© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Untersuchungen über die Struktur des Knochens.

Von

Dr. M. Nowikoff.

(Aus dem Zoologischen Institut Heidelberg.)

Mit Tafel I—IV und einer Figur im Text.

I. Einleitung.

Das Studium der Knochen, sowohl in vergleichend-anatomischer als auch in histologischer Hinsicht hat schon seit längerer Zeit sowohl die Histologen und Anatomen, als auch Chirurgen sehr intensiv beschäftigt. Ein besonderes Interesse wird in der neueren Literatur der feineren Struktur und der Histogenese des Knochens gewidmet; ein Zeichen dafür, daß die beiden Gebiete noch viele unentschiedene und zweifelhafte Fragen umschließen. Sowohl in älteren als neueren Abhandlungen über den Knochen findet man mehrfach historische Literaturübersichten (bei Retterer [05] sind die Literaturangaben seit Aristoteles zusammengestellt), weshalb ich eine solche Übersicht an dieser Stelle für unnötig halte. Es erscheint mir dagegen zweckmäßig, der Schilderung meiner eignen Beobachtungen eine systematische Zusammenstellung der wichtigsten neueren Ansichten über den Bau der Knochengrundsubstanz vorauszuschicken, um auf diese Weise eine tiefgehende Differenz in den Anschauungen verschiedener Autoren über die Knochenstruktur hervorzuheben.

Man kann wohl sagen, daß die Lehre vom fibrillären Aufbau der Knochengrundsubstanz zurzeit am meisten verbreitet ist. In ihren ersten Zügen von Sharpey angedeutet, wurde diese Lehre durch v. Ebners grundlegende Untersuchungen ausgearbeitet. Die Grundsubstanz des sog. lamellösen Knochengewebes besteht nach v. Ebner aus Fasern, »welche durch eine von ihnen differente Kittmasse zusammengehalten werden« (75, S. 57). Diese Fasern, welche beim Kochen Leim geben und im polarisierten Licht dasselbe Verhalten wie die Bindegewebsfibrillen zeigen, scheinen mit den letzteren nahe

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

verwandt zu sein, worauf auch eine innige Beziehung zwischen dem Knochen und dem fibrillären Bindegewebe während der Osteogenese hindeutet. Die Knochenfibrillen erscheinen auf Schliffen entweder in Form von kleinen Punkten, wenn sie quer getroffen sind, oder in Form zarter Linien, wenn sie ihrer Länge nach gesehen werden. Die Linien sind jedoch »in der Regel nicht auf weite Strecken zu verfolgen, man erhält vielmehr den Eindruck als durchkreuzten sich kürzere und längere Striche unter sehr spitzem Winkel« (75, S. 54). Wie v. Ebner meint, scheint dieses Bild daher zu rühren, »daß sehr feine Fasern durch den Schliff schräg abgeschnitten sind« (S. 54). Die Isolierung der Fibrillen auf längere Strecken, ähnlich den Bindegewebsfibrillen, ist jedoch weder v. Ebner noch späteren Untersuchern gelungen. — Die Kalksalze sollen nach v. Ebner in der die Knochenfibrillen vereinigenden Kittsubstanz eingelagert sein; die Fibrillen selbst seien unverkalkt. Die in erwachsenen Röhrenknochen des Menschen und der höheren Wirbeltiere gewöhnlich deutlich ausgesprochene lamellöse Struktur führt v. Ebner darauf zurück, daß in den abwechselnden Lamellen die Verlaufsrichtung der Fibrillen verschieden sei. Dabei wird das punktierte Aussehen der Lamellen durch die Querschnitte, das gestreifte durch die Längsschnitte (bzw. Längsansichten) der Fibrillen bedingt. »Während im allgemeinen am Querschliffe die streifigen Lamellen die schmäleren sind, sind es umgekehrt am Längsschliffe die punktierten« (75, S. 72). Diese sog. sekundären Lamellen sind meistens 3—5 μ dick, manchmal aber auch bedeutend dicker. Im letzteren Fall bestehen sie aus primären Lamellen. Zur Erläuterung der Beziehungen zwischen den primären und den sekundären Lamellen bemerkt v. Ebner, daß »die Knochenfibrillen zunächst Bündel von etwa 3 μ Durchmesser bilden, welche in einfacher Lage oder nur wenige übereinander durch zahlreiche spitzwinkelige Anastomosen eine dicht gewebte Platte mit kleinen rhombischen Maschen, primäre Lamellen, darstellen. Die einzelnen Lamellen hängen durch schief abtretende Bündel untereinander zusammen. Folgen mehrere primäre Lamellen mit gleicher Faserrichtung aufeinander, so kommt es zur Bildung verschieden dicker sekundärer Lamellen.« (75, S. 83.)

Die Lehre von der fibrillären Struktur der Knochengrundsubstanz wurde nach dem Erscheinen der beiden ersten Abhandlungen v. Ebners (74, 75), wenigstens von den deutschen Histologen, so gut wie allgemein anerkannt. Von einigen Forschern, wie z. B. von Schaffer, wurde sie in allen ihren Teilen sowohl für recente als auch für fossile Knochen bestätigt (89, 93); die meisten andern Beobachter haben jedoch die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Lehre v. Ebners in manchen Punkten sehr wesentlich verändert. Kölliker erkennt in seiner Abhandlung über den feineren Bau des Knochengewebes (86), ebenso wie in seinem Handbuch der Gewebelehre (89) die fibrilläre Struktur der Knochengrundsubstanz an, meint aber, daß eine besondere verkalkte Kittsubstanz im Sinne v. Ebners »bis anhin in den Knochen nicht nachgewiesen ist, und daß somit vorläufig keine andre Möglichkeit besteht, als die, die Kalksalze an die leimgebende Substanz gebunden zu erachten« (86, S. 656). Die Untersuchung der ausgeglühten Schliffe, welche nach v. Ebner die mit Luft erfüllten, aus der verkalkten Kittsubstanz bestehenden Röhrchen, in welchen vor dem Glühen die Fibrillen sich befanden, ganz deutlich zeigen, führte Kölliker zur Überzeugung, daß diese Röhrchen nur in den interstitiellen und Hauptlamellen zu treffen sind, »woselbst sie an der Stelle der Sharpeyschen Fasern auftreten, wie eine Vergleichung der geglühten Schliffe mit unveränderten solchen und mit entkalkten Präparaten unwiderleglich beweist«. »Nach meinen neueren Erfahrungen«, fährt Kölliker fort: »gehören alle lufterfüllten langgestreckten deutlichen Röhrchen, die an geglühten und ungeglühten Schliffen in der Knochengrundsubstanz zum Vorschein kommen, den Sharpeyschen Fasern an« (86, S. 650). Auf einigen seiner Präparate, ebenso wie auf denen v. Ebners, findet jedoch Kölliker zuweilen noch feine punkt- und strichförmige lufthaltige Räume, die den v. Ebnerschen Fibrillen entsprechen sollen. Er hält aber diese Räume »einmal für Spältchen zwischen den Fibrillenbündeln und zweitens für Zerklüftungen zwischen den einzelnen Knochenlamellen« (86, S. 653).

Broesike vertritt dagegen die Auffassung v. Ebners, daß die leimgebenden unverkalkten Knochenfibrillen durch eine kalkige Kittsubstanz zusammengehalten werden. Die Fibrillen treten nach diesem Autor auf denjenigen Schliffen besonders deutlich hervor, welche nicht vollständig ausgeglüht, sondern nur bis zu kaffeebrauner Farbe gebrannt werden. Die aus einer organischen Substanz bestehenden und deshalb verkohlten Knochenfibrillen unterscheiden sich nun als dunkelbraune Punkte oder Streifen von der anorganischen, nur schwach gefärbten interfibrillären Substanz (82, S. 755). Kölliker hat diese Methode ebenfalls nachgeprüft, hat dabei aber nur eine »ganz gleichmäßige« Bräunung der Knochenschliffe beobachtet (86, S. 655).

Die Frage über das Vorhandensein einer besonderen Kittsubstanz zwischen den Knochenfibrillen wird auch in der neueren Literatur besprochen. So beobachtet Gebhardt zwischen den etwa 0,6 μ dicken Fibrillen eine Zwischensubstanz, deren Dicke nach ihm mindestens

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

auch 0,6 μ betragen soll (01, Bd. XII, S. 24). Auch Ziegler (06, S. 254—5) geht hauptsächlich auf die Bemerkung Köllikers ein (89, S. 296), daß der Gehalt von 66% Erdsalzen im Knochen mit der Ansicht v. Ebners kaum in Übereinstimmung gebracht werden kann. Ein Vergleich des Flächeninhaltes eines Fibrillenbündels (7,63 qμ) und des Flächeninhaltes sämtlicher in einem solchen Bündel enthaltenen Fibrillen (1,528 qμ) führt Ziegler zur Überzeugung, daß »in einem Bündel 7,63—1,528 = 6,1 qμ für die Kalksalze« übrig bleiben. Abgesehen aber davon, daß die Messungen der beinah an der Grenze der Sichtbarkeit stehenden Strukturelemente nur ziemlich ungenau ausgeführt werden können und deshalb als ein Beweismittel kaum zu verwenden sind, bieten, meiner Ansicht nach, die beiden oben angeführten Angaben, besonders aber diejenige von Ziegler, eine sehr unvollkommene Bestätigung der Richtigkeit der Knochenfibrillenlehre. Es folgt namentlich aus ihnen, daß nur ein Teil der Knochengrundsubstanz, nach Ziegler sogar nur weniger als $^1/_5$ derselben, aus Fibrillen besteht. Ob die Interfibrillärsubstanz, deren Masse über die der Fibrillen so bedeutend dominiert, noch irgendwie strukturiert oder homogen ist, darüber finden wir bei Ziegler keine Angaben.

Ebenso wie über die Beschaffenheit der collagenen Knochenfibrillen, gehen die Meinungen der Autoren bezüglich der Dicke dieser Gebilde ziemlich auseinander. Die Querschnitte der Fibrillen sind nach der ersten Angabe v. Ebners »sehr klein und dicht gedrängt, so daß auf die Länge von 0,01 mm etwa 8—14 derselben zu zählen sind« (75, S. 53). Später gibt er an, daß jede Fibrille ungefähr 0,4—0,6 μ dick sei (87, S. 222). Nach Kölliker soll der Durchmesser jeder Fibrille ebenfalls etwa 0,4 μ betragen (89, S. 283). Ziegler behauptet, daß der mittlere Fibrillendurchmesser 0,3125 μ beträgt (06, S. 254) und bemerkt dazu, daß diese Größe nur der Hälfte der von v. Ebner angegebenen entspricht. Demgegenüber findet Broesike (82, S. 756), »daß die Knochenfibrillen durchaus nicht so fein sind, wie sie v. Ebner auf seinen Zeichnungen und in seinen Schilderungen dargestellt hat«. Er unterscheidet sie nämlich schon bei mittleren Vergrößerungen; stark vergrößert (Hartnack, Immersionslinse X, Ocular III) erscheinen sie ihm als doppelkonturierte Streifen.

In bezug auf die Anordnung der Fibrillen in der Knochengrundsubstanz meint v. Ebner, daß sie unregelmäßig verliefen. Die Fibrillenbündel können in den benachbarten Lamellen entweder parallel verlaufen oder sich unter verschieden großen Winkeln kreuzen. Von diesem Verhalten hängt auch die Deutlichkeit der lamellösen Knochen-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

struktur ab, welche an Schnitten und Schliffen um so klarer hervortritt, »je mehr in aufeinander folgenden Schichten die Faserrichtung wechselt« (75, S. 83).

Eine ähnliche Ansicht vertritt auch Broesike, wobei er außer den »durchflochtenen primären Lamellen« v. Ebners noch »einfache primäre Lamellen« beschreibt, welche aus parallel verlaufenden Fibrillen bestehen (82, S. 760).

Kölliker findet ebenfalls, sowohl in den benachbarten Lamellen, als auch in einer und derselben großen Lamelle »die mannigfachsten Wechsel« in der Anordnung der Knochenfasern (86, S. 648). »Als häufigstes Vorkommnis« glaubt er jedoch »das bezeichnen zu dürfen, bei dem die Fasern der verschiedenen Blätter mit der Achse des Haversschen Kanals einen Winkel von 45° bilden und untereinander in rechtem Winkel sich kreuzen« (89, S. 285).

In seiner eingehenden Abhandlung über die Anordnungsweisen der Bauelemente des Wirbeltierknochens kommt Gebhardt zur Überzeugung, daß der Verlauf der Fibrillen überall im Knochen ein durchaus gesetzmäßiger ist, indem er eine hochgradige Anpassung an die mechanische Funktion des Knochens zeigt (01, Bd. XII, p. 204). Diese gesetzmäßige Fibrillenanordnung wird aber in der jüngsten Zeit von Triepel bestritten, nach dessen Meinung die Richtung des Fibrillenverlaufs weder in der pathologisch veränderten, noch in der normalen Knochenspongiosa als Resultat einer funktionellen Anpassung betrachtet werden kann (07, S. 71—2).

