Neugeborenen selten mehr als 15—20, aber auch viel weniger; später sah ich allerdings auch manchmal zahlreichere, immer aber nur einzelt auf grösseren Feldern. Die gesammte Oberfläche erschien sonst für das unbewaffnete Auge geradezu dicht, und liess erst unter stärkeren Vergrösserungen jene feinen Lücken erkennen, welche den Markraumfortsätzen entsprechen.

Im Verhältnisse zur Ausdehnung der Endfläche kann man daher immerhin sagen, dass die Anzahl der von unten in die Diaphysenknochen aufsteigenden Gefässe nichts weniger als eine grosse ist, und, wie ich aus directen Beobachtungen erkannte, sind es nicht vereinzelte grössere Arterien oder Venen, welche da eingehen, sondern immer nur solche netzartige Gefässformationen, wie sie in den Knorpelcanälen enthalten sind.

Ehe ich in die Beantwortung der dritten Frage eingehe, will ich noch des Schicksals gedenken, welchem die Knorpelcanäle durch das Fortschreiten des Verknöcherungsprocesses zugeführt werden. Ich bringe deshalb zuerst in Erinnerung, dass beim Embryo aus dem Beginne des 6. Monates Canälehen in vier bis fünf Lagen in den Diaphysenknorpel eintreten, und dass nur die obersten aufsteigende Zweige gegen die Verknöcherungsgrenze absenden; indem ich nun hinzufüge, dass schon beim Neugeborenen weniger über einander lagernde Canälehen vorhanden sind, so ergibt sich daraus schon, dass beim Fortschreiten der Verknöcherung bis in die Nähe der Condylusflächen einige Canälehen untergehen müssen. Da ferner immer nur die obersten die aufsteigenden Canälehen zur Diaphyse abgeben, so kann man daraus schon den Schluss ziehen, dass es immer die obersten sein werden, welche zunächst untergehen.

Der Umstand, dass der äussere untere Gefässreif relativ nicht vom Platze rückt, war Veranlassung zu überlegen, ob nicht auch das oberste Gefässcanälehen seinen Platz behalte, in welchem Falle aber dann angenommen werden müsste, dass die rindlichen Zellengruppen des Knorpels, um in die Zone der längs geordneten Zellen zu gelangen, über das Gefäss hinweg an der Verknöcherungsgrenze vorrücken müssten, was aber an und für sich schon unwahrscheinlich ist. Es konnte also das Untergehen der Canälehen nicht mehr anders gedacht werden, als durch ein von oben nach unten fortschreitendes Einbeziehen derselben in die sich verlängernde Diaphyse. Dies setzt aber mindestens für den Anfang einen Nachwuchs der Gefässcanälehen voraus; und dass ein solcher wirklich bestehe, lehrt schon der Unterschied der in Embryo aus dem 6. Monate aufgefundenen Canälehen (Fig. 37), wovon die unteren, näher gegen die spätere Fuge gelagerten

weniger ramificirt sich zeigten, und dass selbst an den in die Markräume der Diaphyse eingehenden Zweigen eine Keimung wahrnehmbar sei, habe ich gleichfalls schon dargethan.

Nach dem Gesagten konnte ich nicht mehr daran zweifeln, dass die im Bereiche des Diaphysenknorpels entstandenen Gefässcanäle, mindestens die des Embryo, allmählig in den sich verlängernden Knochen einbezogen, und durch andere, tiefer unten, in der Nähe der Fuge nachkeimende ersetzt werden. Dafür dass beim Embryo die Canäle mit ihren Gefässen thatsächlich in die Diaphyse einbezogen werden, kann ich wohl keinen Beweis erbringen, dass dies aber in späterer Zeit, nach der Geburt, wirklich geschehe, bin ich in der Lage darzuthun durch einen Fall, den ich am unteren Ende der Tibia eines 18 Monate alten Kindes beobachtet habe. Der hierauf bezügliche Befund ist in Fig. 46 abgebildet.

Es geht nämlich ein Canal unmittelbar vom Perioste ab und ist nahe an seinem Beginn bereits mit den Markräumen der verknöcherten Diaphyse in Communication getreten. In weiterer Folge entsendet derselbe einen in die Diaphyse aufsteigenden breiten Canal, in welchem ein schönes Zweignetz enthalten ist. Durch diese beiden Verbindungen entsteht zwischen dem Canale und den Enden einiger Markraumfortsätze eine Lücke, in welcher (linkssseitig) Knochenkörperchen wahrnehmbar sind. Diese erstrecken sich an dem oberen Rande des Canales bis zu seinem aufsteigenden Aste fort, gehören also offenbar einer nur dünnen Lamelle an, von welcher aber ein Theil durch den Schnitt entfallen ist, so dass durch die Lücke wieder Einsicht in eine tiefere Schicht geboten ist, worin nur Knorpelzellen wahrnehmbar sind. Welche Anordnung in dieser tieferen Schichte bestand, ergab ein zweites Präparat, bestehend aus der abgebildeten benachbarten Lamelle, worin sich gleich wieder, gerade wie auch nach rechts (in der Abbildung) die gewöhnliche säulenartige Anordnung der Knorpelzellen zeigte. Es scheint mir daher gar keinem Zweifel zu unterliegen, dass es sich hier um einen Canal handelte, der zur Hälfte bereits mit Knochenmasse umlagert und somit daran war, alsbald vollends in den Diaphysenknochen einbezogen zu werden.

