

# Die Entwicklungsgeschichte des Kniegelenkes des Menschen, mit Bemerkungen über die Gelenke im Allgemeinen.

Von

**Dr. A. Bernays**

aus St. Louis.

---

Mit Tafel XXI.

Unsere Kenntniss von der Entwicklung der Gelenke beginnt mit den ersten grundlegenden Arbeiten im embryologischen Gebiete, und zwar begegnen wir hier sogleich allgemeinen Fragen, welche in Betracht genommen werden.

Von diesen Untersuchungen sind die Angaben von KARL ERNST v. BAER<sup>1)</sup> hervorzuheben, welchen zufolge die Entwicklung der Gelenke der Extremitäten vom Hühnchen sich folgendermassen verhält: »Die Gelenke werden mit den Knorpeln zugleich und zwischen ihnen durch histologische Sonderung erzeugt. Am deutlichsten lässt sich dieser Vorgang an den Fingern und Zehen beobachten. Wenn das Endglied der Extremität eine dünne Platte ist, sieht man in ihm so viele dunkle Strahlen entstehen, als sich Finger oder Zehen bilden sollen. In den Strahlen ist anfänglich gar keine Gliederung. Diese tritt aber mit der Verknorpelung ein, so dass zwischen den fester gewordenen Massen der Knorpel, Tröpfchen Flüssigkeit sich sammeln. Die äussere Begrenzung dieser Flüssigkeit ist die Synovialhaut, und eine gemeinschaftliche dunkle Scheide, die über die Knorpel und die Wasserbläschen fortgeht, wird die Knochenhaut. Knorpel und Gelenke bilden sich also innerhalb einer gleichmässigen Grundlage durch histologische Sonderung. Denselben

---

<sup>1)</sup> Entwicklungsgeschichte der Thiere. II. Theil. Königsberg 1837. p. 96 und folgende.

Vorgang beobachtet man, wenn auch wegen der geringeren Durchsichtigkeit nicht so deutlich, in der Gelenkbildung der oberen Theile der Extremität.

C. BRUCH<sup>1)</sup> sagt, auf obige Stelle wahrscheinlich Bezug nehmend: »Dass die Knorpel der Extremitäten bis zu den einzelnen Phalangen der Finger als gesonderte Stücke auftreten, hat schon VON BAER vom Hühnchen angegeben. Auch bei Säugethieren sieht man in den etwas comprimierten Extremitätsanlagen bei schwacher Vergrößerung oder schon mit freiem Auge von Anfang an die Gliederung des künftigen Apparates, jeden einzelnen Fuss- und Handwurzelknochen, die Patella u. s. w. . . . Auch hier schreitet die Entwicklung nach oben und abwärts fort, so dass die langen Röhrenknochen zuerst entstehen und stets am weitesten vorgeückt bleiben«, ferner pag. 42: »Die Kapselbänder liegen straff an, gehen unmittelbar ins Perichondrium über und sind gewissermassen nichts anderes, als die Fortsetzung desselben über den Zwischenraum der Knorpelenden hinweg. Zu keiner Zeit überkleiden daher die Kapselbänder die Gelenkflächen, ja die Gelenkhöhlen entstehen sammt den Bandscheiben später als die Kapselbänder, durch Dehiscenz des zwischen den Knorpelenden übrig gebliebenen, nicht mehr zum Wachsthum des Knorpels verwendeten Bildungsgewebes«. . . . »Die Gelenkflächen sind, sobald überhaupt eine Gelenkhöhle wahrnehmlich ist, stets nackt, d. h. von der Knorpelsubstanz gebildet, und von keinem Ueberzuge bekleidet, wie senkrechte Schnitte durch die Gelenkfläche jederzeit zeigen.« Ueber das Kniegelenk sagt derselbe Autor pag. 43: »Was die Bildung der Bandscheiben oder Menisci betrifft, so ist die Bandscheibe des Kniegelenkes bei  $1\frac{1}{4}$ '' Rindsembryonen in ihrer ersten Andeutung zu erkennen, obgleich von einer Gelenkhöhle noch keine Spur ist.«

In vielen Hand- und Lehrbüchern der Anatomie und der Histologie z. B. jenen von HENLE, HYRTL und FREY wird von der Entwicklung der Gelenkhöhle als von einer Gewebsverflüssigung zwischen den Knorpelenden zweier Skelettheile gesprochen. Neuestens ist durch W. HENKE und C. REYHER<sup>2)</sup> die Entwicklung der Gelenke studirt worden. Bezüglich der Entwicklung des Kniegelenkes bei

<sup>1)</sup> Beiträge zur Entwicklungsgeschichte des Knochensystems, aus dem XII. Bande der Denkschriften der Schweizerischen naturforschenden Gesellschaft. pag. 14 u. ff. 1851 (Separat-Abdruck).

<sup>2)</sup> Band LXX der Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften. III. Abth. Juli-Heft. Jahrgang 1874. Wien.

menschlichen Embryonen aus der fünften bis sechsten Woche treffen wir folgende Angaben, pag. 14: »Auch hier sind alle Skelettheile mit Ausnahme der Zehenphalangen gesondert. In Bezug auf das Hüftbein konnte constatirt werden, dass dasselbe mit einer Concavität den kugelig runden Kopf des Femur umgreift.« . . . »Das untere Ende (des Femur) ist aufgetrieben und besitzt in nicht unähnlicher Form und guter Rundung beide Condylknäufel. Zwischen ihnen die Incisura intercondyloidea.« . . . »Der Condylus lateralis wird nicht ganz durch den gleichnamigen der Tibia berührt, sondern an ihn schliesst sich die nach oben verhältnissmässig lange Fibula. An der Tibia fällt die grosse Breite der Condylen auf. Sie sind breiter als massig. Ihre Breite hat fast dieselbe Dimension wie ihre Länge. Zwischen ihnen springt die Eminentia intercondyloidea hervor. Getrennt sind dieselben von den Femurcondylen durch eine breite Zone dichtgedrängter kleiner Zellen, unter Picrocarmin roth. Die Menisci sind noch nicht angelegt, die Patella wohl«. Dieselben Autoren äussern über Gelenkentwicklung im Allgemeinen folgende Vorstellungen: Erstens sollen sich die Skelettheile successive anlegen, so dass immer die Anlage eines neuen Gliedes hart an dem Ende des vorher fertigen entsteht. Für die Finger wird das mit Sicherheit behauptet. Hieraus könne nun unmittelbar ein Gelenk, eine Diarthrose, werden »wenn die Zwischensubstanz sich verdünnt und schwindet«. Einer solchen Verbindung, welche die Autoren einer Syndesmose vergleichen, fehle nun aber noch die Krümmung der Contactflächen sowohl als auch die Differenz der Grösse derselben »also die Gestalt sowohl als auch die ungleiche Ausdehnung von Kopf und Pfanne.« Die sich bildende Diarthrose kann mit einem Worte als eine Amphiarthrose bezeichnet werden, und die Autoren glauben, dass jedenfalls dieses Stadium der Amphiarthrose an jedem Gelenke in den Anfängen seiner Bildung vorkomme. Zugleich soll nun hier die Grenze sein, bis zu welcher noch kein Einfluss von activen Organen der Bewegung auf die Mechanik des sich entwickelnden Skeletes zu erkennen ist »während dann sobald seine Gliederung auch physiologisch den Charakter der Articulation annimmt, die Wirkung der Muskeln sogleich bestimmend eingreifen wird«. Nun werden mechanische Principien zugezogen zur Erklärung der weiteren Ausbildung der Formen der Gelenkenden durch Muskelwirkung und die Autoren beschliessen ihre Darstellung mit folgendem Satze: »Wir können also aus dieser Betrachtung das hypothetische Gesetz ableiten, dass bei der Bildung eines Gelen-

kes mit deutlicher Krümmung der Contactflächen aus dem vorhergegangenen Stadium der Syndesmose oder Amphiarthrose die Pfanne auf der Seite gebildet wird, auf welcher die Insertionen der überspringenden Muskeln weniger weit vom Gelenke entfernt sind.« Es folgt nun ferner eine hypothetische Erläuterung über die Ausbildung des Gelenkkopfes und der Pfanne. Das möchte nun Alles sehr plausibel scheinen, wenn nicht gezeigt werden könnte, dass jene Erklärung der Ontogenie der Gelenke keineswegs zutrifft, dass vielmehr die grössten Bedenken dagegen erhoben werden müssen.

### Eigene Untersuchungen.

Bei der Vorführung meiner Beobachtungen über die Entwicklung des Kniegelenkes beim Menschen empfiehlt es sich einzelne Schnitte zu beschreiben, und zwar so, dass ich der Reihe nach die zum Verständnisse des Thatbestandes und zu dessen Erklärung am besten geeigneten auswähle. Indem ich von den meisten beschriebenen Schnitten Abbildungen gebe, wird sich diese Darstellung zugleich auf eine Erklärung der Figuren beziehen. Aus den gewonnenen Flächenansichten werde ich dann am Schlusse eines jeden Stadiums eine kurze Zusammenfassung geben, wodurch aus den Flächenansichten ein körperliches Bild entstehen soll. Ausserdèm wird bei jedem Stadium die histologische Entwicklung für sich behandelt.

#### 1. Embryo von 2,0 cm Länge.

Der jüngste von mir untersuchte menschliche Embryo hatte eine Länge von 2,0 cm, stammt also beiläufig aus der fünften Woche. Die Extremität ist bekanntlich in der Form eines kurzen Stummels vorhanden, der eine geringe Knickung mit nach hinten gerichteter Convexität erkennen lässt. Das distale Ende dieses Stummels ist von beiden Seiten her etwas abgeplattet und im ganzen malvenblattartig gestaltet. Die Zehen entsprechen den undeutlichen Vorsprüngen des eingekerbten Randes. Die Stellung der Extremität ist, wie längst bekannt, total verschieden vom ausgebildeten Zustande. Bezüglich des Verhaltens des Femur bei jener Beschaffenheit der Extremität bemerke ich, dass dasselbe mit der Längsachse des Körpers einen spitzen Winkel bildet, so zwar, dass es nach hinten und unten etwas von einer Linie abweicht, welche der Querachse des Körpers entspricht, Tibia und Fibula stehen im rechten Winkel zum Femur gebeugt.

In Fig. 1 (Schnitt No. 8 der Schnittserie, welche durch die hin-

tere Extremität dieses Embryos beinahe parallel der Körperachse, also schräg-vertical durch die Extremität gelegt wurde) sieht man den ersten Anschnitt sämtlicher drei Skelettheile, welche am primären Knie betheiligt sind. Der Condylus lat. femoris ist als runde Scheibe zu sehen, an ihn grenzt ein dreieckiges Knorpelstück, der Durchschnitt des Condylus lat. tibiae und ein etwas längeres, auf dem Schnitte beinahe ovales, welches dem Köpfchen der Fibula entspricht. Zwischen Femur und Tibia liegt eine ganz schmale Zone, während zwischen Femur und Fibula ein etwas weiterer Raum sich befindet. Auf diesem Schnitte ragt kein Theil der Tibia zwischen Femur und Fibula ein.

Auf Schnitt No. 13 (Fig. 2) sieht man wieder 3 Knorpelstücke, deren grösstes das Femur ist. Es hat eine vierseitige Gestalt mit abgerundeten Ecken. Rechtwinklig zu diesem steht ein etwas kleineres Stück, ebenfalls von länglicher Form und sich an das Femur anschliessend. Weiter distal in dem Schnitt zeigt sich ein etwas kleineres Knorpelchen, welches dem tibialen Rande der Fibula entspricht.

Schnitt No. 17 (Fig. 3) geht mitten durch das Knie und zeigt bloß das distale Ende des Femur beinahe halbkreisförmig abgerundet und das proximale Ende der Tibia mehr abgeflacht, beide Knorpel liegen nahe aneinander. Der Zwischenraum zwischen ihnen ist grösser als an den vorigen Schnitten und entspricht der Fossa intercondyloidea. Ganz distal im Schnitte sieht man eine etwas dunkler gefärbte Stelle, die perichondrale Schicht der Fibula.

Schnitt 20 (Fig. 4) zeigt uns das untere Ende des Femur mit dem stark gerundeten Condylus medialis. Der Condylus med. tibiae ist als sehr kleines etwas eckiges Scheibchen mitgetroffen, weiter distal im Schnitte ist der Schaft der Tibia und ihr distales Ende durchschnitten.

Auf den weiter medial gelegenen Schnitten trifft man nur noch den Condylus med. des Femur und der Tibia; auf den folgenden Schnitten nur noch den Condylus med. femoris und schliesslich verschwindet auch dieser.

Die linke Extremität dieses selben Embryo zerlegte ich in eine Serie von 52 Schnitten. Die Schnittrichtung war senkrecht auf die Wirbelsäule, hat also die Extremität und das Knie annähernd in Sagittalschnitte zerlegt.

Auf den ersten Schnitten war die Fibula fast in ihrer ganzen

Länge getroffen und man erkennt wieder das oben genannte Verhältniss des proximalen Endes der Fibula zum Condylus lat. femoris. Auch hier ist zwischen Köpfchen der Fibula und Condylus nichts als eine schmale Zwischenzone nachzuweisen.

Schnitt 35 zeigt uns Femur und Tibia fast genau in ihrer Längsachse durchschnitten. Proximal im Schnitt sieht man den runden Schenkelkopf in der Pfanne, welche für ihn vom Hüftbeine gebildet wird. Das distale Ende des Femur ist kopfförmig aufgetrieben und auch das proximale Ende der Tibia ist stark verbreitert.

Schnitt 42 zeigt uns nur noch den Cond. med. fem. und denselben Condylus der Tibia durch eine schmale Gewebszone getrennt.

Wenn wir uns nun ein körperliches Bild dieser Verhältnisse zu machen suchen, so sehen wir, dass an der Bildung des Knies sowohl Fibula wie Tibia theilhaftig ist. Die Fibula reicht mit ihrem Köpfchen bis nahe zum Condylus lat. und Tibia und Fibula stehen in fast gleicher Höhe. Das distale Ende des Femur ist etwas breiter als der Schaft und zwar hat es wie auch später seine grösste Breite in der transversalen Richtung. Wenn oben bei der Beschreibung von Condylen die Rede war, so war damit nur der laterale oder mediale Rand des distalen Femurendes gemeint. Es sind nämlich noch keine eigentlichen Condylen vorhanden, da die Fossa intercondyloidea noch nicht so tief wie später ausgehöhlt ist. Das proximale Ende der Tibia ist stark verbreitert, entbehrt jedoch noch der scharfen Differenzirung in zwei Condylen, die proximale Fläche ist vielmehr eben und an den Rändern abgerundet. Das Köpfchen der Fibula ist von ganz unbestimmter Form, wie denn die Begrenzungen sämmtlicher Skelettheile zu dieser Zeit noch sehr undeutlich und wenig scharf erscheinen.

Da ich bei dieser Untersuchung mein Augenmerk auch auf andere genetische Verhältnisse gerichtet hatte, möchte ich hier noch eine Bemerkung über die Sonderung der distalen Skelettheile der Gliedmassen einschalten, da ich auch darin nicht mit den oben genannten neuesten Untersuchern übereinstimmen kann.