Wenn wir dem oben Gesagten noch hinzufügen, daß sogar das wichtigste Merkmal der collagenen Fibrillen, nämlich ihr unverzweigtes Verlaufen, von einigen Autoren (Spuler und Hansen, siehe v. Ebner, 06, S. 290) bezweifelt wird, so kommen wir zum Schlusse, daß die Lehre von dem fibrillären Bau des Knochens durchaus nicht so fest begründet ist, wie es von manchen ihrer Anhänger behauptet wird.

Das in der neueren Zeit sehr intensiv betriebene Studium der Histogenese der Knochen- und Zahnbeingrundsubstanz macht die Meinungsdifferenzen über die Bedeutung der Fibrillen im Knochenaufbau noch bedeutender. Im Gegensatz zu der Auffassung v. Ebners und mehrerer andrer Autoren, nach welchen die Knochengrundsubstanz durch die Tätigkeit der Osteoblasten in Form von einer homogenen Masse gebildet wird, in welcher die Fibrillen erst sekundär, durch eine Art »Prägung« Rolletts (v. Ebner, 06, S. 48) entstehen, hielt es schon van der Stricht (89, S. 48—49) für sehr wahrscheinlich, daß an dem Aufbau der Knochensubstanz zwei Arten von Zellen sich beteiligen;

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

erstens die sog. fibrillogenen Bindegewebszellen, von welchen die Knochenfibrillen herstammen, und zweitens die Osteoblasten, welche den Knochen mit anorganischen Substanzen versehen.

Nach Spuler (99, S. 15) können an der Bildung der collagenen, mehr oder weniger deutlich fibrillären Knochengrundsubstanz »nicht nur die eigentliche Osteoblastenschicht, sondern auch die weiter von dem entstehenden Knochen abliegenden Bindegewebszellen« beteiligt sein.

In der jüngsten Zeit tritt v. Korff mit einer ähnlichen Auffassung der histogenetischen Prozesse in Zähnen und Knochen hervor. In seiner ersten Publikation meint v. Korff, daß die Funktion der Odontoblasten nur darin bestehe, »die immer mehr verkalkende und dicker werdende, bei Säugetieren gefäßlose Zahnbeinschicht mit Ernährungskanälchen zu versehen« (06, S. 7). Später aber kommt v. Korff der v. d. Strichtschen Auffassung etwas näher, indem er den Odontoblasten wie den Osteoblasten außer der Ernährungsfunktion noch eine andre zuschreibt. Der Osteoblast, sagt er, »entwickelt .... in den basophilen Körnern des Zellleibes wahrscheinlich die später in die Grundsubstanz eingelagerte Interfibrillarsubstanz, wie wir es auch für die Elfenbeinzelle annehmen müssen« (07, S. 523). Die den Hauptbestandteil der Knochen- und Dentingrundsubstanz bildenden leimgebenden Fibrillen werden dagegen nach v. Korff nicht von Osteo- oder Odontoblasten, sondern von den in der Zahnpulpa, bzw. in der Umgebung des Knochens liegenden Bindegewebszellen geliefert. Die von diesen Zellen unmittelbar ausgeschiedenen Fibrillen vereinigen sich zu dickeren Fasern, welche zwischen den Elfenbeinzellen oder zwischen den Osteoblasten korkzieherartig gewunden verlaufen. An die Oberfläche der Osteo-, bzw. Odontoblasten gelangend, splittern sich die Fasern pinselartig in zahlreiche feinste Fibrillen auf, welche die Grundsubstanz bilden. Das Wachstum der letzteren erfolgt also mittels eines beständigen Durchschiebens der collagenen Fibrillen aus dem Bindegewebe an die Oberfläche des Zahnes oder des Knochens, wo sie allmählich verkalken.

Diese Auffassung v. Korffs steht auch in histologischer Hinsicht mit v. Ebners Angaben in schroffem Gegensatz. Nach v. Ebner, Gebhardt und Triepel nämlich hängt die Verlaufsrichtung der Fibrillen von Druck- und Zugwirkungen ab, wodurch die Fibrillen, abgesehen von den schief verlaufenden Sharpeyschen Fasern, immer der Knochenoberfläche parallel orientiert werden.

Die Richtigkeit dieser Behauptung wurde schon früher von Hansen (99, S. 436—37) bezweifelt. Dieser Autor beschreibt die erste Anlage

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

des Knochens als einen Collagenfilz, in welchem die Fibrillen unregelmäßig nach allen Richtungen verlaufen. Im Dentin, wo nach v. Ebner die Fibrillen stets der Pulpaoberfläche annähernd parallel verlaufen sollen, findet Hansen ebenfalls, daß das Collagen in früheren Entwicklungsstadien um jeden Odontoblastenausläufer »als eine filzähnliche Lage von ungeheuer dünnen und feinen, kurzen Fibrillen« gebildet wird, »welche sich gegenseitig kreuzen und aneinander legen, anfangs in allen möglichen Richtungen«. Nach v. Korff können, wie wir schon oben gesehen haben, die Fibrillen auch senkrecht oder schräg zur Knochenoberfläche verlaufen.

Die erst kürzlich veröffentlichte Auffassung v. Korffs haben v. Ebner (06) und Fleischmann (06, 07) einer scharfen Kritik unterworfen. v. Ebner erkennt das Vorhandensein der von v. Korff beschriebenen, zwischen den Odontoblasten verlaufenden Fasern an, betrachtet sie jedoch als Partien des vollständig homogenen, keine Fibrillen enthaltenden Prädentins, welches von den Osteoblastenseiten ausgeschieden wird. Die Verteilung der Fasern ist nach ihm keineswegs regelmäßig. Sie sind nur während der Bildung der äußersten Dentinschicht zu beobachten, verschwinden aber zur Zeit des Beginnes der Dentinverkalkung, »indem sie in die regulären Zahnbeinablagerungen einbezogen und zur Prädentinbildung verwendet werden« (06, S. 324). Fleischmann bemerkt, daß die Annahme der aus der Zahnpulpa heraustretenden Fibrillen mit dem Vorhandensein des schon von Kölliker beschriebenen Häutchens, das die Odontoblastenlage von der Dentingrundsubstanz trennt, unvereinbar ist.

Eine vermittelnde Stellung in dieser Frage nimmt Studnička ein (06, 07). Dieser Autor findet im Gewebe junger Zahnpapillen, ebenso wie in erwachsenen Zahnpulpen zahlreiche Fibrillen, welche in einer etwa spongiösen oder alveolären Grundsubstanz verlaufen und deren Verhalten mit demjenigen der collagenen Bindegewebsfibrillen vollkommen übereinstimmt. An der Peripherie der jungen Zahnpapillen zeigen die Fibrillen, wie auch v. Korff angibt, eine radiale Anordnung. Die Fibrillenbündel verlaufen hier zwischen den äußersten Pulpazellen, an deren Oberfläche sie sich pinselförmig ausbreiten. Die distalen Fibrillenteile (sog. Fibrillenkegel) verflechten sich miteinander und bilden auf diese Weise den Grenzsaum der Papille, welcher durch das Secret der oberflächlichen Pulpazellen nachträglich hyalinisiert wird. Nach der Ausbildung dieses Grenzsaumes ordnen sich die äußeren Pulpazellen zu einer epithelartigen Odontoblastenschicht an, welche das Prädentin vom Pulpagewebe abgrenzt. Diese Trennung ist jedoch

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

keine vollkommene, da die beiden Zahnteile durch die zwischen den Odontoblasten verlaufenden v. Korffschen Fasern miteinander in Verbindung bleiben. Die radialen Fibrillensysteme spielen jedoch nach Studnička eine nur vorübergehende Rolle, indem sie nur am Beginn der Dentinbildung hervortreten. Die später entstehenden definitiven Fibrillen liegen parallel der Zahnoberfläche. Die Substanzen zum Aufbau des Dentins, ebenso wie die Kalksalze werden auf späteren Entwicklungsstadien von Odontoblasten geliefert.

Obgleich die Meinungsdifferenzen über die Struktur und Histogenese der Knochengrundsubstanz schon in den vorherbesprochenen Angaben ganz bedeutend erscheinen, sind sie damit noch nicht erschöpft. Eine ganze Anzahl Histologen bestreitet nämlich überhaupt das Vorhandensein der von v. Ebner im Knochen beschriebenen Fibrillen. In seinem Traité technique d'histologie (75,—82, S. 314—15) bemerkt Ranvier, daß er die Methoden von Sharpey nachgeprüft hat, dabei aber keine fibrilläre Struktur in der Grundsubstanz des Knochens beobachten konnte.

Diese ältere Auffassung, welche nach dem Erscheinen der Arbeiten v. Ebners vollständig widerlegt zu sein schien, wurde in der späteren Zeit jedoch nicht nur von Ranvier, sondern auch von andern Forschern vertreten. So bemerkt Zachariadès (93, S. 450), wir wir später sehen werden, mit vollem Recht, daß die Anzahl der auf den Figuren v. Ebners angegebenen Knochenzellausläufer stets zu gering erscheint. Diese Ausläufer spielen aber gerade eine wichtige Rolle in dem Aufbau des Knochengewebes, indem sie demselben einen lamellären Charakter verleihen. Durch Erwärmen eines entkalkten Knochenschnittes in 40%iger Potaschelösung isolierte Zachariadès (89, S. 318—9) Elemente, welche den von v. Ebner als Bindegewebsfibrillen beschriebenen vollständig entsprechen. Er war jedoch imstande, zu konstatieren, daß diese fadenartigen Gebilde von Knochenzellen entspringen, daß sie also keine Fibrillen, sondern Zellenausläufer darstellen. Von der verschiedenen Orientierung dieser Ausläufer soll das homogene oder das gestreifte Aussehen der Lamellen abhängig sein. Abgesehen von den elastischen und Sharpeyschen Fasern, von den Blutgefäßen usw. besteht der ausgebildete Menschenknochen nach Zachariadès nur aus Zellen nebst ihren zahlreichen, in allen möglichen Richtungen miteinander anastomosierenden Fortsätzen und aus einer amorphen, collagenen, die Kalksalze enthaltenden Intercellularsubstanz.

Obgleich die Angaben von Zachariadès von Schaffer (93) sehr scharf verurteilt wurden, kommt Retterer in der neueren Zeit (05)

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

nach eingehenden Studien der Knochenstruktur wieder zu einer ähnlichen Auffassung. In einem gut konservierten und gefärbten Knochen unterscheidet man nach Retterer immer Knochengrundsubstanz und Knochenkörperchen. Die letzteren sind von Kapseln umgeben und senden in die Grundsubstanz zahlreiche feine Kapselfortsätze, welche sich verzweigen, miteinander anastomosieren und so ein hämatoxylinophiles Netz erzeugen. Diese Fortsätze sollen mit den von v. Ebner beschriebenen Fibrillen identisch sein. Die Grundsubstanz zwischen den Maschen dieses Netzes ist homogen; sie färbt sich mit Safranin und ist in allen ihren Teilen mit Kalksalzen gleichmäßig imprägniert. Das verschiedene Aussehen der benachbarten Knochenlamellen hängt nach Retterer davon ab, ob sie vorwiegend aus stark färbbaren Kapselfortsätzen oder aus einer homogenen, schwach färbbaren Grundsubstanz bestehen. Am Schluß seiner Beschreibung der Struktur von gut konservierten Knochen formuliert Retterer seine Ansichten über die Natur der Knochenfibrillen folgendermaßen: »Ce que Sharpey, Ebner, Kölliker et d'autres ont décrit, dans des conditions différentes, sous le nom de faisceaux de fibrilles osseuses, correspond tantôt aux filaments du réticulum, tantôt aux trainées de substance amorphe et calcifiée, épaisse de 3 μ à 3,5 μ« (05, S. 570).

Im Laufe der Osteogenese war Retterer ebenfalls nicht imstande die Knochenfibrillen zu beobachten. Am Beginn der Knochenentwicklung wandeln sich nach ihm die Zellen des reticulären Bindegewebes in Osteoblasten um. Das oberflächliche Protoplasma dieser Osteoblasten differenziert sich zu einer homogenen und schwach färbbaren Masse — der sog. Vorknochensubstanz. Die Zellen des Vorknochens, welcher eine dünne Schicht zwischen dem Periost und dem echten Knochen bildet, sind bedeutend kleiner als die Osteoblasten und bestehen je aus einem Kern und einer zarten, den letzteren umgebenden Protoplasmazone. Beim Übergang in die echten Knochenzellen vergrößern sie sich, umgeben sich dabei mit einer Lage von hellerem Protoplasma und scheiden an ihrer Oberfläche Kapseln aus. Das hämatoxylinophile, aus Zellfortsätzen bestehende Netz verdichtet sich, und die homogene Grundsubstanz in seinen Maschen fängt an zu verkalken.

Die Unsicherheit der Ansichten über die feinere Struktur des Knochengewebes ist durch die oben gemachten Auseinandersetzungen, wie ich glaube, genügend charakterisiert. Es entsprach deswegen vollständig meinem Wunsche, dieses Gewebe einem nochmaligen Studium zu unterwerfen, als mein verehrter Lehrer, Prof. O. Bütschli,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

mir seine, teils von ihm selbst, teils von seiner Assistentin, Frl. Dr. Cl. Hamburger, angefertigten Schliffe durch den Menschenfemur zur Untersuchung überließ. Für diese Überlassung der Präparate, ebenso wie für vielfache Unterstützung während der Ausführung der vorliegenden Arbeit, welche zum größten Teil auf dem Zoologischen Institut zu Heidelberg gemacht wurde, sage ich Herrn Prof. O. Bütschli auch an dieser Stelle meinen verbindlichsten Dank.