Darauf hin lässt sich annehmen, dass dieser Vorgang auch während des Intrauterin-Lebens besteht; er führt, indem auf diese Weise allmählig die embryonalen Diaphysencanäle Schichte für Schichte einbezogen werden, gleichfalls zur Verbindung der Periostgefässe mit den Markgefässen und zu jener Verminderung der Knorpelcanäle ober der Fugenlinie, auf welche ich vorhin hingewiesen habe.

Es ist dies offenbar unter einer anderen, nur durch locale Verhältnisse bedingten Form derselbe Process, der auch in der Epiphyse vorkommt und daselbst öfter und leichter nachweisbar ist. Man trifft übrigens auch in der Epiphyse die Knorpelgefässe in den verschiedensten Beziehungen zum Knochenkern.

Ausser dem stets vorausgesetzten Falle, dass sich an den ins Centrum des Knorpels eingedrungenen Canälen der Knochenkern ansetzt, habe ich Fälle gesehen, wo das ganze Gefässnetz eines grösseren Knorpelcanales, nachdem es sich im Knochenkern mit den Markgefässen desselben in Communication gesetzt hat, wieder ausgetreten ist, und peripheriwärts in den Rest des Knorpels Zweige abgegeben hat; es sah die Sache also so aus, als ob sich der Kern mitten im Verlaufe des Canales angesetzt hätte. Dahin gehören die von Kölliker verzeichneten Fälle<sup>1</sup>, wo er bei einem 16jährigen Gefässe aus dem Knochenkern in den Gelenkknorpel eintreten sah. Ich kenne auch Fälle, wo der Knorpelcanal noch neben dem Knochenkern vorbeiging, und nach hergestellter Verbindung der Gefässe wieder weiter in den Knorpel sich vertheilte.

Auf solchen aus der Epiphyse neu austretenden Canälen und ihren Gefässen kann offenbar auch die Gefässcommunication beruhen zwischen den Markgefässen der Diaphyse und Epiphyse, in welchem Falle dann senkrecht aufsteigende Zweige den Fugenknorpel seiner ganzen Dicke nach durchsetzen. Allerdings kann diese Communication unter normalen Verhältnissen nicht sehr verbreitet sein, worauf ja schon die verhältnissmässig geringe Anzahl von grösseren Öffnungen in den Endflächen der macerirten Diaphysen hinweist; sie kommt aber bei Thieren, mindestens einigen Arten derselben, viel häufiger vor, wie ich aus einem noch von Prochaska injicirten Metatarsus eines Fohlens ersehe, woran ich in einem einzigen Frontalschnitte über 30 den Fugenknorpel durchsetzende Gefässe zählen konnte; in der Hälfte eines Frontal-

<sup>1</sup> Gewebelehre, 1867, p. 212.



schnittes bis 10. Es scheint mir, dass auch beim Rinde dieser vasculäre Zusammenhang ein vervielfältigter und jedenfalls mehr ausgebreiteter sein dürfte, als beim Menschen, weil ich schon beim Embryo die aufsteigenden Canäle in viel grösserer Menge angetroffen habe.

Rücksichtlich der Herstellung dieser Communication gibt mir ein Präparat von einem 18 Monate alten Kinde die nöthigen Anhaltspunkte (Fig. 39). Ich sehe, dass da eines der gerade ober der Gelenkfläche eintretenden Canälchen sowohl nach unten zum Epiphysenkern, als auch nach oben zum Diaphysenknochen Zweige absendet. Wenn nun beim weiteren Fortgang der Verknöcherung das Stämmchen, sei es in die Diaphyse, sei es in die Epiphyse, einbezogen wird, und wenn sich die Fugenfläche des Epiphysenkernes ebnet, so werden unter allen Umständen bald mehr, bald weniger Ästchen den Fugenknorpel gerade durchsetzen, wie auch schon an diesem Präparate zwei direct aus der Epiphyse austretende Canälchen zu sehen sind. Es sind dies aber nicht einzelne Gefässe, sondern Netze. Beim Pferde aber sind thatsächlich auch grosse Gefässe, wodurch die Verbindung hergestellt wird.

Ich habe bisher alle die Zone der Knorpelzellensäulen durchsetzenden Gefässe aus den unten eintretenden Knorpelcanälen abgeleitet, und dies dürfte wohl auch insbesondere beim Embryo die Regel sein. Ich fand aber in späterer Zeit, schon bei einem Kinde von 2 Jahren, aus der Verknöcherungsgrenze der Diaphyse grössere nach unten gerichtete, breit endigende Kolben in den Knorpel eintreten und die Zellensäulen aus einander drängen; sie enthielten faseriges Gewebe, zeigten zwar keine Spur einer Injection, legten aber immerhin die Vermuthung nahe, dass auch von oben herab eine Gefässverbindung mit den Canälen des Knorpels angebahnt werden könnte.