HENKE und REYHER (l. c.) geben nämlich an, die Entwicklung und Anlage der Phalangen käme durch eine Art von Neubildung zu Stande, indem sich successive je ein neues Glied hart an dem Ende eines eben fertigen aufbaue. Ein solcher Vorgang kam bei meinen auch durch die Zehen geführten Schnitten nicht zur Anschauung. Es ist ganz richtig, dass zuerst nur eine Phalange knorpelig differenzirt ist (und das ist auch schon längst durch

v. BAER und andere bekannt, aber man darf nicht übersehen, dass in der wengleich kurzen Strecke bis zum distalen Ende der Gliedmasse noch indifferentes Gewebe sich befindet. Aus diesem unmittelbar an die bereits knorpelig differenzirte Phalange sich anschliessenden, durch nichts scharf von ihr sich abgrenzenden Gewebe geht nun allmählig durch Sonderung die Anlage der knorpeligen nächsten Phalange hervor. Untersucht man mit Pierocarmin gefärbte Schnitte von Embryonen dieses Stadiums so sieht man den knorpeligen Skelettheil jeweils von einem rothen Saum umgeben und alles umgebende Gewebe viel weniger roth gefärbt: bei lange dauernder Einwirkung des Färbmittels sieht man keine Gewebstheile, welche sich gelb gefärbt hätten. Wenn HENKE und REYHER angeben, dass sich die knorpeligen Phalangen hellgelb und das umgebende Gewebe, speciell aber eine Querscheibe zwischen zwei Phalangen sich stärker gelb gefärbt hätten, so kann ich darauf erwidern, dass es sich hier um eine unvollständige Einwirkung des Reagens handelte, welche darauf beruhte, dass die Schnitte wohl zu kurze Zeit damit behandelt wurden. Will man eine solche Querscheibe als besondere Differenzirung annehmen, so darf man nicht übersehen, dass dieselbe ganz unmerklich ohne scharfe Grenze in die knorpeligen Anlagen der beiden Phalangen übergeht. Da wo HENKE und REYHER von einer Querscheibe sprechen, welche sich als abschliessende Scheibe auf das Ende der zuletzt verknorpelten Phalange anlegt, handelt es sich um indifferentes chondrogenes Gewebe, welches sich ohne scharfe Grenze bis an das distale Ende der Zehe erstreckt. Durch die Umwandlung des am meisten distal gelegenen Theiles dieses unter Pierocarmin sich ebenfalls roth färbenden Gewebes in Knorpel entsteht die Endphalange. Der mehr proximal gelegene Theil wird beim Menschen und bei den Säugethieren niemals knorpelig, weil bei diesen die Skelettheile, wenn sie knorpelig erscheinen, sich immer getrennt erweisen, und durch eine theils indifferente, zum Theil sich als chondrogenes Gewebe erweisende Schicht separirt sind. HENKE und REYHER's Angaben zufolge würde man fast glauben müssen, dass hier eine complicirte Art von Sprossung vorkomme, welche mehrmals unterbrochen würde. K. E. v. BAER hat aber schon längst diesen Vorgang treffend bezeichnet, indem er sagt: »In den Strahlen ist anfänglich gar keine Gliederung. Diese tritt erst mit der Verknorpelung auf.« Das zwischen den Gliedern eine Zeit lang sich erhaltende indifferente Gewebe ist eben jenes, welches die besagten »Scheiben« vorstellt.

Femur, Tibia und Fibula sind, was gewebliche Differenzirung anlangt, vollkommen gleichweit fortgeschritten. Eigentlicher grosszelliger Hyalinknorpel findet sich nur in der Diaphyse der Skelettheile: peripher verlieren sich die grossen Knorpelzellen und werden allmählig durch kleine Elemente ersetzt, die dann ihrerseits wieder, ganz ohne bestimmte Grenze in die jungen Formationen der sehr mächtigen perichondralen Schicht übergehen. Diese perichondrale Schicht war auf den untersuchten Präparaten als stärker roth gefärbte Begrenzungsschicht der knorpeligen Skelettheile allenthalben zu beobachten, und nur dieser Unterschied in der Färbung gab uns das Recht, von Grenzen der Skelettheile zu sprechen. Bei starker Vergrösserung, welche die Färbung nicht so ins Auge springen lässt, ist die Grenze wieder verwischt. Wir müssen aber diese Grenzschicht, welche überall die knorpeligen Skeletanlagen ganz gleich umzieht, histologisch analysiren. Zuerst erkennen wir, dass sie aus mehreren Zellenreihen besteht, und dass diese Zellen unregelmässig zu 5—7 hinter einander liegen. Die am weitesten peripher gelegenen Zellen sind die kleinsten, sie sind rundlich bis länglich rund mit einem kleinen Kern und trübem körnigen Protoplasma. Weiter gegen den Knorpel zu folgen etwas grössere und deutlicher abgegrenzte Zellen mit spärlicher Intercellulärsubstanz und grösserem Kern. Auf der gegen den Knorpel hingewendeten Seite bieten sie eine besondere Differenzirung ihres Protoplasma dar, indem dasselbe glänzender und durchsichtiger oder heller wird. Die nächsten Zellen endlich, welche direct an den entschiedenen Knorpel stossen, bieten eine geringe Vergrösserung des Kernes und ihr Protoplasma ist dem wirklicher Knorpelzellen ähnlicher, bis wir dann auch solche Zellen finden, deren Protoplasma in einer kleinen Entfernung vom Kerne zu hyaliner Substanz umgewandelt ist. Indem nun auf diese Weise immer die central gelegenen Zellen sich zu Knorpelzellen umwandeln und sich direct an den fertigen Knorpel anschliessen, rücken so von der Peripherie immer junge Zellen nach, die denselben Differenzirungsgang durchmachen wie die vorigen. Wir müssen somit in der sich unter Carmin stark roth färbenden perichondralen Schicht eine Wucherungszone erkennen, auf deren Kosten der Knorpel wächst. Ich will nun diese Zone in dem Folgenden als chondrogene Schicht bezeichnen, und gleich noch hinzufügen, dass diese chondrogene Schicht bis ins spätere Embryonalleben sich forterhält und immer die charakteristische Reaction gegen Carmin zeigt. Zu dieser Untersuchung bedurfte es

ausserordentlich feiner Schnitte, ohne welche bei Säugerembryonen diese Verhältnisse unmöglich zu erkennen sind. Viel leichter und nur mit ganz geringen Unterschieden lässt sich dieses appositionelle Knorpelwachsthum bei Amphibien wegen der enormen Grösse der zelligen Elemente nachweisen. Bei Salamanderlarven von 20 bis 25 mm Körperlänge habe ich öfters Zellen der chondrogenen Schicht gesehen, welche in ganz prachtvoller Weise den Uebergang in Knorpel erkennen liessen, während die Untersuchung bei Rinds- und menschlichen Embryonen viel schwieriger zu führen ist.

An den Stellen, wo zwei Skeletttheile an einander stossen, existirt eine vollkommene Gewebscontinuität. Ist der Zwischenraum sehr schmal, so wird er gewöhnlich blos von einer etwas breiten rothen Zone dargestellt, welche den breiten chondrogenen Schichten zweier Skeletttheile entspricht, ist er breiter, so sieht man zwei rothe Linien und zwischen ihnen einen indifferenten Gewebstreifen, der aus kleinen runden Elementen besteht. Was ferner die Anlage der Muskeln, Nerven etc. betrifft, so sind diese Organe ebensowenig vollständig differenzirt wie die Skeletanlagen. Quergestreifte Muskelfasern vermochte ich nicht allgemein zu finden, nur an wenigen Stellen erschienen die ersten stark lichtbrechenden Pünktchen und Streifen auf ganz kurze Strecken reihenweise angeordnet.

## 2. Embryo von 3,0 cm Länge.

Der zweitjüngste von mir untersuchte menschliche Embryo war von 3,0 cm Steiss Scheitellänge. Die Extremitäten desselben sind bedeutend länger geworden, das Femur allein ist 4 mm lang, Unterschenkel und Fuss, welche in einer Achse stehen, haben zusammen eine Länge von 5,5 mm; Tibia und Femur bilden mit einander einen rechten Winkel. Das Mittelstück der Tibia und der Fibula zeigt aber eine fast halbkreisförmige Krümmung, so dass die Fussspitze beinahe an das obere Ende des Femur stösst. Eine solche Krümmung der Tibia scheint nicht constant zu sein. Es kommen derartige ganz unregelmässige Krümmungen an fast sämmtlichen längeren Skeletttheilen bei sehr jungen Embryonen häufig zur Beobachtung. (Siehe auch HENKE und REYHER pag. 15 l. c.) In wie fern solche Zustände vielleicht theilweise innerhalb des Breitengrades normaler Entwicklung liegen, muss auch ich unentschieden lassen<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Möglich ist, dass sich darin Anpassungszustände des Embryo, resp. der Stellung seiner Gliedmassen an die Enge der Amnionhöhle ausdrücken.

Eine vertical durch das Knie gelegte Schnittserie zeigt uns Folgendes: Auf Schnitt 7 (Fig. 5) ist der Condylus med. der Tibia und des Femur getroffen; beide Knorpelstücke stehen sich auf einer grösseren Strecke gegenüber.

Schnitt 12 (Fig. 6) liegt näher der Medianebene der Gliedmasse und hier ist der Cond. med. des Femur etwa an der Stelle seiner grössten Krümmung getroffen. Der Cond. med. tibiae zeigt dem entgegen eine kaum bemerkbare Vertiefung. Ferner sieht man auf dem Schnitt eine etwas stärker roth gefärbte Stelle, die den noch nicht gesonderten Ligamenta cruciata entspricht. Der Schnitt hat also die laterale Begrenzung des Cond. med. getroffen.

Schnitt 21 (Fig. 7), welcher etwa 0,2 mm (jeder Schnitt hat circa 0,025 mm Dicke) näher der Medianebene liegt, gibt uns fast genau ein Bild der wirklichen Medianebene des Knies. Das Femur ist in seiner ganzen Länge getroffen (in der Darstellung sind nur die uns speciell interessirenden Theile wiedergegeben) und zwar endet es distal ohne Verbreiterung mit einer gegen die Tibia gerichteten Abrundung. Von der vorderen Fläche des distalen Femurendes durch eine stark roth gefärbte schmale Zone (chondrogene Schicht) getrennt, liegt die noch sehr kleine Anlage der Patella, über welche die noch ganz undeutlich angelegte Endsehne des M. quadriceps oberflächlich hinwegzieht, ohne, wie dies später der Fall ist, eine nähere Verbindung mit ihr einzugehen. Die Tibia zeigt auf diesem Schnitte eine etwas zugespitzte rundliche Kuppe, von welcher aus eine etwas streifig aussehende, stärker roth gefärbte Gewebsmasse bis zum Femur verläuft, die zur Anlage der Kreuzbänder gehört.

Schnitt 30 (Fig. 8) trifft den Cond. lat. und den lateralen Theil des Femurschaftes, die Tibia und das Köpfchen der Fibula. Der Cond. lat. femoris mit dem anhängenden Theil des Schaftes zeigt genau die Form einer enghalsigen Retorte mit etwas abgeflachtem Boden. An diesen Theil grenzt der Cond. lat. tibiae, blos durch eine ganz indifferente schmale Gewebzone, aus welcher später der Meniscus lat. hervorgeht, davon getrennt. Zwischen dem Köpfchen der Fibula und dem Condylus lat. der Tibia liegt eben eine solche schmale Gewebsschicht. Beachtenswerth ist noch das Verhalten der Tibia, die hier in den Raum zwischen Femur und Capitulum fibulae sich einzuschieben und letzteres somit aus seinem früheren Verhältnisse (vergl. Fig. 1) zu verdrängen beginnt.

Auf Schnitt 35 sieht man nur noch die äusserste am weitesten lateral gelegene Portion des Condylus lat. femoris, von welcher aus

stärker roth gefärbte Züge zum Köpfchen der Fibula herüberziehen, das als unregelmässig dreieitiges Knorpelstück mitgetroffen ist. Die Distanz zwischen diesen beiden ist zwar nicht bedeutender als auf dem vorher beschriebenen Schnitte, allein es sind doch hier die ursprünglichen Beziehungen zwischen Fibula und Femur insofern zu erkennen, als kein Theil der Tibia zwischen beiden sich gelagert zeigt. Da man aber vom Femur aus einen intensiver sich färbenden Gewebstreifen zur Fibula herablaufen sieht und dieser Streifen nur als Lig. accessorium lat. gedeutet werden kann, so haben wir es offenbar mit Theilen zu thun, welche ausserhalb des Gelenkes liegen.

Die histologische Differenzirung ist in diesem Stadium weiter fortgeschritten, und wir treffen wenigstens an den knorpeligen Skelettheilen schärfere Contouren, welche durch die nun an den Epiphysen als schärfere Linie auftretende chondrogene Schicht erzeugt wird. Man kann nämlich jetzt schon eine genaue Grenze zwischen der Epiphyse und der Diaphyse ziehen, welche letztere im Vergleiche mit der ersteren noch sehr kurz ist<sup>1)</sup>. Diese Epiphyse entspricht jedoch nicht ganz der späteren definitiven Epiphyse. Die Grenze der ersteren wird durch den Rand der ersten perichondralen Knochenlamelle bestimmt und sie wäre als primäre zu bezeichnen. Die Grenze der secundären Epiphyse wird durch die endochondrale Verknöcherungslinie bestimmt. Am Uebergange der primären Diaphyse in die Epiphyse wird erstere schlanker und zwar ganz plötzlich, nämlich an einer Stelle, wo die chondrogene Schicht in die osteogene oder Osteoblastenschicht übergeht, welche sich nun an der Diaphyse gebildet hat. In den Knorpelzellen der Diaphyse zeigt sich eine beachtenswerthe Veränderung: Die einzelnen grossen Knorpelzellen sind nämlich von breiten rothen Linien umgeben, welche der Inter-cellularsubstanz entsprechen. Der Zellinhalt selbst zeigt starke Trübungen, bedingt durch massenhafte Molecüle. Das Ganze erscheint wie ein Degenerationsprocess des Zellkörpers, welcher bekanntlich später bei der Resorption des Knorpels eine grosse Rolle spielt. Dieser Process fällt zeitlich mit dem ersten Auftreten der Osteoblasten zusammen. Betrachtet man bei starker Vergrösserung die Diaphyse des Femur z. B., so erkennt man bei genauer Beobachtung ganz deutlich, dass in Folge der Thätigkeit der ersten Osteoblasten sich eine einzige erste Grundlamelle von Knochengewebe gebildet

<sup>1)</sup> Am Femur z. B. ist sie genau ebenso lang wie eine der Epiphysen.

hat, welche in verschiedenen grossen Intervallen ein Knochenkörperchen enthält. Ferner fällt uns auf, dass diese Lamelle fast ebensoweit dem Skelettheile anliegt als im Innern die Knorpelzellen Trübungen zeigen, jedoch ist die letztere immer etwas weiter gegen die Epiphysen zu vorgeschritten, als die osteogene Belegschicht. Das Knorpelgewebe der Epiphysen ist von dem eben beschriebenen getrübbten Diaphysenknorpel sehr verschieden. Sämmtliche Zellformationen erscheinen im Wachsthum begriffen, theils durch endogene Zelltheilung, theils durch die oben (pag. 410) beschriebene peripherische Anbildung, welche von der chondrogenen Schicht ausgeht. Da wo zwei Skelettheile gegen einander gerichtet sind findet sich bei nicht allzusehmalen Zwischenraume, wie z. B. zwischen den beiden Condylen des Femur und der Tibia, immer noch eine indifferente Gewebsmasse; an den oben genannten Orten dagegen ist der Zwischenraum ganz von den chondrogenen Schichten eingenommen.

Das Muskelgewebe hat in der Entwicklung bedeutende Fortschritte gemacht, indem jetzt deutliche primitive Muskelfibrillen erkennbar sind. Muskelfasern erscheinen jedoch noch nirgends zu scharf begrenzten Bündeln oder Muskelbäuchen angeordnet. Zwischen den Fasern sieht man noch überall, wie bekannt, viele indifferente länglich runde Gebilde mit undeutlicher Grenze, welche noch keine Querstreifung erkennen lassen. Von Perimysium oder Fascien kann noch keine Rede sein. Die Begrenzung der Muskeln ist vielmehr unbestimmt und wird von indifferentem, vorwiegend aus rundlichen und spindelförmigen Zellen bestehendem Gewebe, welches überall zwischen die Muskelfasern sich fortsetzt, dargestellt. Fibrilläres Bindegewebe besteht überhaupt in dem ganzen Embryo noch nicht. Die Consistenz des jungen, indifferenten Gewebes ist ähnlich der uns vom Nabelstrange her bekannten Whartonschen Sulze. Die Sehne des Quadriceps besteht aus dicht gedrängt liegenden Bindegewebszellen mit länglichen Kernen und spärlichem Protoplasma. Nach diesem histologischen Befunde zu urtheilen, wären vielleicht schon fibrilläre Zuckungen möglich, aber eine geordnete Muskelaaction ist geradezu undenkbar.