II. Schliffe durch den getrockneten Knochen.

Meine Untersuchungen des getrockneten Knochens habe ich an zahlreichen, in verschiedenartigen Richtungen geführten Schliffen durch menschliche Femur und Fibula ausgeführt. Das Schleifen erfolgte gewöhnlich zuerst mittels feiner Flachfeilen, weiter auf einem weißen Schleifstein und schließlich wurde der Schliff auf einer matten Glasplatte poliert. Von dem Gebrauch eines Schleifpulvers wurde dabei abgesehen, weil es sehr schwer auszuwaschen ist und dem Präparat ein unsauberes Aussehen verleiht. Ich habe meistens im Olivenöl geschliffen und finde, daß auf diese Weise dünnere und weniger beschädigte Schliffe darzustellen sind als beim Schleifen im Wasser. Der fertige, beiderseits polierte Schliff wird in Xylol ausgewaschen und dann entweder direkt in verdünnten Kanadabalsam übertragen oder zuerst im Thermostat, bzw. unter der Luftpumpe, ausgetrocknet und nachher in festen geschmolzenen Kanadabalsam eingeschlossen. Auch die mir von Prof. Bütschli zur Verfügung gestellten Schliffe waren nach obigem Verfahren hergestellt.

Da das Färben der Knochenschliffe, wie bekannt, nur sehr unvollkommen gelingt, wurden zur besseren Darstellung der Struktur Imprägnationen der Knochenkanälchen versucht. Die Silberimprägnation wurde nach folgender, auch von Prof. Bütschli bei seinen Präparaten zum Teil verwendeten Methode ausgeführt. Man schleift eine dünne Knochenplatte von einer Seite an und legt sie für einige Tage in eine schwache (1%ige) Silbernitratlösung, welche dunkel aufbewahrt wird. Nachher wird die Knochenplatte ausgewaschen, dem Licht ausgesetzt und schließlich getrocknet. Dabei erhält sie infolge der Silberreduktion eine schwarze Farbe. Die angeschliffene Seite wird dann etwas poliert und die Platte hierauf mit dieser Seite auf einen Objektträger mit Kanadabalsam befestigt, worauf sie endlich möglichst dünn geschliffen wird.

Sehr schöne Bilder bekommt man nach der Ausfüllung der Knochen-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

höhlen und der verzweigten Knochenkanälchen mit verschiedenen Farbstoffen. Am besten erweist sich dabei Fuchsin S. Die von ZIMMERMANN empfohlene Methode (siehe SCHAFFER, 93, S. 189—190) wurde in folgender Modifikation angewendet. Man legt die Knochenplättchen für 2—3 Tage in eine $^1/_2$%ige alkoholische Fuchsinlösung, welche bei der gewöhnlichen Zimmertemperatur aufbewahrt wird. Nachher überträgt man das zugeschlossene Gefäß mit der Fuchsinlösung und den Knochenplättchen für etwa 24 Stunden in einen Thermostat von 40° und schließlich in einen solchen von etwa 55° Wärme. Im letzteren Thermostat wird das Gefäß so lange offen gelassen, bis die Flüssigkeit vollständig verdunstet ist. Die ausgetrockneten Knochenplättchen sind dunkelrot, stellenweise metallglänzend. Das Schleifen solcher Platten muß entweder trocken oder im Olivenöl erfolgen, da die Farbe im Wasser aufgelöst wird. In die inneren Partien der Platte dringt die Farbe gewöhnlich nur recht unvollkommen ein, deswegen empfiehlt es sich, eine Fläche der Platte nur so weit zu schleifen, bis der äußere Farbenniederschlag entfernt ist. Mit dieser Seite wird die Platte aufgeklebt und dann endgültig geschliffen. Der Schliff kann entweder im Olivenöl studiert, oder nach Auswaschen im Xylol in Kanadabalsam eingeschlossen werden.

Meine Untersuchungen habe ich vorwiegend an den sog. HAVERSschen Lamellen ausgeführt, denen, wie bekannt, sowohl die SHARPEYschen als auch die elastischen Fasern fehlen. In diesen Lamellen unterscheidet man erstens die Knochenkörperchen mit ihren Ausläufern — den Knochenkanälchen — und zweitens die dazwischen liegende Grundsubstanz. Obgleich die Kanälchen von der Grundsubstanzstruktur nicht immer mit genügender Deutlichkeit zu unterscheiden sind, will ich der Übersichtlichkeit wegen diese beiden Gebilde getrennt besprechen, und zwar vorerst die Knochenkörperchen nebst ihren Fortsätzen und nahher die Grundsubstanz.

1. Die Knochenkörperchen und die Knochenkanälchen.

Der lamelläre Knochenbau hängt nach einigen Autoren von der Anordnung der Grundsubstanzelemente, nach den andern von dem Verlaufe der Knochenkanälchen ab. Meine Untersuchung hat diese beiden Meinungen bestätigt und gezeigt, daß sie ohne Schwierigkeit miteinander vereinbar sind. Soweit ich nach den mir vorliegenden Präparaten und nach den Abbildungen andrer Autoren beurteilen kann, gelingt es fast nie, die sämtlichen Knochenkanälchen auf einem Schliffe deutlich zu machen; man kann jedenfalls niemals ganz sicher sein, daß

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

man alle vorhandenen Kanälchen sieht. Die Lufterfüllung der Kanälchen beim Einschließen der trockenen Schliffe in geschmolzenen Kanadabalsam ist stets mehr oder weniger unvollständig; in einem Teile der Kanälchen wird namentlich die Luft durch den Balsam ersetzt, wodurch sie unsichtbar gemacht werden. Bei der Silberimprägnation, ebenso wie bei der Fuchsininjektion erfolgt die Füllung und demgemäß die Färbung der Kanälchen aus den Knochenhöhlen. Infolgedessen erscheinen die den letzteren am nächsten liegenden Kanälchenpartien ganz gut gefärbt; je weiter aber die Kanälchenteile von den Knochenhöhlen entfernt sind, um so weniger Möglichkeit haben sie, mit Farbflüssigkeit gefüllt zu werden. Auch nach einem sehr langen Verbleiben in der Fuchsinlösung sieht man im Innern des Schliffes einige Kanälchen, deren Farbe allmählich blasser wird und schließlich ganz verschwindet.

Man findet auch in den Kanälchen des ausgetrockneten Knochens oft größere oder geringere Reste des protoplasmatischen Inhaltes. Manchmal sind diese Reste so bedeutend, daß sie sich auf den Schnitten getrockneten entkalkten Knochens sehr schön färben lassen. Auf Fig. 36 ist ein Teil eines solchen Schnittes abgebildet, wo die Grundsubstanz (*Grs*) nach dem Verfahren Hansens rot, der Inhalt der Knochenhöhlen (*Knz*) und Kanälchen (*Knl*) mit Methylenblau gefärbt ist. In einigen Zellen sieht man hier sogar dunklere rundliche Körper, welche möglicherweise Reste der Zellkerne darstellen. Solche Bilder beobachtet man jedoch nur selten; die plasmatischen Reste in den Kanälchen sind gewöhnlich ganz unbedeutend, sie sind jedoch wohl gerade dazu geeignet, der Verbreitung der Farbflüssigkeit ein gewisses Hindernis zu bereiten.

Meiner Darstellung des Verlaufes der Knochenkanälchen möchte ich eine kurze Bemerkung über die Knochenkörperchen vorausschicken. Die Angaben der meisten Autoren stimmen darin überein, daß diese Körperchen gewöhnlich eine zwetschenkernartige Form besitzen. Eine starke Abplattung der Körperchen in der Richtung der Lamellendicke ist auf jedem Präparat ohne weiteres festzustellen. In bezug auf ihre beiden andern Dimensionen halte ich es aber nicht für möglich, eine allgemein gültige Regel aufzustellen. Wie wir später bei der Besprechung der Grundsubstanz sehen werden, kommt das verschiedene Aussehen der Knochenlamellen zum Teil dadurch zustande, daß sie in zwei entgegengesetzten Richtungen gedehnt wurden. Dabei werden auch die in der Mitte der Lamellen liegenden Knochenzellen diesen Dehnungen unterworfen und bekommen, von der Fläche gesehen, eine längliche Gestalt. Solche Zellen sehen also zwetschenkernförmig aus.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Sehr viele Zellen jedoch, an einigen Knochenstellen sogar ihre Mehrzahl, befinden sich an der Grenze zweier benachbarter Lamellen und behalten dementsprechend ihre primäre, rundliche Flächenansicht (Fig. 32 *Knz*).

Die besten Bilder des Kanälchenverlaufes im Knochen beobachte ich auf den mit Fuchsin imprägnierten Schliffen (Fig. 32—35, 37). Die Kanälchen sind, wie bekannt, in zweierlei Richtungen angeordnet. Einmal verbinden sie die in verschiedenen Lamellen übereinander liegenden Knochenkörperchen, durchsetzen also die Lamellen ihrer Dicke nach (Fig. 33 *Knlv*). Diese Kanälchen möchte ich im weiteren als vertikale bezeichnen. Zweitens verlaufen Kanälchen parallel der Lamellenebene oder, um einen kürzeren Ausdruck zu gebrauchen, horizontal und bilden in diesem Falle Verbindungsnetze entweder zwischen den in einer und derselben Lamelle liegenden Zellen (Fig. 32, 33 *Knlh*) oder zwischen den vertikalen Kanälchen (Fig. 37 *Knl*). Diese dritte Art von Kanälchen wurde in der Literatur bis jetzt kaum berücksichtigt; für die richtige Beurteilung des lamellösen Charakters des Knochens ist sie aber von großer Bedeutung.

Ich bin mit Retterer (05) durchaus nicht einverstanden, wenn er die Knochenkanälchen (seine »prolongements capsulaires«) für identisch mit den Knochenfibrillen v. Ebners erklärt. Seine Meinung ist jedoch insofern richtig, als die horizontalen Knochenkanälchen allein, ohne Beteiligung der Grundsubstanzstruktur, imstande sind, die lamellöse Struktur anzudeuten. Beim ersten Blick auf Fig. 33, wo die Grundsubstanz vollständig durchsichtig ist und wo die Kanälchen zum großen Teil, aber doch nicht alle, mit Farbe gefüllt sind, tritt der lamellöse Aufbau des Knochens deutlich hervor. Auf Fig. 37 kann man ebenfalls zwischen den Kanälchen (*Knl*) und der lamellösen Struktur nähere Beziehungen beobachten. Abgesehen von ihrem gestreiften und punktierten Aussehen, unterscheiden sich die abwechselnden Knochenlamellen, wie bekannt, meistenteils auch durch ihre Dicke. Auf Querschliffen durch einen Röhrenknochen erscheinen nämlich die dickeren Lamellen punktiert (Fig. 2, 37), die dünneren dagegen gestreift; auf Längsschliffen ist das Verhalten umgekehrt (Fig. 1). Auf Querschliffen mit deutlich sichtbaren Kanälchen beobachtet man, daß die horizontalen Kanälchen fast immer, nur mit seltenen Ausnahmen, in den dünneren Lamellen verlaufen (Fig. 37, 41, 44). Auf den günstigeren Stellen eines Querschliffes (Fig. 33), ebenso wie auf Tangentialschliffen (Fig. 32, 35), sieht man nicht selten, daß die horizontalen Kanälchen in der dünneren Lamelle ein dichtes Netz bilden. Diese horizontalen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Kanälchen können, wie gesagt, entweder unmittelbar von den Knochenkörperchen oder von den vertikalen Kanälchen als ihre Verzweigungen und Anastomosen entspringen. Die die horizontalen Kanälchen enthaltenden, dünneren Lamellen unterliegen, wie wir später sehen werden, einer Dehnung in circulärer Richtung. Dementsprechend nehmen die in ihnen liegenden Knochenhöhlen eine verlängerte Gestalt an, und die Kanälchen verlaufen in ihnen ebenfalls vorwiegend circulär. Durch diesen Kanälchenverlauf, nebst der später zu besprechenden Struktur der Grundsubstanz, wird das gestreifte Aussehen der dünneren Lamellen auf Querschliffen und das punktierte auf Längsschliffen hervorgerufen.

Das Vorhandensein vertikaler Kanälchen in den dickeren, von vertikalen und horizontalen Kanälchen in den dünneren Knochenlamellen kann man auch auf Flächenschliffen beobachten. Abgesehen von den Knochenkörperchen mit ihren Verbindungen (Fig. 32) sieht man auf solchen Schliffen beim Heben und Senken des Tubus alternierend die Bilder, welche auf den Fig. 34 und 35 entworfen sind. Man findet nämlich in geringen Höhen nur punktförmige Querschnitte durch vertikale Kanälchen (Fig. 34 *Knl*), oder dieselben Punkte, welche jedoch durch mehrere, in ihrem Verlaufe der circulären Ausdehnung der Lamelle mehr oder weniger entsprechende horizontale Kanälchen miteinander verbunden sind (Fig. 35 *Knl*).

