

Der feinere Bau des Knochengewebes.

Von

A. Kölliker.

Mit Tafel XXXVI—XXXIX.

I. Von dem Baue der Knochenlamellen.

Unter allen Sätzen, welche die vorzügliche Arbeit von v. EBNER über den feineren Bau der Knochensubstanz enthält, ist wohl keiner, der so sehr die Kritik herausfordert, wie der, »dass die Knochensubstanz aus leimgebenden, nicht verkalkten Fibrillen zusammengesetzt sei, welche durch eine Kittsubstanz, die die Knochenerde enthält, zusammengehalten werden« (p. 18), und zwar vor Allem aus dem Grunde, weil die leimgebende Substanz in solcher Menge in dem Knochengewebe sich findet, dass nicht abzusehen ist, wo dann die 66% Erdsalze sonst ihren Sitz haben sollten. Neue Untersuchungen über den Bau der Knochen, die ich in diesem Winter 1885/86 begann, führten mich bald auch auf diese Frage und will ich dieselbe nun in erster Linie zum Gegenstande der Besprechung machen.

Die Beweisführung v. EBNER's ist folgende. Nachdem er die von SHARPEY zuerst gesehenen feinen Fäserchen der Knochengrundsubstanz ausführlich beschrieben hat und zu dem Ergebnisse gelangt ist (p. 13), dass es in hohem Grade wahrscheinlich sei, dass die Knochenfibrille ein mit der Bindegewebsfibrille identisches Formelement darstelle, erklärt er, dass wenn diese Vermuthung richtig sei, »dann natürlich die Knochenfibrille eben so wenig als die Bindegewebsfibrille Knochenerde enthalten dürfe«. Gegen diesen a prioristischen Schluss möchte ich in erster Linie mein großes Bedenken aussprechen, denn einmal ist nicht zu bezweifeln, dass an vielen Orten, wie z. B. in den Wirbeln vieler Fische, in der Säge des Sägefisches, in den Sehnen der Vögel, Bindegewebsfibrillen verknöchern,

und zweitens würde, selbst für den Fall, dass gewöhnlich solche Fibrillen keinen Kalk aufnehmen, hieraus noch lange nicht folgen, dass die Fibrillen der Knochensubstanz sich eben so verhalten.

v. EBNER hat nun aber auch Thatsachen ins Feld geführt, die alle Beachtung verdienen. In erster Linie sagt er, dass an Knochenschliffen, nach Zerstörung der leimgebenden Substanz, an der Stelle der Fibrillen luftgefüllte Röhrchen in der Grundsubstanz des Knochens sich nachweisen lassen, was beweise, dass die Fibrillen nicht verkalkt seien. Verasche man auf dem Platinbleche möglichst dünne polierte Knochenschliffe, welche, trocken untersucht, sehr durchsichtig erscheinen, so falle zunächst auf, dass dieselben, nachdem alle organische Substanz verbrannt sei, so weiß und undurchsichtig werden, wie es unveraschte Schliffe nur bei viel bedeutenderer Dicke sind. Ein solcher Schliff trocken unter das Mikroskop gebracht, erscheine bei durchfallendem Lichte im größten Theile seiner Ausdehnung völlig schwarz und undurchsichtig. Nur an den allerdünnsten Stellen, die nicht dicker sind, als etwa die Distanz zweier Knochenkanälchen beträgt, könne man noch die Knochenkanälchen und Knochenkörperchen unterscheiden; in der dazwischenliegenden Knochensubstanz sehe man aber jetzt dicht gedrängte luftgefüllte Röhrchen, welche in ihrer Form und Anordnung den am unveraschten Schliffe sichtbaren Fibrillen vollständig entsprechen. An geglähten Querschliffen sehe man eben so an der Stelle der Fibrillen tiefschwarze Punkte. Noch viel klarer werden nach v. EBNER die Bilder, wenn man die veraschten Schliffe in harten Kanadabalsam einschließe, wobei der Eintritt des Harzes in die luftgefüllten Röhrchen größtentheils vermieden werde. An den mit dem Harze infiltrirten Stellen dieser Schliffe stelle sich übrigens ein ganz ähnliches Ansehen her, wie es vor dem Veraschen bestand, nur dass die Punktirung und Streifung der Grundsubstanz viel deutlicher sei als vorher.

Ganz ähnliche Erfahrungen wie an verbrannten Schliffen kann man nach v. EBNER auch an Schliffen machen, welche entweder kurze Zeit in Alkalien gekocht oder durch einige Stunden mit Wasser bei 120° digerirt, oder endlich mehrere Tage in Wasser gekocht wurden. Durch alle diese Prozeduren werde die leimgebende Substanz aufgelöst und müsse man daher ähnliche Bilder bekommen, wie durch das Kalciniren, wenn wirklich die Knochenfibrillen keine Erdsalze enthalten. In der That sehe man auch an den ausgekochten Schliffen, wenn sie trocken untersucht werden, ein dichtes luftgefülltes Röhrensystem, das dieselben fast eben so undurchsichtig mache wie verbrannte Schliffe, nur seien die Röhrchen feiner.

In Betreff der von v. EBNER angenommenen Kittsubstanz,

welche die Erdsalze enthalten solle, sind die Angaben sehr dürftig. Dieselbe sei so innig mit den Erdsalzen verbunden, dass veraschte und ausgekochte Schliffe dasselbe Bild gewähren, obschon in der ersten die organische Grundlage (EBNER meint mit Inbegriff der Kittsubstanz) zerstört sei. Behandle man einen ausgekochten Schliff unter dem Mikroskop mit sehr verdünnter Salzsäure, so bleibe die Kittsubstanz als ein sehr durchsichtiger Rest zurück, der freilich mit sehr zarten Kontouren noch die Knochenkörperchen mit ihren Ausläufern, ferner Streifen und Punkte zeige, welche gewissermaßen den Matrizen der Knochenfibrillen entsprechen, also noch die ganze Knochenstruktur. Dieser Rest werde durch die Säure kaum merklich auf, werde aber nach längerem Liegen oder in stärkerer Säure völlig unsichtbar.

Bemerkenswerth ist noch, was v. EBNER über die Polarisationserscheinungen der in verschiedener Weise behandelten Knochenschliffe beobachtete. Knochen, die ihre normale Beschaffenheit besitzen, zeigen unter allen Umständen deutliche positive Doppelbrechung, welche durch Nelkenöl, Terpentinöl, Glycerin kaum merklich geschwächt wird. Sind dagegen die Knochen kalcinirt oder ausgekocht (EBNER sagt »die leimgebenden Fibrillen zerstört«, da er dies als Folge des Glühens und Kochens ansieht), so zeigt sich der Charakter der Doppelbrechung geradezu von der Zusatzflüssigkeit abhängig und wird je nach der Beschaffenheit derselben bald positiv, bald negativ. Entkalkte Knochen wirken wie Knochenschliffe.

Zu meinen eigenen Untersuchungen übergehend bespreche ich in erster Linie den Bau der Knochenlamellen und in zweiter Reihe die Frage, ob gewisse Theile derselben unverkalkt seien und welche.

Die Zusammensetzung der Knochenlamellen anlangend, so hat schon vor Jahren SHARPEY das Richtige getroffen, als er die Zusammensetzung derselben aus sich kreuzenden Fäserchen beschrieb, doch gebührt v. EBNER das Verdienst, diese Angelegenheit nahezu endgültig erledigt zu haben. Meine eigenen neuen Erfahrungen stimmen nämlich in allen wesentlichen Punkten mit denen dieses Forschers überein, wie das Folgende ergeben wird. Wie v. EBNER unterscheide ich in der Grundsubstanz der Knochenlamellen feinste Fäserchen oder Fibrillen, und Bündelchen von solchen. Die letzteren bilden, indem sie in einfacher Schicht neben einander sich legen, dünne Platten oder Blätter, welche von den ungemein zahlreichen Knochenkanälchen durchbohrt werden und so wie porös aussehen. So gewinnt es den Anschein, als ob die Fibrillenbündel unter einander anastomosirten oder ein Flechtwerk bildeten, während der wahre Sachverhalt wahrscheinlich der ist, dass

dieselben einfach neben einander verlaufen und zum Durchtritte der Knochenkanälchen stellenweise aus einander weichen. Der Grund, warum ich diese Auffassung für die richtige halte, ist der, dass die frei vorstehenden Enden der Bündel, die man häufig in ziemlicher Länge zu Gesicht bekommt, niemals sich theilen oder Seitenäste abgeben, wie denn auch v. EBNER in seinen Fig. 5, 6, 9, 10 nichts Derartiges zeichnet. Dieselbe Ansicht wie ich vertritt auch BRÖSIKE (Archiv für mikr. Anat. 1882. p. 760).

Die Bündel der Knochenfibrillen, deren Breite im Mittel $3,0-3,5\ \mu$ beträgt, sind an Präparaten von Knochenknorpel und zwar am besten an abgerissenen Blättchen desselben oder an zerzupften Lamellen mit Leichtigkeit in einer gewissen Länge frei zu erhalten (Fig. 4) und kann auch ich wie v. EBNER für solche Untersuchungen den Zusatz von Kochsalzlösungen von $5-10\%$ empfehlen. In situ sieht man die Bündel an feinen Flächenschnitten von Knochenknorpel überall, ferner sehr schön an isolirten Haversischen Lamellensystemen, den sogenannten »Claviculi von GAGLIARDI«, wie man sie von lange Zeit in dünnem Spiritus oder dünner Chromsäure macerirten entkalkten Stücken der Substantia compacta von großen Röhrenknochen gewinnt (m. Mikr. Anat. II, 4. p. 387), ein Objekt, das den neueren Beobachtern wenig bekannt zu sein scheint. Ungemein deutlich treten diese Bündel endlich auch hervor an dünnen Theilen der Wandungen angeschnittener Haversischer Kanäle, wie sie an feinen Längsschnitten von Knochenknorpel so häufig einem zu Gesicht kommen. Was den Verlauf dieser Bündel oder der Knochenfasern anlangt, so finden sich bei v. EBNER eine Reihe von Angaben über denselben, die sich theils auf das verschiedene Aussehen der Knochenlamellen, die punktirte und streifige Beschaffenheit derselben, theils auf die Polarisationserscheinungen, endlich auf das Verhalten abgerissener Blätter von Knochenknorpel (Fig. 5—10) stützen. Als Endresultat giebt dieser Forscher an (p. 23), dass außer dem extremen Falle von abwechselnden Schichten längs- und querdurchschnittener Fibrillen alle möglichen Fälle sich finden von abwechselnden Bändern (es sind die Lamellen gemeint) mehr oder weniger schief durchschnittener Fibrillen bis zum anderen Extreme, wo auf größere Strecken alle Fibrillen nahezu dieselbe Richtung einschlagen. Diese Angaben sind vollkommen richtig und lässt sich der Verlauf der Knochenfibrillen und ihrer Bündel, der Knochenfasern, noch genauer feststellen durch Verfolgung derselben in situ, wie dies an isolirten Haversischen Lamellensystemen und an isolirten Hauptlamellen macerirter Knochenknorpelstücke möglich ist. An den ersteren, die sowohl in Kochsalz, als auch nach Zusatz von Essigsäure hübsche Bilder geben (Fig. 2), findet man

einen großen Wechsel des Faserverlaufes nicht nur an verschiedenen Systemen, sondern auch an einem und demselben Systeme. Als häufigstes Vorkommnis glaube ich das bezeichnen zu dürfen, bei dem die Fasern der verschiedenen Blätter mit der Achse des Haversischen Kanales einen Winkel von beiläufig 45° bilden und unter einander in rechtem Winkel sich kreuzen. Sehr selten scheint dagegen der Fall zu sein, dass die einen Fasern longitudinal, die anderen transversal verlaufen, dagegen finde ich sehr häufig die einen Fasern quer, oder nahezu quer und die anderen sehr steil ansteigend unter Winkeln von 20 bis 30° zur Achse der Kanäle. Auch dem queren sich nähernde schiefe Fasern kommen vor, die unter Winkeln von 40 — 20° sich kreuzen. Nimmt man nun noch hinzu, dass an der Oberfläche und in der Tiefe eines Lamellensystemes der Faserverlauf oft verschieden ist, und dass derselbe auch an verschiedenen Stellen wechselt, so ergibt sich eine große Mannigfaltigkeit des Verhaltens und begreift man, dass das Verhältnis der punktierten zu den streifigen Lamellen im Längs- und Querschnitte ein so verschiedenes ist.

Ein ganz eigenthümliches Verhalten zeigen die Lamellen, die dicht um die Gefäßkanäle herum liegen, indem hier der Verlauf der Knochenfasern ein so unregelmäßiger ist, dass er jeder Beschreibung spottet. Ich bemerke daher nur so viel, dass hier die Knochenfasern in kleinen Bezirken die sonderbarsten stern-, wirtel-, fächer- und federartigen Figuren bilden.

In den Hauptlamellen verlaufen die Knochenfasern wie in den Haversischen Lamellen, nur finden sich hier in einer und derselben großen Lamelle die mannigfachsten Wechsel.

Die Knochenfibrillen sehe ich im Querschnitte an Schliffen und an Schnitten von Knochenknorpel bei den verschiedensten Behandlungsweisen, Zusätze von Säuren und kaustischen Alkalien natürlich ausgenommen, und finde dieselben feiner und dichter stehend als beim weichen Bindegewebe, z. B. an Sehnen, zahlreicher als v. Ebner dieselben zeichnet, ohne bestimmt nachweisbare Zwischensubstanz (Fig. 3). Eine Kittsubstanz mag in minimaler Menge zwischen den Fibrillen, ihren Bündeln und den Lamellen da sein, so lange jedoch dieselbe weder durch das Mikroskop noch durch chemische Behandlung sicher nachgewiesen ist, wird man gut thun, dieselbe nicht besonders zu betonen. Ich möchte daher auch das, was v. Ebner »Kittlinien« der Lamellensysteme nennt, lieber als Grenzlinien bezeichnen, da von diesen Linien, die nicht selten auch innerhalb der Lamellensysteme zu einer oder mehreren vorkommen (Kölliker, Mikr. Anat. II, 4. Fig. 84 und alle Aufl. der Gewebelehre; v. Ebner, l. c. p. 49; Brösike, l. c. p. 764),

in keinem Falle nachgewiesen ist, dass sie aus einer besonderen Substanz bestehen. Im Übrigen hat v. EBNER die Lamellen vortrefflich beschrieben und möchte ich nur folgende Punkte besonders hervorheben.

Wie v. EBNER finde ich Stellen, die gar keine Lamellen darbieten, an denen an Querschnitten nur Fibrillenquerschnitte erscheinen (Fig. 3). In solchen Gegenden verlaufen entweder die Fibrillen alle longitudinal oder kreuzen sich schief unter gleichen Winkeln. Dann folgen Stellen, die schwache zarte Andeutungen von Blättern zeigen (Fig. 4), die sehr dünn sind, und diese deute auch ich als Gegenden, in denen Faserlagen auf einander folgen, deren Fasern in einfacher Schicht Blätter bilden und in wenig abweichender Richtung verlaufen. Endlich giebt es noch deutliche dünnere und dickere Lamellen, die einen entschieden punktirt, die anderen streifig. Hier ist der Faserverlauf in dünnen oder dickeren Lamellen (einfachen und zusammengesetzten Lamellen v. EBNER's) abwechselnd ein wesentlich verschiedener. Im Allgemeinen bestehen die Hauptlamellen aus dünneren Lamellen, die jedoch fast ohne Ausnahme gut ausgeprägt sind, während die HAVERSISCHEN Lamellen eine wahre Musterkarte aller möglichen Formen darstellen.

Noch bemerke ich in Betreff eines Bildes (Fig. 101) und einer Beschreibung von RANVIER (*Traité technique*, p. 344), dass, was dieser Autor als gestreifte Lamellen beschreibt, unsere punktirten Lamellen sind. Die dunklen Balken (*ponts*), die RANVIER's homogene (unsere gestreiften) Lamellen unter einander verbinden sollen, sind nichts als die Theilchen der Knochensubstanz, die zwischen den Knochenkanälchen liegen und die bei gewissen Behandlungsweisen im Quer- und Längsschnitte wie besondere Fasern erscheinen.