Das Resultat der Untersuchungen an beiden Embryonen kann folgendermassen zusammengefasst werden: Wir fanden bis jetzt noch keine Spur einer Gelenkhöhle. Das Knieende des Femur und der Tibia ist bei Embryo 2 bezüglich der Flächen schon ähnlich wie beim Neugeborenen geformt. Wir sehen den Schaft des Femurs sich allmählig verbreitern, bis er beiderseits in die Condylen über-

geht, welche jetzt wie auch später durch die tiefe Fossa intercondyloidea von einander getrennt sind und fast genau in gleicher Höhe stehen. Die Gelenkflächen der Tibia zeigen uns die vom Neugeborenen bekannte Gestalt; durch das Wachsthum des Cond. lat. tibiae ist bei Embryo 2 die Fibula fast vollständig von ihrem früheren Verhältniss zum Femur ausgeschlossen. Die Patella ist als herzförmiges Knorpelchen an der inneren Fläche der Sehne des Quadriceps angelegt, so zwar, dass sämtliche Fasern derselben aussen über den Knorpel der Patella hinweglaufen. Die Patella ist demnach von ihrem späteren Verhalten noch weit entfernt. Sie ist gleichfalls von einer chondrogenen Schicht umgeben, wächst also durch Apposition. Sämmtliche Skelettheile sind deutlich begrenzt, so dass die Krümmungslinien sich sehr sicher messen lassen. Es bedarf dazu nur sehr dünner Schnitte und der Anwendung passender Härtungs- und Tinctionsflüssigkeiten<sup>1)</sup>.

Obwohl die Gestalt der Gelenkflächen schon sehr different geworden ist, ja sogar schon eine grosse Aehnlichkeit mit den bekannten Formen der Gelenkflächen des Neugeborenen aufweist, muss dieser Zustand in Bezug auf Gelenkbildung noch als Indifferenzstadium bezeichnet werden, da von einer Gelenkhöhle noch keine Spur vorhanden ist. Es können auch noch keine Bewegungen aus-

---

<sup>1)</sup> Die Untersuchungsmethode war eine sehr einfache; die früher in Alkohol conservirt gewesenen Embryonen wurden zum Zwecke der besseren Härtung und um ihnen möglichst die normale Gestalt wiederzugeben zunächst 3 bis 4 Stunden in Wasser gelegt, hierauf je nach ihrer Grösse 12—24 Stunden in 1procentige Chromsäurelösung und dann behufs endgültiger Härtung in absoluten Alkohol bis zur vollkommenen Reduction der Chromsäure. Das Färben geschah meist in toto in ammoniakalischer Carminlösung. Es wurden jedoch auch sehr viele Schnitte mittelst der nicht genug zu empfehlenden STRELZOFF'schen Doppelfärbung behandelt. Die verschiedenen Knorpelarten verhalten sich hierbei sehr different und die Untersuchung wird selbstverständlich sehr erleichtert. Um die Entkalkung verknöchelter Skelettheile mit Sicherheit zu bewerkstelligen, empfehle ich ganz besonders eine Methode, die allerdings ein wenig mehr zeitraubend ist, aber um so befriedigendere Resultate ergibt. Sie besteht nämlich darin, dass man die kleinen Extremitäten auf wenige Stunden in starke wässrige (6—10 procentige) Salzsäurelösung legt und dann erst die Härtung in Chromsäure vornimmt. Ich habe gefunden, dass die sonst gebräuchliche Methode der Ausziehung in alkoholiger Salzsäurelösung, ebenso wie diejenige in einem Gemisch von Chrom- und Salzsäure ganz unsichere Resultate liefert, die bei solch kostbarem Materiale wie menschliche Embryonen doch möglichst zu vermeiden sind. Die Einbettung geschah immer in der ROSENBERG-BUNGE'schen Talg-Eiweissmasse. Sämmtliche Zeichnungen wurden mittelst der OBERHÄUSER'schen Camera angefertigt.

geführt werden, da die erste Bedingung zu einer solchen fehlt, nämlich ein functionsfähiges actives Bewegungsorgan. Und existirte auch ein solches, so könnte, da ja correspondirende Skelettheile noch mittels einer Zone wenig differenter Zellen der chondrogenen Schicht unter einander zusammenhängen, eine Verschiebung der beiden Endflächen an einander nicht stattfinden. Die aus weichem Gewebe bestehende mit dem Knorpel continuirliche Zwischensubstanz würde wie ein Kautschuckpolster wirken, und alle Bewegungen, welche die Skelettheile etwa machen könnten, würden Compressionen dieser weichen Substanz veranlassen. So können nie Abschleifungen zwischen zwei so jungen knorpeligen Skelettheilen vorkommen, wie man sich das vorgestellt hat. In der Thatsache, dass die in ihrer typischen Form bereits differenzirten Gelenkflächen durch eine Gewebsschicht untereinander zusammenhängen, liegt uns der Beweis vor, dass ein Einfluss der Muskeln auf die Lageveränderung und damit auf die Ausbildung der Formen der Gelenkflächen des Femur und der Tibia nicht stattfindet; dieselben haben eine ganz bestimmte Gestaltung gewonnen, welche derjenigen des ausgebildeten Zustandes sehr ähnlich ist, noch bevor das Muskelsystem wirksam wird. Selbst HENKE und REYHER (l. c.) geben von dem Hüftbeine an, sie hätten constatiren können »dass dasselbe mit einer Concavität den kugelig runden Kopf des Femur umgreift«. Diese ihre Angabe, welche ich bestätigen kann, bezieht sich auf einen 5—6 wöchentlichen Embryo, bei welchem nach dem eigenen Zugeständniss jener Autoren noch keine Muskelbewegungen stattfinden konnten. (Das Auftreten der activen Bewegungen wird von den Autoren in ein viel späteres Stadium verlegt; siehe unten.)

Dieselben Autoren geben eine längere (pag. 40 u. folg.) hypothetische Erläuterung über die Art und Weise, wie es in Folge von Muskelwirkung zu Stande komme, dass sich der eine der beiden Skelettheile immer zur Pfanne, der andere immer zum Kopfe entwickle, wobei sie aber ihre oben citirten Angaben über die Anlage des Hüftgelenkes ganz unbeachtet lassen; sie beschliessen dieselbe mit folgenden Worten: »Wir können also aus dieser Betrachtung das hypothetische Gesetz ableiten, dass bei der Bildung eines Gelenkes mit deutlicher Krümmung der Contactflächen aus dem vorhergegangenen Stadium der Syndesmose oder Amphiarthrose die Pfanne auf der Seite gebildet wird, auf welcher die Insertionen der überspringenden Muskeln weniger weit vom Gelenke entfernt sind<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Die Aufstellung eines »hypothetischen Gesetzes« möchte ich schon aus

Für die Gelenke, welche wir näher untersucht haben, an den Fingern und am Ellbogen ist die Uebereinstimmung mit diesem Gesetze ohne weiteres einleuchtend«. Weiter unten heisst es: »Wo es nicht ganz zutrifft kann dies möglicherweise seinen Grund in einer anfänglich noch anderen Anlage der Muskeln haben«<sup>1)</sup>. Abgesehen von der Unmöglichkeit einer irgend ergiebigen Lageveränderung zwischen den continuirlich verbundenen Gelenkenden der Skelettheile müsste doch die Muskelaaction bei diesen Embryonen constatirt sein, bevor man derselben eine Wirkung auf die Gestaltung der Gelenkflächen zuschreiben kann. Ich habe mich auch in Bezug auf die Fingergelenke und das Ellenbogengelenk mit Sicherheit überzeugen können, dass hier sowohl wie am Knie- und Hüftgelenke, lange bevor noch Muskelwirkungen auftreten können, schon bestimmte Krümmungen der Gelenkflächen angelegt sind und ich stelle obigem hypothetischen Gesetze folgenden nicht auf Hypothesen sich aufbauenden sondern auf sicheren Beobachtungen beruhenden Satz entgegen:

Die specifische Krümmung der Gelenkenden der später ein Gelenk zusammensetzenden Knorpel legt sich ontogenetisch vor der Bildung einer Gelenkhöhle an, zu einer Zeit, wo in Bezug auf Bewegung der Skelettheile, functionsfähige Muskeln noch nicht ausgebildet sind, also unabhängig von jeder Muskelwirkung.

### 3. Embryo von 4,5 cm Länge.

Der untersuchte Embryo von 4,5 cm Steissseitellänge repräsentirt das Stadium, in welchem zuerst der Zustand der Indifferenz deutlich überschritten wird<sup>2)</sup>. Der Unterschenkel findet sich nicht

---

dem darin liegenden inneren Widerspruche beanstanden, denn ein Gesetz kann nicht hypothetisch und eine Hypothese kann kein Gesetz sein.

<sup>1)</sup> Man sieht dass dieses »hypothetische Gesetz« bei keinem Gelenke den ontogenetischen Befunden entspricht, da ja gerade das charakteristische, ich möchte sagen typische der Formen der Gelenkenden schon vor dem Eintreten der Muskelbewegungen different geworden ist. Auch abgesehen davon würde es mit den Verhältnissen beim Fuss oder Handgelenke, wo die Anheftung der Sehnen in ganz abweichender Weise erfolgt, doch nie im Einklange stehen können. Jedenfalls müsste doch ein solches Verhalten der Muskeln an einem der jener Auffassung geradezu widersprechenden Gelenke nachgewiesen sein.

<sup>2)</sup> Dieser Embryo, den ich der Güte des Herrn Dr. RÜGE verdanke, kam ganz frisch in die Härtungsflüssigkeiten und zeigte demzufolge auch sämtliche Gewebe in ausgezeichnete Erhaltung.

mehr so stark gebeugt wie bisher, dagegen der Fuss durch seine fast rechtwinklige Stellung deutlich gegen den Unterschenkel abgesetzt.

Schnitt 7 zeigt uns das Köpfchen der Fibula als einzigen deutlich und zuerst getroffenen Skelettheil, von ihm ausgehend einen stark roth gefärbten streifigen Strang, das Lig. accessorium lat. Derselbe setzt sich aufwärts fort und man sieht, wie er theils in das Periost des Condylus lat. femoris ausstrahlt, theils weiter aufwärts in dem Perioste sich verliert. Ferner sieht man ganz undeutlich einige Knorpel Elemente, die dem Perioste des Cond. lat. tibiae anhaften, welcher vom Cond. lat. femoris durch eine etwas streifige, roth gefärbte Gewebsmasse getrennt ist, die der Verbindungsstelle des Meniscus lat. mit der Kapsel entspricht. In ähnlicher Weise ist die Ansatzstelle des M. biceps femoris am hinteren Rand des Fibula-Köpfchens bemerklich.

Schnitt 11 (Fig. 9) geht 0,1 mm näher der Medianebene durch das Knie und hier finden wir erstens den rundlichen Cond. lat. femoris als grösstes Knorpelstück getroffen, ferner Cond. lat. tibiae als kleineres mehr dreieckiges Knorpelchen und drittens das obere Ende der Fibula. Der Cond. der Tibia ist an der Stelle, wo ihm das Köpfchen der Fibula genähert erscheint, etwas eingebuchtet, das hintere obere Ende der Fibula hingegen an der Ansatzstelle der Bicepssehne spitz ausgezogen. Von den Hilfsapparaten des Gelenkes sieht man als grösstes und auf den ersten Blick deutliches Gebilde die Anlage des Meniscus lat.; dieselbe ist auf dem Präparate etwas stärker roth gefärbt als die Knorpel und durch biconcave scharfe Contouren ausgezeichnet. Der Meniscus steht sowohl vorn wie hinten mit der ganz deutlichen streifigen linienförmigen Anlage der Kapsel in Zusammenhang. Zwischen dem Cond. lat. femoris und dem oberen Rande des Meniscus beginnt im vorderen Drittheile der unteren Peripherie des Cond. eine feine helle Linie, welche nach hinten zu etwas breiter wird, um etwas aufwärts gebogen oberhalb des hinteren Endes des Meniscus an der hinteren Fläche des Cond. femoris zu enden. Eine eben solche nur feinere, und nur etwa halb so lange Linie sehen wir zwischen dem oberen Rande des Cond. lat. tibiae und dem Meniscus verlaufen. Diese beiden hellen Linien sind Spalten und stellen Durchschnitte der ersten Spuren der Gelenkhöhle vor.

Auf Schnitt 19 (Fig. 10) sind sämmtliche am Knie beteiligten Skeletstücke mitgetroffen. Zu oberst als grösstes, unregelmässig

rundliches Knorpelstück, welches proximalwärts (auf dem Schnitte also rückwärts) einen kurzen dicken Fortsatz abschickt, sehen wir wieder den *Cond. lat. femoris*. An ihm grenzend und von ihm nur durch eine lichte breite Spalte getrennt, liegt ein etwas rhombisch verschobenes, länglich rundes viel kleineres Knorpelscheibchen, die *Patella*. Ihr proximales Ende ist zugespitzt, während ihr distales verbreitert erscheint. Vorn über sie hinweg verläuft als etwas stärker gefärbtes sehr breites Band der Durchschnitt der Sehne des *Quadriceps*. Das Band setzt sich fort bis zum vorderen Rande des dreieckigen Knorpelstückes, welches der *Tibia* entspricht. Die *Fibula* ist als ziemlich langer, mit nach oben zugespitztem Kopfe endender Knorpelstab getroffen. Die untere Fläche des *Cond. lat. tibiae* zeigt die bereits am vorigen Schnitte erwähnte Einbuchtung noch deutlicher, da ein grösserer Theil der *Tibia* getroffen ist. An diese Einbuchtung legt sich die *Fibula*, durch einen schwächer gefärbten, aber continuirlichen Gewebstreifen davon getrennt. Von einer Gelenkhöhle zwischen *Fibula* und *Tibia* ist noch nichts bemerkbar. Der *Meniscus lat.* ist auf dem Schnitte zweimal getroffen, erstens zwischen hinterer Peripherie der *Condylen* des *Femur* und *Tibia* als kleines scharf contourirtes keilförmiges Stückchen mit abgerundeter Basis, zwischen den beiden Knorpeln an ihrer vorderen Peripherie als ähnlich gestaltetes keilförmiges Stückchen, von dem aber proximal und nach vorn ein kurzer rother Fortsatz ausgeht, welcher, wie wir auf Schnitt 11 sahen, in das Kapselband übergeht. Ferner sehen wir entlang der hinteren Seite des *Cond. fem.* ein schmales rothes Streifchen sich herabziehen, welches der Anlage der hinteren Kapselwand entspricht. Zwischen Kapsel und *Femur* existirt jedoch noch continuirliches Gewebe, d. h. es ist hier noch keine Gelenkhöhle vorhanden. Von der Gelenkhöhle sieht man hier nur den langen schmalen Spalt zwischen vorderer Fläche des *Femur* und der *Patella*, und einen ganz kleinen Spaltraum zwischen der oberen Fläche des hinteren Durchschnitts des *Meniscus* und dem *Cond.* des *Femur*. An die obere Fläche der *Tibia* ist der *Meniscus* mit seinen beiden Enden durch Bindegewebe angeheftet.