Die Eingangs erwähnten (p. 5) Canäle des Femur, welche theilweise in die Compacta eingegraben, erst nach längerem Verlaufe ins Innere der Spongiosa eingehen, drängen zu der Vermuthung, dass schon nach den ersten Lebensjahren eine Neubildung von Gefässen im Fugenknorpel auf Grund von neuen Knorpelcanälen nicht mehr vorkommt, und dass die von den daselbst fixirten äusseren Stämmchen abgehenden Zweige, nachdem sie in das Knochengewebe aufgenommen worden sind, sich mit dem wachsenden Schafte immer mehr stecken müssen.

Ich habe nach Durchsicht nicht weniger Präparate die Überzeugung gewonnen, dass bezüglich der Gefässverhältnisse an der Fuge Variationen, selbst Unregelmässigkeiten bestehen, welche möglicherweise auch auf den Wachsthumsvorgang nicht ohne Einfluss sein dürften.

Ist einmal die Verbindung der Epiphyse mit der Diaphyse durch Verknöcherung des Fugenknorpels hergestellt, so sieht man, so lange die compacte Fugenlamelle besteht, dieselbe nur von mässig grossen Gefässen durchsetzt, welche die Gefässverbindung beider Knochenstücke vermitteln, und ich halte sie wenigstens zum Theil für Abkömmlinge der beschriebenen, den Fugenknorpel durchsetzenden Gefässe.

Bemerkenswerth scheinen mir noch vereinzelte arterielle Gefässe zu sein, welche ich in sagittalen Medianschnitten des unteren Femurendes ober der compacten Fugenlamelle mitunter angetroffen habe; sie dürften gleichsam nur Reste sein bestandener Formationen, nämlich der letzten in den Fugenknorpel eingedrungenen Gefässe, welche schliesslich auch in die Diaphyse einbezogen worden sind.

Unter den mir zugekommenen Leichen von Kindern fand ich auch eine aus dem 3. Lebensjahre mit allen Zeichen von Rachitis. Eine hinreichend gelungene Injection derselben gab mir die Gelegenheit, das Verhalten der Gefässe auch unter diesen Verhältnissen kennen zu lernen; ich werde in Kürze nur das Wichtigste hervorheben.

Bekanntlich wachsen bei fortgeschrittenem rachitischen Processe die Markräume bis in die wuchernde präparative Zone des Knorpels derart hinein, dass sie mit dicken Fortsätzen fast wie grosse höckerige Papillen in dieselbe tief eingreifen, und in ihren Zwischenräumen oft sehr lange Fortsätze der Knorpelzone zwischen sich fassen. Da sich die Zellenreihen zum Theile um die höckerigen Auftreibungen der Markräume ordnen, wird das ganze Knorpelgewebe verworfen, so dass von den sonst linear geordneten schmalen fingerförmigen Markraumfortsätzen an der eigentlichen Grenze des präparativen Knorpels nur mehr verein-

zelle zu sehen sind. Dafür aber finden sich so manche auch mitten in den Fortsätzen der Zellschichte, welche tief zwischen die grossen Markraumbuchten eingedrungen sind. Dem entsprechend ist auch das Gefässsystem anders angeordnet. Was zunächst auffällt, ist die mächtige Entwicklung der Venen schon in den grossen Markraumbuchten, in welchen sich ein dicht geordnetes Geäst grosser Venen findet. Alle diese Venen wurzeln in den kleinen höckerigen Ansätzen der grossen Markraumbuchten, und beginnen da schon mit bemerkenswerthem Caliber in einer Gruppe von Schlingen, welche aus feinen arteriellen Zweigchen hervorgehen. Weiter zurück, wo sich bereits aus osteoidem Gewebe eine Art Spongiosa (Spongioid) gebildet hat, treten diese immer stärker anwachsenden Venen in den Lücken derselben, die sie fast ganz ausfüllen in ein dichtes grobes Netz zusammen.

Einfachere Endschlingen kommen an der eigentlichen Knorpelzone nur wenige vor, im Innern aber, nämlich in den Zwischenräumen der grossen Markraumbuchten, viel mehr in eigenen Canälen, welche offenbar durch Erosionen in dem gewucherten Knorpelgewebe zu Stande gekommen sind. Die aus dem Fugenknorpel aufsteigenden und denselben durchsetzenden Gefässe — Netze, wie sie in den normalen Knorpelcanälen gefunden werden — sind sehr zahlreich, und treten dann nahe an den Basen der Buchten mit den Gefässen derselben in Zusammenhang, vertheilen sich aber auch selbstständig in dem Knorpel.

Auch aus dem Periost greifen Schlingengruppen in die Fortsätze des wuchernden Knorpels der Diaphyse ein.