Das Dargelegte berechtigt, wie ich glaube, die Knochenlamellen als solche mit vertikalen Kanälchen oder kanälchenärmere und als solche mit vertikalen und horizontalen Kanälchen oder kanälchenreichere zu unterscheiden. Diese Einteilung entspricht dem natürlichen Verhalten mehr als die der früheren Autoren. Die Bezeichnungen von Ranvier (75—82) nämlich »lamelles homogènes et lamelles striées« sind schon aus dem Grunde unannehmbar, weil keine der Knochenlamellen bei stärkerer Vergrößerung homogen erscheint. Die bekannte, von v. Ebner (75, S. 69) eingeführte Einteilung der Lamellen als punktierte und gestreifte ist deswegen nicht recht geeignet, weil eine und dieselbe Lamelle verschieden erscheint, je nachdem sie auf Quer- oder auf Längsschliffen durch den Röhrenknochen beobachtet wird.

Die schon von früheren Forschern konstatierte Erscheinung, daß die lamelläre Struktur nicht überall im Knochen deutlich hervortritt, steht meiner Ansicht nach in erster Linie damit in Zusammenhang, daß die horizontalen Kanälchen nicht in sämtlichen Knochenregionen reichlich vorhanden und regelmäßig angeordnet sind.

Die im obigen besprochenen Lamellen wären nach der Termino-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

logie v. Ebners als sekundäre zu bezeichnen. Die sog. primären Lamellen v. Ebners kommen, soweit ich nach meinen Präparaten urteilen kann, dadurch zustande, daß einige kanälchenreichere Lamellen sehr dünn sind, so daß sie auf Querschliffen durch die Lamellen kaum bemerkbar sind. Ich beobachte nicht selten, daß zwischen zwei kanälchenreicheren Knochenlamellen von gewöhnlicher Dicke eine mehr oder weniger, zuweilen sogar sehr dicke kanälchenärmere Lamelle liegt, welche jedoch durch feine (nur ein Kanälchen dicke) Lagen der horizontalen Kanälchen in primäre Lamellen zerlegt wird. Der Unterschied zwischen sekundären und primären Knochenlamellen besteht also nur darin, daß die kanälchenreicheren Lamellen zwischen den sekundären Lamellen dicker, zwischen den primären dünner sind.

Wenn meine Behauptung, daß das verschiedene Aussehen der Lamellen nicht nur durch eine verschiedene Orientierung der Grundsubstanzelemente, sondern auch durch einen substantiellen Unterschied hervorgerufen wird, richtig ist, dann müßte man diesen Unterschied auch durch Färbung nachweisen können. Es ist aber eine allgemein bekannte Tatsache, daß die Knochenkanälchen, sogar in frischem Zustande, sehr schwer tingierbar sind. An geeigneten Stellen entkalkter, mit Methylenblau und Pikrinsäurefuchsin-Essigsäure nach Hansen gefärbter Schnitte gelingt es jedoch eine mehr oder weniger deutliche Lamellierung des Knochens zu beobachten, wobei die kanälchenärmeren Lamellen rot, die kanälchenreicheren bläulich erscheinen.

Dieser Färbungsunterschied kann jedoch am besten durch Behandlung der Schliffe mit Silbernitrat erreicht werden. Die Knochenkanälchen sehen auf solchen Schliffen recht mannigfaltig aus (Fig. 41 bis 44 *Knl*). Das hängt von verschiedenen Ursachen ab; erstens davon, ob die Kanälchen protoplasmatische Reste enthalten oder nicht, zweitens davon, ob sie mit Luft oder Kanadabalsam gefüllt sind, drittens von höherer oder tieferer Einstellung des Tubus und schließlich davon, ob die den Kanälchen unmittelbar anliegende Grundsubstanzschicht, die sog. Kanälchenscheide, gefärbt ist oder nicht. Die in den Kanälchen liegenden, bei stärkeren Vergrößerungen gewöhnlich rosenkranzförmig aussehenden Protoplasmareste sind tiefbraun bis schwarz gefärbt (Fig. 43 *Pr*). Von den bei hoher Tubuseinstellung ebenfalls dunkel erscheinenden, lufterfüllten Kanälchen unterscheiden sie sich leicht durch ihr stärkeres Brechungsvermögen. Die Intensität der Scheidenfärbung nimmt gewöhnlich mit der Entfernung des Kanälchens von der Knochenhöhle ab. Demgemäß sind die kanälchenreicheren Lamellen, welche hauptsächlich aus den von Knochenkörperchen weiter entfernten

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Kanälchenpartien bestehen, nur etwas dunkler gefärbt als die kanälchenärmeren. Schon diese geringe, auf den Silberpräparaten überall vorhandene Färbungsdifferenz, welche, wie ich ausdrücklich bemerke, nicht mit der Tubuseinstellung in Zusammenhang steht, genügt, um eine Verschiedenheit der in den beiderlei Lamellen enthaltenen Substanzen zu zeigen. Viel sicherer läßt sich jedoch die Abhängigkeit der dunkleren Färbung der dünneren Lamellen von dem größeren Reichtum an Kanälchen auf einigen gleichmäßiger und vollkommener imprägnierten Schliffstellen nachweisen (Fig. 44). Die Wandungen der vertikalen Kanälchen zeigen hier nämlich genau dieselbe etwas dunklere Farbe, wie die kanälchenreicheren Lamellen. Das Aussehen der benachbarten Lamellen ist da besonders verschieden (Fig. 44), wo die horizontalen Kanälchen, und dementsprechend auch die kanälchenreicheren Lamellen (*KnrL*), sei es infolge des Reichtums an protoplasmatischen Resten oder infolge ihrer geringeren Entfernung vom Haversschen Kanal (*Hkn*), ganz dunkel gefärbt sind. Auch hier erkennt man sehr deutlich, wie die Vertikalkanälchen mit ihrem dunklen Inhalt in dem Bereiche der kanälchenreicheren Lamellen sich verzweigen, horizontal umbiegen und in die dunkle, jedenfalls aus einem Kanälchengeflecht bestehende Masse dieser Lamellen eintreten.

Zum Schluß dieser Betrachtung möchte ich noch hervorheben, daß auch die Spaltbarkeit des Knochens in der Richtung der Lamellenebenen eine recht plausible Erklärung darin findet, daß die kanälchenärmeren Lamellen, welche vorwiegend aus solider, mit anorganischen Salzen imprägnierter Grundsubstanz bestehen, mit den kanälchenreicheren Lamellen alternieren, welch letztere eine bedeutende Menge des weichen, im ausgetrockneten Zustande durch Luft ersetzten Protoplasmas enthalten und deswegen viel leichter zerbrechlich sind als die kanälchenärmeren Lamellen.

2. Die Struktur der Grundsubstanz.

Es gelingt nur selten, auf Schliffen die Knochenkanälchen und die Struktur der Grundsubstanz nebeneinander deutlich zu beobachten. Auf ungefärbten Schliffen, welche in flüssigem Kanadabalsam eingeschlossen sind, oder solchen, die in hartem Balsam mehrere Male bis zum Schmelzpunkt des Balsams erwärmt wurden, wo also die ganze Substanz des Schliffes vom Balsam ziemlich durchdrungen ist, sieht man sowohl die Knochenkörperchen mit ihren Ausläufern als auch die Struktur der Grundsubstanz sehr undeutlich. Die Schliffe, welche viele mit Luft bzw. Gas gefüllte Kanälchen enthalten, sind zum Studium

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Grundsubstanz ebenfalls wenig geeignet. Die schwach lichtbrechenden Luftpartien erscheinen hier nämlich von helleren oder dunkleren Interferenzhöfen umgeben, je nach der Tubuseinstellung. Bei der sehr geringen Entfernung der Kanälchen voneinander verdecken diese Höfe oft die Struktur der Zwischensubstanz und machen sie ganz unsichtbar. Am geeignetsten erweisen sich solche Schliffe, in welchen beim Einschließen in geschmolzenen Kanadabalsam die meisten Knochenkanälchen vom Balsam erfüllt werden, die feinsten Hohlräumchen der Grundsubstanz dagegen noch Gas enthalten. Die erfolgreiche Darstellung eines solchen Präparates hängt natürlich vom Zufall ab, man kann aber dafür empfehlen, den Schliff vor dem Einschließen in den Balsam bis zu etwa 100° C zu erhitzen. An manchen Stellen der mit Silber imprägnierten Schliffe, ebenso auch an ungefärbten oder mit Fuchsin injizierten Schliffen, welche in Olivenöl, das viel schwächer als Kanadabalsam bricht, eingeschlossen wurden, erscheint die Struktur der Knochengrundsubstanz oft auch ziemlich deutlich.

Betrachtet man gut gelungene Präparate mit genügend starker Vergrößerung (Apochr. 2 mm, Ocul. 8—18) und einer mehr oder weniger verengten Blende, so findet man in den Haversschen Knochenlamellen, abgesehen von den Knochenkanälchen, keine weiteren faserartigen Gebilde. Auf Querschliffen durch ein Havers'sches System ist die Lamellierung des Knochens gewöhnlich ganz gut ausgesprochen (Fig. 2, 44). Die kanälchenärmeren Lamellen (Fig. 2, 44 *KnaL*) werden durch die vertikalen Kanälchen (Fig. 2, 44 *Knl*), wo die letzteren sichtbar sind, in längliche Bezirke zerteilt. Die zwischen diesen Kanälchen befindliche Grundsubstanz zeigt ein netzartiges Aussehen, wobei die Knotenpunkte des Netzes kügelchenartig in verschiedenem Grade verdickt sind (Fig. 2). Da dies netzige Aussehen auch auf den in andern Richtungen geführten Schliffen, wie wir später sehen werden, erhalten bleibt, muß man die Struktur der Grundsubstanz als eine globulitisch-wabige auffassen.

Solche Strukturen sind zuerst von Bütschli (94, S. 31—37, 98, S. 141—147) in zahlreichen colloidalen und kristallinischen Bildungen beschrieben worden. Bütschli war imstande, auch die Entstehung dieser Strukturen bei eintrocknenden Lösungen unter dem Mikroskop zu verfolgen. Es zeigt sich dabei, »daß zuerst äußerst feine, in lebhafter Molecularbewegung tanzende Globuliten auftreten, aus deren Vereinigung die fraglichen Strukturen hervorgehen dürften. Daß dies wirklich der Fall, kann man an dem Rand eintrocknender, dünner Schichten von Lösungen häufig deutlich wahrnehmen, wo man durch Vereinigung

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Globuliten feinwabige Schichten entstehen sieht«. In bezug auf die zwischen den Globuliten eingeschlossenen Hohlräumchen bemerkt Bütschli, daß sie »vielfach in ihren polygonalen Umrissen, in ihrer Zusammenordnung, sowie in ihrer gesamten Erscheinung ganz merkwürdig an echte Schaumwaben erinnern« (98, S. 141).

Die feineren Details der Bildung der Struktur der Grundsubstanz konnte ich nicht beobachten; es läßt sich aber mit Sicherheit vermuten, daß der Prozeß hier komplizierter verlaufen muß als bei der Kristallbildung, vor allen Dingen deshalb, weil an dem Aufbau der Knochengrundsubstanz neben den anorganischen auch organische Substanzen beteiligt sind. In Übereinstimmung mit Bütshli kann ich konstatieren, daß die Ähnlichkeit zwischen der globulitisch-wabigen Struktur und den wabigen Strukturen einiger tierischer Gewebe, wie z. B. der Grundsubstanz des hyalinen Knorpels und der Chitincuticulae, eine sehr große ist. Der Unterschied besteht hauptsächlich in einer etwas geringeren Regelmäßigkeit der globulitisch-wabigen Struktur, was in verschiedener Größe der globulitischen Knotenpunkte und der Hohlräumchen, dementsprechend auch in verschiedenen Dicken der die Hohlräumchen voneinander trennenden Wände sich äußert. Auch die echtoder schaumig-wabigen Strukturen zeigen stets verdickte Knotenpunkte; diese sind aber im Knochen stärker entwickelt; jeder Knotenpunkt erscheint hier wie ein globulitisches Gebilde, so daß man oft den Eindruck gewinnt, daß die ganze Grundsubstanz aus lauter Knotenpunkten besteht.

Eine ziemliche Ähnlichkeit mit der Struktur der Knochengrundsubstanz besitzt die von Awerinzew (03, S. 481) auch als globulitisch-wabige bezeichnete Struktur der Kalkschalen einiger mariner Rhizopoden. Diese Schalen sind ebenso wie der Knochen aus organischer und anorganischer Substanz zusammengesetzt, doch ist der Betrag der ersteren sehr gering. Awerinzew bemerkt hier, daß »in den Knotenpunkten einzelner Waben der kohlensaure Kalk in beträchtlicherer Menge abgelagert ist in Gestalt von mehr oder weniger regelmäßigen kugeligen Gebilden«. Diese Auffassung ist, wie später gezeigt werden soll, auch bezüglich der Knochenstruktur sehr wahrscheinlich.