Nehmen wir nun einen Schnitt (No. 26, Fig. 11), der gerade durch die Medianebene des Gelenkes geht. Dieser zeigt in den Formen der Skelettheile eine auffallende Uebereinstimmung mit den entsprechenden Theilen beim Neugeborenen, eine Uebereinstimmung, die ohne weitere Beschreibung sofort durch einen Vergleich der bezüglichen Figuren mit der bekannten Gestalt des Gelenks des Neugeborenen er-

kannt wird. Vor mir liegt ein Schnitt durch das Knie eines Neugeborenen und neben mir ist obengenannter Schnitt unter dem Mikroskope eingestellt und es ist mir, abgesehen von der Grösse, unmöglich, einen wesentlichen Formunterschied herauszufinden. Die Krümmungsfläche des vorderen unteren Gelenkendes des Femur ist beim Neugeborenen genau so, wie sie auf Fig. 11 gezeichnet ist. Sehr genau lassen sich die Formverhältnisse der sich gegenüberstehenden drei Skelettheile an dem Zwischenraum bemessen, welcher von ihnen und dem Lig. patellae begrenzt wird. Derselbe ist von trapezoider Gestalt. Die kürzeste proximal und nach vorn stehende Seite des Trapezes ist von der breiten distalen Fläche der Patella gebildet. Ihr gegenüber liegt die Basis, d. h. die längste Seite des Trapezes, welche von der oberen Fläche der Tibia und des Lig. cruciatum ant. hergestellt wird. Von den beiden Seitenlinien endlich ist die hintere von der distalen Fläche des Femur, selbstverständlich der Pars-intercondyloidea, dargestellt, die vordere dagegen von dem gerade distalwärts verlaufenden Lig. patellae gebildet. Genau so verhält es sich auch beim Neugeborenen. Der Schnitt zeigt uns ferner noch das Lig. cruciat. ant. als scharf gezeichneten rothen Streifen, welcher von der hinteren Peripherie des Femurdurchschnittes schräg nach vorn läuft, um sich an und vor der Eminentia intercondyloidea tibiae zu inseriren. Distal und etwas hinter diesem Bande sieht man den Querschnitt der hinteren Extremität des Meniscus lateralis. Er hat eine keilförmige Gestalt, wobei die Spitze des Keils theils an der proximalen Fläche der Tibia unmittelbar hinter dem Lig. cruciatum ant., theils durch einige Fasern am Ligamente selbst angeheftet ist. Das stumpfe Ende des Keils sieht gerade nach hinten und ist hier mit dem Lig. capsulare verwachsen. Letzteres Band besteht aus einem dünnen Streifen rother Fasern, die gerade von der hinteren Fläche der Tibia über die Fossa intercondyloidea hinweg zur hinteren Fläche des Femur verlaufen. Von einer Gelenkhöhle ist auf dem Schnitte nichts nachzuweisen, als eine ganz feine Spalte, welche an ihren beiden Enden in Gestalt zweier kleiner Buchten erweitert ist. Die Bedeutung dieser Erscheinung findet weiter unten ihre Würdigung und es muss nur noch hervorgehoben werden, dass sonst unter den verschiedenen Gebilden, welche sich jetzt am Kniegelenk differenzirt haben und auf diesem Schnitte getroffen sind, der vollkommenste gewebliche Zusammenhang besteht.

Wir kommen nun an Schnitt 31 [Fig. 12], welcher 0.125 mm weiter medialwärts liegt und sich von dem vorigen wesentlich da-

durch unterscheidet, dass er das Lig. cruciatum posticum in seiner ganzen Länge getroffen hat, während vom Lig. cruciatum ant. nur noch ein kleiner Theil seiner Insertionsstelle an der Tibia zu sehen ist. Die Formen der Skelettheile sind etwas andere geworden, so sehen wir das Femur jetzt auf dem Durchschnitt mit der vom ausgebildeten Zustande her bekannten charakteristischen Form. Der Durchschnitt der Tibia hat sich weniger verändert, dagegen ist die Patella nun in ein etwas anderes Verhältniss zum Femur gelangt: zwischen beiden ist nämlich hier keine Gelenkhöhle vorhanden, beide sind durch indifferentes Gewebe in continuirlichem Zusammenhang. Ausserdem findet sich hier an der Stelle des Lig. patellae der vordere seitliche Theil des Kapselbandes, welcher sich auf der Figur als dünner rother Streif vom vorderen unteren Ende der Patella zur vorderen Fläche der Tibia verlaufend markirt. Die Anlage des hinteren Theiles des Kapselbandes ist durch einen scharfen rothen Streifen gegeben, der von dem Perichondrium des Femur kommend gegen die hintere Fläche der Tibia sich erstreckt. Man sieht nun noch weiter vorn, der proximalen Fläche der Tibia aufliegend, eine kleine röthlich gefärbte Stelle, welche der Anheftung des medialen Meniscus entspricht. Zwischen den Kreuzbändern und der hinteren Kapselwand sieht man ein kleines scharf begrenztes, intensiver roth gefärbtes rundliches Gebilde, von dem bisher noch nicht die Rede war. Es ist das Lig. menisci lateralis, welches von WEITBRECHT<sup>1)</sup> zuerst beschrieben und als cornu postici adhaesio prima bezeichnet wurde. BARKOW benannte den Complex dieser beim Erwachsenen öfter in getrennte Bänder aufgelösten Fasern als Ligamenta accessoria cart. semilunaris ext. ad lig. cruciatum posticum. Dieses Lig. menisci lateralis verläuft von dem Meniscus lat. aus, oder richtiger gesagt als directe Fortsetzung desselben quer durch den hinteren Theil des Knies, um sich gemeinsam mit dem Lig. cruciat. post. an den Cond. med. femoris anzusetzen, wie dies deutlich in Fig. 14 zu sehen ist. Dieser letztere Schnitt, welchen ich abbilde um das Verständniss der sonst etwas complicirten Verhältnisse für den Leser zu erleichtern, entstammt der zweiten unteren Extremität desselben menschlichen Embryo, welcher vorhin der Beschreibung diente. Die Schnittebene ist frontal, liegt also rechtwinklig zu der von uns eben betrachteten. Bei

<sup>1)</sup> JOSIAS WEITBRECHT, Syndesmologia corporis humani. Petropoli 1742. Tab. XX et XXI.

gebengtem Knie geht der Schnitt in der Längsrichtung des Unterschenkels und fast quer durch die Condylen des Femur. Hellrosa, von einer dunkeler rothen Linie deutlich umgrenzt, sieht man zuvorderst den grossen nierenähnlichen Durchschnitt der Condylen des Femur. Etwas davon entfernt nach unten zu liegt ein schwach S-förmig gekrümmtes Knorpelchen, das dem hinteren vorspringenden Rande der Tibia entspricht. Noch weiter distal dem lateralen Ende der eben genannten Knorpelfläche und dem Cond. lat. femoris gegenüberstehend, sehen wir den birnförmigen Längsschnitt des Köpfchens der Fibula. Ich will gleich bemerken, dass auf dem Schnitte nirgends auch nur eine Andeutung einer Gelenkhöhle vorhanden ist, sondern dass hier zwischen allen Skelettheilen sowohl, als zwischen letzteren und den Menisken und Bändern ein ganz continuirliches Zwischengewebe existirt. Wenn nun bisher von Bändern, Menisken etc. die Rede war, so hat man sich dieselben nicht als frei wie etwa später in der Gelenkhöhle verlaufend zu denken, sondern sie hängen mit dem sie ganz umgebenden Gewebe fest zusammen, so dass falls an ihnen eine Ortsveränderung stattfindet, diese nur als eine gleichzeitige und sehr beschränkte Bewegung aller Gewebeelemente, nicht aber als eine ausgiebigere Verschiebung discreter Theile gegen einander vor sich gehen kann; letztere Annahme würde nothwendig eine Gewebstrennung (Zerreissung) involviren. Auf dem Schnitte sieht man ferner die beiden Menisken. Der Meniscus lat. liegt dem Cond. lat. eng an und ist nur durch eine ganz schmale, hellrothe Linie von ihm getrennt, von der Tibia wird er durch eine um wenig breitere Gewebszone geschieden. Sein laterales Ende ist etwas verbreitert und geht direct in das Lig. accessorium lat. (lat. externum mit einem Schenkel nach oben und mit einem nach unten über. Medialwärts setzt sich der Meniscus als breiter rother Streif schräg durch die Fossa intercondyloidea bis zur lateralen Fläche des Cond. med. femoris fort. Dieser Streif ist das oben bei Fig. 12 erwähnte Lig. menisci lat. (oder Lig. access. cart. semilun. ext. ad lig. cruciat. post. BARKOW). Dasselbe setzt sich, wie auf der Figur ersichtlich, nicht blos an das Lig. cruciatum sondern auch an den Condylus an. Der Meniscus med. liegt ebenso wie der lateralis zwischen Femur und Tibia: sein inneres Ende hängt mit dem Lig. cruciatum post. da zusammen, wo beide an die Tibia befestigt sind; sein äusseres Ende geht unter starker Verjüngung in das Kapselband über. Das Lig. cruciat. post. ist der dicke rothe Faserzug, welcher von dem mittleren Theile der Oberfläche der Tibia schräg gegen den

Cond. med. femoris durch die Fossa intercondyloidea verläuft. Seine Fasern erreichen stark convergirend ihren Ansatzpunkt. Man sieht an der vorderen oberen Begrenzungslinie der Fossa intercondyloidea noch einen breiten rothen Gewebstheil, welcher dem Ursprunge des Lig. cruciatum ant. entspricht.

Schnitt 40 [Fig. 13] trifft die Condyli mediales des Femur und der Tibia. Mit dem Condylus des Femur hängt noch ein langes Stück Schaft zusammen; dagegen ist der Condylus tibiae soweit medial getroffen, dass er nach unten in einer stumpfen Spitze zu enden scheint. Die beiden Knorpelstücke liegen einander in ziemlicher Ausdehnung direct gegenüber und werden blos durch eine schmale Zone perichondralen Gewebes getrennt. Die Ränder, mit welchen sich beide so gegenüber stehen, werden durch beinahe gerade Linien vorgestellt, die aber an ihren beiden Enden gleich in entgegengesetzter Richtung abbiegen, um vorn und hinten einen Querschnitt des Meniscus med. zwischen sich zu fassen. Die Menisci haben hier auch die bekannte keilförmige Gestalt und hängen mit ihren Basen mit der Kapsel zusammen. Auf der Schnittfläche des Cond. femoris sieht man eine längliche, dunkelrothe, körnig aussehende Stelle, welche dem Ansatzpunkte des Lig. menisci lateralis mit ihrem hintersten und des Lig. cruciat. post. mit ihrem vorderen unteren Theile entspricht. An der am weitesten nach hinten liegenden Portion des Cond. med. femoris, an der Stelle, wo sich das Caput mediale des Gastrocnemius an die Kapsel ansetzt, sieht man zwischen Kapselband und Knorpel einen schmalen, kurzen, sichelförmigen Spalt, der aber nicht ganz scharf begrenzt, sondern vielmehr an verschiedenen Stellen von feinen Gewebszügen durchsetzt wird. Abwärts ist die Lücke am schärfsten, aufwärts geht sie durch Dichterwerden der genannten Gewebzüge in minder scharf von einander geschiedene Geweblücken über. Dass hier in Folge von minimalen Zuckungen des Gastrocnemius, vielleicht auch durch mechanische Wirkungen des Messers beim Schneiden, eine praemature Trennung der allerdings später zur Gelenkhöhle bestimmten Partie stattgefunden haben mag, darf als möglich nicht ausgeschlossen werden.

Auf Schnitt 48. ist nur noch der äusserste Theil der Condylen getroffen und zwischen denselben liegt dunkeler gefärbt, wie eine biconcave Linse gestaltet, der Meniscus med., dessen beide Enden proximal und distal mit der Kapselanlage zusammenhängen. Fer-

ner sieht man auf dem Schnitte als breiten wenig scharf begrenzten Strang das Lig. intermusculare mediale.

Histologisch bietet die Untersuchung dieses Embryos viel Interessantes dar. Zuerst fällt wieder ein bedeutender Fortschritt in der Differenzirung der Skelettheile auf. Die Begrenzung sämtlicher, immer noch ganz knorpeliger Gelenkenden ist eine schärfere geworden, indem sich die chondrogene Schicht jetzt überall, wo sie vorhanden ist, als schmaler intensiv gefärbter Saum um die Skelettheile herumzieht. Dieser rothe Saum ist schon oft und auch von HENKE und REYHER gesehen, aber meines Wissens nicht in jener Weise gedeutet worden. Wir sehen auch in diesem Stadium noch das zweifellose Knorpelgewebe der Skeletanlage in ganz allmählichem Uebergang in perichondrale d. h. ausserhalb der Skelettheile liegende Gewebsformationen. Die Formelemente des Knorpels finden sich gegen den genannten Saum zu unter allmählicher Abnahme der Intercellularsubstanz dichter geordnet, sie nehmen eine Spindelform an und gehen ohne jede scharfe Grenze in Spindelzellen über, die eine die Gelenkenden continuirlich umziehende Lage vorstellen (Fig. 15). An diese Formelemente schliessen sich ähnliche aber minder gefärbte an, welche den Zusammenhang des Gewebes der Skeletanlagen mit den dieselben umgebenden Theilen vermitteln. Wie in früheren Stadien, so ist auch von diesem ersichtlich, dass der Skelettheil oder vielmehr dessen Gelenkende von der beschriebenen indifferenten Gewebsschicht her seine Volumszunahme gewinnt. Es soll dabei die vegetative Thätigkeit der ihn bereits constituirenden Formelemente keineswegs als beim Wachstume unbetheiligt gelten; aber jenem appositionellen Vorgange kommt nichts destoweniger eine bedeutende Rolle zu. Diese Verhältnisse werden, wie alle Wachstumserscheinungen, von den beiden erwähnten Autoren wenig oder gar nicht beachtet, denn sonst hätten sie eine mechanische Einwirkung auf die Oberflächen der Gelenkenden nicht schon in eine Zeit verlegt, in welcher bei einer solchen Annahme zunächst die für das Wachstum des Gelenkendes wichtige Gewebsschicht nothwendiger Weise einer Zerstörung erliegen müsste. Ich bin der Meinung, dass jeder unbefangene Beobachter die Bedeutung der histologischen Differenzirung des Gelenkes, mit specieller Rücksichtnahme auf jene Schicht, ebensowenig verkennen als er darin eines der grössten Hindernisse sehen wird, den von HENKE und REYHER vertretenen Ansichten beizutreten.

In der Mitte der Diaphyse der langen Röhrenknochen ist die

Knorpelsubstanz durch das Weiterschreiten des bei Embryo 2 schon begonnenen Degenerationsprocesses vollständig an einer beschränkten Stelle zum Schwunde gekommen, somit die Continuität des Knorpels unterbrochen. Gegen beide Epiphysen zu schreitet die Auflösung weiter fort, aber in den Gelenkenden selbst besteht normaler, sehr zellenreicher Knorpel. In ihm finden sich bis jetzt an keiner Stelle sogenannte Knorpelcanäle. Die Osteoblastschicht ist weiter gegen die Gelenkenden der Skelettheile vorgerückt, und in der Mitte der Diaphyse da, wo die Knorpeldegeneration am stärksten war, ist es schon zur Anbildung einer mächtigeren Lage echten Knochengewebes gekommen.

Eine weitere Frage, die sich uns bei der Lösung der gestellten Aufgabe entgegendrängt, ist die nach der Bildung der Gelenkhöhle. Die Mehrzahl der hierüber existirenden Angaben stimmt mit meinen Beobachtungen nur zum geringen Theile überein, sie unterscheidet sich sogar fundamental von ihnen. Bisher besteht unter den Anatomen noch fast allgemein die Ansicht, dass bei dem Processe der Höhlenbildung in Gelenken eine Gewebsverflüssigung die Hauptrolle spiele<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Ich citire z. B. HENLE (Handbuch der systematischen Anatomie des Menschen. Bd. I Abthl. 1 pag. 7): »Man kann ebenfalls aus der Naht durch eine in entgegengesetzter Richtung fortschreitende Metamorphose die bewegliche Gelenkverbindung hervorgegangen denken, wenn nämlich das Gewebe der ersteren sich vom Centrum aus bis auf die peripherische Schicht erweicht und endlich verflüssigt«. Ferner Bd. I Abth. 2 pag. 3 heisst es: »Synarthrose und Diarthrose sind, so verschieden sie sich in ihren Extremen darstellen, dennoch keine wahren Gegensätze. Ich habe ihr Verhältniss zu einander an einer früheren Stelle (obiges Citat) durch die Vorstellung bezeichnet, dass die bewegliche Gelenkverbindung aus der unbeweglichen hervorgehe mittelst einer vom Centrum aus gegen die peripherische Schicht vordringenden Erweichung und Verflüssigung der Zwischensubstanz.«

H. FREY (Handbuch der Histologie und Histochemie 5. Aufl. 1876. p. 619): Während beim Embryo überall anfangs solide Verbindungsmassen vorkommen dürften, bleibt in der späteren Periode nur ein Theil in dieser Art. Bei anderen dieser ursprünglichen Verbindungsmassen beginnt ein Verflüssigungsprocess im Inneren, der zur Höhlenbildung führt, während sich die peripherischen Zellen jener Substanz zu dem Gewebe der Kapsel, ihrem Epithel etc. umgestalten.«

HYRTL, in seiner Anatomie des Menschen (12. Aufl. 1873 pag. 201) sagt über die Entwicklung der Gelenke Folgendes: »In den frühen Perioden des Embryonallebens gibt es noch keine Gelenke. Ein weiches knorpelähnliches Blastem nimmt die Stelle der Gelenke ein. Dieses Blastem verflüssigt sich von innen nach aussen, und schwindet durch Resorption. Es bleibt von ihm nichts übrig als 1. die zunächst an die Knochen des betreffenden Gelenks anliegende Schicht, und 2. seine äusserste Begrenzungsmembran (Perichondrium).