Zu der Frage mich wendend, ob gewisse Theile der Knochengrundsubstanz unverkalkt seien, bemerke ich in erster Linie, dass meine Erfahrungen an kalcinirten Knochenschliffen nicht mit denen von v. EBNER stimmen, was möglicherweise damit in Zusammenhang steht, dass v. EBNER vorwiegend stark und lang geglühte Schliffe untersuchte, ich dagegen solche aus den verschiedenen Stadien der Einwirkung der Hitze. Glüht man Schliffe nur bis zu dem Zeitpunkte, in dem der zuerst kohlschwarz gewordene Knochen wieder weißlich erscheint, d. h. etwa $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ Minute im rothglühenden Platintiegel über einer Gasflamme, so erhalten sich sehr dünne Schliffe noch theilweise durchsichtig und sind stärkeren Vergrößerungen zugänglich. Glüht man dagegen länger — ich glühte 4 Minute bis 4 Stunde — so werden die Schliffe kreideweiß und meist ganz undurchsichtig. Doch habe ich, und das verdient alle Beachtung, auch in solchen Fällen häufig noch dünnste Stellen gefunden, die noch mit einem System 7 von LEITZ unter-

sucht werden konnten und dasselbe zeigten wie die anderen Schliffe, so dass man nicht wird einwenden können, dass $\frac{1}{2}$ Minute lang geglühte Präparate nicht hinreichend lang der Einwirkung der Hitze ausgesetzt waren.

An solchen durchsichtigen Theilen länger oder kürzer geglühter Schliffe (Fig. 5) sieht man nun keineswegs überall mit Luft erfüllte Röhrchen, wie es der Fall sein müsste, wenn die Substanz der Knochenlamellen unverkalkte leimgebende Fäserchen enthielte, vielmehr fehlen solche Röhrchen in den Haversischen Lamellensystemen ganz und gar, und finden sich nur in den interstitiellen und Hauptlamellen, woselbst sie an der Stelle der Sharpey'schen Fasern auftreten, wie eine Vergleichung der geglühten Schliffe mit unveränderten solchen und mit entkalkten Präparaten unwiderleglich beweist. Nach meinen neueren Erfahrungen gehören alle lufteerfüllten langgestreckten deutlichen Röhrchen, die an geglühten und ungeglühten Schliffen in der Knochengrundsubstanz zum Vorschein kommen, den Sharpey'schen Fasern an, deren noch lange nicht hinreichend untersuchtes Verhalten weiter unten ausführlich zur Darlegung kommen soll. Hier bemerke ich mit Hinsicht auf die Frage, die ich zunächst bespreche, nur so viel, erstens dass durchaus nicht alle oder auch nur die Mehrzahl dieser Fasern die Knochenlamellen quer durchsetzt, vielmehr eine große Anzahl derselben auch schief und der Länge nach verläuft und zweitens dass die meisten Sharpey'schen Fasern theilweise oder ganz unverkalkt sind und daher an geglühten Knochen hohle Räume zurücklassen, die mit Luft sich füllen. Diese Fasern erscheinen daher an solchen Knochen als mit Luft erfüllte Röhrchen, die in vielen Fällen so dicht stehen und eben so fein sind, wie v. Ebner die lufteerfüllten Kanälchen zeichnet (Taf. II, Fig. 43, 44), die er auf Rechnung der verbrannten leimgebenden Fibrillen setzt. Hiermit bin ich jedoch nicht gemeint zu behaupten, dass Alles, was v. Ebner beschreibt und abbildet, Sharpey'sche Fasern waren, nur so viel, dass ich an geglühten Knochenschliffen keine anderen deutlichen Röhrchen sah.

Nicht unwichtig für die richtige Auffassung dieser Verhältnisse ist ferner der Umstand, dass die Sharpey'schen Fasern beim Erwachsenen viel häufiger sind, als man bisher gewusst hat, so wie dass dieselben in keiner Weise besser zur Anschauung gebracht werden können, als durch das Glühen. Am Knochenknorpel sind diese Elemente im Allgemeinen nicht leicht zu erkennen und nur schwer gewinnt man an solchen eine richtige Vorstellung über ihre Menge. Von trocknen Schliffen gilt dies noch in viel höherem Grade. Manche solche zeigen keine Spur dieser Elemente, andere eine gewisse Zahl derselben in Gestalt von

luftefüllten feineren oder gröberen Röhrchen und nur seltener, besonders in gewissen pathologischen Knochen und bei jungen Geschöpfen habe ich diese SHARPEY'schen Röhrchen an Schliffen in größerer Menge gefunden. Aber auch in diesem Falle steht das, was der Schliff zeigt, in keinem Verhältnisse zu dem, was die geglühten Präparate darbieten. Befeuchten der Schliffe mit Wasser, Glycerin, Terpentinöl, Kanadabalsam etc. bringt dagegen die betreffenden Fasern gut zur Anschauung, worüber unten mehr.

Bei der Untersuchung geglühter Schliffe auf die von v. EBNER beschriebenen lufthaltigen Röhrchen erwiesen sich mir als sehr wichtig die dünnen Stellen, die man an Schliffen sehr häufig an halb angeschliffenen HAVERSISCHEN Kanälchen findet. Hier zeigt ein ungeglühter Schliff die von v. EBNER beschriebenen Bündel von Fibrillen oder die Knochenfasern in einfachen oder doppelten sich kreuzenden Lagen und zwischen denselben rundliche oder längliche Lücken von den Knochenkanälchen herrührend, so dass das Ganze wie ein feines Gitterwerk aussieht. (Man vgl. die Fig. 5—10 von v. EBNER über diese Bildungen am Knochenknorpel und meine Fig. 21.) Da nun diese Knochenfasern nach v. EBNER's Auffassung, der ich, wie ich oben darlegte, ganz beipflichte, aus Bündeln feiner leimgebender Fibrillen bestehen, so müsste am geglühten Knochen jede Faser ein Bündel lufthaltiger Röhrchen zeigen, wenn v. EBNER's Ansicht richtig wäre, dass die Fibrillen unverkalkt sind. Allein kein geglühter Knochen zeigt jemals etwas der Art, vielmehr verhalten sich an solchen Stellen die Knochenfasern genau wie an ungeglühten Knochen, was ich in einigen Fällen durch Untersuchung einer und derselben Stelle vor und nach dem Glühen direkt ermittelt habe.

Dieselben Erfahrungen, wie an calcinirten Knochenschliffen, machte ich auch an Schliffen, die in Kali causticum von 40% und von 20% längere Zeit (2—3 Tage) in der Brütmaschine digerirt oder ganz kurze Zeit gekocht worden waren. Solche Schliffe werden, auch wenn sie noch so dünn waren, sehr undurchsichtig und bieten trocken nur an den Rändern oder hier und da im Innern, in der Nähe der Gefäßkanälchen einzelne kleine Stellen dar, an denen sie für starke Vergrößerungen zugänglich sind. Immerhin genügen dieselben, um den Beweis zu leisten, dass auch hier keine luftefüllten Röhrchen an die Stelle der Fibrillen getreten sind, vielmehr die Grundsubstanz um die Knochenzellen noch wesentlich dieselbe Beschaffenheit besitzt wie früher. Zu demselben Ergebnisse führt auch eine sorgfältige Betrachtung eines solchen Schliffes, während des Zusatzes beliebiger leichter oder schwerer eindringender Flüssigkeiten und überzeugt man sich auch auf die-

sem Wege, dass solche Präparate keine anderen luftgefüllten Theile besitzen, als die Knochenhöhlen, Knochenkanälchen und die Gegenden der SHARPEY'schen Fasern. Da selbst beim Zusatze von so leicht eindringenden Stoffen, wie Terpentinöl, Chloroform etc., Anfangs immer viele Zellen und Knochenkanälchen ihre Luft bewahren, so ist der dicke von v. EBNER empfohlene Kanadabalsam für eine solche Prüfung durchaus keine *Conditio sine qua non* und führt vor Allem Wasser mit Glycerin, das ich gewöhnlich anwandte, eben so sicher zum Ziele.

Nicht anders als solche Schliffe verhalten sich endlich auch in Wasser gekochte, sei es dass höherer Druck dabei angewandt oder längere Zeit bei gewöhnlichem Drucke gekocht wurde und finden sich auch hier keine anderen mit Luft gefüllten gut ausgeprägten Röhrchen, als diejenigen, die von den SHARPEY'schen Fasern eingenommen worden waren.

Von solchen Schliffen standen mir durch die Freundlichkeit von v. EBNER mehrere von ihm angefertigte Präparate zu Gebote, in Betreff welcher ich in erster Linie anmerke, dass v. EBNER an denselben auf keinen Fall feine SHARPEY'sche Fasern für gelöste Fibrillen angesehen hat. Was dieser Forscher als Beweis für die Annahme, dass die leimgebenden Fibrillen aufgelöst seien, ansieht, sind, wie er sich ausdrückt, eine Unzahl äußerst feiner punkt- und strichförmiger lufthaltiger Räume, welche nach Zahl und Anordnung mit den Knochenfibrillen übereinstimmen. v. EBNER ist ferner der Ansicht, wie er mir brieflich mittheilt, dass die weiße Farbe, welche geglühte und gekochte Schliffe trocken darbieten, wenn hierfür nicht eine andere annehmbare Erklärung gegeben werden könne, nur auf Luft in feinsten Räumen zu beziehen sei. — Meine Anschauungen über diese Verhältnisse gehen auf Folgendes hinaus. Erstens die weiße Farbe geglühter, gekochter und mit Kali behandelter Schliffe anlangend, so könnte dieselbe, wenn die Kalksalze, wie ich glaube, an die leimgebende Substanz gebunden sind, eben so gut wie von Luft, daher rühren, dass die Knochentheilchen durch Entziehung der leimgebenden Substanz ihren Aggregatzustand ändern und nun die Beschaffenheit annehmen, welche z. B. die Kalkkrümel zeigen, die an Ossifikationsrändern in die Knorpelgrundsubstanz sich ablagern, welche auch intensiv weiß erscheinen. Unter dieser Voraussetzung würde die weiße Farbe der betreffenden Knochen, die übrigens, beiläufig bemerkt, in der Knochensubstanz selbst niemals so intensiv ist, wie an den Knochenkörperchen und ihren Ausläufern, durchaus nichts zu Gunsten der Ansicht von v. EBNER beweisen und ist die Hauptfrage die, ob die von v. EBNER als lufthaltige strichförmige Räume und Punkte bezeichneten Theile wirklich so zu deuten sind, wie er annimmt. In dieser

Beziehung bemerke ich Folgendes. Erstens habe ich, wie oben schon bemerkt, eine bedeutende Zahl in verschiedener Weise behandelter Knochenschliffe untersucht, ohne solche lufthaltigen Räume zu finden wie die genannten Präparate v. EBNER's sie enthalten, mochte ich nun trockene Präparate untersuchen oder dieselben während des Eindringens von Flüssigkeiten prüfen. Eben so habe ich auch ganz dicken Kanadabalsam nur mit negativem Erfolge angewendet. Ich kann daher nicht zugeben, dass das Auftreten solcher lufthaltiger Theile eine regelmäßige und nie fehlende Erscheinung sei, obschon auch ich solche in gewissen Fällen sehe. Zweitens finde ich, und zwar nicht nur an meinen, sondern auch an v. EBNER's Präparaten, dass die fraglichen lufthaltigen Striche und röhrenähnlichen Bildungen an geglühten und gekochten Knochen niemals so fein sind und so dicht stehen, wie es der Fall sein müsste, wenn dieselben den ungemein zarten Fibrillen der Knochenfasern entsprächen. Man bedenke, dass die Bündel der Knochenfibrillen oder die Knochenfasern, wie v. EBNER selbst angiebt (p. 30) nur 2 bis 3 μ messen. Wie unmessbar fein müssten da die Fibrillen selbst sein und wie fein die lufthaltigen Röhren, die an ihre Stelle treten sollen? Nach Allem was ich gesehen habe, halte ich die fraglichen Räume einmal für Spältchen zwischen den Fibrillenbündeln und zweitens für Zerklüftungen zwischen den einzelnen Knochenlamellen. Erstere erscheinen an Flächenbildern von Lamellen am deutlichsten und kreuzen sich in diesem Falle die Lücken oft gerade wie die Knochenfasern, während sie an Querschnitten und senkrechten Schnitten von Lamellen wie Punkte sich zeigen, die je nach dem Längsspalten oder bogenförmige, einem Gefäßkanale konzentrische Lücken darstellen. Außer diesen Bildungen enthalten übrigens die Präparate von v. EBNER und die meinen noch eine Menge von gröberen und feineren Spalten und Rissen und auch verschiedenartige rundliche Lücken und scheinen mir alle diese Gebilde nichts als durch das Kochen und Glühen erzeugte Kunstprodukte zu sein.

Wie man sieht komme ich von demselben Ausgangspunkte aus, wie v. EBNER, zu einem ganz entgegengesetzten Resultate und fragt es sich nun weiter, wie es sich mit der von v. EBNER angenommenen Kittsubstanz verhält, die allein die Kalksalze enthalten soll. Offen gestanden vermisste ich bei v. EBNER jeden Beweis der Existenz einer solchen Kittsubstanz und doch müsste eine solche, wenn sie, wie dieser Forscher annimmt, die 66% Erdsalze der Knochen enthielte, in sehr großer Menge vorhanden sein. Was lehren nun die bisherigen Erfahrungen und die Thatsachen mit Bezug auf diese Frage?

Die chemischen Analysen der Knochen ergeben, dass dieselben

nur eine einzige, nicht im gelösten Zustande befindliche organische Verbindung erhalten und zwar Collagen und außerdem nur sehr geringe Mengen löslicher solcher Substanzen. Wird hieraus schon von vorn herein klar, dass in die Zusammensetzung der Knochen keine irgend nennenswerthe Menge einer Kittsubstanz eingeht, so wird dies noch weiter dadurch erhärtet, dass wenn man den von seinen Erdsalzen befreiten Knochen bei gewöhnlichem Drucke in Wasser kocht, schließlich der Knochenknorpel ganz und gar sich löst und gar nichts zurücklässt, als die elastischen Elemente der Blutgefäße und der Knochensubstanz selbst und möglicherweise nicht ausgezogenes Fett. Allerdings zeigen nicht alle Theile dieselben Löslichkeitsverhältnisse. Am leichtesten löst sich die fibrilläre Grundsubstanz, während die Kapseln der Knochenhöhlen und Knochenkanälchen, dann die Auskleidungen der HAVERSISCHEN Kanäle und der Räume des spongiösen Knochengewebes¹ längeren Widerstand leisten. Doch lösen sich schließlich auch diese zum Beweise, dass sie doch wohl wesentlich auch aus Collagen bestehen. Somit bleibt nach längerem Kochen des Knochenknorpels nichts übrig, was als Kittsubstanz zu deuten wäre.

Ich füge nun noch bei, dass geglühte Knochen, ferner gekochte solche, endlich mit Kali causticum behandelte Knochen nach dem Ausziehen der Kalksalze durch starke Salzsäure keinen Rückstand hinterlassen, was zu beweisen scheint, dass diese Vornahmen die organischen Bestandtheile der Knochen ganz und gar zerstören. Untersucht man

¹ Ich erinnere hier daran, dass ich schon vor langer Zeit (Mikr. Anat. II, 2. p. 83) gezeigt habe, dass die Auskleidungen der HAVERSISCHEN Kanäle im Cemente des Pferdezahnes nach Behandlung mit Salzsäure sich erhalten, während die übrige Knochensubstanz bis auf die Knochenzellen sich löst. Später (Würzburger naturw. Zeitschr. I. 1860. p. 344. Fig. 2, 3) wies ich nach, dass auch in den Knochen von zwei Fischen (Aulacostoma und Amia) durch Maceration in concentrirter Salzsäure und Salpetersäure oder in Kali causticum die Auskleidungen der HAVERSISCHEN Kanälchen mitsammt den Scheiden der Zahnröhrchen dieser Knochen sich isoliren lassen. Endlich zeigte NEUMANN (Beiträge zur Kenntnis des norm. Zahnbein- und Knochengewebes. 1863. p. 46), dass auch in menschlichen Knochen die Wandungen der HAVERSISCHEN Kanäle durch Salzsäure sich darstellen lassen, was seither Viele bestätigten, unter denen ich vor Allem LANGER und BRÖSKE (l. s. c.) namhaft mache. Ich finde bei neuen Untersuchungen, wie LANGER, dass bei einer solchen Behandlung auch eine häutige Auskleidung der Räume der spongiösen Substanz sich isoliren lässt, die wohl ebenfalls dieselbe Bedeutung einer dichteren Grenzschicht hat. Am ausführlichsten handelt BRÖSKE über die Einwirkung verschiedener Reagentien auf die Isolirung der genannten Theile und der Knochenkapseln, welche Theile er als Grenzscheiden bezeichnet, doch kann ich nicht mit demselben übereinstimmen, wenn er diese Scheiden als aus Keratin bestehend bezeichnet, da dieselben nach meinen Erfahrungen schließlich beim Kochen in Wasser auch sich lösen.

beim Kalciniren dünner Schliffe diesen Vorgang genauer, so findet man im ersten Stadium der Einwirkung der höheren Temperatur, wenn der Schliff eben anfängt sich zu bräunen, dass die Färbung eine über den ganzen Schliff gleichmäßig vertheilte ist, mit dem Bemerken jedoch, dass die SHARPEY'schen Fasern jetzt schon viel intensiver gefärbt sind, da ihre unverkalkten Elemente rascher angegriffen werden als die übrige Grundsubstanz. In dieser ist in allen Lamellenarten die Bräunung eine ganz gleichmäßige, was ebenfalls mit als Beweis dienen kann, dass hier nicht zweierlei Elemente, verkalkte und unverkalkte, vorkommen, indem sonst die letzteren die Spuren der Einwirkung der Hitze deutlicher zeigen müssten, als die anderen.