Die Struktur der Grundsubstanz in den kanälchenreicheren, dünneren Lamellen (Fig. 2 *KnrL*) ist ebenfalls globulitisch-wabig. Ihr Aussehen weicht jedoch von dem der beschriebenen der kanälchenärmeren Lamellen etwas ab. Schwach vergrößert zeigen die kanälchenreicheren Lamellen auf Knochenquerschnitten Andeutung einer Längsstreifung. Bei stärkerer Vergrößerung erkennt man aber, daß diese

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Lamellen auch netzig-wabig gebaut sind (Fig. 2 *KnrL*), wobei aber die Alveolen in horizontalen Reihen angeordnet und in der Richtung dieser Reihen ausgezogen, bzw. in der dazu senkrechten Richtung abgeplattet sind. An den stark verlängerten Alveolen bekommt man oft den Eindruck, als ob sie nicht dicht von Globuliten begrenzt, sondern daß zwischen den Globuliten hier und da die Wände gespannt sind, welche im optischen Durchschnitt als Linien erscheinen (Fig. 2).

Die Bilder, wo beiderlei Lamellen körnig oder punktiert aussehen, hat auch v. Ebner beobachtet; er meint jedoch, daß es sich hier um schräg getroffene Fibrillen handelt. Eine solche Auffassung ist für mich deswegen ausgeschlossen, weil ich auf sehr zahlreichen, in allen möglichen Richtungen geführten Schliffen niemals gleichmäßig dicke, auf längere Strecken verlaufende Linien beobachten kann; vor allen Dingen aber auch deswegen, weil ich auch auf Flächenschliffen durch die Lamellen, wo die Fibrillen am deutlichsten hervortreten müßten, überall eine sehr schön ausgeprägte globulitisch-wabige Struktur beobachten kann (Fig. 4, 5). Meine Auffassung scheint mir aber auch dadurch noch befestigt zu sein, weil die Abbildungen in den Arbeiten von Anhängern der Fibrillenlehre entweder mit zu schwachen Vergrößerungen gemacht oder in bezug auf die feinere Struktur sehr schematisiert sind (die Figuren von v. Ebner, Kölliker u. a.).

Ich halte es dennoch gar nicht für ausgeschlossen, daß in den zusammenhängenden Wänden der reihenweise angeordneten Waben der Knochengrundsubstanz fibrillenartige Gebilde vorkommen können, wie ich es auch im Knorpel beobachtet habe (08). Näheres darüber werde ich im Kapitel über den entkalkten Knochen berichten, hier möchte ich nur bemerken, daß diese Fibrillen auf unentkalkten Schliffen kaum nachweisbar sind und in der von vornherein globulitisch-wabigen Grundsubstanz des Knochens sekundär entstehen.

Es wurde schon oben erwähnt, daß die Beziehungen zwischen den Knochenkanälchen und der Grundsubstanz auf den meisten Schliffen schwer zu beobachten sind. Der Vergleich zahlreicher Schliffe jedoch, wo neben den Kanälchen auch die Grundsubstanzstruktur einigermaßen sichtbar ist, führte mich zur Überzeugung (welche übrigens auch durch das Studium der gequollenen Knochenschnitte [Fig. 31] bestätigt wird), daß die vertikalen Kanälchen in der Regel durch eine etwa 2—3 Waben dicke Grundsubstanz voneinander getrennt werden, und daß die zwischen den horizontalen Kanälchen der kanälchenreicheren Lamellen befindliche Grundsubstanz noch dünner ist, oft nur aus einer einzigen Wabenreihe besteht.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Wenden wir uns zur Betrachtung der Längsschliffe durch die Röhrenknochen (Fig. 1), so treffen wir, wie hervorgehoben, ein umgekehrtes Verhalten der Lamellen. Die Grundsubstanz ist nämlich in den kanälchenärmeren, meistenteils dickeren Lamellen (Fig. 1 *KnaL*) aus reihenweise angeordneten Alveolen und in den kanälchenreicheren (Fig. 1 *KnrL*) aus unregelmäßig angeordneten aufgebaut. Die Alveolenreihen sind hier nicht immer parallel der Lamellenoberfläche. Sehr oft verlaufen sie mehr oder weniger geneigt zu derselben (Fig. 1); dann sehen die einzelnen Alveolen rautenförmig aus, und bei schwächerer Vergrößerung täuschen solche Stellen das Bild von zwei einander kreuzenden Systemen paralleler Linien vor.

Die Bedingungen, unter welchen solch' faserig-wabige Strukturen entstehen, sind in mehreren Schriften Bütschlis (92, 98, 03) eingehend erörtert worden. Durch Ausziehen von Fäden aus wabig strukturierten Substanzen, z. B. aus Gelatine, konnte er feststellen, daß die Verlängerung der Wabenräumchen sowohl, wie ihre reihenförmige, bzw. kreuzstreifige Anordnung durch Dehnung verursacht wird. Sehr überzeugend und leicht ausführbar ist auch der Versuch mit Gummifäden, den ich nach den Vorschriften Bütschlis mehrmals mit Erfolg wiederholt habe. Behandelt man nämlich einige Stückchen von Gummi-arabicum mit 60—70%igem Alkohol, so zerfließen sie in etwa 24 Stunden zu einer dicken, zähflüssigen Lösung. Beim Eintrocknen wird diese Lösung trüb; stark vergrößert, erscheint sie dabei sehr fein wabig strukturiert. »Das Trübwerden der eintrocknenden Tropfen beginnt fast augenblicklich nach dem Herausnehmen auf dem Objektträger; bei größeren Tropfen dauert es aber etwas längere Zeit, bis sie durch und durch schaumig und kreideweiß geworden sind. Bei feinen Fäden dagegen, wie man sie aus den zähen Lösungen leicht mit der Nadel ausziehen kann, ist die Schaumstruktur in sehr kurzer Zeit völlig entwickelt. Gerade das Studium solcher Fäden ist von großem Interesse« (Bütschli, 03, S. 217). Da die Struktur dieser Gummifäden, die allerdings eine typisch schaumige und nicht globulitisch-wabige ist, manchmal eine frappante Analogie mit der oben beschriebenen faserartigen Struktur der Knochenlamellen darbietet, so erlaube ich mir, aus der Abhandlung Bütschlis (03, S. 228) eine Beschreibung solcher Fäden hier anzuführen. In den Fäden, schreibt Bütschli, »tritt die längsfibrilläre Anordnung der Schaumwaben so prachtvoll hervor, wie ich sie bis jetzt bei künstlich hergestellten, schaumig-strukturierten Fadengebilden noch nie beobachtete. Wie es in derartigen längsfibrillären Schaumstrukturen regelmäßig der Fall ist, sind die Längsfibrillen,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

d. h. die längsgereihten Wabenwände viel dicker als die sie verbindenden Querwände; erstere treten deshalb viel schärfer und stärker hervor. Wird die Struktur daher sehr fein, so sind die Querwände äußerst blaß und schwierig zu sehen. Man glaubt Fibrillen vor sich zu haben, und nur eine sehr genaue Untersuchung lehrt deren Querverbindungen kennen. Gleichzeitig mit der längsfibrillären Struktur macht sich häufig noch eine feine Querstreifung bemerkbar, welche von mehr oder minder regelmäßiger Querordnung der Wabenräume herrührt.« Auch eine kreuzstreifige Struktur wurde von Bütschli (03, S. 229) an der Oberfläche solcher Fäden gelegentlich beobachtet.

Schon v. Ebner (06) und Gebhardt (01, 03) sind zur Auffassung gekommen, daß das faserige Aussehen der Knochengrundsubstanz durch die Spannungs- oder Dehnungsrichtungen verursacht werde. Das Studium der Gestalt der Knochenkörperchen, ebenso wie der Verlaufsrichtung der horizontalen Knochenkanälchen und der Alveolenreihen führt mich auch zum Schlusse, daß die benachbarten Knochenlamellen bei ihrer Entwicklung in verschiedenen, aufeinander etwa senkrechten Richtungen gedehnt wurden. Auch durch die Untersuchung der Knochenlamellen im polarisierten Lichte wird diese Annahme bestätigt.

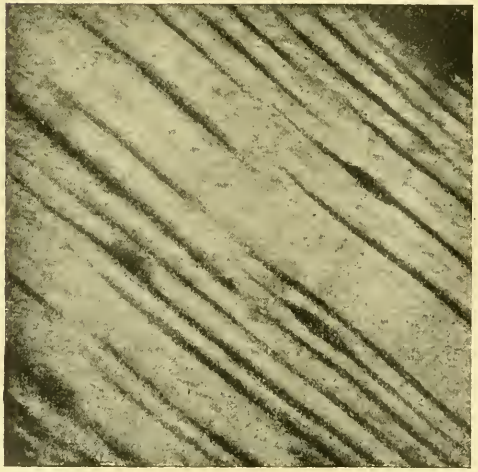
In bezug auf die Anisotropie der normalen Knochenschliffe stimmen meine Beobachtungen mit denen v. Ebners überein. Die gestreift erscheinenden Lamellen, d. h. auf den Querschliffen die kanälchenreicheren, auf Längsschliffen dagegen die kanälchenärmeren, brechen zwischen gekreuzten Nicols doppelt, hellen daher auf (Textfig. 1). Da die streifige Struktur der kanälchenreicheren Lamellen in einem Haversschen System circulär um den Haversschen Kanal orientiert wird, erscheinen diese Lamellen auf Querschliffen zwischen gekreuzten Nicols nur da hell, wo sie schief zu den Polarisationsebenen verlaufen. In der Richtung der Polarisationsebenen bleiben die beiderlei Lamellen dunkel, wodurch in jedem Haversschen System ein rechtwinkeliges, sehr deutlich sichtbares Kreuz entsteht (Textfig. 1 *a*). Der Haversche Kanal mit Umgebung erscheint also zwischen gekreuzten Nicols genau wie ein Sphärokristall. Ein Längsschliff wird dementsprechend zwischen gekreuzten Nicols am hellsten, wenn er im Azimuthe ± 45 zu den Polarisationsebenen liegt (Textfig. 1 *b*). Die Tangentialschliffe durch die Knochenlamellen sind ebenfalls ausgesprochen doppelbrechend. Beim Einschalten eines Gipsplättchens Rot I O. kann man sich ohne Schwierigkeit überzeugen, daß die Doppelbrechung des Knochens eine positive ist im Sinne v. Ebners. Vergleicht man jedoch den Querschliff durch

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ein HAVERSsches System mit einem Sphärokristall, so würde man ihn als negativ bezeichnen.

Diese Erscheinungen der Doppelbrechung werden uns verständlich,

a



b

Textfig. 1 *a* und *b*.

Mikrophotogramme der Knochenschliffe eines Menschenfemurs zwischen gekreuzten Nicols. Vergr. 490. *a*, Querschliff, *b*, Längsschliff durch ein HAVERSsches Knochenlamellensystem.

sobald wir annehmen, daß die kanälchenärmeren, auf Längsschliffen meistens breiteren Lamellen (Textfig. 1 *b*) in der Richtung der Röhrenknochenachse gedehnt sind. Deswegen verhalten sie sich in dieser Richtung wie die Gelatinefäden positiv doppelbrechend. Die kanälchenreicheren Lamellen dagegen (zuweilen etwa ebenso dick wie die andern

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

[Textfig. 1 *a*], gewöhnlich aber viel dünner [Textfig. 1 *b*]), sind in circulärer Richtung um die Achse der HAVERSschen Kanäle gespannt und ebenfalls nur dann doppelbrechend, wenn der Schliff parallel der Dehnungsrichtung geführt ist. Der Grad der circulären Spannung scheint geringer zu sein als der der longitudinalen, weil die tangentialen Knochenschliffe, wo stets mehrere Lamellen übereinander liegen, in der Richtung der Knochenlänge positiv doppelbrechen[1].

Es ist nicht leicht, über die histogenetischen Prozesse, welche ein solches Alternieren zweier Dehnungsrichtungen im Knochen verursachen, etwas Bestimmtes zu sagen. Nach GEBHARDT soll der Wechsel der Fibrillenrichtung in benachbarten Lamellen durch die dimensionalen Elastizitätsverhältnisse der Lamellen bedingt werden »derart, daß jede fertige Lamelle vermöge ihrer quer zur Faser größten Deformierbarkeit als Anlagerungsbasis für die nächste die neu sich anlagernden Fibrillen quer zur Richtung ihrer eignen auszurichten strebt« (06, S. 315). Diese Vermutung, welche bis jetzt allerdings durch keine Tatsachen bewiesen werden konnte, würde auch meiner Auffassung der Knochengrundsubstanzstruktur nicht widersprechen, wenn man nur den Ausdruck »Fibrillen« durch einen für meine

---

[1] Die von v. EBNER (82, 94) entdeckte Tatsache, daß der Charakter der Doppelbrechung in den ausgeglühten Knochenschliffen und in den entkalkten Knochenschnitten von Zusatzflüssigkeiten abhängig ist, habe ich ebenfalls beobachtet. Sowohl die ausgeglühten Schliffe als auch die entkalkten Schnitte erscheinen positiv doppelbrechend, wenn sie trocken, im Wasser oder im Alkohol untersucht werden. Setzt man aber zu dem absoluten Alkohol, in welchem die Schliffe bzw. die Schnitte sich befinden, tropfenweise Nelkenöl zu, so verlieren sie allmählich ihre Doppelbrechung und werden isotrop. In einer gewissen Mischung von Alkohol und Nelkenöl können sie beliebig lange Zeit einfachbrechend bleiben. Bei weiterem Zusatz von Nelkenöl tritt an ihnen zuerst stellenweise und schließlich in ihrer ganzen Fläche eine negative Doppelbrechung hervor. Bei einer nochmaligen Übertragung in Alkohol werden die Schliffe bzw. die Schnitte von neuem positiv doppelbrechend. Die Umkehrung der Polarisation kann man an einem und demselben entkalkten Knochenschnitte, ebenso wie an einem ausgeglühten Schliffe beliebig oft wiederholen.