In den beiden Figuren 55 und 56 sind diese besprochenen Verhältnisse dargestellt. Fig. 56 gibt eine Ansicht des Venensystems in den grossen Markraumbuchten und der Vertheilung eines von unten eingehenden Stämmchens.

In einem Falle, wo der Rachitismus noch nicht so weit vorgeschritten war, fand ich ausser den beschriebenen aber noch nicht so weit vorgerückten Markraumbuchten in dem noch ziemlich scharf umschriebenen Fugenknorpel einen von der Seite eingetretenen Knorpelcanal, dessen aufgetriebenes Ende eine fast blumenkohlartig gestaltete Gefässwucherung enthielt, woraus sich ein grosser Venenstamm entwickelte; mit einem Theile drängte sich dieses fast cavernöse Gefässgewebe in eine Lücke der Epiphyse ein, doch ohne mit derselben einen vasculären Zusammenhang einzugehen.

Digitized by the Harvard University, Ernst Mayr Library of the Museum of Comparative Zoology (Cambridge, Mass.)



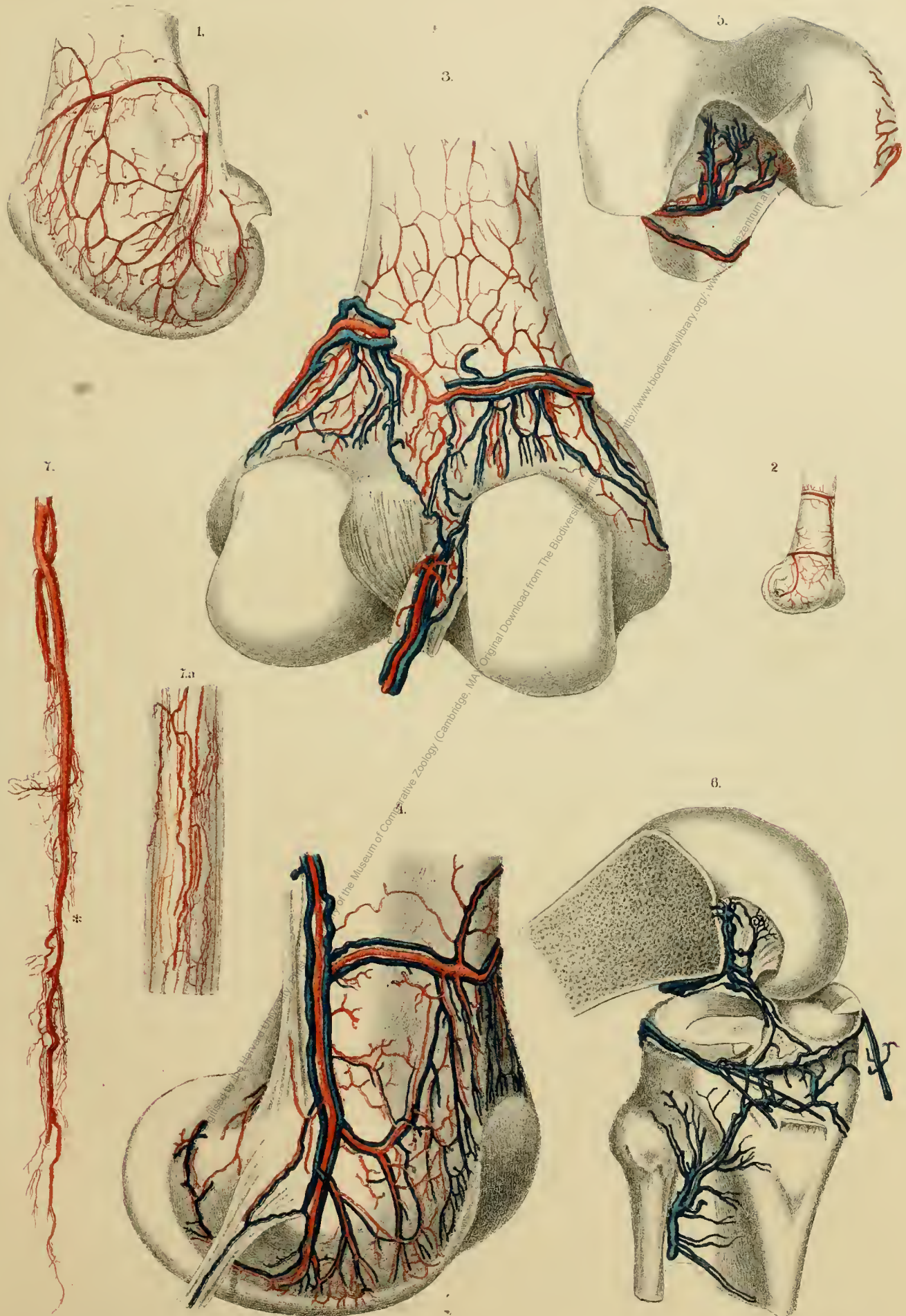
## ERKLÄRUNG DER TAFELN.