Wendet man schwächere Salzsäure von 10% auf die oben genannten Präparate an, so ist das Ergebnis ein anderes als bei Einwirkung starker Säure. Von mit Kali causticum behandelten Knochen bleibt eine ungemein zarte, äußerst feinkörnige Substanz übrig, deren Anwesenheit man leicht übersieht, weil dieselbe häufig durch die sich entwickelnden Gasblasen von den Knochenstückchen getrennt wird. Geglühte Schliffe werden durch 10%ige Salzsäure unter Entwicklung von Gasblasen erst ganz hell, dann schmelzen die intermediären Lamellen ein, so dass die HAVERS'schen Systeme frei werden, endlich vergehen auch diese bis auf kleine, fein punktirte zusammenhängende Reste, die lange sich erhalten.

Am größten sind die Überreste, wenn gekochte Schliffe mit der genannten Säure zusammengebracht werden und zeigen dieselben lange Zeit die Lamellen ganz deutlich, hier und da auch eine Punktirung derselben. Die Knochenkörperchen und Kanälchen lassen sich auch noch erkennen, jedoch mit sehr unbestimmten Umrissen. Nach und nach wird Alles sehr unbestimmt, doch tritt eine wirkliche Lösung nicht ein. Ähnliches hat, wie wir oben sahen, v. EBNER an gekochten Schliffen beobachtet und hält er den Rest für Kittsubstanz, aus welchem Grunde, ist mir nicht ersichtlich; viel näher liegt es denselben als nicht ganz gelöste leimgebende Substanz anzusehen, da ja nachgewiesen ist, dass Wasser den gesammten Knochenknorpel zur Auflösung bringt.

Hier ist nun der Ort auch noch einiger Angaben von BRÖSIKE zu Gunsten einer Kittsubstanz zu gedenken. Wenn dieser Forscher $\frac{1}{2}$ —1 cm große Stücke entkalkten Knochens auf 24 Stunden in 1%ige Überschwefelsäure, darauf ebenfalls 24 Stunden in concentrirte gesättigte Oxalsäurelösung (1 : 15) legte, so zeigten sich die Knochenfibrillen leicht glänzend und ungefärbt, die zwischen ihnen gelegene Kittsubstanz hellkarmoisinroth (l. c. p. 709). Ferner fand BRÖSIKE an kaffeebraun geglühten Schliffen die Fibrillen als braune Punkte oder

Streifen in einer schwach gelblichen interfibrillären Substanz überall so deutlich sichtbar, dass sie leicht bei HARTNACK S. 9, Oc. 3 bei ausgezogenem Tubus gesehen werden konnten (l. c. p. 755). Ich für mich kann weder in dem einen noch in dem anderen Falle das sehen, was BRÖSIKE beschreibt. Glühte ich Schliffe (siehe oben), so fand ich sowohl vor dem Schwarzwerden derselben als nachher, in welchen beiden Fällen die Schliffe braun erscheinen, die Bräunung ganz gleichmäßig über die punktirten und streifigen Theile der Lamellen vertheilt und keine mit Sicherheit nachweisbare Zwischensubstanz, lichte Stellen abgerechnet, die auf Rechnung der Knochenkanälchen und von Lichtreflexen kommen. Und was Überosmiumsäurepräparate anlangt, so ist es mir bei Behandlung von Schnitten entkalkter menschlicher Knochen genau nach BRÖSIKE's Methode nicht gelungen, das von ihm Beschriebene zu sehen, indem die Knochenlamellen durch und durch gelb bis braun wurden.

Das Ergebnis dieser Prüfung auf eine Kittsubstanz der Knochen ist somit das, dass eine solche bis jetzt gar nicht nachgewiesen ist. Somit besteht entweder der gesammte Knochenknorpel aus leimgebender Substanz oder es findet sich eine Kittsubstanz nur in ganz minimaler Menge. Gegen die erstere Möglichkeit scheint zu sprechen, dass die leimgebende Substanz der Knochen besondere Formelemente, die Knochenfibrillen, zeigt und es somit wahrscheinlich ist, dass dieselben durch eine chemisch anders beschaffene Substanz von einander getrennt sind. Immerhin wäre es denkbar, dass die leimgebende Substanz in zwei besonderen Aggregatzuständen vorhanden ist, von denen der eine die Rolle einer Kittsubstanz übernimmt. Sei dem wie ihm wolle, so ist mein Hauptargument gegen v. EBNER das, dass eine Kittsubstanz, bis anhin in den Knochen nicht nachgewiesen ist, und dass somit vorläufig keine andere Möglichkeit besteht, als die, die Kalksalze an die leimgebende Substanz gebunden zu erachten.

Am Schlusse dieser Auseinandersetzungen, die sich wesentlich mit der Frage beschäftigten, ob die Fibrillen der Knochengrundsubstanz verkalkt oder unverkalkt seien, möchte ich nun noch einen Thatbestand verzeichnen, der, so viel mir bekannt, bis jetzt keine Beachtung gefunden hat. Ich finde an manchen Knochen, am schönsten an den platten Schädelknochen, an Schliffen in Kanadabalsam Hauptlamellen und Haversische Lamellen, die auf größere oder kleinere Strecken bei auffallendem Lichte weißlich, bei durchfallendem gelblich erscheinen. An diesen Stellen enthalten die punktirten Lamellen eine Menge kleiner Luftpunkte und die streifigen Lamellen eine große Zahl kürzerer und

längerer lufthaltiger Röhrchen. Mit einem Worte es finden sich an solchen Schliffen Zustände, wie sie vorhanden sein müssten, wenn die Fibrillen entweder zerstört oder gar nicht ausgebildet wären. Da solche Stellen auch täuschend dem Zustande ähnlich sehen, den v. EBNER als Folge der Zerstörung der leimgebenden Fibrillen durch Glühen und Kochen in Wasser beschreibt, so erwecken dieselben ein noch größeres Interesse und habe ich mir auch die Frage vorgelegt, ob in denselben nicht etwa die Fibrillen in weichem Zustande vorhanden sind und in Schliffen schrumpfen und Luft an ihre Stelle tritt. Wäre diese Deutung die richtige, so könnte es kein besseres Argument gegen v. EBNER geben, als diese Stellen und wäre sichergestellt, dass in den Knochen nur ausnahmsweise unverkalkte Fibrillen vorkommen.

Ich komme nun noch auf die Polarisationserscheinungen zu sprechen, die v. EBNER ebenfalls zu Gunsten seiner Hypothese verwerthet. Ohne den Anspruch zu erheben, die vorliegende Frage nach dieser Seite so im Einzelnen geprüft zu haben, wie v. EBNER, stehen mir doch einige Thatsachen zu Gebote, die nicht ohne Bedeutung sein möchten. Ich habe meine Beobachtungen in der Art angestellt, dass ich Schliffe geglühter Knochen und Schnitte von Knochenknorpel vom Menschen ganz gleich behandelte und mein Hauptaugenmerk auf etwaige Abweichungen richtete. Die hierbei erhaltenen Ergebnisse sind folgende:

Brachte ich ein geglühtes Querschnittsegment eines Femur und ein anderes nicht geglühtes Segment desselben Schliffes, dem ich die Kalksalze durch 40%ige Salzsäure entzogen hatte, in Wasser zwischen die gekreuzten Nikols, so zeigten beide Schnitte das bekannte dunkle Kreuz und abwechselnd helle und dunkle Lamellen in fast gleicher Schönheit und Intensität, so jedoch, dass der geglühte Schliff um etwas matter war als der andere, was auf Rechnung seiner geringeren Durchsichtigkeit gesetzt werden konnte. Nahm ich statt Wasser Terpentinöl oder Alkohol, so war der Effekt derselbe und der Unterschied noch geringer. Wurde nun die Gipsplatte Roth I. O. eingeführt, so war beim Alkohol- und Terpentinöl-Präparat der Effekt an beiden Schnitten wesentlich derselbe und zeigten die Schliffe die Farben Blau und Gelb mit einem gewissen Antheil von Roth, so jedoch, dass der entkalkte Knochen intensivere Farben darbot, namentlich im Blau.

Wurden zwei gleiche Präparate wie vorhin mit Nelkenöl behandelt, so verhielten sich beide über der Gipsplatte Roth I. O. ganz gleich und zeigte auch der geglühte Schliff kein Sinken der Farben auf Null, wie v. EBNER dies angiebt (p. 46), oder Farben in negativem Sinne. Die an solchen Präparaten auftretenden Farben stimmen ferner

auch mit denen überein, die bei Zusatz von Wasser, Alkohol und Terpentinöl erhalten wurden.

Ich füge nun noch bei, dass auch mit Kali causticum behandelte Präparate, ferner in Wasser gekochte Schliffe häufig, wenn auch nicht in allen Fällen, in Wasser und Glycerin zwischen den gekreuzten Nikols mit und ohne die Gipsplatte Roth I. O., sich eben so verhielten, wie unveränderte Schliffe. Ja selbst trocken untersuchte gekochte Schliffe zeigten die typischen Farben normaler Knochen.

Eine gewisse Unbeständigkeit in dem Auftreten der Farben an Schliffen, denen die organische Substanz entzogen ist, kann auch ich zugeben, so wie dass die Intensität der Färbungen nicht immer so groß ist wie an unveränderten Schliffen. Diese Thatsachen genügen jedoch wie mir scheint nicht, um den Satz von v. EBNER zu beweisen, dass die Polarisationserscheinungen an unveränderten Knochenschliffen wesentlich von den leimgebenden Fibrillen abhängen.

II. Von den Sharpey'schen oder durchbohrenden Fasern der Knochen.

Während SHARPEY, der erste genaue Beschreiber der durchbohrenden Fasern¹, und H. MÜLLER, dem wir ausführlichere sorgfältige Untersuchungen über diese Elemente verdanken, dieselben für mehr unbeständige und daher minder wichtige Theile des Knochengewebes hielten, kam GEGENBAUR bei seinen berühmten Untersuchungen über die Entwicklung des Knochengewebes zu dem Ergebnisse, dass man im Gegensatze zu dem geringen Werthe, den man bisher den SHARPEY'schen Fasern beigelegt habe, doch nicht umhin könne, ihre Bedeutung für den Aufbau bestimmter Knochen als von größerer Wichtigkeit zu erachten (Jenenser Zeitschr. Bd. III. 1867, p. 235), ein Ausspruch, dem später RANVIER im Wesentlichen sich anschloss (Traité technique p. 460). Um so auffallender erscheint es, dass v. EBNER in seiner oben citirten Arbeit zu dem Ausspruche gelangt (p. 55): »Im Ganzen bilden die SHARPEY'schen Fasern in den Knochen des erwachsenen Menschen einen sehr untergeordneten und inkonstanten Bestandtheil und sind namentlich in den HAVERSISCHEN Systemen ziemlich selten.« Zum Beweise dessen dient v. EBNER vor Allem der Vergleich der Tibia des Neugeborenen mit der des Erwachsenen (Taf. III, Fig. 19 und 20). »In der letzteren findet sich überall, mit Ausnahme der Anlagerungsflächen (es sind die-

¹ CLEMENTI hat geglaubt, die Entdeckung der SHARPEY'schen Fasern GAGLIARDI (1689) und TROJA (1814) zuschreiben zu dürfen (La scoperta delle fibre dello SHARPEY rivendicata all' Italia. Catania 1875), in welcher Beziehung ich auf SHARPEY's Auseinandersetzung im Quart. Journ. of Micr. sc. 1878. p. 142 verweise, der zufolge möglicherweise TROJA Andeutungen derselben sah.

jenigen des endochondralen Knochens gemeint) und der wenig entwickelten SHARPEY'schen Fasern, eine Anordnung der Knochenfibrillen in Lamellen, ferner eine Zerfällung des ganzen Knochens — — — in verschiedene Lamellensysteme. Im kindlichen Knochen dagegen bildet ein Netzwerk von gröberen Faserbündeln die Grundlage der periostalen Knochenbalken; deutliche Lamellen sind nirgends entwickelt und durch Kittlinien abgegrenzte Lamellensysteme fehlen (l. c. p. 59). An v. EBNER schließt sich auch SCHWALBE an, in so fern als er angiebt, dass die Beinhaut vom 4. Lebensjahre an, abgesehen von den Muskelkanten und Muskellinien (AEBY) kein fötales Knochengewebe mehr, sondern nur Grundlamellen liefere (Jenenser Sitzungsberichte in Jen. Zeitschr. Bd. III. 1877), während AEBY schon vor SCHWALBE seine im Ganzen übereinstimmenden Anschauungen mit folgenden Worten ausspricht, die ich in extenso beifüge, da die betreffende Notiz im Beiblatte der Hamburger Naturforscherversammlung p. 126 nur wenig bekannt geworden ist. »Redner untersuchte das Knochenwachsthum an Schliffserien verschiedenalteriger Knochen des Menschen und zahlreicher Wirbelthiere aller Klassen. Die korrespondirenden Stellen entnommenen Schliffe gestatten die unmittelbare Vergleichung einander entsprechender Knochenmassen auf verschiedenen Stufen der Entwicklung. Apposition und Resorption war dabei durch den leicht zu verfolgenden Wechsel der Architektur mit aller Sicherheit nachzuweisen. Des Ferneren ergab sich, dass zwei ganz verschiedene Formen des Knochengewebes existiren, eine mehr homogene, in Lamellen gegliederte mit reihenweise geordneten Zellen und eine lamellenlose, grobfaserige, mit äußerst zahlreichen, dichtgedrängten, unregelmäßig liegenden mächtigen Zellen. Beim Neugeborenen bildete letztere die Hauptmasse des Knochens; erstere ist nur spärlich in der Umgebung der Gefäßkanäle vorhanden. Mit zunehmendem Alter gewinnen sie an Ausdehnung. Das lamellenlose Gewebe wird mehr und mehr eingeschränkt und verliert sich schließlich vollständig. Von gewissen nach den verschiedenen Thieren wechselnden Altersstufen an bildete sich an den meisten Stellen überhaupt nur noch das lamellirte Gewebe. Immerhin ist die Bildung des nicht lamellirten Gewebes nicht vollständig ausgeschlossen. Dasselbe tritt vielmehr an all den Punkten auf, die sich durch besonders reges Wachsthum auszeichnen, wie namentlich die Muskelkanten und Muskellinien. Es unterliegt daher keinem Zweifel, dass die beiden Formen des Knochengewebes mit einer verschiedenen Energie des Knochenwachsthums in Verbindung zu bringen sind. Die genauere Erörterung der Verhältnisse und namentlich der gegenseitigen Beziehungen beider Gewebe-

formen bleibt der bevorstehenden Publikation der ganzen Arbeit vorbehalten.«

Weiter gehend bemerke ich in erster Linie, dass v. EBNER vollkommen im Rechte ist, wenn er den periostalen Ablagerungen des Fötus oder neugeborenen Kindes einen besonderen Bau zuschreibt, der von demjenigen der Knochen des Erwachsenen in vielen Punkten abweicht. In so fern diese Abweichungen auf den Mangel echter Haversischer Lamellensysteme und besondere Anordnungen der Gefäßkanäle sich beziehen, waren dieselben bereits TOMES und DE MORGAN, SHARPEY und mir bekannt, was dagegen den feineren Bau dieser Periostablagerungen betrifft, so verdanken wir die ersten genauen Angaben HEINRICH MÜLLER und GEGENBAUR. Ersterer beschrieb zuerst und zwar am Metatarsus eines erwachsenen Säugers, des Ochsen, die eigenthümlich angeordneten SHARPEY'schen Fasern dieser Ablagerungen (Würzb. naturw. Zeitschr. Bd. I, 1860, p. 300, Holzschnitt Fig. 2) und GEGENBAUR gab dann eine noch vollkommenere Schilderung derselben von einem jungen Geschöpfe, dem Kalbe, der ich in allem Wesentlichen beistimme. Diesen Schilderungen zufolge bestehen beim Kalbe die jungen periostalen Ablagerungen in allen Theilen des von ihnen gebildeten Netzwerkes, mit Ausnahme der allerjüngsten eben in Bildung begriffenen, aus zwei Elementen, einem Achsentheile oder dem Wurzelstocke von GEGENBAUR und lamellosen Auflagerungen, den primitiven Lamellen. Der Wurzelstock besteht aus einem eigenthümlichen Knochengewebe, das meines Erachtens zufolge wohl am besten als Faserknochen bezeichnet wird und eine ungemeine Menge SHARPEY'scher Fasern in nicht lamellöser, mit unregelmäßigen Knochenzellen versehener Knochensubstanz enthält, während die primitiven Lamellen regelmäßige Zellen, ziemlich deutliche Lamellen, aber auch noch SHARPEY'sche Fasern darbieten. v. EBNER schloss sich dieser Schilderung für den Menschen an, irrte aber darin, dass er glaubte, dass solche Bildungen, die er geflechtartiges Knochengewebe nennt, auch noch beim Erwachsenen vorkommen, welcher Annahme auch SCHWALBE und AEBY huldigen.