Eine ältere Ansicht über die Entwicklung der Gelenke rührt, wie ich im Eingange bemerkte, von BRUCH her. Dieser entspricht den Thatsachen viel eher als die angeführten »Verflüssigungstheorien«. Ich kann mich daher nur den Angaben jenes Forschers anschliessen und constatire damit auch einen Fall, in welchem eine richtige Beobachtung fast ganz in Vergessenheit gerieth, während sich an ihrer Stelle eine den Thatsachen wenig entsprechende Meinung einschlich. HENKE und REYHER sagen über diesen Gegenstand (pag. 38 l. c.), wo es sich um den Uebergang von einer Syndesmose in eine Diarthrose handelt, Folgendes: »Hieraus kann unmittelbar ein Gelenk, eine Diarthrose werden, wenn die Zwischenscheibe sich verdünnt und schwindet und so die beiden Skeletabschnitte in unmittelbare Verbindung treten, die dann mit der Zeit zu einer abgeplatteten Berührung bleibend knorpeliger Oberflächen sich gestaltet.«

Gehen wir nun zu unserem Objecte über, so finden wir (etwa an dem Schnitte 26) Folgendes: An gewissen Stellen der Skelettheile da, wo zwei derselben direct an einander oder an einen der Hilfsapparate (Menisci oder Kapsel) stossen, ist die chondrogene Schicht verschwunden, oder nur noch als ganz schwach rosa gefärbter Saum vorhanden. Auf Schnitt 26 (Fig. 11) ist dieses besonders gut an den correspondirenden Flächen von Patella und Femur wahrzunehmen; auf anderen Schnitten sieht man dasselbe an den einander zugewendeten Flächen des Meniscus lat. einerseits und der Tibia und Femur andererseits. An diesen Stellen sind sämtliche Elemente der chondrogenen Schicht in Knorpel umgewandelt, und zwei glatte Knorpelflächen grenzen direct aneinander. An einer Stelle in der Mitte der Grenzlinie zwischen beiden ist noch keine Spaltbildung zu sehen, sie stossen so genau aneinander, dass auch mit den stärksten Vergrösserungen eine Spalte nicht nachzuweisen ist. Man bemerkt hier bloß eine scharfe lineare Abgrenzung zwischen beiden Theilen. An demselben Objecte, etwas entfernt von der erwähnten Stelle sieht man die Linie in eine ganz feine Spalte, aber von völlig glatten Rändern begrenzt, zwischen beiden Knorpeln sich fortsetzen. Diese feine Spalte repräsentirt die Gelenkhöhle, wie sie sich uns in ihrem aller-

---

Erstere wird zum Knorpelüberzuge der Gelenkfläche des Knochens, letztere zur Kapsel des Gelenkes. Schmilzt der Knorpel, welcher die Stelle eines zukünftigen Gelenkes einnimmt, an zwei Punkten, welche beim Fortschreiten der Verflüssigung nicht mit einander zusammenfließen, sondern durch einen Rest obigen Blastems von einander getrennt bleiben, so wird ein zweikammeriges Gelenk entstehen, in welchem sich die Scheidewand der Kammern entweder zu einer *Cartilago interarticularis* oder zu *intra capsulären Bändern* umbildet.«

ersten Zustande zeigt. Etwas anders verhält sich diese Spaltbildung da, wo sie nicht direct zwischen zwei knorpeligen Skelettheilen, sondern zwischen einem Meniscus und einem knorpeligen Theile auftritt. Dies führt uns zunächst auf die histologische Entstehung der Menisci und der Gelenkkapsel. In dem noch sehr indifferenten Gewebe, welches sich zwischen den Skelettheilen und den Muskeln überall continuirlich (siehe z. B. Fig. 12) und gleichmässig erstreckt, sieht man an den oben als Menisci bezeichneten Stellen eine Gewebsverdichtung. Bei schwacher Vergrößerung gibt sie sich einfach durch stark rothe Tinction und scharfe Begrenzung kund. Starke Vergrößerung zeigt eine Anhäufung kleiner rundlicher und spindelförmiger Bindegewebszellen, welche wenig stark roth sich färbende Intercellularsubstanz differenzirt haben. Mit Ausnahme der gegen die Gelenkhöhle sehenden Flächen besteht überall ein geweblicher Uebergang in das umgebende weniger differente Bildungsgewebe. Wo die Gelenkhöhle oder vielmehr die Spalte einerseits von einem knorpeligen Skelettheile und andererseits von dem Meniscus oder der Kapsel begrenzt wird, zeigen ihre beiden Begrenzungslinien ein verschiedenes Verhalten. Während die vom Knorpel gebildete Linie ganz gleichmässig ist, zeigen sich hie und da am Meniscus (oder an der Gelenkkapsel) einige spindelförmige Bindegewebszellen, welche frei in die Spalte hereinragen. Was aus diesen Zellen wird, kann ich nicht mit Sicherheit angeben; wahrscheinlich ist, dass sie sich nicht erhalten, aber auf welche Weise sie zu Grunde gehen, war mir unmöglich zu eruiren. Da dieselben aber kein constantes Vorkommnis sind, ist diese Frage von untergeordneter Bedeutung. Wichtig ist jedoch für die weitere Entwicklung der Gelenkhöhle, dass die feine soeben beschriebene Spalte an ihren beiden Enden da, wo sie nicht mehr zwischen zwei Knorpelflächen liegt, sich manchmal buchtig erweitert zeigt, wie schon oben bei Schnitt 26 (Fig. 11) erwähnt wurde. Vorgreifend muss ich bemerken, dass bei diesem Embryo das Muskelgewebe Fortschritte in der Entwicklung gemacht hat, wodurch wenigstens einigermaßen kräftige Contractionen möglich sind. Man wird nun annehmen dürfen, dass in Folge von solchen Zuckungen, erstens, die anfangs sich noch berührenden Gelenkflächen separirt werden, und zweitens, indem durch eine Verschiebung der festeren Theile aneinander, die von den weicheren Theilen begrenzten Partien der Gelenkspalte mechanisch ausgezogen werden, sowie dass später bei dem Ruhezustande die einmal gewonnene Ausdehnung der Gelenkspalte bestehen bleibt und

sich in der Gestalt solcher kleiner buchtförmigen Räume erhält. Hierfür spricht, dass diese Ausbuchtungen der Höhle immer nur da gesehen werden, wo direct eine Muskelzuckung durch die anatomische Anordnung der Muskeln als möglich befunden wird. Man sehe nur auf Fig. 11 die Gelenkspalte zwischen Patella und vorderer Gelenkfläche des Femur mit ihren zwei Buchtungen und man wird es verstehen, wie diese durch einige schwache Zuckungen des Quadriceps und eine kleine Verschiebung der Patella am Femur entstanden sein mögen. Nachdem ich gezeigt habe, dass die Spaltbildung zwischen den solideren Theilen zuerst auftritt, ist es klar, dass jene Ausbuchtungen von diesen Gelenkspalten ausgingen. Diesen Befunden fand ich die an einer Anzahl von Rindsembryonen beobachteten That-sachen völlig entsprechend.

Meine Darstellung der Entwicklung der Gelenkhöhle stimmt nun zwar im Wesentlichen mit der BRUCH'schen Angabe, nach welcher die Gelenkhöhlen »durch Dehiscenz der zwischen den Knorpelenden übrig gebliebenen nicht mehr zum Wachsthume des Knorpels verwendeten Bildungsgewebes« entstanden, allein auf die Verschiedenheit muss ich doch aufmerksam machen, dass nach meinen Untersuchungen die Gelenkhöhle vielmehr durch eine Trennung der Knorpelenden zwischen denen kein Bildungsgewebe mehr übrig geblieben ist, entsteht. BRUCH sagt auch einige Zeilen weiter unten: »Die Gelenkhöhlen sind, sobald überhaupt eine Gelenkhöhle wahrnehmbar ist, stets nackt, d. h. von der Knorpelsubstanz gebildet.« Diese Angabe stimmt zwar nicht mit der anderen überein, ist aber jedenfalls nach meinen Darstellungen als die genauere und richtige anzusehen.

An den in unmittelbarem Contact befindlichen Stellen des Gelenkes ist von einer Gelenkflüssigkeit selbstverständlich keine Rede, denn es besteht eben hier kein Raum für eine solche; dagegen ist mit dem Erscheinen der von mir vorhin erwähnten Buchtungen der primären Gelenkhöhle das Auftreten eines diese füllenden, wenn auch in ganz geringem Maasse vorhandenen Fluidums zu berücksichtigen. Zur Annahme, dass zur Herstellung desselben Gewebe aufgelöst worden ist, habe ich keinen Grund finden können. Nirgends sind an den in Frage kommenden Stellen auf eine Zerstörung deutbare Erscheinungen zu beobachten. Jenes Fluidum wird daher nur als Plasma zu gelten haben, welches in den entstandenen Gewebslücken sich sammelte, und als ein Vorläufer der Synovia betrachtet werden kann.

Das Kapselband entwickelt sich selbständig ebenso wie die Menisken, indem aus dem indifferenten Gewebe von bestimmten Stellen des einen Skelettheiles zu eben solchen (siehe Fig. 9, 10, 11, 12, 13) des gegenüberliegenden, deutliche, bei schwacher Vergrößerung auf den Schnitten als rothe Streifen erscheinende Züge sich erstrecken. Sie bestehen aus spindelförmigen Bindegewebszellen mit wenig Intercellularsubstanz, die sich streifig ausnimmt. Ihr Verlauf ist scheinbar von dem Perichondrium eines Knorpels zu dem des anderen, sie sind aber nicht so ohne weiteres mit dem Perichondrium zusammenzustellen, denn sie entstehen durch selbständige Differenzirung aus dem ganz gleichmässigen Zwischengewebe, welches sich allenthalben noch zwischen den Muskeln und den Skelettheilen fand. Die Anlage des Kapselbandes steht nach innen, gegen die später von ihm umschlossene Gelenkhöhle zu überall in continuirlichem Zusammenhang mit noch indifferentem Bindegewebe. Dieses füllt die Interstitien zwischen den betheiligten Skelettheilen vollständig aus mit Ausnahme jener bereits beschriebenen Stellen, an denen eine Gelenkhöhle sich bemerkbar gemacht hat.

Bei Embryo 2 sahen wir bereits die einfache aus schwachen Zügen bestehende, erste Anlage der Kreuzbänder in der Fossa intercondyloidea vom Femur zur Tibia verlaufen. Die Anlage war kaum von dem indifferenten Gewebe, welches die ganze Fossa intercondyloidea ausfüllte, durch eine ganz schwach rothe Färbung und ein etwas streifiges Aussehen deutlich abgehoben. Bei Embryo 3 ist aus dieser einfachen Anlage eine complicirtere Einrichtung geworden, indem verschieden gerichtete Faserzüge scharf hervortreten, welche aus spindelförmigen in ihrer Längsrichtung reihenweise angeordneten Bindegewebszellen bestehen. Sie werden in Carmin sehr stark roth gefärbt und sind dadurch gegen das mit ihnen überall zusammenhängende weniger differente Gewebe der Fossa intercondyloidea deutlich abgesetzt. Das Lig. menisci lat. besteht aus demselben jungen Sehngewebe und ist gleichfalls an Ort und Stelle aus demselben indifferenten Gewebe entstanden<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Bezüglich der histologischen Befunde des Muskelsystems und seiner Hilfsapparate constatire ich vor Allem, dass jetzt zum ersten Male von scharf begrenzten Muskelbündchen, die in kürzere oder längere Sehnen übergehen, gesprochen werden kann. Man unterscheidet an den Muskeln deutliche noch ziemlich schmale Fasern, welche eine regelmässige Querstreifung zeigen, und sehr reich an Kernen sind. An isolirten Fasern trifft man mehr oder weniger Protoplasma längs der contractilen Substanz. Von Sarcolemma war es mir nicht möglich eine Spur zu sehen. An den Stellen, an welchen sich die Muskelfasern

## Zusammenfassung der Untersuchung des Embryo 3.

Der Controle wegen hatte ich von einem anderen menschlichen Embryo dieses Stadiums die das Knie bildenden Skelettheile aus den Weichtheilen herauspräparirt um dieses Präparat und das körperliche Bild, welches ich aus meinen Serien construirte mit dem Skelet eines Knies vom Neugeborenen zu vergleichen. Es ergab sich eine fast vollkommene Uebereinstimmung in den Formen sämtlicher Theile beider Objecte. Die sehr geringen Differenzen beziehen sich auf unserem Zwecke ferner liegende Verhältnisse. Das charakteristische an diesem Stadium ist aber das Auftreten der Gelenkhöhle, durch welchen Vorgang es von den früheren Stadien leicht unterschieden werden kann. Die Gelenkhöhle ist vorerst nur als Spalte nachzuweisen, welche durch die ersten Muskelbewegungen da, wo sie nicht an Skelettheile grenzt, etwas ausgedehnt ist. Sie zeigt jetzt noch sehr bescheidene Dimensionen, bei diesem Embryo speciell ist sie gleichzeitig an zwei getrennten Punkten aufgetreten. Erstens findet sich zwischen vorderer Fläche des Femur und der Patella eine Gelenkspalte, welche sich entlang dem Condylus lat. femoris bis an seine hintere Peripherie fortsetzt. Auf diesem Wege wird sie distalwärts begrenzt vom Meniscus lat. und vom hinteren Theile des Kapselbandes. Die zweite Spalte, welche nicht mit die-

in die Sehnen fortsetzen, ragen sie mit zugespitzten Enden zwischen das streifige aber noch ziemlich lockere junge Sehngewebe ein, so zwar dass sich das Bindegewebe ziemlich weit zwischen die Fasern heraufstreckt. Das Gewebe der Sehnen ist gleich demjenigen der Kreuzbänder und der Menisken zusammengesetzt, man erkennt spindelförmige in der Längsrichtung angeordnete Bindegewebszellen mit wenig streifiger Intercellulärsubstanz. Kaum braucht wohl erwähnt zu werden, dass von den RANVIER'schen Umhüllungszellen noch nichts zu sehen ist. Der Ansatz der Sehnen findet immer am Perichondrium resp. Periost der Skelettheile statt, welches aus ähnlichen zelligen Elementen besteht. Die einzelnen Muskelgruppen und Muskelbäuche sind von einander durch bindegewebige Septa getrennt, die im Vergleich zu dem ausgebildeten Zustande noch sehr dick erscheinen. Bekanntlich ist die Ausbildung des Bindegewebes mit einer erheblichen Volumsverminderung verbunden. Dennoch zeigen diese dem Perimysium und den Fascien entsprechenden Septa eine deutliche Sonderung gegen das zwischen ihnen und den Muskelbäuchen selbst liegende, wenig differente Bildungsgewebe. Somit ist bei unserem Embryo zweifellos ein Functioniren der einzelnen Muskelbäuche mehr oder weniger in demselben Sinne wie auch später möglich, d. h. es können nun die Muskeln einzeln und gesondert, entsprechend ihren mechanischen Angriffspunkten, auf die Skelettheile eine Wirkung äussern, welche sich als Lageveränderung derselben kundgeben wird. Zunächst werden die Excursionen noch sehr geringe sein und auch nur schwache Kraftleistungen repräsentiren.

ser zusammenhängt, liegt zwischen Cond. med. femoris und Meneiscus med. Bei anderen Embryonen fand ich meist die Gelenkhöhle als einfache Spalte von der Spalte zwischen Patella und Femur sich entwickelnd. Es ist jedoch hierin kein constantes Verhältniss nachzuweisen, vielmehr kommen auch hier individuelle Schwankungen vor. Sogar an den beiden Extremitäten eines Embryo fand ich in dieser Hinsicht grosse Differenzen.