Auf diese Erscheinungen der Polarisationsumkehrung will ich jedoch an dieser Stelle nicht näher eingehen, da ich zwischen ihnen und dem feineren Bau der Knochengrundsubstanz bis jetzt keine Beziehungen feststellen konnte. Auch v. EBNER, welcher in seinen früheren Arbeiten die Fähigkeit der ausgeglühten Knochen, den Charakter ihrer Doppelbrechung zu wechseln, für seine Theorie der Knochengrundsubstanzstruktur zu verwerten suchte, kommt nach seinen späteren Studien zur Annahme, daß diese Erscheinung im entkalkten Knochen nicht mit fibrillärer Struktur, sondern mit der chemischen Beschaffenheit des Gewebes zusammenhängen muß (94, S. 166, 7).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Anschauung mehr passenden, z. B. »Wabenreihen mit den zwischen ihnen differenzierten fibrillären Gebilden« ersetzt.

Der Wechsel der Spannungsrichtungen in benachbarten Knochenlamellen wird vielleicht auch dadurch etwas verständlicher, wenn wir bedenken, daß die benachbarten Lamellen, wie es später bei der Besprechung der Knochenhistogenese auseinandergesetzt wird, verschiedenen Ursprunges sind. Die kanälchenärmeren Lamellen nämlich werden vorwiegend aus der Knochengrundsubstanz, d. h. aus Umbildungsprodukten der Osteoblasten gebaut. Da aber das Wachstum der Röhrenknochen hauptsächlich in der Längsrichtung geschieht, so werden auch die betreffenden Lamellen in dieser Richtung gespannt. Die kanälchenreicheren Lamellen dagegen entstehen vorwiegend aus Resten der Osteoblastenlage selbst, nachdem diese Lage eine bedeutende Menge ihrer Substanz in die von ihr gebildete kanälchenärmere Lamelle abgibt. Durch eine solche Verminderung der Substanzmenge kann eventuell auch die Spannung der Osteoblastenlage in circulärer Richtung erklärt werden.

Sehr interessante Bilder, welche mit der von Bütschli (98, Atlas, Taf. XXVI, Fig. 4) in der Krebscuticula beschriebenen Struktur eine auffallende Ähnlichkeit zeigen, sieht man auf solchen Schliffstellen, wo die Lamellen schief getroffen sind (Fig. 3). Hier gehen die Züge der gestreiften Lamellen beiderseits ganz allmählich in die andern Lamellen über, wo sie eine mehr oder weniger deutliche bogige Struktur hervorrufen. Die Bögen zeigen mit beiderseits vom Stamm entspringenden Tannenzweigen eine gewisse Ähnlichkeit. Solche Bilder sind schon von Matschinsky (95, S. 302), jedoch nur bei schwächeren Vergrößerungen, beobachtet und photographiert worden. Wie man sich bei stärkeren Vergrößerungen überzeugen kann (Fig. 3), bestehen alle beschriebenen Züge aus reihenweise angeordneten Waben, bzw. Globuliten. Die Erklärung solcher Strukturen kann einerseits in der Anordnung der Knochenkanälchen gesucht werden, welche in jedem Paar benachbarter Lamellen zueinander senkrecht orientiert sind, wobei aber die vertikalen Kanälchen an den Übergangsstellen in die horizontalen bogenförmig gekrümmt erscheinen (Fig. 41 *Knl*). Anderseits kann diese Struktur auch durch Dehnung der benachbarten Lamellen in zwei entgegengesetzte Richtungen hervorgerufen werden. Dabei bleiben diejenigen Partien der Grundsubstanz, welche an der Grenze zweier Lamellen liegen, nicht ausgedehnt und bilden einen Übergang zwischen den beiden verschiedenartig modifizierten Lamellenstrukturen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Es bleibt uns noch übrig, die Schliffe durch die Knochenlamellen in der dritten Richtung, d. h. in tangentialen Schliffen von der Oberfläche zu betrachten. Wie ich schon früher gelegentlich bemerkt habe, erscheint die Grundsubstanz auch auf solchen Schliffen durchaus globulitisch-wabig (Fig. 4, 5 *Grs*). Die Gewißheit, daß es sich um richtige Flächenbilder handelt und nicht etwa um schief getroffene Lamellen, auf welchen die genannte Struktur, wie die Anhänger der Fibrillenlehre sagen würden, von schief durchgeschnittenen Fibrillen vorgetäuscht werden kann, bekomme ich, abgesehen von einer sorgfältigen Vergleichung der Präparate, auch dadurch, daß an den betreffenden Stellen die Durchschnitte der vertikalen Kanälchen (Fig. 4, 5 *Knl*) meistenteils nicht oval, sondern vollkommen rund aussehen.

An denjenigen Schliffen, wo die die Lamellen charakterisierenden Knochenkanälchen nicht sichtbar sind, bieten die beiderlei Lamellen in der Flächenansicht ganz ähnliche Strukturbilder dar. Die Struktur der Grundsubstanz ist hier entweder eine mehr oder weniger deutliche unregelmäßig wabige (Fig. 4) oder eine kreuzstreifige (Fig. 5). Die erstere Struktur kommt in der Regel an den Stellen vor, wo die Knochenlamellen offenbar keiner Zugwirkung unterworfen waren, worauf die rundliche Gestalt ihrer Knochenkörperchen hindeutet. Den abgerundeten Umrissen der Knochenkörperchen entspricht hier auch die rundlich-eckige Gestalt der Waben.

An andern Stellen dagegen, und zwar dort, wo die Knochenhöhlen in die Länge gezogen sind, erscheinen die Waben mehr oder weniger regelmäßig in Reihen angeordnet. Die einzelnen Waben sehen dabei gewöhnlich rautenförmig aus (Fig. 5) und sind mehr oder weniger in die Länge gezogen. In solchen kreuzstreifig erscheinenden Wabenmassen können die parallelen, sich kreuzenden Linien entweder in beiden Richtungen gleich scharf sein oder in einer Richtung viel schärfer als in der andern. Im ersteren Falle beobachten wir die beiden scharf hervortretenden, sich kreuzenden Streifensysteme in einer und derselben Ebene, im zweiten Falle sehen wir in einer Ebene nur ein Streifensystem scharf, ein zweites schärfer in den benachbarten Lamellen, das sich mit dem ersteren kreuzt. Die Kreuzung der Streifen tritt also hauptsächlich nur beim Heben und Senken des Mikroskoptubus deutlich hervor.

Die Art, wie solche kreuzstreifige Strukturen aus sechseckigen Alveolenwerken entstehen können, hat Bütschli (98, S. 191—195) an verschiedenen Modellen veranschaulicht. Dehnt man nämlich einen Kautschukschlauch mit einem darauf gezeichneten hexagonalen Waben-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

system oder ein Stück Tüllnetz in einer gewissen Richtung, so werden die sechseckigen Netzmaschen im Sinne der oben beschriebenen regelmäßigen kreuzstreifigen Struktur umgestaltet. Die Bildung derselben Strukturen an der Oberfläche von gedehnten Gelatine- oder Gummifäden habe ich schon früher besprochen.

Die Beobachtung Gebhardts (01, Bd. XI, S. 398), daß »die fibrillären Elemente der Röhrchenwandungen in den Spongiosaröhrchen tangential und gleichzeitig sehr stark geneigt zur Achse verlaufen«, so daß dadurch zuweilen eine Art »spiraliger Umkreisung« der Röhrchen (auch der Haversschen Kanäle [Gebhardt, 05]) entsteht, ebenso die oben mitgeteilte Angabe Köllikers, daß diese faserigen Knochenelemente »mit der Achse des Haversschen Kanales einen Winkel von 45° bilden und untereinander in rechtem Winkel sich kreuzen«, lassen sich mit meiner Auffassung der kreuzstreifigen Knochenstrukturen recht gut in Einklang bringen. Die Konturen der hexagonalen oder rundlichen Waben nehmen bei Dehnung sowohl in der Längsrichtung des Röhrenknochens (kanälchenärmere Lamellen) als auch in der circulären Richtung (kanälchenreichere Lamellen) ein kreuzstreifiges Aussehen an, und zwar so, daß die sich kreuzenden Streifen zur Achse der Dehnung geneigt orientiert werden (vgl. auch Bütschli, 98, S. 192, Fig. 54, wo ein der Länge nach ausgedehnter Kautschukschlauch mit aufgezeichnetem Wabensystem abgebildet ist).

3. Die Struktur der sog. Knochenkanälchenscheiden.

Zur Beurteilung der Knochengrundsubstanzstruktur war es für mich von Interesse, auch den Bau der sog. Kanälchenscheiden zu untersuchen, welche nach ihrem Entdecker Neumann verdichtete, bzw. modifizierte Partien der verkalkten Grundsubstanz darstellen sollen. Diese Auffassung Neumanns wurde seitdem von den meisten Histologen geteilt und von Kölliker in sein Handbuch der Gewebelehre (89, S. 278) aufgenommen. Broesikes Angabe dagegen, nach welcher die Scheiden nicht nur durch größere Dichte, sondern auch chemisch von der Grundsubstanz verschieden sind, und zwar aus Keratin (82, S. 726), oder, wie er sich später ausdrückt, aus »den Hornstoffen im Sinne von Hoppe-Seyler« (86, S. 124) bestehen, hat in der späteren Zeit keine Bestätigung gefunden. Durch seine Verdauungsversuche bewies Smith (83) die Abwesenheit von Hornsubstanzen im Knochen und gelangte dabei sogar zu dem weitergehenden Schlusse, »daß die, den Bildungen des Ectoderms mit Einschluß des Nervensystems, eigentümliche, durch Unverdaulichkeit und durch Unlöslichkeit in

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ätzenden Alkalien von 1% charakterisierte Materie, welche Keratin genannt wird, in den vom Mesoderm stammenden Geweben nicht vorkommt« (83, S. 482).

Über die feinere Struktur der Kanälchenscheiden findet man in der Literatur keine genaueren Angaben. Der Grund davon beruht vielleicht zum Teil darauf, daß diese Gebilde äußerst fein sind, zum Teil aber auch darauf, daß sie gewöhnlich nicht in ihrer natürlichen Beschaffenheit, sondern an durch Verdauung oder Kochen halbzerstörten Schnitten studiert wurden. In jüngster Zeit hat Fleischmann (06, 07) die Scheiden der Dentinkanälchen untersucht, wobei er zu ihrer Darstellung sowie der in ihnen verlaufenden Zahnfasern, die Methode von Zachariadès folgendermaßen modifiziert hat. Die entkalkten Knochenschnitte färbt er mit Safranin; hierauf erwärmt er sie in 40%iger Kalilauge auf dem Objektträger bis zur Auflösung der Grundsubstanz (Fleischmann, 06, S. 298). Diese auch von v. Ebner (06, S. 298) empfohlene Methode scheint mir jedoch zur Darstellung der Scheiden der Knochenkanälchen, vielleicht wegen der bedeutenderen Feinheit der letzteren im Vergleich mit den Zahnfaserscheiden, nicht geeignet zu sein. Die von mir nach Zachariadès und Fleischmann behandelten Schnitte getrockneter und entkalkter Knochen zeigten, nachdem die Grundsubstanz glasig-homogen, anscheinend flüssig wird, an einigen Stellen sehr schöne Gruppen von Knochenkörperchen (Fig. 38 *Knz*) nebst ihren miteinander anastomosierenden Ausläufern (*Knl*). Der ziemlich geradlinige Verlauf dieser Ausläufer gegenüber ihrem welligen Verlauf auf Knochenschliffen (Fig. 32 *Knlh*) läßt sich wohl durch eine starke Aufquellung der Grundsubstanz erklären, was eine Dehnung der Ausläufer hervorrief. Die rot gefärbten Ausläufer sind auf solchen Präparaten (Fig. 38 *Knl*) so fein, daß man sie keinesfalls für Kanälchenscheiden, sondern nur für die von mir schon oben erwähnten protoplasmatischen Reste der Knochenkanälchen halten kann. Ein Vergleich der Fig. 38 mit der ebenso stark vergrößerten Fig. 32, wo infolge der Fuchsininjektion nur die Kanälchenlumina und nicht die Scheiden gefärbt worden sind, kann dafür auch als Beweis dienen. Der Umstand, daß die Knochenkörperchen mit ihren Ausläufersystemen bei weitem nicht überall, sondern nur an einigen Stellen des Präparates erhalten blieben, stimmt mit meiner schon mitgeteilten Beobachtung überein, daß die protoplasmatischen Reste in ausgetrockneten Knochen nur stellenweise zu finden sind (Fig. 36).