- Fig. 1. Rechter *Condylus internus femoris* eines Mannes in  $\frac{2}{3}$  der natürlichen Grösse mit den injicirten Arterien.
- „ 2. Linker *Condylus internus femoris* eines Kindes mit den Arterien.
- „ 3. Linkes unteres Ende eines Oberschenkelknochens eines Mannes mit den Arterien und Venen der hinteren Fläche.
- „ 4. Dasselbe Präparat mit seiner medialen Fläche.
- „ 5. Unteres Ende des Femur eines Knaben zur Darstellung der in der Incisur ein- und austretenden Gefässe.
- „ 6. Rechtes Kniegelenk eines Mannes in  $\frac{2}{3}$  natürlicher Grösse mit injicirten Knochenvenen, hauptsächlich zur Darstellung der *Vena genu impar*.
- „ 7. *Arteria nutritia tibiae* eines zweijährigen Kindes mit einem noch im Canale abgehenden grösseren Aste und zahlreichen feinen Zweigchen, welche untereinander anastomosirend das in Fig. 7 a vergrössert abgebildete Netz darstellen, woraus Zweigchen für die den Canal umgebende Corticalis hervorgehen. Bei \* die innere Öffnung des *Canalis nutritius*.
- „ 8. Vertheilung der *Arteria nutritia tibiae* in der Markröhre des Knochens; Entstehung des *Ramus recurrens*, Bildung des feinen die Arterie und Vene umspinnenden Geflechts, und Ursprung dreier Arterien für die compacte Substanz des Knochenschafes (die letzteren aus einem anderen Präparate herübergenommen).
- „ 9. Die feinere Vertheilung der Arterien im Marke etwas vergrössert.
- „ 10. Schema der Vertheilung der *Arteria* und *Vena nutritia* im Markeanal, aus zwei Präparaten zusammengestellt; oben die sternförmig vertheilten, in den *Canalis nutritius* direct durch Nebenöffnungen eingehenden Zweige; unten die mehr fächerförmig geordneten Äste.
- „ 11. Eine Venenquaste an der Oberfläche des Markes aus der Tibia eines Mannes mit linear abgehenden Wurzeln; rechts unten das Venennetz an der Oberfläche des compacten Markkörpers.
- „ 12. Eine sternförmige kleine Venenquaste aus demselben Knochen.
- „ 13. Einige Venen und Arterienäste des Markes aus dem unteren Drittel der Tibia.
- „ 14. Aus dem Querschnitt der Tibia eines Mannes mit Venensternen im Mark und einigen arteriellen Zweigen.
- „ 15. Ein arterieller Ast des Markes aus dem unteren Drittel der Tibia eines Mannes, mit einem auf der Wand aufliegenden Venennetze.
- „ 16. Längendurchschnitt des *Caput femoris* von *Pelobates* mit arteriell injicirten Gefässen.
- „ 17. Querschnitt des *Caput femoris* von *Rana temporaria* mit einem Gefässkranz in der periostalen in den Epiphysenknorpel hineingewachsenen Röhre.
- „ 18. Capillarnetz in den grösseren Haver'schen Canälchen von der medialen Fläche des unteren Tibiaendes eines Erwachsenen.
- „ 19. Mark und Gefässe aus dem Querschnitte der Tibia einer erwachsenen Katze.
- „ 20. Dasselbe aus dem Femur.
- „ 21. Segment eines Querschnittes der Tibia eines 5 Jahre alten Knaben. Venöse Capillaren, Venenstämme an der Peripherie. Anastomosen der Mark- und Corticalvenen.
- „ 22 und 23. Venennetze der Spongiosa aus dem unteren Ende des Femur eines Mannes; Fig. 22 ein Längsschnitt, Fig. 23 ein Querschnitt.
- „ 24. Arterielle,
- „ 25. Venöse Capillaren bei stärkerer Vergrösserung aus dem Marke der Spongiosa eines ausgewachsenen Oberschenkelknochens.
- „ 26. Zwei Haver'sche Canäle mit den eingelagerten Blutgefässen, aus der Tibia eines Mannes, im Querschnitte.
- „ 27. Durch Maceration in Salzsäure isolirte Haver'sche Röhren mit injicirten Gefässen; in dem anliegenden Detritus isolirte Knochenkörperchen.
- „ 28. Ein solches Canälchen stärker vergrössert, mit zwei Gefässen, wovon das dünnere eine Arterie, das dickere eine Vene ist. Die scharf umschriebene Lücke entspricht dem Abgange eines abgebrochenen Astes.
- „ 29. Theil eines Haver'schen Canälchens, stärker vergrössert, mit herausgetretenen Enden eines arteriellen und venösen Zweiges.