Ich gehe nun zu meinen eigenen Erfahrungen über den Bau der Periostablagerungen und das Vorkommen der SHARPEY'schen Fasern über und schildere in erster Linie die Knochenarten, die beim Menschen SHARPEY'sche Fasern enthalten. Es sind dies:

A) der lamellöse Faserknochen, welcher die äußeren vom Perioste aus gebildeten Hauptlamellen aller Knochen bildet.

B) die grobfaserige Knochensubstanz oder die geflechtartige Knochensubstanz von v. EBNER, die die Periostablagerun-

gen der knorpelig vorgebildeten Knochen von Neugeborenen und Kindern der ersten Lebensmonate und die Hauptmasse der häutig sich anlegenden Knochen derselben bildet.

Keine SHARPEY'schen Fasern enthalten beim Menschen a) die echten ausgebildeten HAVERS'schen Lamellensysteme, b) die inneren vom Marke aus gebildeten Hauptlamellen. v. EBNER giebt an, dass auch in HAVERS'schen Lamellen, wenn auch selten, SHARPEY'sche Fasern vorkommen und verdanke ich ihm einen Schliff von unbestimmter Herkunft, der in Einem Systeme solche Fasern zeigt. Ich vermuthe, dass dieser Schliff von einem großen Säuger stammt, bei denen nach H. MÜLLER's oben citirter Abbildung etwas der Art sich finden könnte.

A. Der lamellöse Faserknochen besteht aus echten typischen Knochenlamellen und SHARPEY'schen Fasern. Von den ersteren ist hier nur so viel zu bemerken, dass dieselben sich eben so verhalten, wie die Lamellen der HAVERS'schen Systeme, was dagegen die SHARPEY'schen Fasern anlangt, so verdienen dieselben eine ausführliche Schilderung.

In erster Linie bespreche ich die Art und Weise, wie diese Elemente zur Anschauung zu bringen sind. Das Verfahren von SHARPEY, Schnitte entkalkter Knochen zu zerzupfen, führt, da wo diese Elemente sich finden, mit Leichtigkeit zum Nachweise derselben, giebt aber keine sicheren Anhaltspunkte über ihre Verbreitung, Menge und den genaueren Verlauf derselben. Die Methoden, die ich anwandte und empfehle, sind folgende:

1) Nachweis der SHARPEY'schen Fasern am Knochenknorpel.

Ich begann meine Untersuchungen mit entkalkten Knochen, da ich anfänglich der Meinung war, dass Schliffe hierzu sich nicht eignen, was jedoch, wie wir später sehen werden, nicht richtig ist. Untersucht man Knochenknorpel an feinen Schnitten in Wasser oder verdünntem Alkohol, so erhält man an Präparaten von Individuen aus dem zweiten Decennium und von Erwachsenen, von denen hier allein die Rede ist, meist nur sehr unvollkommene Bilder der betreffenden Elemente und ist in keinem Falle im Stande, ihr Gesamtverhalten zu verfolgen. Dagegen wirken gewisse Reagentien mehr oder weniger günstig. Als solche empfehle ich einmal Kochsalz von 5—10%, welches, wie wir sahen, v. EBNER zur Untersuchung der Knochenfibrillen benutzt. Dasselbe bringt auch die SHARPEY'schen Fasern sehr schön zum Vorschein und zeigt dieselben im Querschnitte (Fig. 6) als runde oder länglichrunde Bündel feinsten Fibrillen, die von einem scharfen

dunklen Kontour begrenzt erscheinen, wie wenn sie eine besondere Hülle besäßen, und in und zwischen den Knochenlamellen so gelagert sind, dass sie wie Theile derselben erscheinen und den Verlauf derselben nicht stören. Längsansichten der perforirenden Fasern zeigen dieselben ebenfalls als Bündel von Fibrillen, deren Verlauf bald gerade, bald leicht gebogen erscheint, aber sonst nichts Eigenthümliches zeigt. Eine scharfe Begrenzung der Bündel wird auch in diesem Falle manchmal wahrgenommen, fehlt jedoch in anderen Fällen. Am Querschnitte findet man häufig zwei, drei und mehr SHARPEY'sche Fasern dicht beisammen liegend und wie kleine sekundäre Bündel darstellend. Beim Ändern des Focus fließen diese Fasern häufig in eine einzige zusammen und sind daher wenigstens zum Theil als Verästelungsstellen aufzufassen.

Ein zweites Mittel zur Darstellung der SHARPEY'schen Fasern ist Essigsäure in verschiedener Koncentration. Dieselbe macht den Knochenknorpel durchsichtig, und bringt die Fibrillen zum Verschwinden, nichtsdestoweniger treten die SHARPEY'schen Fasern, die ebenfalls ganz hell werden, deutlich hervor und sind namentlich die Querschnitte derselben in Gestalt von scharf begrenzten gelben Feldern sehr zierlich (Fig. 7). Aber auch die Längsansichten dieser Elemente sind sehr klar gezeichnet und giebt es wohl kein anderes Reagens, das den nur etwas mit der Sache Vertrauten so schnell und sicher über die Menge und Lagerung dieser Elemente orientirt. Doch wirken wahrscheinlich noch manche andere Säuren in ähnlicher Weise und kann ich jetzt schon die Oxalsäure als eine solche bezeichnen, eben so die concentrirte Salzsäure.

Von Farbstoffen habe ich verschiedene angewendet, um die SHARPEY'schen Fasern zu färben, aber nur von Einem solchen in gewissen Fällen einigermaßen befriedigende Resultate erhalten und zwar vom Indigokarmín. Die gewöhnliche Anwendungsweise mit Extraktion der gefärbten Präparate durch concentrirte Oxalsäure ergab mir kein Resultat, dagegen kam ich zufällig auf folgendes Verfahren. Ein Schnitt vom Knochenknorpel wird mit Ac. acet. conc. durchsichtig gemacht und sofort auf kurze Zeit, $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ —1 Minute, in die unverdünnte Farbstofflösung gebracht, hierauf in destillirtem Wasser ausgewaschen und dann entweder in Glycerin oder in Kanadabalsam aufgehoben. Wirkt der Farbstoff ein (Fig. 8), was leider sehr vom Zufall abhängt, so dass ich den Erfolg noch nicht in meiner Hand habe, so sind die SHARPEY'schen Fasern auf große Strecken oder ganz und gar blassrosa bis dunkelroth, die übrige Knochensubstanz blau und giebt nichts eine so klare Anschauung über die große Menge der SHARPEY'schen Elemente und ihre

Verbreitung. Bei weiteren Versuchen wird sich diese Methode sicher besser ausbilden lassen, als es mir bis jetzt gelungen ist. Von anderen Farbstoffen habe ich versucht:

a) Lithionkarmin. Macht stellenweise die SHARPEY'schen Fasern röthlich, dunkler als die übrige Knochensubstanz, an anderen Orten lässt es dieselben dadurch vortreten, dass es nur die Grundsubstanz färbt.

b) Safranin. Wirkt ungefähr wie Lithionkarmin, jedoch weniger günstig.

Ohne Wirkung waren:

Neu Solidgrün 3B, Tartrazin, Viktoriablauf B, Viktoriablauf 4R und Auramin, die ich der Güte der Herren Dr. BINDSCHEDLER und GNEHM in Basel verdanke, ferner Hämatoxylin, Osmiumsäure, Palladiumchlorür, Pikrinsäure, Fuchsin.

Endlich erwähne ich, dass auch, wie schon v. EBNER angiebt (p. 52), das Polarisationsmikroskop die SHARPEY'schen Fasern sehr deutlich zur Anschauung bringt. Da dieselben, wie Bindegewebe, positiv einachsig doppeltbrechend sind, so erscheinen sie bei gekreuzten Nikols an reinen Querschnitten dunkel, in Längsansichten hell. Da jedoch sehr häufig kurze, schief verlaufende solche Fasern in Schnitten von Knochenknorpel vorkommen, so hat es oft den Anschein, als ob die Querschnitte hell wären und muss man in solchen Fällen genau einstellen, um das reine Querschnittsbild zu erhalten.

Elastische Fasern, durch Acidum aceticum an Knochenknorpelschnitten sichtbar gemacht, erscheinen in Längsansichten unter gekreuzten Prismen dunkel. Von Querschnitten derselben gelang es mir auch bei stärkeren Vergrößerungen nicht deutliche Bilder zu erhalten.

Ich bespreche nun noch im Anschlusse an das, was die Untersuchung der SHARPEY'schen Fasern im Knochenknorpel ergiebt, die elastischen Fasern der Knochen. Nachdem HEINRICH MÜLLER dieselben zuerst und schon vor langer Zeit wahrgenommen und als eine Art der SHARPEY'schen Fasern beschrieben hatte, wurden dieselben nur von wenigen Autoren, wie von GEGENBAUR (Jen. Zeitschr. III. p. 257), kurz erwähnt und erst viel später durch v. EBNER der Vergessenheit entrissen und genauer untersucht (l. c. p. 53 u. f.). Nach diesem Autor finden sich elastische Elemente als ein ziemlich dichtes Netzwerk von verästelten, stark glänzenden, an den Rissenden rankenförmig gewundenen Fäserchen in den Schichten unter dem Perioste und da und dort in den innersten Lamellen, welche das Lumen HAVERSISCHER Kanäle zunächst umgrenzen. Diese Fäserchen sind der Längsrichtung der Röhrenknochen parallel gerichtet; biegen aber in der oberflächlichsten Schicht direkt ins

Periost ab, indem sie die letzten Lamellen fast senkrecht durchsetzen. In den HAVERSISCHEN Lamellen haben die Fasern einen theils longitudinalen, theils cirkulären Verlauf. Gefunden wurden diese elastischen Fasern nur in den Knochen Erwachsener, vorzüglich an Röhrenknochen (Tibia, Phalangen), während sie in den platten Schädelknochen vermisst wurden und betont v. EBNER außerdem noch (p. 55), dass sie nur an wenigen Stellen vorkommen.

Zum Nachweise dieser Fasern dienten H. MÜLLER Säuren und Alkalien. v. EBNER hält diese Reagentien nicht für zuverlässig, da auch bindegewebige SHARPEY'sche Fasern von Knochen, die einfach in Salzsäure ohne Salzzusatz entkalkt wurden, in Säuren und Alkalien nicht mehr quellen und für elastische Elemente gehalten werden könnten. Für entscheidend hält v. EBNER nur kurzes Kochen der Schnitte in Natronlauge, tagelanges Kochen in Wasser und Färbung mit diluirtem Fuchsin, welches gestattet an Schnitten die genaue Lage der elastischen Fasern zu bestimmen. Dieselben liegen immer im Bereiche der äußersten umfassenden Lamellen, nur an einzelnen HAVERSISCHEN Systemen in der innersten Lamelle.

Die Methoden, die ich zum Studium dieser Elemente, welche die Fig. 9 und 10 darstellen, anwandte, waren 1) Behandlung von Schnitten von Knochenknorpel mit Essigsäure, Oxalsäure und Salzsäure und finde ich es im Ganzen sehr leicht, wahre elastische Elemente von nicht aufquellenden bindegewebigen SHARPEY'schen Fasern zu unterscheiden; 2) Zerstörung von solchen Schnitten durch Kali und Natron caust. conc. in der Kälte; 3) Färbung der elastischen Fasern durch Fuchsin (v. EBNER)¹ oder Safranin².

Was ich in dieser Weise ermittelte, ist Folgendes:

a) Die elastischen Fasern sind konstante Bestandtheile der äußeren Grundlamellen, dringen bis in die innersten Theile derselben hinein und finden sich auch in verschiedenen Tiefen in den interstitiellen Lamellen.

b) Ein bedeutender Theil dieser elastischen Fasern liegt in bindegewebigen SHARPEY'schen Fasern (Fig. 10), bildet einen Bestandtheil

¹ v. EBNER entdeckte 1870, dass Anilinroth (Fuchsin) die elastischen Fasern der Gefäße färbt (ROLLETT's Untersuch., 1870, Heft 1, p. 36) und in seiner Knochenarbeit meldet er dasselbe von diesen Fasern in Knochen. Später verwandte SCHÄFFER Magenta (Anilinblau und Fuchsin) zu demselben Zwecke (Quart. Journ. of micr. sc. 1878, p. 135).

² Meine Kollegen, Professor STÖHR und Prosektor Dr. OSCAR SCHULTZE, haben unabhängig von einander gefunden, dass Safranin nach der Methode von FLEMMING für Kernfärbung angewendet, auch elastische Fasern der Haut und der Gefäße roth färbt, was ich für diese Elemente der Knochen bestätigt finde.

derselben und verläuft mit ihnen longitudinal, schief und quer, doch enthalten bei Weitem nicht alle SHARPEY'schen Fasern elastische Elemente.

c) Andere dieser Elemente verlaufen selbständig für sich und begleiten namentlich die perforirenden VOLKMANN'schen, von keinen Lamellen begrenzten Gefäßkanäle der Grundlamellen, oft in dichten Zügen dieselben umgebend. Solche elastische SHARPEY'sche Fasern finden sich, so viel ich ermitteln konnte, auch sonst in den Grundlamellen, doch ist es in vielen Fällen sehr schwer zu bestimmen, ob dieselben für sich allein oder mit bindegewebigen Elementen zusammen verlaufen.

d) In HAVERSischen Lamellensystemen wollte es mir bis anhin nicht gelingen, elastische Fasern zu finden. Allerdings gleicht die die HAVERSischen Kanäle zunächst auskleidende Knochenschicht, die, wie wir oben sahen, in Salzsäure sich isolirt, aber bei langem Kochen in Wasser sich auflöst, in ihrem Aussehen manchmal einem zarten elastischen Netze, doch glückte es mir bis anhin noch nicht, wirkliche elastische Fäserchen in derselben nachzuweisen.

2) Nachweis der SHARPEY'schen Fasern an Knochenschliffen.

Außer am Knochenknorpel lassen sich die SHARPEY'schen Fasern sehr leicht an Knochenschliffen nachweisen, wenn man dieselben in einer bestimmten Weise behandelt und bemerke ich in erster Linie, dass diese Möglichkeit damit zusammenhängt, dass diese Elemente in ihrer großen Mehrzahl unverkalkt sind oder wenigstens unverkalkte Theile enthalten, und daher an Schliffen als einfache oder haufenweise beisammenliegende lufthaltige Röhrchen erscheinen, die ich die SHARPEY'schen Röhrchen nennen will. Von dieser wichtigen Thatsache hat zuerst H. MÜLLER Kenntnis gehabt, der, wie bekannt, von den SHARPEY'schen Fasern behauptet (Würzb. naturwiss. Zeitschr. Bd. I. 1860 p. 302), dass dieselben zum Theil wenigstens nicht oder nur unvollkommen verkalkt seien und die von TOMES und DE MORGAN beschriebenen lufthaltigen Röhrchen (Phil. Trans. 443 p. 446) für solche Fasern erklärt. Auch ich hatte schon bei meinen ersten Untersuchungen (ibid. p. 305) gefunden, dass die schon vor TOMES und DE MORGAN von WILLIAMSON als »lepidine tubes« bezeichneten, lufthaltigen Röhrchen gewisser Knochen Spältchen in den SHARPEY'schen Fasern sind, war aber durch meine anderweitigen Erfahrungen an Fischen dazu gelangt, die perforirenden Fasern der Mehrzahl nach für verkalkt anzusehen. In nahezu ähnlicher Weise drückt sich viel später v. EBNER aus, der die betreffenden Fasern an Schliffen oft als luftegefüllte Kanäle

sah, und ihnen eine unverkalkte Kittsubstanz zuschreibt, vielfach jedoch dieselben auch verkalkt fand. RANVIER dagegen bezeichnet alle perforirenden Fasern als verkalkt, was meinen neueren Untersuchungen zufolge ganz unrichtig ist, wie das Weitere lehren wird.