Die Kanälchenscheiden bieten dagegen, wenn sie auf unzerstörten Knochenschliffen sichtbar sind, ein ganz andres Aussehen dar. Sie

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

treten manchmal auch auf ungefärbten Schliffen sehr deutlich hervor (Fig. 6, 7 *Knsch*). Quer getroffen erscheinen sie dabei in Form eines stärker lichtbrechenden, das Kanälchenlumen umgebenden Ringes. Bei hoher Einstellung, wenn das mit Luft gefüllte Kanälchen als ein dunkler Punkt erscheint (Fig. 6 *Knl*), sind die Scheiden (*Knsch*) ganz hell, bei tiefer Einstellung (Fig. 7) dagegen dunkel. Auch von der umgebenden Grundsubstanz unterscheiden sich die Scheiden daher durch ihre stärkere Lichtbrechung (Fig. 6, 7, 8 *Knsch*).

Am besten kann man die Kanälchenscheiden an den mit Silbernitrat behandelten Knochenschliffen untersuchen. Betrachtet man nämlich mit starker Vergrößerung den optischen Längsschnitt durch ein entweder mit Kanadabalsam gefülltes (Fig. 42) oder noch Protoplasmareste enthaltendes (Fig. 43) Kanälchen, so sieht man, daß die Scheide (*Knsch*) nicht homogen ist, sondern aus einer Lage der das Kanälchenlumen umgebenden globulitischen Bildungen der Grundsubstanz besteht, welche ihrer Größe und Gestalt nach vollständig an die übrigen Globulite der Grundsubstanz erinnern, jedoch viel dunkler gefärbt sind. Zwischen dieser dunklen Globulitenlage und dem schwarzen perlschnurartigen Protoplasmafädchen (Fig. 43 *Pr*) beobachte ich oft noch hellere, rundliche Zwischenräume, von denen ich jedoch nicht mit Sicherheit behaupten kann, ob sie das Lumen des Kanälchens oder eine zweite Reihe von schwächer färbbaren Globuliten darstellen. Möglicherweise, ja wahrscheinlich, rühren jedoch diese blassen Zeichnungen nur von den höher oder tiefer liegenden Globuliten in der Wand der Kanälchenscheide her.

Es soll an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, daß auch v. Korff, dessen Ansichten über die Struktur der Knochengrundsubstanz von den meinigen so stark abweichen, in den ersten Entwicklungsstadien der Zahnfaserscheiden Bilder beobachtete, welche den oben beschriebenen ziemlich ähnlich zu sein scheinen. Sofort beim Eintritt des Protoplasmafortsatzes der Elfenbeinzelle in den Bereich der Dentinsubstanz, sagt v. Korff: »wird seine Außenfläche von einem scheinbar aus Körnern zusammengesetzten, membranartigen Saum umgeben, aus dem vermutlich die spätere Neumannsche Zahnfaserscheide hervorgeht« (06, S. 6).

III. Untersuchung des geglühten Knochens.

Nachdem ich in der Grundsubstanz der Haversschen Systeme anstatt der fibrillären eine wabig-globulitische Struktur gefunden hatte, war es für mich von Wichtigkeit, auch diejenigen Methoden nachzu-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

prüfen, welche nach den Angaben früherer Autoren zur Darstellung der fibrillären Struktur besonders geeignet sein sollten. Eine dieser Methoden besteht im Auskochen, bzw. Ausglühen der Knochenschliffe, wobei, nach der Behauptung v. Ebners (87), die unverkalkten Fibrillen zerstört werden, und an ihrer Stelle in der Knochengrundsubstanz nur die aus anorganischer Kittsubstanz bestehenden Röhrchen bleiben, welche, mit Luft gefüllt, in Form von geraden Linien sehr deutlich hervortreten. Die Methode Broesikes, welcher die Knochenfibrillen durch unvollständiges Ausglühen der Schliffe deutlich zu machen versucht, ebenso wie die Kritik dieser Methode von Kölliker habe ich schon in der Einleitung besprochen.

Eine Wiederholung der genannten Methoden hat mich zum Schlusse geführt, daß der Knochen sowohl nach vollständigem als auch unvollständigem Ausglühen, abgesehen von den später zu erwähnenden, meiner Auffassung des Knochenbaues nicht widersprechenden Veränderungen, durchaus seinen ursprünglichen Strukturtypus bewahrt. Ich halte deswegen die Meinung Köllikers (86, S. 656), daß die Kalksalze des Knochens an die leimgebende Substanz gebunden sein müssen, für völlig berechtigt. Die von v. Ebner (87, S. 225) zur Bestätigung seiner Auffassung angeführten Angaben von Hoppe-Seyler und Krukenberg, nach welchen »eine chemische Verbindung der Erdsalze des Knochens mit der leimgebenden Substanz unwahrscheinlich« ist, scheinen nach den modernen Fortschritten auf dem Gebiete der physiologischen Chemie nicht mehr von so großer Bedeutung zu sein. Obgleich ich zu einer sicheren Entscheidung dieser Frage nicht kompetent bin, möchte ich hier doch anführen, was darüber in der letzten Auflage der physiologischen Chemie von Hammarsten steht. »Die Menge der organischen Substanz der Knochen«, lesen wir dort, »als Gewichtsverlust beim Glühen berechnet, schwankt etwa zwischen 300—520 p. m. . . . Die Frage, ob diese Substanz mit der Knochenerde chemisch verbunden oder nur innig gemengt vorkomme, ist nicht entschieden« (07, S. 437—8). Nicht ohne Interesse erscheint mir auch die in der Abhandlung Gebhardts (01, Bd. XII, S. 17) angeführte Angabe von Bredig, der »aus rein chemischen Gründen zu der Vermutung geführt wurde, daß der Kalk in den organischen Hartgebilden mindestens anfänglich in sog ‚colloidalem' Zustande gelöst, oder besser, unendlich fein suspendiert vorhanden sei.«

Für meine eignen Untersuchungen habe ich zum Teil fertige Knochenschliffe, zum Teil etwa 1 mm dicke Knochenplättchen mittels einer Bunsenflamme auf einem Platinbleche geglüht. Im ersteren Fall

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

nimmt der Knochen innerhalb weniger Minuten eine rein weiße Farbe an, im zweiten erfordert der Prozeß etwa 45—60 Minuten. Aus den dickeren ausgeglühten Platten kann man bei gewissen Vorsichtsmaßregeln ebenso feine Schliffe anfertigen, wie aus ungeglühtem Knochen. Solche Schliffe sind zum Studium viel geeigneter als die nachher ausgeglühten, da sie nicht gefaltet sind wie die letzteren. Das Schleifen der ausgeglühten Knochen wurde teils von mir selbst, teils von der Voigt & Hochgesangschen Fabrik für Dünnschliffe in Göttingen ausgeführt.

Manche ausgeglühten Längsschliffe zeigen bei schwächeren Vergrößerungen, besonders an den Stellen, wo die Lamellen nicht deutlich ausgesprochen sind, und die von Kanadabalsam erfüllten Kanälchen nicht scharf hervortreten, ein Bild, das v. Ebners Auffassung zu bestätigen scheint. Der faserige Bau der Knochengrundsubstanz tritt hier oft sehr deutlich hervor; die faserartigen Züge verlaufen dabei parallel den Lamellenebenen. Bei stärkeren Vergrößerungen sieht man jedoch ohne Schwierigkeit, daß die ganze Struktur der Grundsubstanz durchaus globulitisch-wabig ist, wobei die Waben in horizontalen Reihen liegen.

Über die feineren Details der lamellösen Struktur im ausgeglühten Knochen habe ich nichts Besonderes zu berichten, da sie, wie gesagt, mit derjenigen der normalen Knochenschliffe vollständig übereinstimmt. Es soll nur bemerkt werden, daß die lamellöse Struktur in den ausgeglühten Schliffen meist nicht so scharf hervortritt wie im normalen Knochen. Die Ursache davon kann vielleicht darin liegen, daß ein ausgeglühter Schliff viel leichter und deshalb auch viel gleichmäßiger als ein normaler vom Kanadabalsam durchdrungen wird; vielleicht aber auch in der Zerstörung der organischen Substanz, welche, wie wir früher sahen, in den benachbarten Lamellen ungleichmäßig verteilt ist und neben den übrigen Faktoren das verschiedene Aussehen der Lamellen bedingen muß.

Dem Fehlen der organischen Substanz verdankt der ausgeglühte Knochen auch sein im Vergleich mit dem normalen stärkeres Lichtbrechungsvermögen. Die Struktur der Grundsubstanz tritt nämlich auf einem normalen Knochenschliffe ganz klar hervor, wenn er im Wasser eingeschlossen wird. Die ausgeglühten Schliffe sind dagegen unter denselben Bedingungen wegen der zu großen Differenz der Brechungsexponente vom Wasser und der Knochenerde zum Studium nicht ganz geeignet. Nur im Kanadabalsam, am besten aber in Olivenöl, können sie bequem untersucht werden.

Bei der Betrachtung von der Fläche bieten die Lamellen des nor-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

malen und des ausgeglühten Knochens genau dasselbe Aussehen dar. Man findet hier wie dort die schon oben geschilderten unregelmäßigkörnigen, faserigen oder kreuzstreifigen Strukturen, welche bei stärkeren Vergrößerungen sich als globulitisch-wabige erweisen.

Neben den Schliffen haben sich auch kleinste Fragmente ausgeglühter Knochen, wie sie durch Zerdrücken oder Zerreiben desselben erhalten werden, zur Untersuchung ganz geeignet erwiesen. Ein Stückchen solchen Knochens wird in einer Reibschale fein zerrieben und das so erhaltene weiße Pulver in Wasser oder Kanadabalsam, am besten aber in Olivenöl untersucht. Die kleineren Stückchen des ausgeglühten Knochens können auch sehr fein zerbröckelt werden, wenn man sie, wie mir Prof. Bütschli empfohlen hat, zwischen zwei Objektträger in einem Tropfen Kanadabalsam zerdrückt.

Das Studium solch feinster Fragmente ist deshalb wichtig, weil manche von ihnen nur aus wenigen Alveolenlagen bestehen, also die Struktur auf ihnen deutlicher hervortritt als auf den verhältnismäßig dicken Schliffen. Die Struktur der Grundsubstanz erscheint hier ebenfalls durch und durch globulitisch-wabig. Bei hoher Einstellung erscheinen die Globuliten hell und die Hohlräumchen dunkel (Fig. 10, 11), bei tiefer Einstellung umgekehrt das Globulitennetz dunkel und die Hohlräumchen hell (Fig. 13). Man kann auf solchen Präparaten die Knochenkanälchen nur dann unterscheiden, wenn sie Luft enthalten, die Grundsubstanz dagegen von Kanadabalsam durchdrungen ist (Fig. 10 *Knl*). Hier unterscheiden sich die Kanälchen durch ihre schwächere Lichtbrechung von der Grundsubstanz. Die Anordnung der Waben ist auf solchen Fragmenten entweder unregelmäßig (Fig. 13) oder schön faserig bzw. kreuzstreifig (Fig. 10). Ganz belehrend ist auch das Studium der Fragmenträndер (Fig. 9, 10, 11, 13). Diese Ränder zeigen nämlich nichts, was man für abgebrochene Röhrchenenden halten könnte, sie sind vielmehr von den nach außen vorspringenden Globuliten gebildet, welche voneinander durch ovale Vertiefungen, Reste der Wabenräumchen, getrennt sind.

Zwischen den größeren und kleineren Fragmenten findet man in den Präparaten stets eine Anzahl freier Globuliten (Fig. 12, 14), die entweder einzeln oder in kleineren Gruppen vereinigt liegen. Ihre Form ist kugelig bis eiförmig, ihre Größe schwankt zwischen 0,3 und 1 μ. Die Globuliten sind durch teilweise Verschmelzung miteinander vereinigt, wobei zum Teil auch dickere oder dünnere Brücken zwischen ihnen gebildet sind (s. Fig. 11 u. 13). Wenn ich damit die Bilder des normalen (Fig. 1—5), oder noch besser des entkalkten Knochens (Fig. 15

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

bis 20) vergleiche, wo die globulitischen Knoten nicht immer so stark hervortreten, wo sie jedoch gewöhnlich durch längere Zwischenbrücken miteinander verbunden sind, so könnte man vermuten, daß die anorganische Substanz vorwiegend in den Globuliten, die organische in den die letzteren verbindenden Wabenwänden konzentriert sei.