Zugleich mit der Entwicklung der Gelenkhöhle haben sich sämtliche Hilfsapparate des Kniegelenkes differenzirt. Die beiden Menisci sind (wie auch später) in der Form zweier sichelförmiger aus Bindegewebe bestehender Scheiben zwischen Femur und Tibia eingelagert. Mit ihren breiten, also dem Rücken der Sicheln entsprechenden Rändern sind sie mit der Gelenkkapsel verwachsen. Ihre distalen, der Tibia zugewendeten Flächen sind noch in grösserer Ausdehnung als später mit derselben vereinigt. Von dem Meneiscus lat. geht ein runder Strang ab, welcher quer durch den hinteren Theil des Knies verlaufend sich am Cond. med. femoris inserirt. Es ist das Lig. menisci lateralis, welches später beim Erwachsenen bedeutende Reductionen erleidet und oft nur durch wenige Fasern repräsentirt ist. Bei unserem Embryo ist es ebenso stark wie eines der Kreuzbänder.

Die Kreuzbänder zeigen uns genau dasselbe Verhalten wie beim Erwachsenen, es sei denn, dass sie noch etwas mehr unter einander und mit den Menisken zusammenhängen; jedoch lässt sich das nicht genau angeben, da ja auch bei manchen Kniegelenken von Erwachsenen beide Kreuzbänder durch ausgiebigen Faseraustausch verbunden sind.

Das Kapselband ist überall deutlich vorhanden, vorn hängt es beiderseits mit der Sehne des M. quadriceps, der Patella und dem aus ersterer entstandenen Lig. patellae zusammen. An der hinteren Seite des Gelenkes ist es als dünne Membran vom Femur zur Tibia ausgespannt. In der Mitte seines Verlaufes zwischen Femur und Tibia wird es durch die Verwachsung mit den Menisken von innen her an einer Stelle stark verdickt. Nirgends liegt das Kapselband den Knorpeln direct an, sondern ist überall durch indifferentes Gewebe von denselben getrennt. Alle äusseren accessorischen Bänder sind angelegt; besonders stark ausgebildet ist das Lig. accessorium laterale (laterale externum). Alle diese Theile hängen aber noch unter einander zusammen durch indifferentes Gewebe, aus welchem sie sämmtlich in loco entstanden sind.

Von den beim ausgebildeten menschlichen Kniegelenke bekannten Einrichtungen fehlen uns jetzt nur noch untergeordnete Gebilde, nämlich die Ligg. alaria, das Lig. mucosum und die Villi synoviales, welche, alle mit der weiteren Ausbildung der Gelenkhöhle in nächsten Zusammenhange stehen. Ich fasse diese Ergebnisse in folgende Sätze zusammen:

Die Gelenkhöhle und sämtliche Hilfsapparate des Kniegelenkes treten fast gleichzeitig und zwar ziemlich spät (zu Anfang des 3. Monats der Schwangerschaft) auf, nachdem schon viel früher die knorpeligen Gelenkenden bestimmte, den späteren Zuständen ähnliche Formen angenommen haben.

Die Gelenkhöhle entwickelt sich aus dem Indifferenzstadium zwischen den knorpeligen Flächen zweier Skelettheile, indem sowohl das die beiden Skeletenden verbindende indifferente Gewebe, als auch die beiden chondrogenen Schichten derselben sich successive in Knorpel umwandeln. Eine Dehiscenz der zwei an einander stossenden Knorpelflächen erfolgt wahrscheinlich durch Muskelcontraction. Bei der Bildung der Gelenkhöhle resp. der Fortsetzung derselben zwischen einerseits knorpelige und andererseits bindegewebige Theile, werden die vorher vorhandenen indifferenten Gewebe in die bezüglich ausgebildeten Gewebsformen übergenommen.

Die Menisken, die Kapsel, die Kreuzbänder und sämtliche andere accessorische Bänder, gehen in loco aus dem indifferenten, theils zwischen den Gelenkenden theils um dieselben befindlichen Gewebe hervor.

Da wir gesehen haben, dass schon vor dem Auftreten functionsfähiger Muskeln eine bedeutende und bestimmte Ausbildung der Gelenkflächen in der Richtung ihrer späteren Formen existirt, so ist auch der Werth des jetzt erst wirksamen Einflusses der Muskelaction nicht sicher bestimmbar.

#### 4. Embryonen von 6,0 cm und spätere Stadien bis zur Geburt.

An diesen Embryonen gemachte Beobachtungen beziehen sich vorwiegend auf die Entwicklung untergeordneter Theile des Kniegelenkes. Ich übergehe die Beschreibung der Skelettheile, ihren jeweiligen Verknöcherungszustand und andere Eigenschaften, weil

dies bei der bereits bestehenden Ausbildung der Gelenkflächen für unsere Zwecke bedeutungslos wäre. Wir richten unsere Aufmerksamkeit vielmehr auf die Gelenkhöhle und ihre Differenzirung, welche sich bei Embryo 3 eben erst gebildet hatte.

Bei einem Embryo von 6,5 cm Steissseheitellänge zeigt die Gelenkhöhle eine den Formen der Gelenkflächen folgende Ausdehnung. Ich unterscheide nach den doppelten functionellen Beziehungen an ihrem Raume zwei Abschnitte, einen proximalen und einen distalen, beide zwar durch die Menisken zum Theil getrennt aber doch nur einen zusammenhängenden Raum repräsentirend. Die proximale Gelenkhöhle ist weit mehr entwickelt als die distale. Lateral ist sie als dünner schmaler Spaltraum zwischen Femur und Meniscus lat. zu erkennen. Je weiter man sie medianwärts verfolgt, um so enger wird sie, bis sie im mittleren Theil des Gelenkes verschwindet. Zwischen Patella und Femur besteht ein deutlicher Hohlraum, welcher sich von aussen nach innen über die vordere Fläche des Femur und bis in die medial zwischen Femur und Meniscus med. gelegene Spalte erstreckt. Derselbe Hohlraum communicirt auch mit demjenigen, welcher zwischen Condylus lat. femoris und Meniscus lat. besteht.

Die distale Gelenkhöhle ist weniger ausgedehnt. Sie zeigt sich bloß als schmale Spalte zwischen den beiden Condylen der Tibia und denjenigen des Femur da, wo diese beiden Theile direct an einander stossen: also nahe der Mitte des Gelenks. Hier communicirt auch die proximale mit der distalen Gelenkhöhle. Lateral und medial erstreckt sich die distale Gelenkhöhle nur auf sehr kurze Strecken zwischen die Menisci und die Condylen der Tibia.

Das Gebilde, welches wir oben bei Embryo 3 als kleine Bucht sahen, hat sich nun zu einem länglichen Raume ausgedehnt, welcher sich einerseits schon beträchtlich weit nach oben zwischen die Sehne des M. quadriceps und vordere Fläche des Femur erstreckt und distal, entlang der unteren Fläche des Femurendes, bis gegen die Ansatzstelle der Kreuzbänder sich fortsetzt.

Der trapezoide Raum, welcher vorn im Gelenk liegt, vom Lig. patellae, Lig. cruciatum ant., der proximalen vorderen Fläche der Tibia und der schräg gestellten distalen Fläche der Patella begrenzt wird, zeigt sich im Wesentlichen ähnlich wie bei Embryo 3. An gewissen Stellen erscheint das ihn füllende Gewebe aufgelockert, an anderen straffer, in Carmin intensiver sich färbend. An einigen Stellen erweist es sich sehr gefässreich. Ein solcher Zug strafferen

Bindegewebes läuft mit breiter Basis beginnend in gerader Linie vom Lig. patellae zum vorderen oberen Theile der Fossa intercondyloidea femoris, gegen welche er sich verschmälert hat. Es ist die Anlage des Lig. mucosum. Gegen die aufgelockerten Stellen buchtet sich die Gelenkhöhle aus indem sie sich um die festeren herumschlägt. Zwei beiderseits vom Lig. mucosum übrigbleibende an der vorderen Fläche des Gelenkes befindliche Gewebsmassen bilden sich zu den Lig. alaria, über und unter welchen die Gelenkhöhle sich ausbuchtet. Die Verhältnisse der Gelenkhöhle entsprechen somit bis auf untergeordnete Einrichtungen dem vom Erwachsenen bekannten Zustande. Diese Ausdehnung der Gelenkhöhle entspricht den verschiedenen Bewegungen der Skelettheile und den sich an die Gelenkkapsel inserirenden Muskeln. Man findet die primär zwischen zwei Skelettheilen aufgetretene Gelenkhöhle jeweils da am meisten ausgebildet, wo sie von beweglicheren Theilen begrenzt wird, also z. B. zwischen Patella und vorderer Fläche des Femur. Wir sehen somit, wie die Gelenkhöhle von Anfang an bis zu ihrer vollendeteren Ausbildung sich immer nach den Skelettheilen richtet.

Die histologischen Vorgänge bei dieser Ausbildung der Gelenkhöhle bieten nichts Bemerkenswerthes. Jedoch möchte ich manche, über eine epitheliale oder endotheliale Auskleidung der Gelenkhöhle gebildete Vorstellung auf Grund dieser embryologischen Untersuchungen modificiren. Die primäre Gelenkhöhle ist ein Spalt, welcher anfänglich von zwei glatten Flächen, entweder hyalinem Gelenkknorpel oder diesem und straffem Bindegewebe der Menisken begrenzt wird. Sie erstreckt sich allmählig in das die Knorpelenden und die inneren Bänder umgebende Bindegewebe herein. Ein Epithelgewebe kommt zu keiner Zeit in der Gelenkhöhle vor. Sie ist immer einfach von Bindegewebe umgeben, sobald sie sich über die Knorpelflächen hinaus begibt. Die Silberzeichnungen, welche man erhält, sind nur der Ausdruck der Grenzen einfacher grösserer Bindegewebszellen, welche wenig Intercellularsubstanz ausgeschieden haben. Will man diese Zellen als Endothelzellen bezeichnen, so kann das mit demselben Rechte geschehen, mit dem überhaupt dieser Ausdruck angewandt wird.

Bei der Ausdehnung der Gelenkhöhle längs eines knorpeligen Skelettheiles hält sie sich keineswegs dicht am Knorpel, sie wird vielmehr durch eine gegen die Peripherie hin immer dicker werdende perichondrale Lage vom Knorpel getrennt. An der Stelle des er-

sten Auftretens der Gelenkhöhle zwischen Patella und Femur sind ihre beiden Grenzlinien vom nackten Knorpel gebildet; da wo sie sich aber abwärts oder proximal zwischen Femur und Sehne des Quadriceps fortsetzt, ist ihre Grenze nicht mehr von dem nackten Knorpel des Femur dargestellt, sondern hier liegt dem Knorpel noch eine dickere Schicht von Perichondrium auf. Die bei diesem Embryo in der angegebenen Weise ausgebuchtete Gelenkhöhle ist verhältnissmässig weniger von nacktem Knorpel begrenzt als später beim ausgebildeten Zustande. Die Patella z. B. sieht mit einer ziemlich kleinen Knorpeloberfläche in die Gelenkhöhle herein, weil ihre ganze Peripherie noch von chondrogener Schicht bedeckt ist, welche sich erst in Knorpel verwandeln muss, bevor auch hier die Gelenkhöhle von Knorpel begrenzt sein kann. Die chondrogene Schicht der Patella geht überall continuirlich in das umgebende Bindegewebe über, nach deren Umwandlung in Knorpel die Gelenkhöhle in der Umgebung der Patella von Bindegewebe begrenzt wird.

Eine diesem entgegenstehende Angabe von K. B. REICHERT<sup>1)</sup> muss also auf Täuschung beruhen, wie denn auch von anderer Seite dem widersprochen ward. So sagt TILLMANN<sup>2)</sup>: »Mir ist es weder beim Fötus von Menschen noch von Thieren gelungen, die Existenz einer vollständigen Endothelbedeckung auf der Fläche des Knorpels zu constatiren.« Für den Erwachsenen ist es schon längst durch BIRKETT<sup>3)</sup> und Andere (GERLACH, TODD und BOWMAN) bekannt geworden, dass der Gelenkknorpel unmittelbar in die Gelenkhöhle hereinsieht.

Bei älteren Embryonen von 10 und 12 cm Steiss Scheitellänge ist die Entwicklung der Gelenkhöhle fast vollendet. Lig. alaria und Lig. mucosum sind vollständig gesondert und ragen frei in die Gelenkhöhle herein. Die chondrogene Schicht der Skelettheile ist fast vollständig verschwunden, indem sie sich unter gleichzeitiger

---

<sup>1)</sup> Bericht über die Fortschritte der Mikroskopischen Anatomie. MÜLLER's Archiv 1849. pag. 16: »Im Foetalzustande des Menschen und der Haus-säugethiere liess sich an der ganzen inneren Oberfläche der Synovialkapsel Epithelium nachweisen. Auf dem Gelenkknorpel lag dasselbe unmittelbar auf der Knorpelsubstanz auf. In der Form glich es ganz dem innersten Epithelium an den Gefässen.«

<sup>2)</sup> Beiträge zur Histologie der Gelenke. Archiv für Mikroskopische Anatomie 1874. X. pag. 415.

<sup>3)</sup> On healthy and morbid Articulations. GUY's Hospital Reports, Second Series. Vol. VI Part I. pag. 35.

Ausdehnung der osteogenen Schicht zu Knorpel umgewandelt hat. Die noch ganz knorpeligen Epiphysen der Skelettheile sind jetzt von Gefässcanälen durchzogen.

In dieser Periode des Embryonallebens sieht man auch die ersten Spuren einer Gelenkhöhle zwischen Fibula und Tibia in Form eines feinen spaltförmigen Hohlraums, welcher mit der distalen Gelenkhöhle zwischen Tibia und Meniscus communicirt. Die tibiofibulare Gelenkhöhle gehört somit zur Hauptgelenkhöhle, stellt keine selbständige Bildung vor. Diese Thatsache ist von Bedeutung, weil sich in ihr die Spur eines primitiveren Zustandes erkennen lässt, in welchem auch die Fibula mit dem Femur articulirte. Eine solche gegen das Femur gerichtete Articulation kann aber hier für die Fibula nicht mehr bestehen, da sie bereits lange vor jeder Gelenkdifferenzirung durch die Tibia vom Femur abgedrängt wurde. Eine gegen die Fibula hin sich ausbildende Gelenkhöhle kann daher nur zwischen ihr und der Tibia auftreten. Das functionelle Uebergewicht, welches die Tibia im Vergleiche zur Fibula ausgebildet hat, macht die veränderte Beziehung der Fibula zum Kniegelenke verständlich. Die in der Communication dieses Tibiofibulargelenkes mit dem Kniegelenke ausgesprochene Zusammengehörigkeit bleibt übrigens noch längere Zeit bestehen, da nach WENZEL GRUBERS Angaben jener Zusammenhang auch noch beim Neugeborenen getroffen wird und sich zuweilen sogar noch beim Erwachsenen erhält.

Bei noch älteren Embryonen etwa aus dem 6. Monate der Schwangerschaft sieht man die ersten Spuren der Synovialzotten an den Rändern der Gelenkknorpel auftreten. Namentlich deutlich sind dieselben da, wo die nackten Knorpelflächen in das Bindegewebe der Synovialmembran übergehen. Wahrscheinlich ist ihre Entstehung mit den jetzt sehr ausgiebigen Bewegungen des Fötus verknüpft, indem durch diese das Bindegewebe immer mehr von dem Knorpel abgedrängt wird, wobei sich dann einige Bündel loslösen mögen, um als Synovialzotten fortzubestehen. Für diese Ansicht spricht die Structur der Zotten. Dieselben präsentiren sich als ganz unregelmässige feine Bindegewebsbündel, welche oft ausgefasert endigen und welchen hie und da einige Knorpelzellen anhängen. HENLE beschreibt dieselben ganz ähnlich für den Erwachsenen.

Das Ergebniss der Untersuchung dieser älteren Embryonen fasse ich in Folgendem zusammen:

Die Ligamenta alaria, das Lig. mucosum und die Villi synoviales entstehen unmittelbar in Zusammen-

hang mit der Ausbuchtung der primären Gelenkhöhle, in loco aus dem jungen Bindegewebe, welches zwischen den Skelettheilen von Anfang an sich fand.

Die Synovialmembran der Gelenke ist von entwicklungsgeschichtlichem Standpunkte ein rein bindegewebiges Gebilde, dessen innere Fläche von keiner Epithelialbildung überkleidet wird<sup>1)</sup>.

Für die bis jetzt noch wenig genauer untersuchten Verbindungsweisen der Skelettheile in niederen Zuständen habe ich einige Beobachtungen angestellt, die ich hier beifügen will.