- Fig. 39. Theil eines durch Maceration isolirten Haver'schen Canälchens, an dessen Wand noch die daran haften gebliebenen Röhrchen der Knochenkörperchen sichtbar sind.
- „ 31. Durchschnitt des injicirten Gelenkstückes der Tibia eines Mannes, mit den Ausläufern der Markräume und den terminalen Gefäßsschlingen.
- „ 32. Ansatz des *Ligamentum fibulare tali anticum* mit terminalen Gefäßsschlingen in der compacten Knochenrinde der Fibula.
- „ 33. Dasselbe Band mit den terminalen Ausläufern seiner Gefäße, gegen den Knochen.
- „ 34. Sagittale mediane Durchschnittslamelle des unteren Femurendes eines 2½ Monate alten Embryos.
- „ 35. Dasselbe Object von einem etwa 3½ Monate alten Embryo, mit den ersten Keimen von Knorpelcanälen.
- „ 36. Dasselbe Object von einem Embryo nach vollendetem 4. Monate, mit vervielfältigten und mehrfach ramificirten Canälen.
- „ 37. Dasselbe Object von einem Embryo aus dem 6. Monate, mit zahlreichen injicirten Knorpelcanälen.
- „ 38. Knorpelscheibe vom unteren Ende des Oberschenkelknochens eines Neugeborenen, mit Knorpelcanälen und Gefäßen.
- „ 39. Sagittale mediane Durchschnittslamelle des unteren Femurendes von einem 18 Monate alten Kinde, mit dem Epiphysenkern und seinen Gefäßen.
- „ 40. Aus demselben Präparate die Gefäße eines Knorpelcanales; ein Theil des Netzes ist durch den Schnitt verloren gegangen.
- „ 41. Frontale Durchschnittslamelle aus dem oberen Ende des Femur eines Neugeborenen mit dem *Ligamentum teres* und den Gefäßen.
- „ 42. Querschnitt eines Knorpelcanales aus dem medialen Knöchel der Tibia eines 18 Monate alten Kindes mit Gefäßen und Nerven.
- „ 43. Querschnitt eines gegen den Diaphysenknochen aufsteigenden Knorpelcanales, aus dem Bereiche der Knorpelzellensäulen vom Embryo eines Kalbes.
- „ 44. Gabeliges Ende eines Knorpelcanales aus dem Knöchel der Tibia eines 18 Monate alten Kindes mit den Blutgefäßen.
- „ 45. Keime eines Knorpelcanales mit den Gefäßen aus der Fuge des unteren Femurendes eines 18 Monate alten Kindes.
- „ 46. Ein Gefäßcanal der Fuge aus dem unteren Ende der Tibia eines 18 Monate alten Kindes; die Verknöcherungsgrenze der Diaphyse ist bis nahe an den Canal herangerückt, und derselbe theilweise schon von Knochensubstanz umgriffen.
- „ 47. Terminale Blutgefäßsschlingen, eingelagert in die Markraumfortsätze an der Verknöcherungsgrenze der Diaphyse des Femur eines 6 Jahre alten Kindes.
- „ 48. Terminale Gefäßsformation an der Verknöcherungsgrenze des Epiphysenkerns des Oberschenkelknochens eines 6 Jahre alten Kindes.
- „ 49. Halbschematische Darstellung der terminalen Gefäßsschlingen aus der Diaphyse der Fibula eines 18 Monate alten Kindes.
- „ 50. Eine solche Gefäßsschlinge stärker vergrößert, mit Ansätzen.
- „ 51. Längsdurchschnitt einer Fingerphalange eines Embryo aus dem 6. Monate, mit injicirter Markarterie.
- „ 52. Querschnitt-Lamelle aus dem Femur eines etwa 4 Monate alten Rindsembryo zur Darstellung der Gefäßnetze in den inneren Markräumen.
- „ 53. Segment der Knorpelfuge des unteren Femurendes eines ungefähr 17 Jahre alten Mannes.
- „ 54. Ein ähnliches Segment, worin die Fugenscheibe bereits verknöchert ist, aber noch inselförmige Einlagerungen von verkalktem Knorpel enthält.
- „ 55. Sagittal mediane Durchschnittslamelle des Femur eines 3jährigen rhachitischen Kindes.
- „ 56. Einer der krankhaft vergrößerten Markraumfortsätze der Diaphyse mit seinen Gefäßen stärker vergrößert.