Trockene gut polirte Schliffe zeigen, auch wenn sie sehr dünn sind, die perforating fibres nur schwer und muss man genau mit denselben vertraut sein, um sie zu erkennen, namentlich wenn es sich um feinere Fasern handelt. Setzt man dagegen einem solchen Schliffe Flüssigkeiten zu, die in die Knochenzellen und Kanälchen eindringen, so gestalten sich die Verhältnisse ganz anders und treten nun die SHARPEY'schen Elemente meist ungemein deutlich hervor. Am günstigsten wirken Terpentinöl und Kanadabalsam entweder für sich allein oder nach einander zugesetzt, weniger Wasser und Glycerin, doch lassen auch diese die SHARPEY'schen Elemente erkennen. Im Übrigen ist hervorzuheben, dass der Erfolg bei allen genannten Flüssigkeiten doch in so fern ein zweifelhafter ist, als dieselben häufig auch in die SHARPEY'schen Röhrchen eindringen und dieselben ganz oder theilweise zum Erblassen bringen. Immerhin habe ich noch keinen Fall gesehen, in dem nicht die große Mehrzahl dieser Elemente doch deutlich sichtbar geblieben wäre und verweise ich zum Belege dessen auf die Fig. 44, welche nach einem in Dammarlack aufgehobenen Querschnitte des Femur des Erwachsenen gezeichnet ist.

Sicherer als alle Flüssigkeiten und am schönsten wirkt kurzes Glühen dünner Knochenschliffe, so dass dieselben starken Vergrößerungen zugänglich bleiben und stellt die Fig. 42 eines der schönsten Präparate dieser Art dar, die mir zu Gesicht kamen. Von Wichtigkeit ist auch, dass ein geglühter Schliff mehr SHARPEY'sche Röhrchen zeigt als ein ungeglühter, was beweist, dass ein trockener Schliff eine Menge unverkalkter Fasern enthält, die nicht schrumpften und somit auch nicht durch lufthaltige Röhrchen ersetzt wurden. In der Fig. 8 ist ein und derselbe Schliff ungeglüht (A) und geglüht (B) dargestellt und lehrt die Vergleichung leicht, dass der letztere viel mehr Röhrchen enthält als der andere.

Gehen wir nun zur Betrachtung des feineren Verhaltens der SHARPEY'schen Fasern an Schliffen über, so ist die wichtigste Frage die, ob dieselben weiche Elemente des Knochens darstellen oder theilweise wenigstens verkalkt sind, eine Frage, die, wie ich schon oben darlegte, von den Autoren sehr verschieden beantwortet worden ist. Nach meinen neueren Erfahrungen, die vor Allem an geglühten Schliffen gemacht wurden, halte ich dafür, dass diese Elemente wesentlich in zwei Formen vorkommen, und zwar einmal als ganz und gar weiche

unverkalkte Fasern, und zweitens als theilweise weiche, einem anderen Theile nach verkalkte solche Gebilde. Zu den unverkalkten Fasern gehört die große Mehrzahl der feineren Fasern, deren Durchmesser von demjenigen einer Bindegewebsfibrille bis zu dem von 1—2 μ geht. Solche Fäserchen sind stellenweise ungemün häufig, jedoch die feinsten derselben nicht immer leicht von Knochenkanälchen zu unterscheiden. Am Knochenknorpel erkennt man dieselben vorzüglich wenn sie in Längsansichten sich darstellen, in welchem Falle sie oft an elastische Fasern erinnern, im Querschnitte dagegen sind nur die breitesten derselben wahrnehmbar, die anderen kaum. Alle diese Gebilde nun stellen sich an Schliffen wie einfache lufthaltige Röhrchen dar (Fig. 13) und sind somit unverkalkt. Ein Theil derselben rührt wohl von den oben besprochenen elastischen Fäserchen her, doch sind diese Kanälchen viel zu zahlreich, um nur auf solche Elemente bezogen werden zu können, und stammen dieselben somit einem guten Theile nach von leimgebenden Fäserchen ab.

Noch bemerke ich, dass diese Röhrchen im Querschnitte manchmal wie von einem hellen Hofe umgeben sind, wie dies auch RANVIER darstellt (Traité technique Fig. 164), ohne eine Erklärung desselben zu geben. Ich halte diesen Hof, der selten schärfer begrenzt ist, für ein optisches Phänomen, wie dasselbe auch an den Knochenzellen und Zahnkanälchen erscheint, und vermochte ich keine besondere Bildung als Veranlassung desselben nachzuweisen.

Die zweite Art der SHARPEY'schen Elemente ist theilweise verkalkt und gehören zu diesen alle stärkeren Elemente der Art, die bis zu 20 und 30 μ messen. Dieselben erscheinen an Schliffen als Bündel lufthaltiger Röhrchen, die von einer verkalkten Substanz umgeben und durch eine solche von einander getrennt sind, wie die Fig. 15 dies darstellt. Querschnitte solcher Fasern (Fig. 16) zeigen sich oft von einer schmalen hellen Zone begrenzt und zeigen im Inneren, wenn die Fasern dick sind, einen lufthaltigen Punkt am anderen, durch dünne helle Züge von einander geschieden, während bei dünneren Elementen die lufthaltigen Röhrchen nur zu wenigen, 2, 3 bis 5, im Querschnitte sich zeigen. Da solche dicke SHARPEY'sche Fasern am Knochenknorpel im Querschnitte (Fig. 6) und isolirt (Fig. 17) wie Bündel von Bindegewebsfibrillen erscheinen, so scheint mir die Deutung der Bilder an Knochenschliffen die zu sein, dass an den stärkeren SHARPEY'schen Fasern die Fibrillen unverkalkt, die Zwischensubstanz oder Kittsubstanz dagegen verkalkt ist, mit anderen Worten, dass hier der Zustand vorkommt, den v. EBNER, wie wir oben sahen, der Knochengrundsubstanz im Allgemeinen zuschreibt. Gerade die Leichtigkeit, mit der es gelingt,

an gewissen SHARPEY'schen Fasern verkalkte und weiche Elemente von einander zu unterscheiden, zeigt, dass eine solche Erkenntnis auch bei der lamellosen Knochensubstanz möglich sein müsste, wenn hier die Verhältnisse eben so lägen. Im Übrigen ist hier noch eine andere Möglichkeit gegeben, nämlich die, dass die SHARPEY'schen Fasern aus verkalkten und unverkalkten Fibrillen bestehen, für welche Vermuthung besonders der Umstand spricht, dass die verkalkten Theile derselben oft so ansehnlich sind, dass es unmöglich erscheint, dieselben auf die jedenfalls in geringster Menge vorhandene Kittsubstanz der Fibrillen zu beziehen. In demselben Sinne spricht auch noch Folgendes.

An den eben beschriebenen dickeren SHARPEY'schen Fasern erscheinen die lufthaltigen Röhrchen nicht immer als Kanälchen, sondern auch nicht selten als Reihen lufthaltiger kleinster Vacuolen oder rosenkranzförmig aufgereihter, mit Luft erfüllter kleiner Hohlräume. Solche Bilder (s. Fig. 45) scheinen zu beweisen, dass in manchen Fällen auch die unverkalkten Fibrillen der SHARPEY'schen Fasern einzelne verkalkte Stellen besitzen.

Ich bespreche nun noch die Frage, ob SHARPEY'sche Fasern auch ganz verkalkt vorkommen. An Schliffen hat noch Niemand SHARPEY'sche Fasern nachgewiesen, die keine Luft enthielten, mithin ganz verkalkt waren, und so bleibt zur Entscheidung dieser Angelegenheit nur der Weg offen, einen und denselben Schliff erst trocken und dann nach seiner Entkalkung auf die Menge SHARPEY'scher Fasern zu untersuchen und zu sehen, ob im letzteren Falle ein Überschuss solcher vorhanden ist. Auf eine solche Untersuchung gestützt, bemerkt schon H. MÜLLER (l. c. p. 303), dass an denselben Stücken nach der Entkalkung die Zahl der Fasern größer zu sein schien als vorher. Mir ist es bis jetzt noch nicht gelungen, eine entscheidende Beobachtung der Art zu machen, immerhin möchte ich bemerken, dass es mir an den Schädeldachknochen des Erwachsenen nur selten vorgekommen ist, an Schliffen zahlreichere und stärkere SHARPEY'sche Fasern zu sehen, während entkalkte Präparate beim Zerzupfen solche stets deutlich und in Menge zeigen, so dass hier vielleicht am ehesten an eine größere Zahl verkalkter solcher Elemente zu denken wäre. Im Allgemeinen liegt ja auch die Möglichkeit sehr nahe, dass gewisse SHARPEY'sche Fasern verkalken, da ja eine Verkalkung an manchen bindegewebigen Elementen der Knochen, wie an den Einpflanzungsstellen von Sehnen, an den Sehnen der Vögel und dem Faserknochen der Fische sich findet.

Zur Betrachtung der Verbreitung und des genaueren Verhaltens der SHARPEY'schen Fasern im lamellosen Faserknochen übergehend

erwähne ich zuerst folgendes Allgemeine über diese Knochenform. An den großen Röhrenknochen zeigt der lamellöse Faserknochen oder die Periostablagerungen, was ja dasselbe ist, eine ganz bestimmte Verbreitung, mit deren genaueren Untersuchung ich im Interesse chirurgischer und pathologischer Verhältnisse noch beschäftigt bin und bemerke ich daher nur so viel, dass an vielen Stellen die äußeren Grundlamellen ganz fehlen und man daher nicht erwarten darf, überall perforirende Fasern in guter Entwicklung zu finden. Eine besondere Eigenthümlichkeit dieser Grundlamellen ist das Vorkommen von Gefäßkanälen, die von keinen Lamellensystemen umgeben sind, welche ich nach ihrem Entdecker die VOLKMANN'schen Kanäle heiße. Bei einer vasculösen Ostitis des Os metatarsi I fand R. v. VOLKMANN¹ eine große Zahl von meist engen Gefäßkanälen, die von keinen Lamellen umgeben waren und deutet er dieselben als durch Hineinwachsen von Blutgefäßen in fertigen Knochen entstanden. Ähnliche Gefäße beschreibt später v. EBNER (l. c. p. 64) aus der Tibia eines 6- und eines 44jährigen Individuums in den äußeren und inneren Grundlamellen so wie in den Schaltlamellen, schließt sich der Deutung von v. VOLKMANN über ihre Entstehung an und nennt sie perforirende Gefäße (p. 65). Anders RINDFLEISCH² und LOSSEN³, welche die Bildung dieser Kanäle in pathologischen Knochen, eben so wie VIRCHOW die Knochenresorption, von den Knochenzellen ableiten, ferner SCHWALBE, welcher die VOLKMANN'schen Kanäle in normalen Knochen eben so entstehen lässt, wie die anderen Gefäßkanäle⁴.

Meine Erfahrungen über diese auffallenden und von den Anatomen früher ganz übersehenen VOLKMANN'schen Kanäle sind folgende. Ich finde dieselben an allen Röhrenknochen von jüngeren und älteren Individuen und auch beim Erwachsenen vor Allem in den äußeren Grundlamellen, aber auch in den interstitiellen Blättern und in den inneren Hauptlamellen, ferner in den Periostablagerungen der Schädelknochen und stellen die Fig. 48 und 49 dieselben aus dem Humerus des Erwachsenen bei ganz schwacher und etwas stärkerer Vergrößerung dar. Doch ist die Zahl dieser Kanäle eine sehr wechselnde und finden sich manchmal auf größeren Strecken gar keine, an anderen Orten wiederum sehr viele, wie namentlich die Fig. 48 zeigt. Den Verlauf anlangend, so ziehen dieselben z. Th. quer oder schief durch die La-

¹ LANGENB. Arch. Bd. IV. 1863. p. 460—470. Taf. IV, V und Handb. der Chir. v. PITHA und BILLROTH. Bd. II, 2. Abth. p. 257.

² Path. Gewebel. 2. Aufl. p. 520. 4. Aufl., p. 512.

³ VIRCHOW's Arch. 55. p. 45.

⁴ Jenaische Zeitschr. Bd. XI.

mellen, z. Th. auch longitudinal, was eher noch häufiger sich findet und giebt die Fig. 20 ein gutes Beispiel von dem letzteren Verlaufe. Viele dieser VOLKMANN'schen Kanäle münden an der äußeren oder inneren Oberfläche der Substantia compacta und vergleicht man Querschliffe mit longitudinalen tangentialen oder radiären Schliffen, so überzeugt man sich, dass dieselben in den äußeren Grundlamellen wenigstens ein weitmaschiges unregelmäßiges Netz bilden, von dem einzelne Abschnitte auch schon an den einzelnen Schliffen sich erkennen lassen. Die Beziehungen dieser Gefäßkanäle zu den mit Lamellen versehenen HAVERSISCHEN RÖHRCHEN sind so, dass dieselben ausnahmslos da und dort mit solchen zusammenhängen und somit kein für sich abgeschlossenes System darstellen.

Den Bau der VOLKMANN'schen Kanäle haben bereits v. VOLKMANN und v. EBNER gut geschildert und kann ich mich der Schilderung dieser Autoren ganz anschließen. Die einen VOLKMANN'schen Kanäle sind glattwandig, andere im Profil wie gezackt mit nach innen vortretenden Wölbungen und äußeren Spitzen, wie sie v. VOLKMANN in seinen Fig. 6—10 gut darstellt. HOWSHIP'sche Lacunen habe ich an solchen Kanälen noch nicht gesehen, doch ist es leicht möglich, dass sie an den weiteren derselben unter gewissen Verhältnissen vorkommen. Der Inhalt der VOLKMANN'schen Kanäle ist je nach der Weite sehr verschieden und bemerke ich in erster Linie, dass diese innerhalb weiter Grenzen schwankt (Fig. 49). Die weitesten haben den Durchmesser kleinerer Haversian spaces und die engsten messen nicht mehr als 10—20 μ , ja es kommen neben diesen noch engere und selbst ganz obliterirte solche vor, welche wie dicke helle Ringe mit engster Lichtung oder als kreisförmige Gebilde ohne Lumen von eigenem Glanze erscheinen in ähnlicher Weise, wie das Centrum ganz obliterirter echter HAVERSISCHER Systeme, wie sie TOMES und DE MORGAN zuerst beschrieben haben (Phil. Trans. 1853 Vol. 443 p. 448, 423 Fig. 4 c) und die im Ganzen nicht seltene Erscheinungen sind. In den weiteren VOLKMANN'schen Kanälen nun findet sich der gewöhnliche Inhalt HAVERSISCHER Kanäle, Gefäße, selbst Fettzellen und Markzellen (Osteoblasten?), in den engeren Gefäße und Markzellen, in den engsten eine Masse, die ich nicht zu deuten vermochte, wie denn überhaupt noch nicht klar ist, wie diese und die echten HAVERSISCHEN Kanäle obliteriren. Da jedoch das Centrum solcher obliterirter Kanäle meist eine Knochenzelle enthält, so erscheint es als wahrscheinlich, dass die Verschließung wesentlich durch Osteoblasten und ein von diesen und den angrenzenden Knochenzellen geliefertes ossificirendes Blastem geschieht.

Was nun die Bedeutung und Entstehung der VOLKMANN'schen Ka-

nale betrifft, so stehen sich, wie wir oben sahen, wesentlich zwei Ansichten gegenüber, die von v. VOLKMANN, der v. EBNER sich anschloss, und die von SCHWALBE. Nach sorgfältiger Prüfung der Frage glaube ich für den von v. VOLKMANN beschriebenen pathologischen Fall demselben Recht geben zu müssen und kann auch ich nach der ausführlichen Schilderung und den Abbildungen dieses Autors nicht bezweifeln, dass es sich hier um Neubildungen von Gefäßkanälen handelte, die durch eine sekundär auftretende Resorption gebildeter Knochensubstanz zu erklären wäre, wie sie bei der Bildung der Haversian spaces statt hat. Was dagegen die VOLKMANN'schen Kanäle in normalem Knochen betrifft, so halte ich dieselben unbedingt für Gebilde, die bei der ersten Entstehung oder Ablagerung der periostalen Bildungen gegeben sind und somit gleichzeitig mit den umgebenden Grundlamellen entstehen. Wie die Knochen von Kindern des ersten Jahres in ihrer Substantia compacta Anfangs einzig und allein aus Gefäßkanälen ohne Lamellen bestehen (Fig. 24, 22), so findet sich dies auch später bei der Entstehung der ersten inneren und äußeren Grundlamellen, indem auch hier Gefäße der Beinhaut mit den umgebenden Weichtheilen in die von Osteoblasten abgelagerte lamellöse Knochensubstanz eingeschlossen werden. An normalen Knochen habe ich bis anhin keinerlei Spuren einer Neubildung von VOLKMANN'schen Kanälen zu finden vermocht und schließe ich mich somit für diese der Auffassung von SCHWALBE an.