Es ist bekannt, dass die einfachsten Verhältnisse der Skeletverbindungen unter den Fischen bestehen. Die genauere Beurtheilung dieser Verhältnisse bedarf jedoch einer histologischen Prüfung, die, soweit mir bekannt, noch nicht vorgenommen ward. Von Selachiern habe ich hierauf die Verbindungen der Bauchflossentheile junger Haie untersucht (*Acanthias vulg.* und *Scyllium canicula*) und speciell das Gelenk zwischen Meso- und Metapterygium ausserdem aber noch die Gelenke zwischen den Gliedern der Radien. Das Gewebe der Radienglieder ist typischer Hyalinknorpel. Die hyaline Intercellularsubstanz überwiegt bei weitem die zelligen Elemente. Gegen jedes der beiden Gliedenden erscheinen die zelligen Elemente etwas

<sup>1)</sup> Man kann dahingestellt sein lassen, ob die innerste Schicht dieses Bindegewebes, wie dies HÜTER, BÖHM, TILLMANNS angeben, eine besondere einem Epithel vergleichbare Lage sei, man darf aber nicht verkennen, dass hier genetisch ganz andere Verhältnisse als bei den serösen Höhlen gegeben sind. An der Wandung der letzteren treffen wir, ohne Ausnahme eine Epithellage als innere Abgrenzung. Diese Epithelschicht erhält sich lange scharf von der unter ihr liegenden Bindegewebsschicht abgesetzt und ganz allmählig gehen aus ihr jene eigenthümlichen Zellformationen hervor, welche man in Verwandtschaft mit Bindegewebelementen zu bringen versucht hat. Am Ausgangspunkte findet man also hier ein entschiedenes Epithelialgewebe, während der Endpunkt der Entwicklung Formelemente aufweist, die bezüglich ihrer Deutung zweifelhaft sein könnten. Sie waren das wenigstens insofern, als Manche in ihnen keine Epithelien mehr erkennen wollten. Stellen wir dem das Verhalten der Gelenkhöhle gegenüber, so ergibt sich das gerade Gegentheil, indem anfänglich nirgends Epithelformen bestehen, überall ganz zweifelloses Bindegewebe die Begrenzungen der Höhlen darstellt, und erst zuletzt Zellformationen mit annähernd epithelialeem Charakter erscheinen. Eine Vergleichung synovialer Höhlen mit serösen Räumen dürfte daher jeder morphologischen Begründung entbehren.

näher an einander gerückt. Das Gewebe zwischen zwei Gliedern stellt sich als eine schmale Zone dar, welche im Centrum des Gelenkes am dünnsten ist und peripherisch sich ein wenig verdickt. Selbstverständlich hat also das Ende eines jeden Radialgliedes eine etwas abgerundete oder kuppelförmige Gestalt. Durch Färbung mit Haematoxylin erkennt man folgende Thatsachen. Das Erste, ins Auge fallende, ist eine fast vollständige Gewebsecontinuität. Die Intercellulärsubstanz des Knorpels färbt sich überall ganz gleichmäßig blau, während das Protoplasma der zelligen Elemente ungefärbt bleibt, und nur der Kern die blaue Farbe aufnimmt. Man sieht nun, dass sich überall von dem einen Knorpelglied zum andern ein netzartig angeordnetes System von blauen Fasern herüberzieht. Diese Fasern hängen ganz direct mit der Intercellulärsubstanz der knorpeligen Glieder zusammen. Sie zeigen sich jedoch bei genauer Untersuchung als nicht ganz exact so beschaffen wie die hyaline Intercellulärsubstanz, indem man an ihnen eine geringe streifige Differenzirung erkennen kann. Zwischen diesen netzförmigen Bälkchen, welche, je weiter sie sich vom Hyalinknorpel entfernen, immer dünner werden, liegen überall massenhaft Knorpelzellen, welche aber mehr plattgedrückt erscheinen. An einigen Stellen finden sich in der Zwischenzone kleine spaltartige Hohlräume, die durch Zerrung hervorgebracht sein können, welcher diese Zone bei den Bewegungen der Flosse ausgesetzt ist. Hierin sehen wir den niedersten Entwicklungszustand einer Verbindung zweier Knorpelstücke, welche vermittelst ihrer, einer besonderen Differenzirung unterworfenen Intercellulärsubstanz noch zusammenhängen. repräsentirt. Man könnte mit vollem Rechte von einem Radius behaupten, dass wir hier einen einzigen Knorpelstab vor uns haben, welcher auf verschiedenen langen Strecken eine besondere Veränderung seiner Intercellulärsubstanz zeigt, durch welche er der Quere nach in verschiedene Segmente getheilt wird. Die Einheit eines solchen Radius kann aber bei der vollständigen Continuität eines und desselben, an bestimmten Stellen nur modificirten Gewebes unmöglich bestritten werden. Die Ausbildung dieser Quertheilung der Radien ist auch graduell, an verschiedenen Stellen eine sehr verschiedene und alle Uebergänge bestehen vom intacten hyalinen Knorpelgewebe bis zu solchem bei dem die hyaline Intercellulärsubstanz sich zu faserigen netzartig angeordneten Zügen verändert hat. Das die Verbindung herstellende Gewebe ergibt sich hier als eine blosse Sonderung des Ske-

letgewebes selbst, steht zu dem letzteren in gar keinem auffälligen gegensätzlichen Verhalten und gibt damit einen deutlichen Ausdruck für den niederen Zustand der Verbindungsweise selbst.

Ein functionell etwas weiter ausgebildetes d. h. eine freiere Bewegung erlaubendes Gelenk, nämlich das zwischen Mesopterygium und Metapterygium, habe ich auf dieselbe Weise untersucht. Auf einem verticalen Längsschnitte durch dieses Gelenk sieht man an keiner Stelle eine Continuitätstrennung, ja nicht einmal derartige kleine Spalten wie die bei den radialen Verbindungen beobachteten. Die Verbindungszone ist viel breiter wie bei den soeben beschriebenen Gelenken. Es existirt auch hier noch eine vollständige Continuität zwischen der Intercellularsubstanz des Hyalinknorpels der Skelettheile und derjenigen der Zwischenzone. Die Intercellularsubstanz der letzteren hat sich jedoch nun in der früher schon angebahnten Richtung weiter differenzirt und zeigt sich jetzt stark streifig und von ganz anderer Lichtbrechung als die des Hyalinknorpels; ausserdem ist sie für das Färbemittel nicht mehr so empfänglich, indem sie, damit behandelt, nur äusserst schwach bläulich erscheint. In dieser Intercellularsubstanz liegen jedoch noch zahlreiche unzweifelhafte Knorpelzellen, welche sich durch eine ganz schmale hyaline Kapsel als solche kennzeichnen. Durch die faserige Differenzirung der Intercellularsubstanz wird dieselbe offenbar sehr stark und biegsam und gestattet ziemlich ergiebige Bewegungen der betreffenden Skelettheile. Von diesen Zuständen der Gelenke bei Haien ausgehend, will ich, auf das Kniegelenk mich beschränkend, nun noch ganz kurz über einige bei Amphibien und Reptilien bezüglich der Gelenkbildung angestellte Untersuchungen Mittheilung machen.

Von Amphibien wählte ich *Salamandra maculosa* zur Untersuchung. Tibia und Fibula articuliren fast zu gleichen Theilen mit dem Femur. Bei ganz jungen Larven sieht man überall zwischen den Skelettheilen einen continuirlichen Zusammenhang. Das verbindende Gewebe hat eine ausserordentliche Aehnlichkeit mit Knorpelgewebe. Es unterscheidet sich von demselben nur durch seine mehr trübe streifige Intercellularsubstanz, welche jedoch direct in diejenige des Knorpels übergeht, indem sie allmählig hyalin wird. Von Gelenkhöhle ist noch keine Spur vorhanden.

Bei ausgewachsenen Salamandern stellen sich die Verhältnisse etwas anders, indem sich hier an gewissen beschränkten Stellen des Kniegelenks eine Gelenkhöhle ausgebildet findet. Zwischen Femur und Tibia besteht am mittleren d. h. gegen das Centrum gelegenen

Theil eine continuirliche Verbindung, welche durch ein eigenthümlich gebildetes Gewebe vermittelt wird. Aber am äusseren Theil bemerkt man eine deutliche Gelenkhöhle, zum Theil von zwei nackten Knorpelflächen zum Theil aber auch von der bindegewebigen Gelenkkapsel begrenzt. Zwischen Fibula und Femur besteht dasselbe Verhältniss; der continuirliche Zusammenhang der Gelenkenden beider wird ebenfalls durch dieses sonderbar veränderte Knorpelgewebe vermittelt, es reicht aber auch noch ein Fortsatz der Gelenkhöhle zwischen Fibula und Femur herein, welcher von der tibiofemorale Gelenkhöhle ausgehend, der Beugefläche des Knies entlang herumzieht bis er zwischen Femur und Fibula in der Mitte des Gelenkes, da, wo Tibia und Fibula einander berühren, zu liegen kommt. Ausserdem findet sich noch eine starke fibröse Gelenkkapsel, welche die Gelenkenden gleichmässig umgibt, und nur da verstärkt erscheint, wo sie mit den vorbeiziehenden Sehnen der Muskeln verwachsen ist. Auf Rotationsbewegungen sich beziehende besondere Einrichtungen fehlen.

Das Verbindungsgewebe zwischen den Knorpeln bietet histologisch folgende charakteristische Besonderheiten. Behandelt man einen feinen Schnitt mit ammoniakalischer Carminlösung, so zeigt sich die Intercellularsubstanz des fraglichen Gewebes stark roth gefärbt, wogegen sich diejenige des hyalinen Knorpels der Gelenkenden vollständig farblos verhält. Die rothgefärbte Intercellularsubstanz geht direct in die ungefärbte über, sie ist in Form schräger von einem Knorpelende zum anderen verlaufender und verästelter Bälkchen angeordnet (s. Fig. 16), welche in ihren Zwischenräumen reihenweise, dicht an einander liegende Knorpelzellen enthalten. Die Bälkchen sind ziemlich breit und durch ein etwas streifiges, ja stellenweise körniges Aussehen gekennzeichnet. Diese Stränge von Knorpelzellen setzen sich direct mit jenen in Verbindung, welche in hyaliner Intercellularsubstanz eingebettet liegen. Der einzige Unterschied zwischen den Knorpelzellen des Hyalinknorpels und jenen anderen liegt in der mehr plattgedrückten Form der letzteren. Die Auffassung, welche wir uns von diesem Gewebe nach obiger Beschreibung bilden, können wir durch eine Berücksichtigung der Function und der Entwicklung desselben näher präcisiren. Vor allen Dingen begegnet uns eine schlagende Aehnlichkeit mit dem bei Selachiern beschriebenen Gelenkgewebe, welches wahrscheinlich mit der Differenzirung eines ursprünglich vorhandenen einheitlichen Knorpelstrahles in eine Reihe von Gliedstücken entstand. Bei Salamandra

sind solche unmittelbare Uebergänge nicht vorhanden, dennoch wird auf Grund obiger histiologischer Befunde auch hier eine ähnliche Entstehung anzunehmen sein, die freilich ontogenetisch nicht mehr erweisbar ist. Indem wir noch erwägen, dass dieses Gewebe bei den Bewegungen der Skelettheile einer ausserordentlichen Zerrung und Dehnung etc. ausgesetzt ist, wird es uns verständlich, dass hier eine physikalisch-chemische Veränderung und Anpassung der sonst ziemlich spröden und bauchigen hyalinen Intercellularsubstanz an die neuen, durch die Gelenkbildung gestellten Anforderungen stattfinden musste. Beim Frosch findet sich entsprechend der um vieles freieren Beweglichkeit seiner Hintergliedmaassen eine grössere Ausbildung des Kniegelenkes. Das Femur steht mit dem, durch die verschmolzenen Tibia und Fibula repräsentirten Unterschenkelstücke durch Kreuzbänder in Zusammenhang. Diese besitzen an den beiderseitigen Gelenkenden eine breite Anfügestelle, enthalten aber nur wenig Knorpelzellen, indem sie grösstentheils aus straffem Bindegewebe bestehen.

Bei Amphibien existirt sonach eine höhere Differenzirung des Kniegelenkes, indem es zur Bildung einer Gelenkhöhle gekommen ist.

Das zum grossen Theile die Verbindung der Skeletstücke vermittelnde Gewebe kann man einem Rudimente des bei Selachiern beschriebenen Zwischengewebes vergleichen. Es ist reichlicher beim Salamander als beim Frosch vorhanden, welcher letztere auch sonst eine höhere Entwicklung erkennen lässt.

Am Kniegelenke der Reptilien ergeben sich ganz bedeutende Differenzirungen. *Lacerta viridis* zeigt uns schon ein sehr complicirt gebautes Kniegelenk. Die Fibula ist nicht mehr in solch' hohem Grade am Kniegelenk betheilligt, wie bei *Salamandra*, dennoch hat sie bedeutendere Beziehungen zum *Cond. lat. femoris* als das bei den Säugethieren der Fall ist. Die Gelenkhöhle ist in grosser Ausdehnung differenzirt und überall von glatten knorpeligen Flächen begrenzt, mit Ausnahme derjenigen Stellen, an welchen sie an die Kapsel oder die Kreuzbänder stösst. Sie ist durch zwei Menisci in einen proximalen und einen distalen Raum getheilt, und hiermit ist eine auf Rotationsbewegungen abzielende höhere Differenzirung ausgesprochen. Die Menisci stellen sich als halbmondförmige auf dem Durchschnitt keilförmige Scheiben dar, von denen der mediale bedeutend breiter ist als der laterale. Sie bestehen aus Hyalinknorpel,

wie schon von LEYDIG<sup>1)</sup> angegeben ist, und hängen an ihrer ganzen Peripherie mit dem Kapselbände zusammen. Diese gewebliche Beschaffenheit darf uns nicht wunder nehmen, da die Menisci aus demselben Zwischengewebe hervorgehen, welches sogar bei Amphibien noch Reste einer knorpeligen Textur in sich trägt. Aus dem mittleren Theil dieser Zwischenscheibe sind die Kreuzbänder entstanden, welche einen höheren Grad histologischer Differenzirung erreicht haben. Sie bestehen nämlich aus einem Gewebe mit stark fibröser Intercellularsubstanz und zahlreichen eingelagerten Knorpelzellen. Die Kreuzbänder hängen an vielen Stellen mit den Menisken zusammen und bekunden dadurch ihren gemeinsamen Ursprung mit letzteren. Es findet sich hier auch eine deutlich fibröse Gelenkkapsel und mehrere äussere accessorische Bänder, von welchen das Lig. access. lat. besonders ausgebildet ist. Man hatte angenommen, dass bei Eidechsen ebensowenig wie bei Amphibien eine der Patella völlig entsprechende Bildung bestehe, dagegen ist bei Eidechsen doch etwas dem ähnliches vorhanden, da nach LEYDIG (l. c.) eine Verknöcherung in der Strecksehne des M. rectus femoris, eine andere gerade über der Gelenkfläche der Fibula liegt. Es ist also hier in allen Verhältnissen eine höhere Ausbildung der verschiedenen Einrichtungen erreicht.

Die Verhältnisse des Kniegelenkes der Vögel sind in einzelnen Abtheilungen durch verschiedene Anpassungen bedeutend modificirt. Bei der Gans und den Hühnern, welche ich näher untersuchen konnte, ist das Kniegelenk ähnlich dem der Reptilien mit allen Hilfsapparaten ausgestattet. Bei der Gans besteht ein Gelenk zwischen Femur und Fibula, welches mit dem Tibiofemoralgelenk communicirt. Letzteres ist durch zwei, wie bei Lacerta, hyalin-knorpelige nur auf diesen Theil beschränkte, Menisken in ein proximales und ein distales Gelenk getheilt. Die Kreuzbänder sind in der gewöhnlichen Weise vorhanden, nur sind sie, wie überhaupt alle Apparate am Knie der Vögel sehr scharf und präcis ausmodellirt.