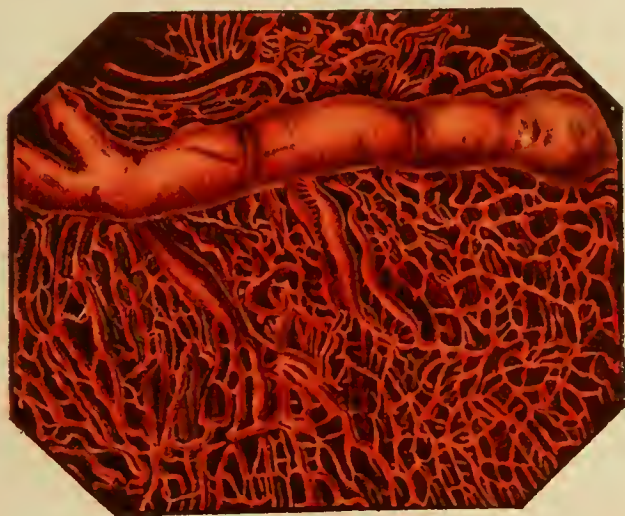




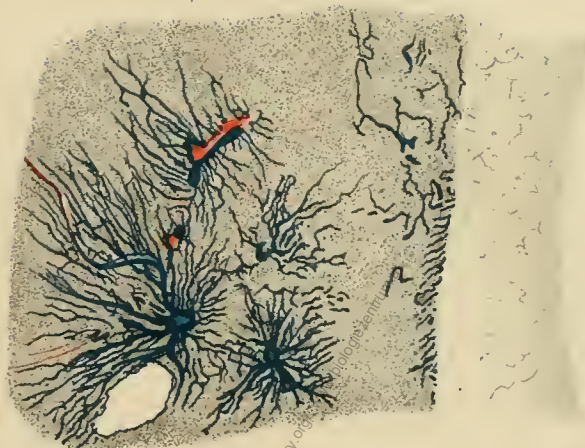
Digitised by the Harvard University, Ernst Mayr Library of the Museum of Comparative Zoology (Cambridge, MA); Original Download from The Biodiversity Heritage Library <http://www.biodiversitylibrary.org/>; [www.biologiezentrum.at](http://www.biologiezentrum.at)



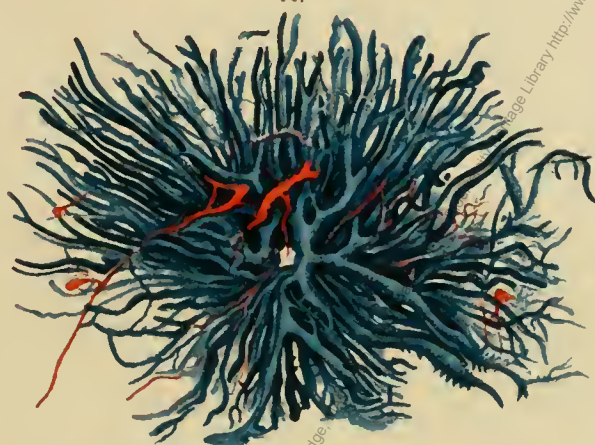
11.



14.



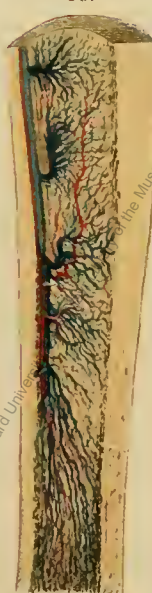
12.



9.



10.



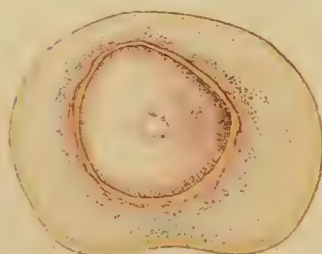
13.



16.



17.