Zu den SHARPEY'schen Fasern selbst übergehend kann man im Allgemeinen sagen, dass in den Knochen Erwachsener alle äußeren Grundlamellen und alle interstitiellen Lamellen, die genetisch mit den ersteren zusammenhängen, d. h. aus Periostablagerungen entstanden sind, SHARPEY'sche Fasern enthalten; doch ist die Menge dieser Elemente und die Stärke derselben vielen Wechselln ausgesetzt. Als Belege mögen folgende Zeichnungen dienen. Fig. 23 stellt die äußere Hälfte eines Abschnittes eines geglähten Querschliffes des Femur des Erwachsenen dar, der in den äußeren Grundlamellen eine bedeutende Anzahl SHARPEY'scher Fasern enthält und solche auch in den interstitiellen Lamellen zeigt. Die Mehrzahl dieser Elemente gehört zu den feinen und verläuft longitudinal oder schief, keine auf größere Längen transversal. Ganz anders beschaffen sind diese Elemente in einem Querschliff eines Humerus von 30 cm Diaphysenlänge (Fig. 20), indem dieselben durch kolossale Dicke sich auszeichnen und auch zum Theil auf größere Strecken mehr quer verlaufen. Von mittlerer Stärke endlich, aber in größerer Anzahl zeigt Fig. 42 die SHARPEY'schen Fasern aus den interstitiellen Lamellen des Femur eines Erwachsenen. Mit diesen Beispielen sind jedoch lange nicht alle Mög-

lichkeiten erschöpft und betone ich besonders noch folgende Verhältnisse:

1) In dicken äußeren Grundlamellen verlaufen die fraglichen Elemente oft in großer Länge transversal, die Lamellen quer durchbohrend und giebt schon H. MÜLLER die Länge solcher Fasern auf 3 mm an, was ich nur bestätigen kann. An solchen Fasern ist dann auch wahrzunehmen, dass sie hier und da sich verästeln und wie Bäumchen bilden, deren Zweige gegen die Oberfläche des Knochens gerichtet sind. Andere solche Fasern verbinden sich netzförmig und umgeben dann häufig longitudinal verlaufende solche Elemente.

2) Kommen häufig in den interstitiellen Lamellen, aber auch in den äußeren Grundlamellen ganze Nester longitudinal verlaufender dickerer SHARPEY'scher Fasern vor, deren Menge so groß ist, dass die übrige Knochensubstanz auf ein Minimum reducirt erscheint und so zu sagen keine Lamellen, sondern nur vereinzelte Knochenzellen zeigt. Sind in solchen Fällen die SHARPEY'schen Fasern besonders dick, was die Regel ist, so entsteht mitten in der Compacta eines Röhrenknochens ein Gewebe, das täuschend einer verknöcherten Sehne gleicht (Fig. 7). Die schönsten Bilder der Art gewinnt man übrigens von der Oberfläche der Diaphyse der großen Röhrenknochen, wenn hier longitudinal verlaufende SHARPEY'sche Elemente vorkommen. Das eben Geschilderte erinnert sehr an die bekannte GEGENBAUR'sche Abbildung (Jen. Zeitschr. III, Fig. 13), die eine kugelige Intercellularsubstanz mit Interglobularräumen darstellt und kann ich nicht umhin zu bemerken, dass ich weder an jungen noch an älteren Knochen etwas Derartiges gesehen habe, was nicht auf SHARPEY'sche Fasern zu beziehen gewesen wäre, und empfehle ich besonders Entkalken der Schiffe und Behandlung des Knochenknorpels mit Essigsäure zur Aufklärung. Da die SHARPEY'schen Elemente zum Theil quer, zum Theil longitudinal verlaufen, so erhält man an Quer- und Längsschnitten unter Umständen ähnliche Bilder.

3) SHARPEY'sche Fasern finden sich bereits in den Knochen von Embryonen und in den Knochen aller Lebensalter. Wie dieselben in früheren Lebensperioden sich verhalten, wird sofort zu beschreiben sein. In späteren Zeiten vom dritten oder vierten Jahre an zeigen dieselben die nämlichen Verhältnisse, wie beim Erwachsenen, bei dem sie noch bei älteren Leuten in den 60. Jahren sich vorfinden.

B. Die grobfaserige Knochensubstanz der fötalen und jungen Knochen (Fig. 24—26) unterscheidet sich in mehrfachen Beziehungen von dem echten lamellösen Faserknochen und verdient auf jeden Fall eine besondere Beschreibung. Was dieselbe vor Allem aus-

zeichnet, ist 1) der Mangel gut ausgeprägter Lamellen, dann 2) das Vorkommen großer unregelmäßiger Knochenzellen, endlich 3) die sehr zahlreichen und zum Theil sehr starken SHARPEY'schen Fasern. Querschliffe der Diaphysenmitte eines solchen Knochens (Femur, Tibia, Humerus) vom Neugeborenen bieten folgendes eigenthümliche Bild (Fig. 21, 22). Das Innere des Knochens zeigt eine große Anzahl HAVERSISCHER Kanälchen, welche zum Theil quer, zum Theil der Länge nach verlaufen und durch im Ganzen dünne Knochenbalken von einander getrennt sind. Zu innerst liegen da und dort größere zum Theil angefressene Markräume ohne alle Gesetzmäßigkeit und fehlt jede Spur von Knochenansatz, während unter der Beinhaut die bekannten Bilder von schmalen Knochenbalken und offenen und sich schließenden Markräumen sich finden. Alle Knochenbalken nun bestehen aus einem mittleren Zuge großer Knochenzellen untermengt mit groben SHARPEY'schen Fasern, und erscheinen an Schliffen sehr dunkel, während gegen die HAVERSISCHEN Kanäle zu helleres Gewebe auftritt, in dem nur feinere Ausläufer der SHARPEY'schen Elemente und kleinere mehr typisch geformte Knochenzellen sich finden, so wie schwache Andeutungen von Knochenlamellen.

Betrachten wir nun die Verhältnisse im Einzelnen, so sind die Knochenzellen, welche in der Achse der Knochenbalken liegen, wie bereits v. EBNER dies beschreibt, durch ihre absonderlichen unregelmäßigen Formen, ihre bedeutendere Größe und außerdem dadurch ausgezeichnet, dass oft mehrere derselben unter einander zusammenhängen und so größere buchtige Räume bilden. Diese Zellen liegen in einem Gewebe, das wesentlich aus SHARPEY'schen Fasern gebildet wird, die dicht verfilzt den Haupttheil der Achse der Knochenbalken bilden und zum Theil der Achse der HAVERSISCHEN Kanälchen parallel verlaufen, zum Theil dieselben ringförmig umgeben, zum Theil schief verlaufen. Von diesen Fasern sind viele von mächtiger Stärke ($15-30\ \mu$) und bilden eine unentwirrbare Verflechtung, die GEGENBAUR mit dem passenden Namen Wurzelstock bezeichnet hat. Einzelne Fasern dieses Geflechtes treten in besondere Beziehungen zu den Knochenzellen, indem sie wie an dieselben sich ansetzen (s. GEGENBAUR l. c. Fig. 6—9) oder dieselben scheinbar in Verbreiterungen aufnehmen, ich möchte jedoch dieses Verhältnis nicht so auffassen, als ob die Zellen Verbreiterungen der Fasern darstellten und zwischen beiden ein inniger Zusammenhang bestände, vielmehr bin ich der Meinung, dass der Ausdruck, dass gewisse SHARPEY'sche Fasern an Knochenzellen sich ansetzen, ohne mit denselben zu verschmelzen, mehr der Wahrheit entspricht. Außer diesen Beziehungen der SHARPEY'schen Fasern zu den

Zellen, finden sich im Wurzelstocke auch häufig Stellen, an denen, wie beim Erwachsenen, longitudinal verlaufende Fasern Knochenzellen begrenzen, die dann, wie in Interglobularräumen zu liegen scheinen.

Von dem Wurzelstocke aus geht eine große Zahl meist feinerer Fasern in die die Haversischen Kanälchen umgebenden Schichten aus und verläuft in der Regel bis an die unmittelbare Begrenzung derselben heran. Meist theilen sich diese Fasern an ihrem Ende mehrfach in feinere Elemente, während andere im ganzen Verlaufe einfach bleiben. Neben diesen Elementen kommen hier und da auch noch andere vor, die ungetheilt von einem Haversischen Kanal zum anderen ziehen und den Wurzelstock einfach durchsetzen. Die Knochenzellen um die Haversischen Kanälchen herum zeigen nichts Auffallendes, und bemerke ich nur, dass ihre Ausläufer namentlich nach Essigsäurezusatz in großer Menge sehr deutlich zum Vorschein kommen und für feine Sharpey'sche Fasern gehalten werden könnten.

Von Lamellen zeigen solche Knochen sehr wenig. Am deutlichsten sieht man Anklänge an solche um einzelne Gefäßkanäle herum, seltener auch im Wurzelstocke, und nur ausnahmsweise treten dieselben am erstgenannten Orte bestimmter auf.

Eine nicht unwichtige Bemerkung ist nun noch die, dass die Vergleichung von Schliffen von Knochen Neugeborener, die gegläht wurden, mit Schnitten von entkalkten solchen Knochen unzweifelhaft lehrt, dass in den letzteren mehr Sharpey'sche Fasern sichtbar sind. Es muss somit ein Theil der Sharpey'schen Fasern dieser Knochen verkalkt sein. Namentlich gilt dies von den seitlichen Ausläufern des Wurzelstockes, die in Schliffen weniger zur Anschauung kommen und auch der Verästelungen entbehren. Aber auch die Gegend des Wurzelstockes erscheint am entkalkten Knochen reicher faserig. Im Ganzen sind übrigens Schliffe immerhin so reich an lufthaltigen Sharpey'schen Fasern, wie die Fig. 18 u. 19 zeigen, dass man, auch wenn man dieselben mit entkalkten Knochen (Fig. 26) vergleicht, immer noch zu der Behauptung berechtigt ist, dass auch an Knochen von Neugeborenen die Sharpey'schen Elemente größtentheils unverkalkt sind.

Die Verbreitung der grobfaserigen Knochensubstanz, wie sie eben geschildert wurde, anlangend, so kenne ich dieselbe von allen Röhrenknochen des Neugeborenen und von Kindern der ersten Wochen, die alle im Wesentlichen sich gleich verhalten, doch hebe ich als bemerkenswerth hervor, dass schon bei Neugeborenen an den Diaphysenden dieser Knochen bis auf 2 cm Entfernung von den Epiphysen sich gut entwickelter lamellöser Knochen vorfindet, und zwar an zwei Stellen, einmal auf den Resten der Knorpelbalken im Inneren als echter

lamellöser Knochen und zweitens an der äußeren Oberfläche als lamellöser Faserknochen mit VOLKMANN'schen Kanälen an bestimmten Stellen, an denen typische Periostablagerungen mit SHARPEY'schen Fasern sich bilden. Diese Stellen erkennt man schon mit bloßem Auge leicht an ihrer Glätte, während die Gegenden, wo grobfaserige Knochensubstanz entsteht, rauh und porös aussehen, eben so wie die Resorptionsflächen. Die deutlichsten Bilder der Art gab mir der Humerus, aber auch Tibia und Femur ließen diese Verhältnisse erkennen und läuft bei ersterem eine solche glatte Zone sogar an der ganzen medialen Kante herab.

Außerdem habe ich von Knochen von Neugeborenen untersucht: das Darmbein, Schulterblatt, Schlüsselbein, Wirbel, Rippen, Unterkiefer, Jochbein, Schläfenbein, Hinterhauptbein, Keilbein, Scheitelbein, die Gehörknöchelchen und fand ich folgendes allen Gemeinsame:

1) Alle auf Knorpelreste abgelagerte Knochensubstanz ist, wenn sie nur etwas mächtiger auftritt, schöner lamellöser Knochen.

2) Die von der Beinhaut aus gebildete Knochensubstanz knorpelig präformirter Knochen ist schöne grobfaserige Substanz mit meist unverkalkten SHARPEY'schen Fasern.

3) Die nicht knorpelig angelegten Knochen des Schädels bestehen an den Stellen, an denen sie in die Fläche wachsen, aus schöner, grobfaseriger Knochensubstanz mit mächtigen, mehr oder weniger unverkalkten Bindegewebsbündeln (SHARPEY'schen Fasern) und findet sich dasselbe Gewebe auch im Inneren an vielen Stellen. Außerdem zeigen diese Knochen auch lamellösen Faserknochen an der Oberfläche in gewisser mäßiger Entwicklung und echten lamellösen Knochen um die Gefäßräume.

Im Einzelnen erwähne ich noch Folgendes:

a) Darmbein. Ein Querschnitt vom Gelenktheile bis zur Crista zeigt an der lateralen (glutealen) Lamelle des Knochens die schönste grobfaserige Knochensubstanz mit mächtigen, einem guten Theile nach unverkalkten, quer und schief verlaufenden SHARPEY'schen Fasern, die mir noch vorgekommen ist. An der Crista finden sich viele lamellöse Ablagerungen auf Knorpelbalken, an der medialen Lamelle (Lam. iliaca) stellenweise etwas lamellöser Faserknochen oberflächlich, sonst auch viel grobfaseriges Gewebe.

b) Scapula. Ein Schliff parallel dem Margo lateralis unter dem Acromion vom Gelenktheil bis zum Margo medialis durch die Fossa infraspinata zeigt ebenfalls an bestimmten Stellen in beiden Gruben lamellösen Faserknochen, dann gegen die überknorpelten Stellen zu

lamellösen Knochen ohne Fasern, sonst viele und sehr schöne grobfaserige Substanz wie das Darmbein mit gleichem Verhalten der Fasern.

c) Rippen zeigen an Querschnitten in großer Ausdehnung grobfaserige Substanz mit longitudinal verlaufenden feineren SHARPEY'schen Fasern, daneben auch schiefe und transversale solche. Lamellöse Substanz an einzelnen Stellen im Inneren.

d) Schlüsselbein. An Einer Stelle gute äußere und innere Lamellen. Sonst schöne grobfaserige Substanz.

e) Unterkiefer. Stellenweise grobfaserig, stellenweise lamellös.

f) Wirbel. Die Bogen enthalten in den oberflächlichen Lagen schöne grobfaserige Substanz. Die Körper bestehen nur aus endochondral gebildeten Knochen.

g) Zygomaticum. Besteht äußerlich aus grobfaserigem Knochen, innen in großer Ausdehnung aus lamellösem Knochen.

h) Occipitale basilare. Äußere Lagen besonders an der distalen Seite grobfaserig. Innen Lamellen endochondralen Knochens.

i) Keilbein. Der Körper des hinteren und vorderen Keilbeines longitudinal durchschnitten zeigt an beiden Flächen eine dünne Kruste von grobfaserigem Knochen, innen nur lamellöse Substanz mit Ausnahme der überknorpelten Endflächen.

Ein Querschnitt durch die Sella turcica und Ala magna bietet dieselben Verhältnisse dar.

k) Os petrosum. Ein Querschnitt durch Paukenhöhle, Vestibulum und Schuppe zeigt an der Pyramide oberflächlich in großer Ausdehnung, an der Schuppe ganz und gar grobfaserige Knochensubstanz. Im Bereiche der Pyramide ist das Innere kompakter und spongioser endochondral gebildeter Knochen mit schönen Lamellen. Ein Querschnitt durch die Gegend der Cochlea zeigt im Inneren dasselbe, im Umkreise dagegen in dicker Lage den schönsten grobfaserigen Knochen.

l) Die Gehörknöchelchen bestehen ganz und gar aus endochondralem Knochen mit vielen lamellösen Auflagerungen.

m) Scheitelbein. Besteht fast durchweg aus grobfaseriger Substanz mit Anfängen von Lamellenbildung an den Oberflächen.

Ich füge nun noch Einiges über die Entwicklungsverhältnisse der SHARPEY'schen Fasern und der dieselben enthaltenden Knochensubstanz bei. HEINRICH MÜLLER ist der Erste, der in seiner vorzüglichen Abhandlung über SHARPEY's Fasern den Satz aufstellte (p. 297): »Ich glaube die durchbohrenden Fasern als Züge verdichteter Binde substanz ansehen zu müssen, deren Bildung der Anlagerung der Knochenlamellen entweder vorherging oder wenigstens mit derselben zugleich fortschritt, indem

sie sich mit der zunehmenden Dicke der Lamellen immer weiter verlängerten.« An demselben Orte kam ich selbst am Schlusse einer vergleichenden Untersuchung über die fraglichen Elemente zu dem Ergebnisse (p. 345), »dass die SHARPEY'schen Fasern nichts als ossificirte Bindegewebsbündel sind und mit weichen Bindegewebsbündeln im Perioste direkt zusammenhängen und gab dann in meiner Gewebelehre (5. Auflage Fig. 168) eine Abbildung solcher Bündel. GEGENBAUR und v. EBNER schlossen sich später der genannten Auffassung der SHARPEY'schen Fasern an, die jetzt wohl kaum noch einen Gegner hat.