Bei Säugethieren bietet das Kniegelenk gleichfalls grosse Variationen in der Ausbildung seiner einzelnen Theile. Ich will hier nur einige Besonderheiten hervorheben, welche ich an den Gelenken einiger Nager bemerkte. Das beim Menschen im Embryonalzustande

---

<sup>1)</sup> Die in Deutschland lebenden Arten der Saurier. Tübingen 1872. pag. 63. LEYDIG erwähnt auch die Verkalkungen der Menisci, die trocken wie Knochen erscheinen.

sehr gross angelegte Lig. menisci lat. fand ich bei diesen Thieren (Ratte, Maus, Kaninchen) bedeutend entwickelt. Bei denselben Thieren fand ich unmittelbar oberhalb der verknöcherten Patella immer noch ein zweites fast ebenso grosses Knorpelstück, welches der inneren Fläche der Sehne des Quadriceps anliegt und frei in die obere Fortsetzung der Gelenkhöhle hereinragt. Diese Knorpelbildung entspricht der Stelle, an welcher die Sehne beim Auf- und Abgleiten auf der vorderen Fläche des Femur starker Reibung ausgesetzt ist. TILLMANN'S (l. c.) hat an der inneren Fläche der Sehne des Quadriceps einmal beim Menschen Knorpelzellen beobachtet, was ich für den erwachsenen Menschen bestätigen kann, indem ich an mehreren Leichen sogar eine kleine selbständige mehrschichtige Knorpellage daselbst fand, welche nicht mit dem Knorpel der Patella zusammenhing. Dieser Befund gibt uns einen Fingerzeig zur Auffassung der Entwicklung der Patella selbst. Wie wir sahen entsteht dieselbe ursprünglich an der inneren Fläche der Quadricepssehne: wahrscheinlich ist die Patella phylogenetisch ebenso entstanden, indem an der Stelle vermehrter Reibung sich eine Knorpellage ausbildete, welche dann später innigere Beziehungen zur Sehne selbst gewann.

Durch Zunahme der Höhlenbildung im Gelenke im Vergleiche zu dem primären Zustande der Synarthrose oder Gewebscontinuität ist im Kniegelenk der Säugethiere eine höhere Form als bei Amphibien und Reptilien ausgedrückt. Die Kreuzbänder mit den an sie grenzenden Theilen der Menisken sind die einzigen Reste jener Gewebscontinuität, welche ontogenetisch wie phylogenetisch zwischen den betreffenden Skelettheilen bestanden hat.

Im Rückblick auf das Mitgetheilte glaube ich für die Gelenkentwicklung zwei Stadien auseinander halten zu dürfen, eines der Anlage und ersten Ausbildung, und eines der Vervollkommnung. In beiden sind die thätigen Factoren anscheinend sehr verschiedene. Das Stadium der ersten Ausbildung rechne ich bis zu jenem Zeitpunkte, da mit dem Eintreten der Muskelaaction eine Function des Gelenkes möglich wird. Das Auftreten der Gelenkhöhle, und die erst damit erscheinende Bewegung der Theile an einander drückt jenen Wendepunkt morphologisch aus. Bis zu diesem Momente ist aber die Form der Gelenkflächen und die Gestaltung der Nebenapparate so vollständig entfaltet worden, dass nur die Trennung der Continuität der betreffenden Theile einzutreten braucht, um an die

bleibenden Zustände unmittelbar anzuknüpfen. Es erscheint mir von der grössten Wichtigkeit, dass bis dahin der Einfluss eines Muskelzuges ausgeschlossen ist, da eben im Gelenke noch gar keine Bewegung möglich ist. Deshalb bin ich auch der Angabe von HENKE und REYHER, in der diese Autoren ihre Erfahrungen präcisirt haben<sup>1)</sup>, dass die Krümmungen der Gelenkflächen »unter dem Einflusse der gleichzeitig in Gang kommenden Bewegung durch die Muskeln« sich bildeten. insofern hierin ein für die Ontogenie allgemein gültiger Satz ausgedrückt sein soll, entgegengetreten. Gerade das wichtigste, die Gestaltung, das charakteristische der Gelenkflächenbildung erfolgt ontogenetisch ohne jene Einwirkung der Muskeln. Dagegen ist für das zweite Stadium, das die Vervollkommnung des Gelenkes in sich schliesst, die Muskelthätigkeit ein sicher berechtigter Factor, dem ja auch sonst, wie wohl zuerst die Untersuchungen von L. FICK genau erwiesen haben, ein bedingender Einfluss auf Skeletgestaltungen zukommt.

Wenn aber für die Annahme der »Modellirung« einer Gelenkfläche durch Druck und Stoss, Ziehen und Pressen, Drängen und Schieben während der Ontogenie eine thatsächliche Begründung nicht zu geben ist, vielmehr für jenes kritische Stadium, in welchem die Gelenkflächen noch zusammenhängen, nur Wachsthumsvorgänge und Differenzirungen der Gewebe nachgewiesen werden können. so wird die Vorstellung, dass diese Erscheinungen ererbte seien, doch einige Berechtigung haben. Ich denke, dass darüber nicht so einfach mit einer ablehnenden Bemerkung hinweggegangen werden darf, jedenfalls so lange nicht bis etwas Begründeteres dafür aufgestellt werden kann. Wir würden uns übrigens jener Annahme einer Vererbung von Einrichtungen auch dann nicht entschlagen können, wenn wir dem Muskelspiel selbst gleich bei der ersten Differenzirung eine Rolle zutheilen wollten, denn jene Action setzt ja doch eine ganz bestimmte Disposition der bezüglichen Organe voraus, die uns wieder auf eine vererbte Anlage zurückleitet. Aber selbst wenn wir noch weiter zurückgehen bleibt uns die Annahme einer Vererbung nöthig. Es ist daher eine grosse Selbsttäuschung, zu glauben, dass mit der Annahme einer ausschliesslichen Wirkung der Muskeln bei der Differenzirung der Gelenke das Spiel gegen das hereditäre Moment gewonnen sei. Indem wir so die Gestaltung der

---

<sup>1)</sup> Jahresbericht über die Leistungen und Fortschritte der Anat. u. Phys. Berlin 1875. pag. 149.



Fig. 6. *C* Anlage der Kreuzbänder.

Fig. 7. *Tq* Tendo musculi quadricipitis.

Fig. 8. *F* Cond. lat. femoris,  
*T* Cond. lat. tibiae,  
*Fb* Capitulum fibulae.

Fig. 9—13. Schnitt 11; 19, 26, 31, 40 von Embryo 3 (4,5 cm Steiss Scheitel-  
 länge).

Fig. 9 u. 10. *G* Gelenkhöhle,  
*Mq* Musculus quadriceps,  
*Tb* Tendo bicipitis.

Fig. 11. *lml* Lig. menisci lateralis, liegt als stärker roth gefärbter runder  
 Querschnitt im Meniscus lateralis, von welchem aus faserige Ausläufer  
 in das Kapselband (*lc*) verlaufen.  
*B* Ausbuchtungen der Gelenkhöhle zwischen Femur und Patella.  
*TR* Trapezoider Raum, welcher von indifferentem Gewebe erfüllt ist.

Fig. 12. *lml* Querschnitt des Lig. menisci lateralis.  
*ca* Lig. cruciatum ant. wo es mit dem Lig. cruciatum posticum zu-  
 sammenhängt.

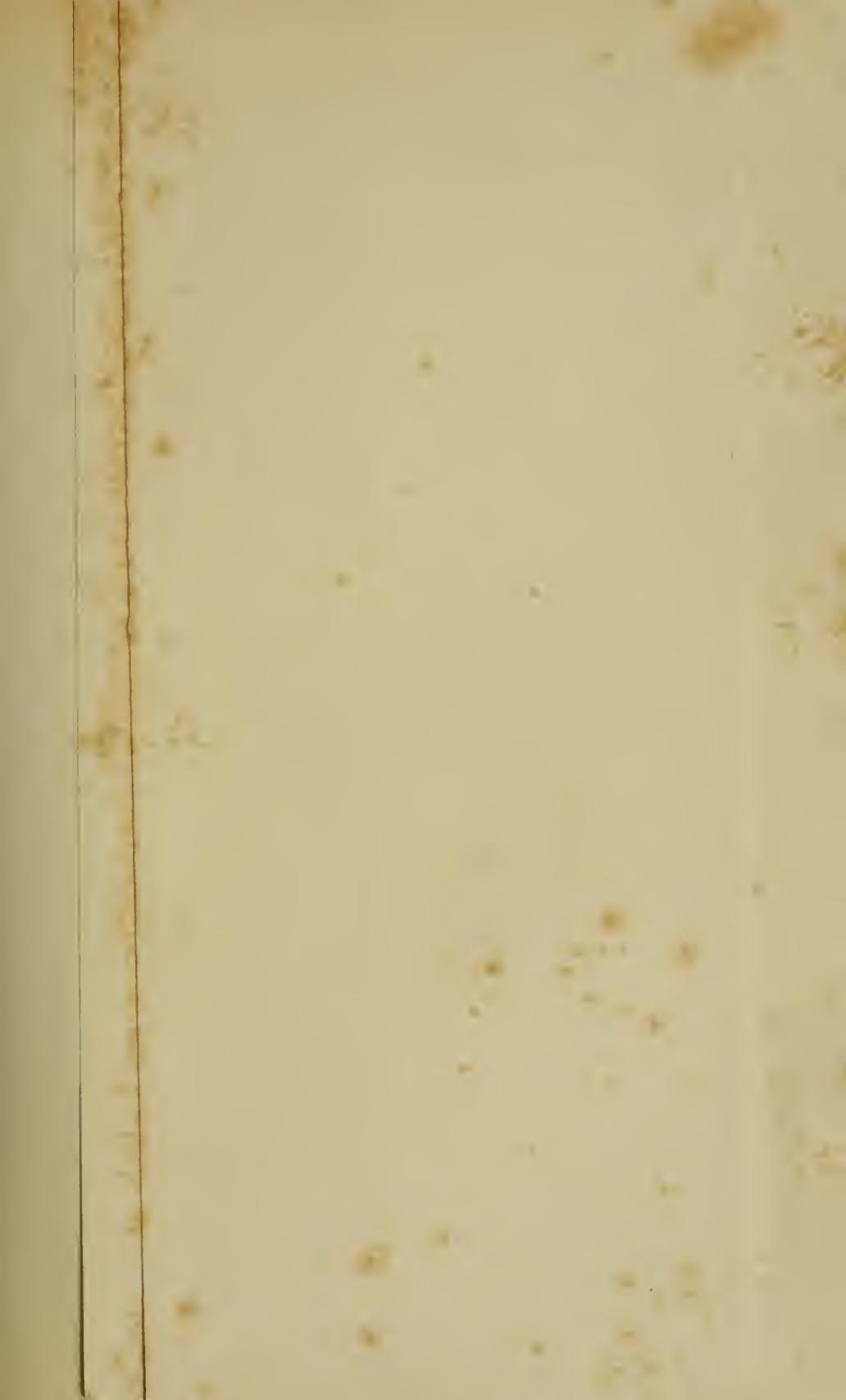
Fig. 13. *alc* Ansatzstelle des Lig. cruciatum post. gemeinschaftlich mit dem  
 Lig. menisci post.  
*mm* Meniscus med. mit dem Lig. capsulare in Zusammenhang.

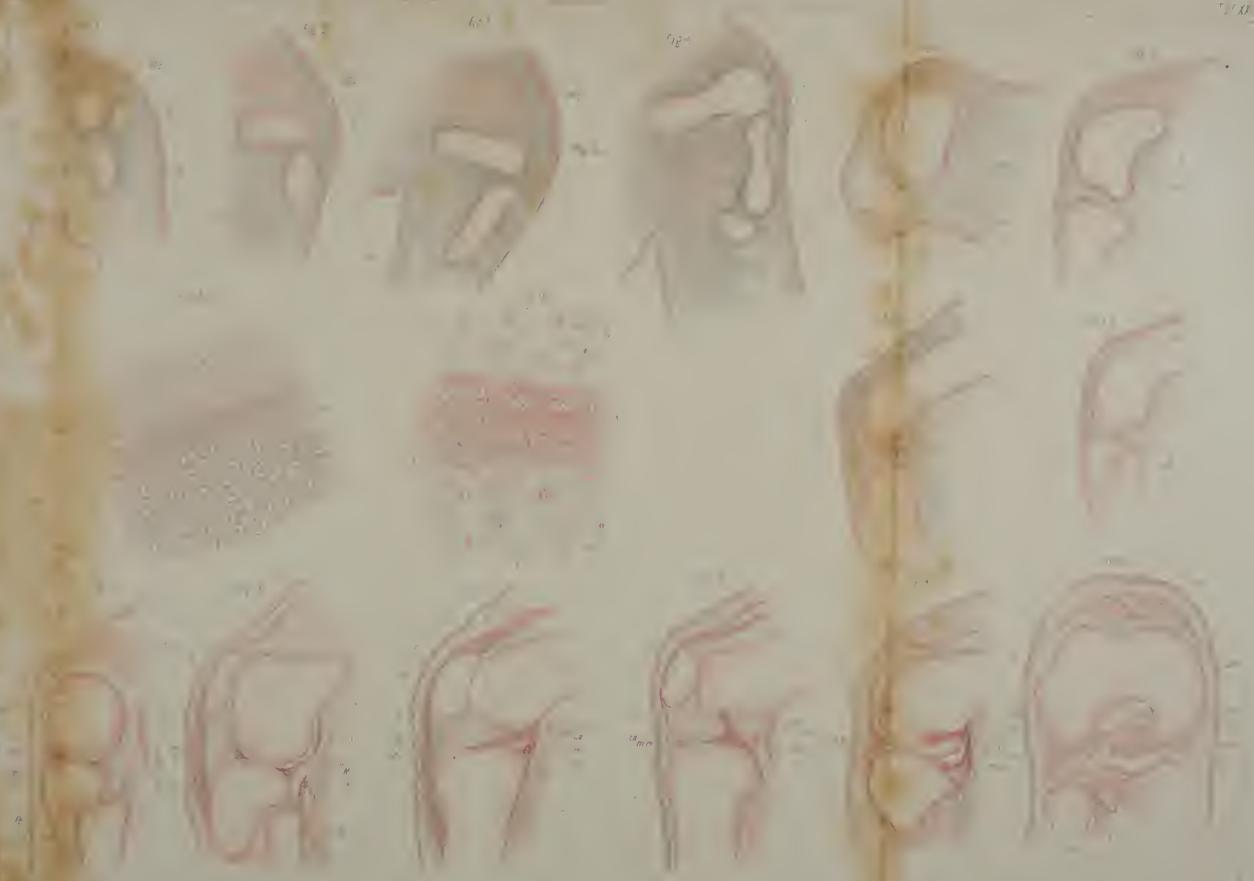
Fig. 14. Frontalschnitt des rechten Knies von Embryo 3 im gebeugten Zu-  
 stande.  
*cl* Condylus lateralis,  
*cm* Condylus medialis,  
*lml* Lig. menisci lateralis. Man sieht die gemeinschaftliche Ansatz-  
 stelle desselben mit dem Lig. cruciatum post. (*cp*), ferner sieht man  
 den Zusammenhang zwischen Lig. cruciatum posticum und Meniscus  
 medialis.

*Vm* Musculus vastus medialis (int.).  
 Fig. 15. Ein kleiner Theil des Randes des Cond. lat. femoris von Embryo 3.  
*F* fertiger Knorpel des Condylus,  
*jc* junge kleine Knorpelzellen,  
*P* perichondrales Gewebe.

Der Schnitt beweist, dass sogar noch bei Embryo 3 der Knorpel  
 durch Apposition von aussen wächst.

Fig. 16. Schnitt durch das Kniegelenk von Salamandra mac. adult.  
*T* Tibia,  
*F* Femur,  
*Z* Zwischenzone,  
*K* Knorpelzellen der Zwischenzone,  
*j* veränderte Intercellularsubstanz,  
*H* Hyalinknorpel,  
*Üb* Uebergang von hyaliner in streifige Intercellularsubstanz.





# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Gegenbaurs Morphologisches Jahrbuch - Eine Zeitschrift für Anatomie und Entwicklungsgeschichte](#)

Jahr/Year: 1878

Band/Volume: [4](#)

Autor(en)/Author(s): Bernays A. C.

Artikel/Article: [Die Entwicklungsgeschichte des Kniegelenkes des Menschen, mit Bemerkungen über die Gelenke im Allgemeinen. 404-446](#)