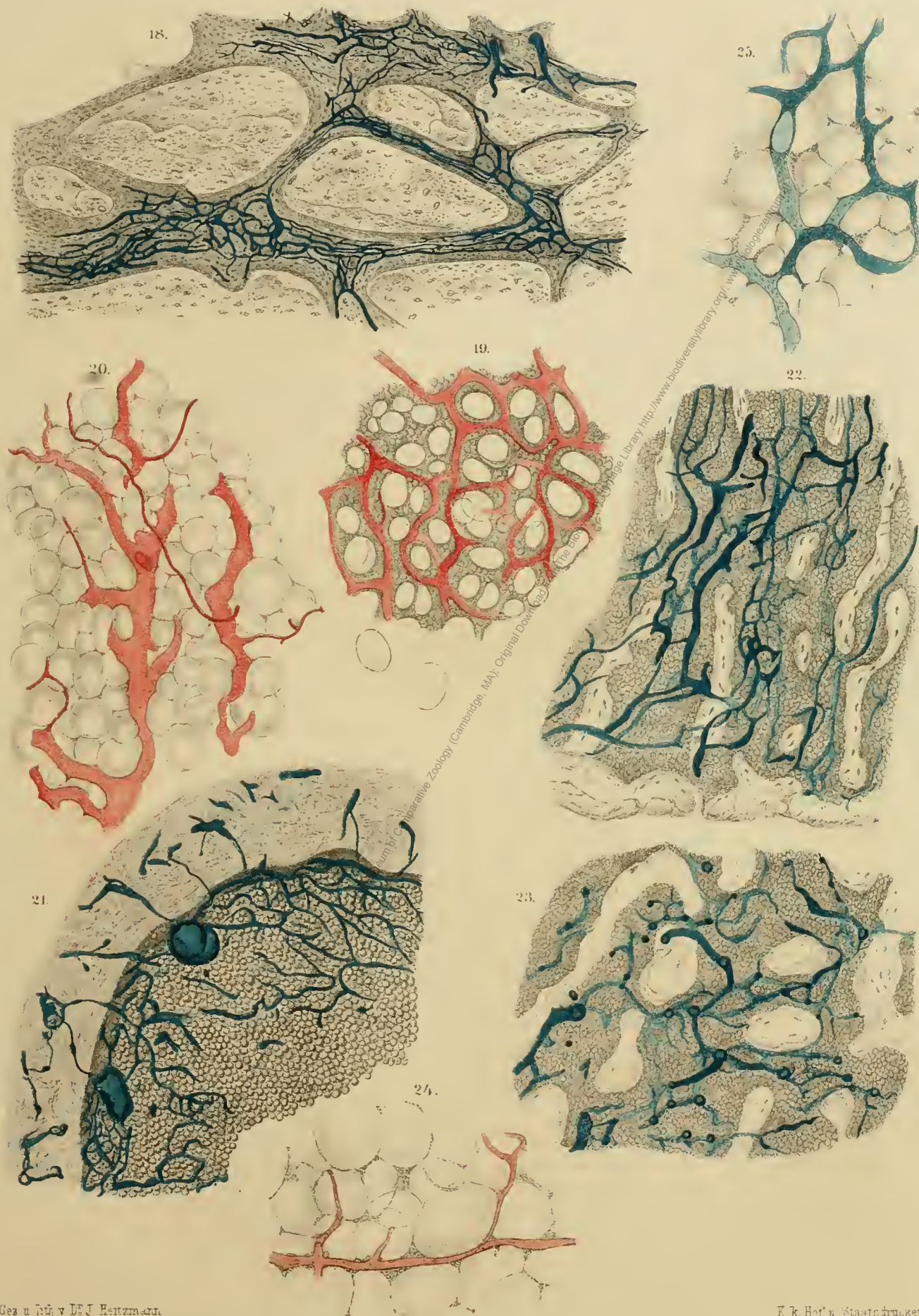


15.



Digitised by the Harvard University, Ernst Mayr Library of the Museum of Comparative Zoology (Cambridge, MA); Original Download from The Biodiversity Heritage Library <http://www.biodiversitylibrary.org/>; [www.biologiezentrum.at](http://www.biologiezentrum.at)





Digitised by the Harvard University, Ernst Mayr Library of the Museum of Comparative Zoology (Cambridge, MA); Original Download from The Biodiversity Heritage Library <http://www.biodiversitylibrary.org/>; [www.biologiezentrum.at](http://www.biologiezentrum.at)





Digitised by the Harvard University, Ernst Mayr Library of the Museum of Comparative Zoology (Cambridge, MA); Original Download from The Biodiversity Heritage Library <http://www.biodiversitylibrary.org/>; [www.biologiezentrum.at](http://www.biologiezentrum.at)





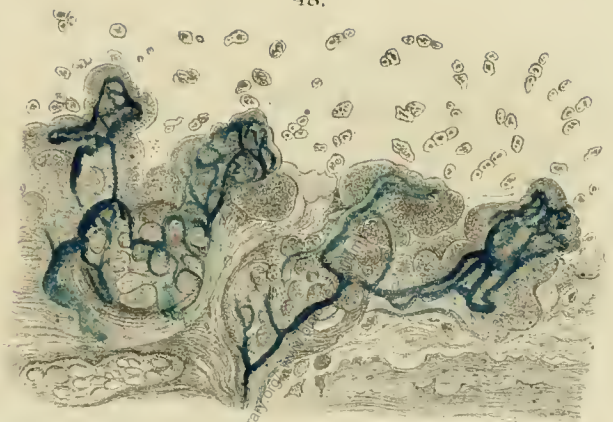
Digitised by the Harvard University, Ernst Mayr Library of the Museum of Comparative Zoology (Cambridge, MA); Original Download from The Biodiversity Heritage Library <http://www.biodiversitylibrary.org/>; [www.biologiezentrum.at](http://www.biologiezentrum.at)



47.



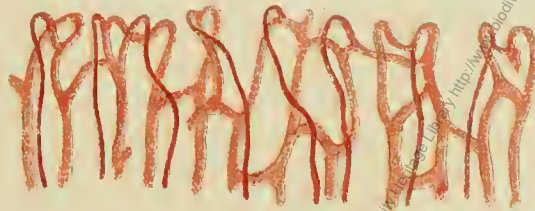
48.



50.



49.



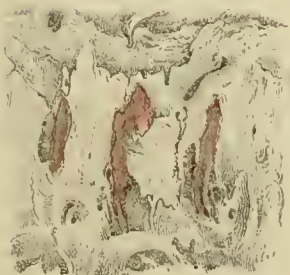
51.



52.



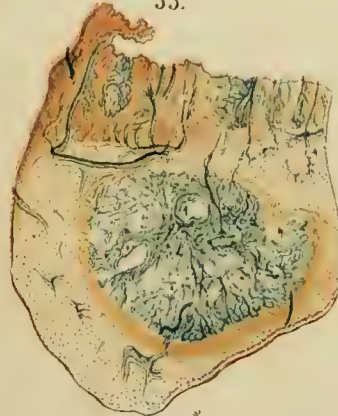
54.



56.



55.



53.