Die grobfaserige Knochensubstanz verdankt allerwärts einem gewöhnlichen Bindegewebe mit Zellen ihren Ursprung wie SHARPEY und ich dies schon vor Jahren behauptet, bevor der Bau derselben genauer bekannt war, und findet sich daher überall, wo ein solches Gewebe direkt ossificirt, wie z. B. bei den Periostablagerungen junger Röhrenknochen, bei der ersten Anlage und dem Randwachsthume der nicht knorpelig präformirten platten Schädelknochen, bei den Periostablagerungen der Gesichtsknochen in frühen Stadien. An gewissen Orten wandelt sich später das genannte ossificirende Gewebe so um, dass dasselbe in eine mit zellenfreien Bindegewebsbündeln untermengte Lage von Osteoblasten übergeht und dann giebt dasselbe dem lamellösen Faserknochen den Ursprung, eine Umwandlung, die bei den Röhrenknochen und den knorpelig präformirten Knochen überhaupt sehr früh auftritt. Die bisherigen Autoren drücken sich über den Zeitpunkt dieser Umwandlung und die Art derselben sehr unbestimmt aus. So AEBY, der jedoch nur zwei Arten von Knochengewebe unterscheidet, grobfaseriges und lamellöses, welcher nur »von gewissen, nach den verschiedenen Thieren wechselnden Altersstufen« spricht, jedoch annimmt, dass auch noch später nicht lamellirtes Gewebe an all den Punkten auftrete, die sich durch besonderes reges Wachstum auszeichnen, wie namentlich den Muskelkanten und Muskellinien. v. EBNER bemerkt nur: »dass die fötale Knochenstruktur nur kurze Zeit bleibe und dass an der Tibia eines 3 $\frac{1}{2}$ jährigen Kindes nichts mehr davon zu sehen war«, abgesehen von kleinen Inseln im Bereiche der Diaphysenmitte. SCHWALBE endlich lässt die Knochen etwa bis zum 6. Monate nach der Geburt nach embryonalem Modus vom Perioste aus weiter wachsen. Dann aber beginne die Ablagerung lamellösen Knochengewebes von Seite des Markes und auf die Wandungen der nun entstehenden HAVERS'schen Räume (es sind die Haversian spaces von TOMES und DE MORGAN gemeint), so dass schon bei 2jährigen Kindern nur lamellöse Knochensubstanz vorhanden sei, an deren Bildung bis zum 4. Jahre das Periost keinen Antheil nehme. Dasselbe bilde vielmehr zu

dieser Zeit Anfangs nur Spuren geflechtartiger Knochensubstanz, später auch wohl lamellöse Substanz von geringer Dicke. Erst vom 4. Jahre an nehme die Thätigkeit des Periostes wieder zu und liefere nun, abgesehen von den Muskelkanten und Muskellinien, zunächst Grundlamellen.

Meine Erfahrungen über diese Frage sind folgende. Sehr bald, jedenfalls im Verlaufe der ersten Jahre nach der Geburt, hört die Ausbildung grobfaserigen Knochengewebes auf und bildet nun die Beinhaut lamellöses Gewebe mit zahlreichen SHARPEY'schen Fasern (lamellösen Faserknochen). Zugleich wird der Knochen von innen nach außen resorbirt und enthält schon ein Femur eines 3jährigen Kindes nichts oder fast nichts mehr von der Knochensubstanz des Femur des Neugeborenen, während im Inneren die Gefäßkanäle durch Resorption in Haversian spaces übergehen und HAVERSISCHE Lamellensysteme in sich entwickeln. Somit findet sich schon im 3. Jahre keine geflechtartige oder grobfaserige Knochensubstanz mehr und besteht der Knochen von nun an aus lamellösem Faserknochen und echtem lamellösem Knochen. Auch die andern Knochen verhalten sich im Wesentlichen eben so mit Ausnahme gewisser Stellen. Als solche bezeichne ich 1) die Nahtgegenenden der Schädelknochen, an denen so lange als die Knochen in der Fläche wachsen, grobfaserige Knochensubstanz gebildet wird; 2) die Stellen, wo Sehnen, Bänder oder Lig. intermuscularia direkt an die Knochen sich ansetzen, wo ebenfalls Faserknochen gebildet wird. Meine Erfahrungen stimmen somit nicht mit denen von SCHWALBE überein, der bei jungen Röhrenknochen den Periostablagerungen keine größere Rolle zuschreibt.

Würzburg, den 10. Juni 1886.

Erklärung der Abbildungen.

Tafel XXXVI—XXXIX.

Fig. 1. Einige Lamellen von den äußeren Hauptlamellen eines entkalkten Humerus des Menschen. Starke Vergr. Die Knochenfasern oder Bündel von Fibrillen kreuzen sich unter rechten Winkeln. Die Punkte in den Lamellen sind Querschnitte von Knochenkanälchen.

Fig. 2. Theil eines isolirten HAVERSISCHEN Lamellensystemes von einem erweichten Femur von der Oberfläche gesehen. Starke Vergr. Man sieht die unter rechten Winkeln sich kreuzenden Knochenfasern. Der Gefäßkanal und einige Knochenzellen schimmern undeutlich durch.

Fig. 3. Von einem Schliffe eines Humerus von 30 cm Länge. Starke Vergr. Keine Lamellen, nur Querschnitte von Fibrillen sichtbar.

Fig. 4. Theil eines Lamellensystemes aus demselben Schliffe mit dichtstehenden undeutlichen Lamellen. Starke Vergr. Links gröbere SHARPEY'sche Fasern. Die feinen dunklen Linien sind feinere solche Elemente oder Spalten.

Fig. 5. Theil eines geglühten Schliffes des Femur des Menschen, trocken untersucht. Starke Vergr.

Fig. 6. Von einem Querschnitte des entkalkten Humerus des Menschen. Starke Vergr. Es sind dargestellt eine Reihe äußerer Grundlamellen, ein perforirender Gefäßkanal *g* ohne Lamellensysteme, viele Querschnitte SHARPEY'scher Fasern *s* und Knochenzellen.

Fig. 7. SHARPEY'sche Fasern in einem kleinen Felde interstitieller Lamellen von einem mit Essigsäure behandelten Querschnitte desselben Humerus. Starke Vergr. Die Fasern laufen fast alle longitudinal und begrenzen Lücken, die die Knochenzellen enthalten. Manche Fasern bilden kleine Bündel und sind von feinen faserartigen Zügen begrenzt, die horizontal verlaufende SHARPEY'sche Fasern zu sein scheinen.

Fig. 8. SHARPEY'sche Fasern durch Indigokarmin roth gefärbt. Vom Humerus des Erwachsenen. Geringe Vergr.

Fig. 9. Elastische Fasern aus den äußeren Grundlamellen des entkalkten Humerus des Menschen mit Safranin gefärbt. Starke Vergr. *g*, perforirende Gefäßkanäle.

Fig. 10. Dieselben aus dem nämlichen Knochen durch Essigsäure dargestellt. Starke Vergr. *s's's'*, SHARPEY'sche Fasern, die elastische Fäserchen enthalten; *ss*, SHARPEY'sche Fasern ohne elastische Elemente; *g*, perforirender Gefäßkanal.

Fig. 11. Theil eines Querschliffes aus der Mitte der Diaphyse des Femur des Erwachsenen in Dammarlack. Geringe Vergr.

Fig. 12. Dasselbe wie vorhin von einem anderen Femur, geglüht und in Lack aufgehoben, etwas mehr vergrößert als das vorige Präparat. Alle Striche bedeuten lufthaltige SHARPEY'sche Fasern.

Fig. 13. Aus dem geglühten Schliffe eines Femur. Oberflächliche Grundlamellen mit feinen SHARPEY'schen Fasern. Starke Vergr.

Fig. 14. Ein und derselbe tangential oberflächliche Längsschliff des Femur eines 46jährigen. *A* vor und *B* nach dem Glühen dargestellt. Geringe Vergr.

Fig. 15. Starke SHARPEY'sche Fasern in Form von Bündeln lufthaltiger Röhrchen aus einem Flächenschliffe einer menschlichen Rippe mit Osteoporose. Starke Vergr.

Fig. 16. Ein Theil der oberflächlichen Grundlamellen aus einem in Lack aufgehobenen Schliffe aus der 30 cm langen Diaphyse eines noch nicht ausgewachsenen menschlichen Humerus. Die Gefäßkanäle sind perforirende. Starke Vergr. Viele lufthaltige Röhrchen der SHARPEY'schen Fasern sind durch Eindringen von Balsam hell geworden, aber doch noch als Lücken zu erkennen.

Fig. 17. Durch Zerzupfen isolirte SHARPEY'sche Fasern aus einem erweichten Parietale des Erwachsenen. Starke Vergr.

Fig. 18. Querschnitt aus der Mitte der Diaphyse eines entkalkten Humerus des Menschen bei geringer Vergrößerung. Die äußeren Grundlamellen *ng* enthalten eine große Zahl längsverlaufender und quergetroffener VOLKMANN'scher Kanäle.

Fig. 19. Ein Theil dieses Querschnittes stärker vergrößert. *v*, VOLKMANN'scher Kanal.

Fig. 20. Querschliff aus der Mitte der 30 cm langen Diaphyse eines Humerus in Lack. Geringe Vergr. *gs*, oberflächliche Grundlamellen mit meist quer durchschnittenen VOLKMANN'schen Kanälen und sehr vielen lufthaltigen SHARPEY'schen Fasern; *i*, interstitielle Lamellen, die auch noch solche Fasern enthalten und einzelne VOLKMANN'sche Kanäle, wie bei *o*.

Fig. 21. Segment eines Schliffes aus der Mitte der Diaphyse des Femur eines Neugeborenen. Geringe Vergr.

Fig. 22. Ein ebensolcher Schliff vom Schienbein eines Neugeborenen.

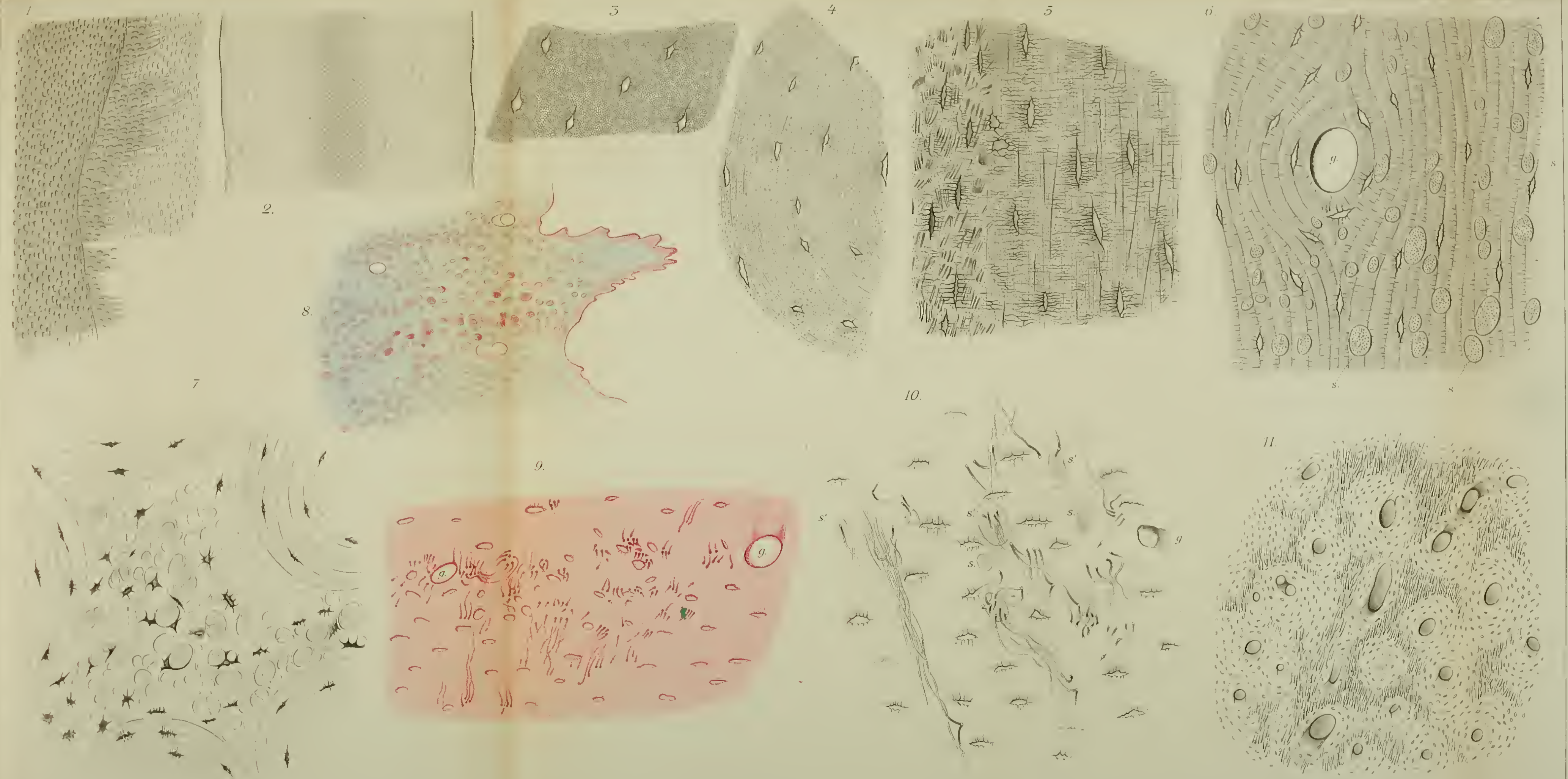
Fig. 23. Theil eines Querschliffes eines geglühten Femur des Erwachsenen von der Mitte der Diaphyse. *gr*, äußere Grundlamellen mit besonderen hellen Zonen, die Ansatzlinien bezeichnen, und VOLKMANN'schen Kanälen; *i*, interstitielle Lamellen. Beide mit SHARPEY'schen Fasern.

Fig. 24. Segment eines Querschliffes des Femur eines Neugeborenen. Mittlere Vergr.

Fig. 25. Theil eines solchen. Stark vergr.

Fig. 26. Ein Theil eines entkalkten Querschliffes der Tibia eines Neugeborenen. Stark vergr. *w*, Wurzelstock mit den ausstrahlenden SHARPEY'schen Fasern.

Fig. 27. Einige Lamellen von den äußeren Grundlamellen eines entkalkten Humerus. Starke Vergr. Die Knochenfasern oder Bündel von Fibrillen kreuzen sich unter rechten Winkeln, die Lücken zwischen denselben sind Knochenkanälchen.



12.



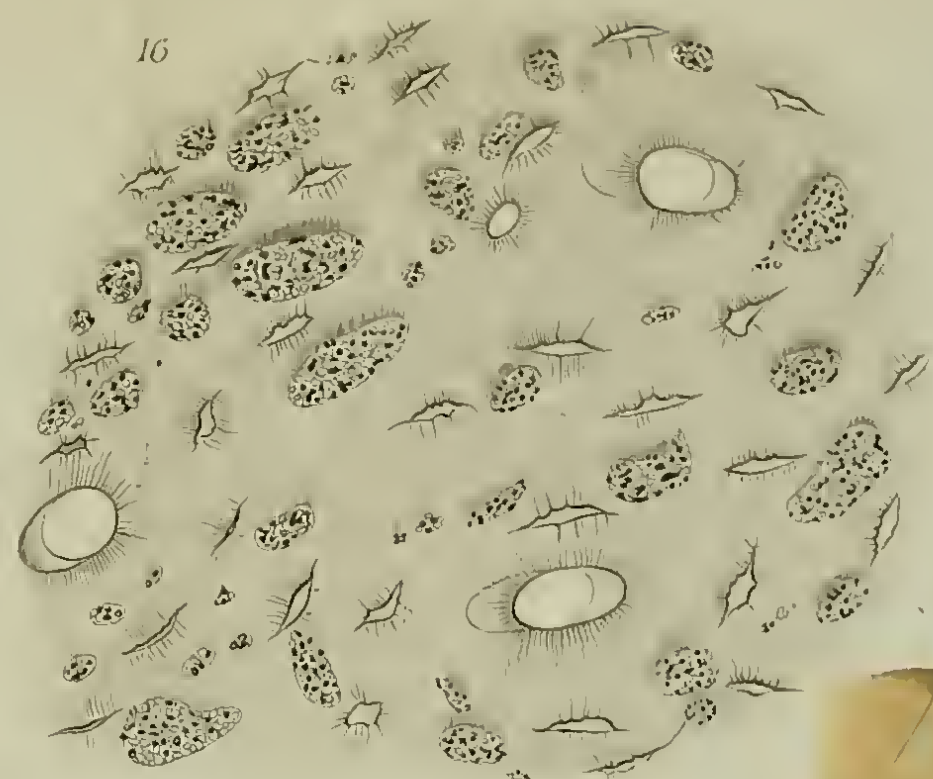
14A.



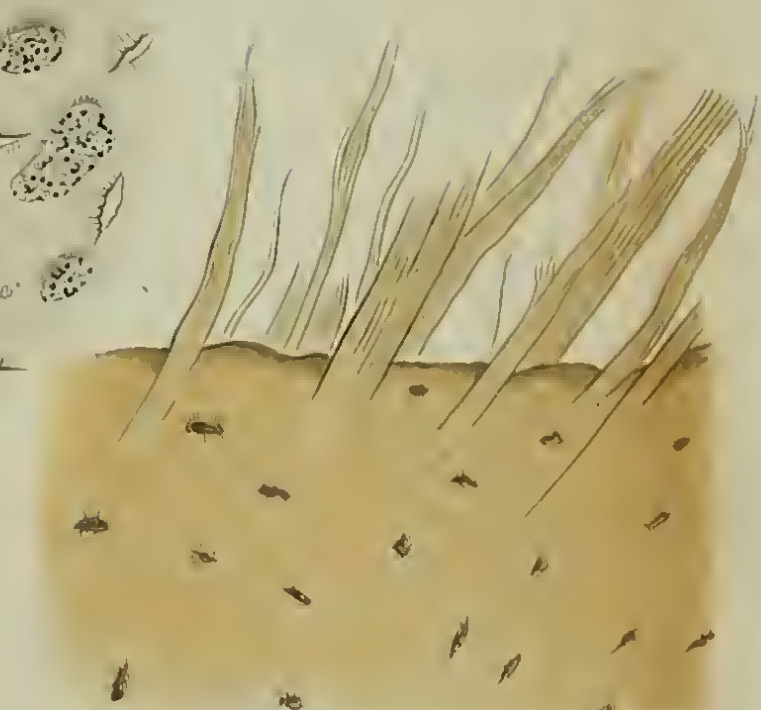
15



16



17



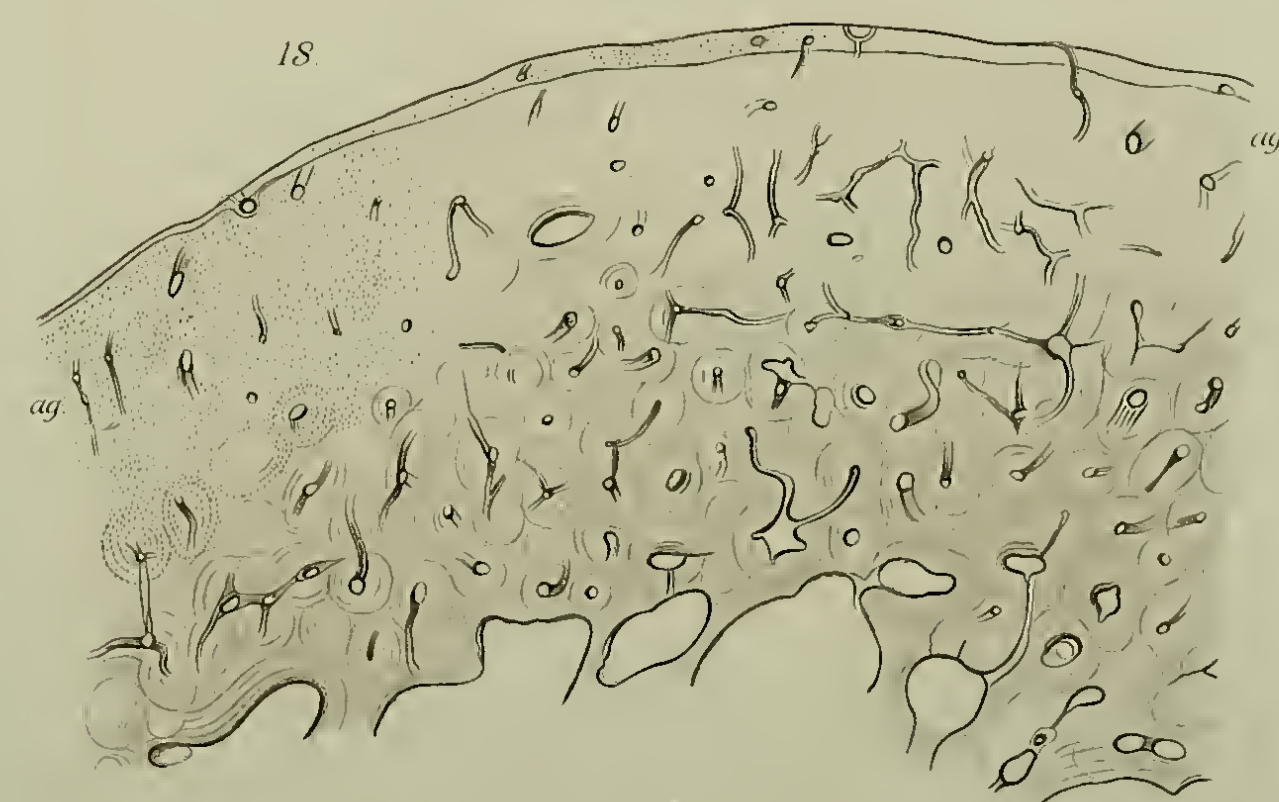
13



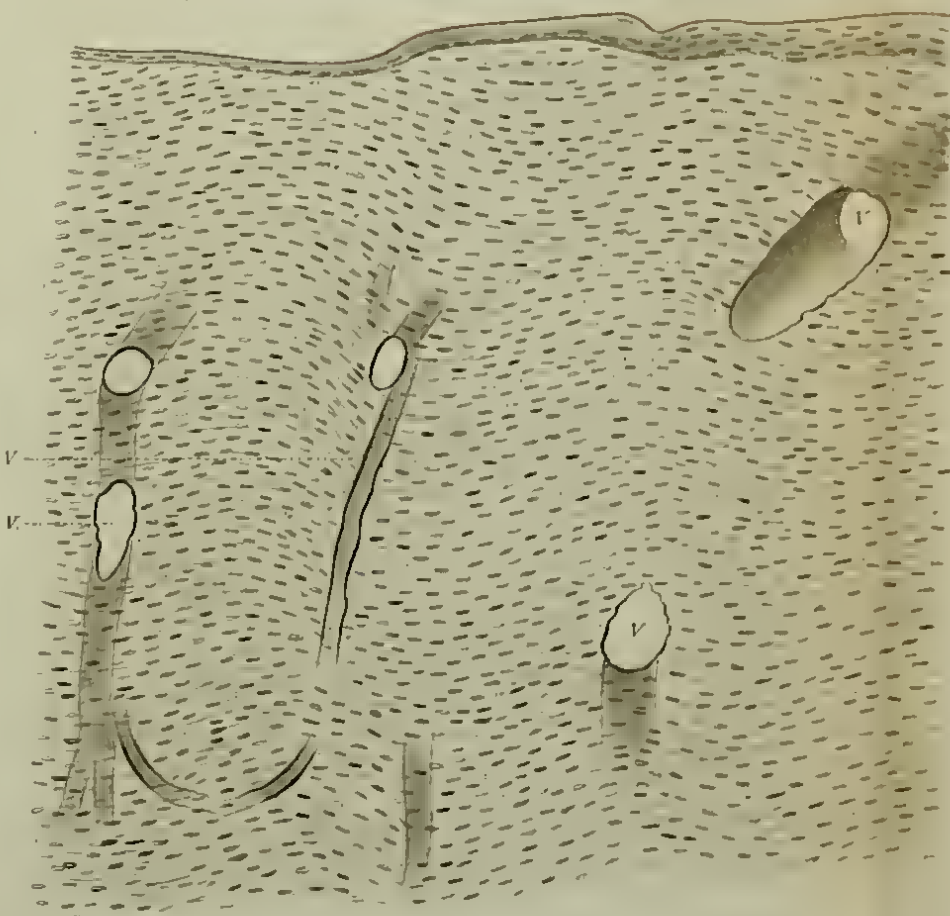
14B.



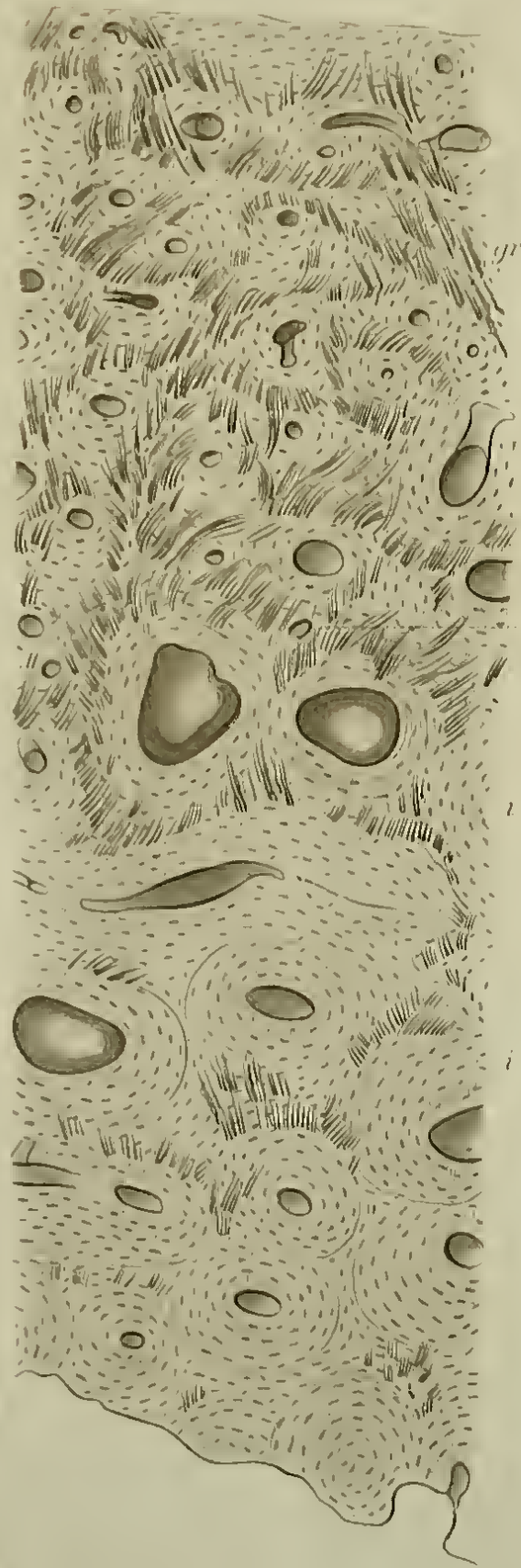
18



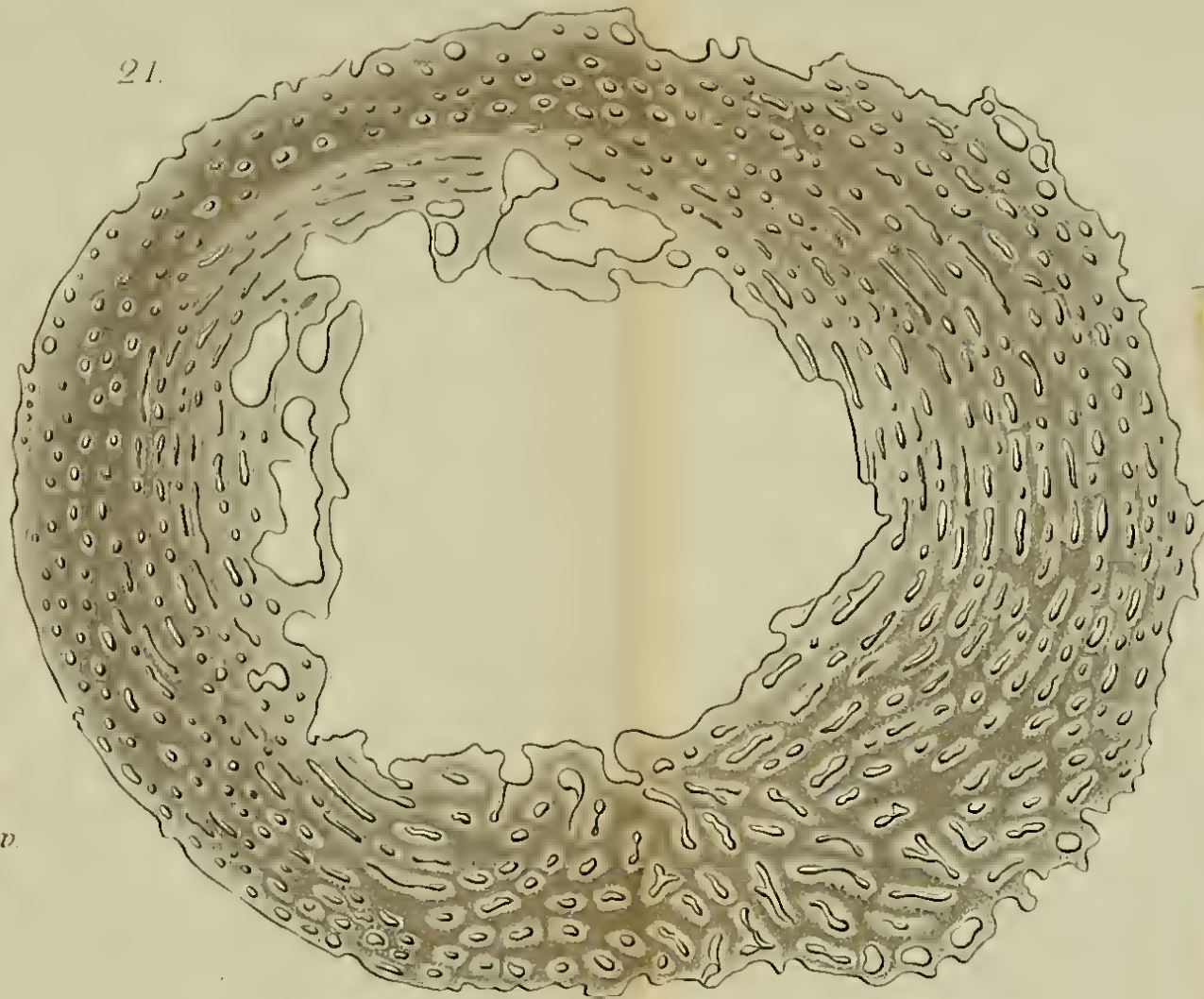
19



20



21.



22.



25



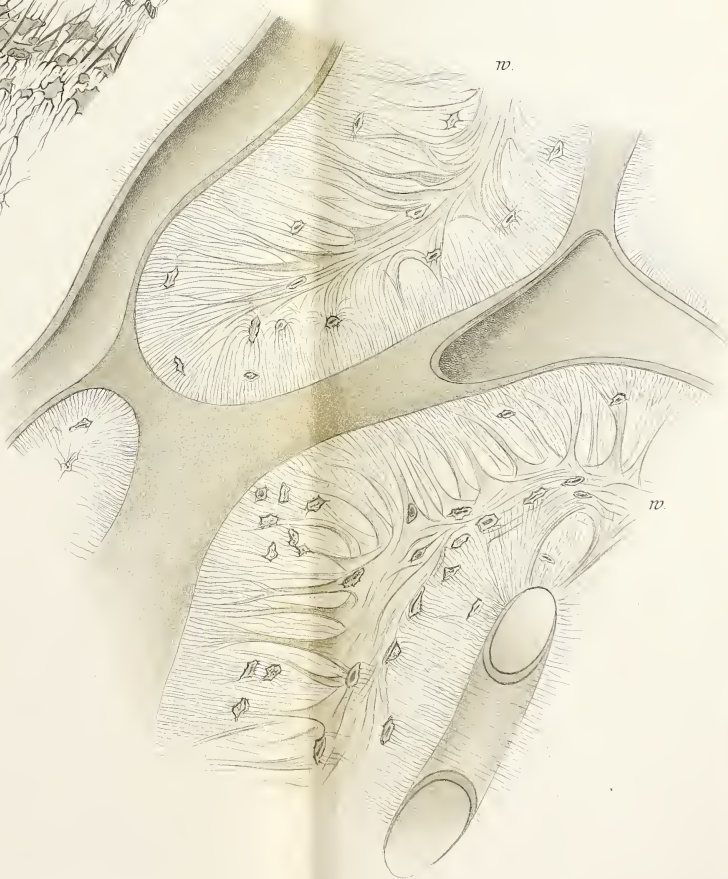
24



25.



26.



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie](#)

Jahr/Year: 1886

Band/Volume: [44](#)

Autor(en)/Author(s): Kölliker Albert von

Artikel/Article: [Der feinere Bau des Knochengewebes. 644-680](#)