Eine wesentliche Bestätigung findet diese meine Vermutung im folgenden Experiment. Wenn man eine ausgeglühte Knochenplatte nach dem vorher angegebenen Verfahren mit Fuchsin S. injiziert und nachher schleift oder zerbröckelt, so sind nicht nur die Knochenkanälchen, sondern auch die ganze Grundsubstanz rot gefärbt. An geeigneten, sehr dünnen Schliffstellen, ebenso wie an den feinsten Fragmenten bemerkt man, daß der Farbstoff sowohl in die Knochenkanälchen als auch in die Hohlräumchen der Grundsubstanz eingedrungen ist (Fig. 39). Die Erscheinung kann ich mir nur so erklären, daß die Grundsubstanz, welche früher aus voneinander vollständig abgetrennten Hohlräumchen bestand, nach dem Ausglühen, infolge der Zerstörung eines Teiles der Wabenwände einen mehr schwammigen Charakter angenommen hat. Die Knochenkanälchen können jetzt von den Hohlräumchen der Grundsubstanz nur dort unterschieden werden, wo sie ihrer Länge nach getroffen sind (Fig. 39 *c*, *e Knl*), oder an einigen besonders günstigen Stellen, wo sie dunkler als die Wabenräumchen gefärbt erscheinen (Fig. 39*e Knl*). Das letztere rührt wahrscheinlich davon her, daß die Farbmasse in die Kanälchen leichter als in die Hohlräumchen eindringt. Auf Querschnitten durch solche Kanälchen (Fig. 39 *b*, *Knl*) sieht man, daß ihre Lumina von rosettenartig angeordneten Globuliten umgrenzt sind. Auf Längsschnitten scheinen diese Globuliten beiderseits um das Kanälchen reihenweise zu liegen (Fig. 39*c Knl*), was dem Bilde der Kanälchenscheide, welches wir auf versilberten Schliffen beobachtet haben, vollständig entspricht. Auch das Kanälchenlumen ist daher hier in seinem Verlauf rosenkranzartig eingeschnürt (Fig. 39*c*).

Die Bilder, welche die von mir nach der Methode Broesikes angefertigten Knochenschliffe zeigen, stimmen mit meiner Auffassung ebenfalls gut überein. Es soll jedenfalls bemerkt werden, daß solche Schliffe im allgemeinen ganz undurchsichtig sind, so daß die Struktur der Grundsubstanz nur an einigen besonders dünnen Stellen deutlich hervortritt. Diese Struktur bietet dasselbe, entweder unregelmäßige oder kreuzstreifige, globulitisch-netzige Aussehen, welches wir auch an den normalen und den weiß ausgeglühten Knochen beobachtet haben. Ich finde auch an solchen Präparaten keine Spur von wirklichen, gleichmäßig dicken Fibrillen. Die scheinbaren Streifen bestehen aus reihen-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

weise angeordneten Waben, bzw. Globuliten. Auf Fig. 45 habe ich eine besonders günstige Stelle eines bis zur Bräunung geglühten Schliffes bei stärkerer Vergrößerung in der dem Präparat entsprechenden Farbe abgebildet. Die obere Partie der Figur bietet das Strukturbild bei hoher, die untere dasselbe bei tiefer Einstellung. Aus der Vergleichung dieser beiden Bilder ergibt sich, daß das dunklere und hellere Aussehen der Strukturelemente auf solchen Präparaten nicht durch verschiedene Färbungsintensitäten, sondern durch die ungleiche Lichtbrechung der Wabenhohlräumchen und ihrer Wände verursacht wird. Die globulitisch-wabige Struktur tritt auf meinen braun geglühten Knochenschliffen stellenweise so deutlich hervor, daß mir nichts übrig bleibt, als anzunehmen, daß Broesike die bei höherer Tubuseinstellung dunkel aussehenden Wabenräumchen für Querschnitte und die bei tieferer Einstellung ebenfalls dunklen Globulitenreihen für Längsansichten von Fibrillen gehalten hat.

IV. Untersuchung des entkalkten Knochens.

1. Der erwachsene Knochen.

Die Schnitte durch entkalkten Knochen sind sowohl nach den Erfahrungen einiger früherer Autoren als auch nach meinen eignen zum Studium der feineren Strukturen nur selten geeignet. Durch den beim Schneiden der harten Grundsubstanz ausgeübten Druck des Mikrotommessers wird die Schnittoberfläche gewöhnlich stark beschädigt, was auch für die Untersuchung der weniger beschädigten mittleren Region des Schnittes ein wesentliches Hindernis bildet. Diese Unbequemlichkeit läßt sich durch Anfertigung von sehr dicken Schnitten, wo die mittlere Region unbeschädigt bleibt, vermeiden, auf solchen Schnitten tritt aber die Struktur bei den gewöhnlichen Untersuchungsmethoden nur äußerst undeutlich hervor. Die Struktur der Grundsubstanz wird jedoch ganz klar, sobald man einen dickeren Schnitt in ähnlicher Weise wie einen Schliff behandelt, d. h. nach der von Bütschli (98) für die Untersuchung colloidaler wabig strukturierter Substanzen ermittelten Methode zuerst nach der Überführung in absoluten Alkohol und Xylol rasch austrocknet (im Wärmschrank oder im Vacuum) und ihn hierauf in geschmolzenen Kanadabalsam einschließt. Wenn die Entkalkung des Knochens mit genügender Vorsicht durchgeführt wurde und die Knochensubstanz dabei keine merkliche Quellung erlitt[1], so erscheinen

[1] Ich entkalkte feine Knochenplatten in einer 1%igen Lösung von Salzsäure in 70°igem Alkohol, welche Flüssigkeit jeden Tag oder alle 2 Tage gewechselt wurde. Der Entkalkungsprozeß dauert in der Regel mehrere (bis zu 8—10) Tage.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

die Knochenlamellen gewöhnlich nicht so scharf voneinander abgegrenzt, wie auf den Schliffen durch den normalen Knochen. Diese Erscheinung, welche wir auch auf ausgeglühten Schliffen beobachteten, beruht wohl auf dem Aufhören der chemischen Differenz der beiden Lamellenarten. Im übrigen stimmt die Struktur solcher, in geschmolzenem Kanadabalsam eingeschlossenen Schnitte überein mit der, welche wir schon nach den oben beschriebenen Untersuchungsmethoden am nicht entkalkten Knochen beobachtet haben.

Ein andres Mittel zur Verdeutlichung der Struktur entkalkter Knochenschnitte besteht darin, daß man sie bis zu einem gewissen Grade quellen läßt. Dies erreicht man, wenn man einen 20—30 μ dicken Schnitt nach Befreiung vom Celloidin etwa $1^1/_2$ Stunden lang in destilliertem Wasser auf 100° erhitzt. Dazu gebrauche ich ein offenes Probierröhrchen, welches in ein Wasserbad eingetaucht wird. Die besten Resultate erhielt ich jedoch durch 5 Minuten langes Erhitzen der Schnitte auf dem Wasserbad in 35%iger Essigsäure. Die so behandelten und nachher in Glyzerin eingeschlossenen Schnitte bieten schon bei schwächeren Vergrößerungen ein eigenartiges Aussehen dar (Fig. 30). Die Lamellen treten nun sehr deutlich hervor, ihre Grenzen sind jedoch nicht so scharf wie auf normalen Knochenschliffen. Die vertikalen Kanälchen erscheinen in Form von zarten, um den Havers-schen Kanal (Fig. 30 *Hkn*) radiär angeordneten wellenartig, bzw. schraubig verlaufenden Linien. Dieser Verlauf der Kanälchen rührt jedenfalls von dem Aufquellen der Knochensubstanz her und ist nur bei einem gewissen Grad der Aufquellung deutlich; bei länger fortgesetztem Erhitzen des Schliffes nehmen die Kanälchen wieder einen mehr geradlinigen Verlauf an. Bei stärkerer Vergrößerung tritt auf solchen Schnitten (Fig. 31) die Struktur der Grundsubstanz (*Grs*) neben den Knochenkanälchen (*Knl*) sehr deutlich hervor. Von den Kanälchen erkennt man hier hauptsächlich ihre stärker als die Grundsubstanz brechenden Scheiden. Nur stellenweise findet man in der Mitte der gequollenen Scheiden ein äußerst feines, oft kaum sichtbares Kanälchenlumen. Der Verlauf von vertikalen und horizontalen Kanälchen, ebenso wie die Übergänge der ersteren in die letzteren, lassen sich hier ebenfalls ganz gut wahrnehmen. Ich habe schon früher erwähnt, daß solch gekochte Schnitte zur Beurteilung der Grundsubstanzmenge zwischen den Kanälchen geeignet sind. Zwischen den vertikalen Kanälchen ist die Grundsubstanz gewöhnlich ein bis drei Wabenreihen dick; in den kanälchenreicheren Lamellen, welche hier in Form eines dichten Filzes von Kanälchen erscheinen (Fig. 31 *KnrL*), ist die Grund-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

substanz nur an einigen Stellen als eine Wabenreihe, welche zwei benachbarte Kanälchen trennt, zu beobachten. Die globulitischen Knotenpunkte sind an diesen Waben nicht so auffallend wie auf den nicht entkalkten Schliffen.

Schließlich habe ich auch das Verfahren nachgeprüft, auf welches die früheren Autoren (v. Ebner, 75, Kölliker, 86) den sichersten Beweis der fibrillären Struktur der Knochengrundsubstanz gründeten. Wenn man nämlich die Oberfläche eines entkalkten Knochenstückes mit einem scharfen Skalpell oder besser mit einem Rasiermesser[1] vorsichtig schabt, so bekommt man sehr feine Bruchstücke der organischen Knochensubstanz, die zur Untersuchung der Strukturelemente oft ganz geeignet erscheinen. Daß durch dieses Verfahren die Strukturelemente nicht vollständig zerstört werden, folgt schon daraus, daß man zwischen den Bruchstücken auch schön erhaltene Knochenkörperchen mit fein verzweigten Ausläufern (obgleich nur selten) findet (Fig. 22). Vor dem Schaben empfiehlt es sich, die Knochenstücke mit Eisenhämatoxylin oder mit Blochmannschem Gemisch (0,01%ige Lösung von triphenylrosanilintrisulfosaurem Natrium in gesättigter wässeriger Pikrinsäurelösung) zu färben. Am besten erweist sich dabei das letztgenannte Gemisch, wenn man die Objekte in ihm etwa 24 Stunden liegen läßt.

Betrachtet man das Rißende eines abgeschabten dickeren Fetzens (Fig. 15), so bekommt man den Eindruck von Faserbündeln, welche vom Rande auf kürzere oder längere Strecken entspringen. Schon v. Ebner (76, S. 77) hat beobachtet, daß diese Bündel untereinander verflochten sind, so daß spitzere oder stumpfere rhombische Maschen entstehen, in welchen häufig die Durchschnitte von Knochenkanälchen zu sehen sind. Das Flechtwerk scheint (dem Autor) dadurch bedingt zu sein, »daß die unter spitzen Winkeln gegeneinander gerichteten Bündel gegenseitig Fibrillen austauschen«. Die Netzbilder finde ich auch auf meinen Präparaten sehr oft (Fig. 15), die Maschen der Netze entsprechen aber hier ganz genau den oben beschriebenen Alveolen oder Waben, welche jedoch durch das Schaben zum Teil gedehnt, zum Teil mehr oder weniger zerrissen wurden. Die länglichen Durchschnitte der Knochenkanälchen auf solchen Fetzen (Fig. 15 *Knl*) möchte ich nicht ausschließlich durch den welligen Kanälchenverlauf erklären,

[1] Ich kann der Meinung Broesikes, daß ein stumpfes Skalpell zum Schaben am geeignetsten sei (82, S. 756), durchaus nicht zustimmen. Je schärfer das Instrument ist, desto geringeren Druck braucht man auf die Knochenoberfläche auszuüben, und desto feiner und in ihrer Struktur weniger beschädigt werden die abgeschabten Bruchstücke.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wie das v. Ebner tut, sondern in erster Linie durch die starke mechanische Dehnung beim Schaben, welche den gewöhnlich cylinderförmigen Kanälchen eine bandartige Gestalt verleiht. Die verdickten Knotenpunkte der Netze, welche hier überall vorhanden, obgleich nicht so auffallend stark wie an den Schliffen sind, sprechen entschieden für meine Auffassung. Die Ansicht, daß im vorliegenden Falle eine Verzweigung von Bündeln oder eine Überkreuzung von Fibrillen vorliegt, vermag das regelmäßige Auftreten von Knotenpunkten nicht zu erklären.

An andern sehr feinen, aber weniger beschädigten abgeschabten Fetzchen (Fig. 16) gelang es, die Wabenstruktur mit großer Deutlichkeit zu beobachten. Die dunkelgefärbte Grundsubstanz (*Grs*) war hier von den hellen Knochenkanälchen (*Knl*) durchsetzt. Die Kanälchen scheinen oft durch feine quere Linien in viereckige Abteilungen zerlegt zu werden, welche Erscheinung jedoch höchstwahrscheinlich von den oberhalb bzw. unterhalb der Kanälchen liegenden Waben der Grundsubstanz herrührt.

v. Ebner beschreibt auf solchen Präparaten auch einzeln verlaufende Fibrillen, bemerkt aber dabei, »daß die Isolierung von Fibrillen auf längere Strecken nicht gelingt«, was nach ihm durch eine »eigentümliche Verflechtung der Bündel« verursacht wird (76, S. 77). Zuweilen gelang es auch mir, zwischen den abgeschabten Bruchstückchen längere oder kürzere fibrillenartige Gebilde zu beobachten (Fig. 15, 20, 21). Sie sind aber nie ganz glatt, wie v. Ebner beschreibt, sondern zeigen bei Untersuchung mit den stärksten Vergrößerungen und verengerter Blende knotenförmige Verdickungen (Knotenpunkte), welche entweder rund sind und in gleichen Abständen aufeinander folgen (Fig. 21), oder, an besonders stark gedehnten Fasern (Fig. 15), spindelförmig erscheinen und unregelmäßiger verteilt sind. Diese fibrillenartigen Gebilde entsprechen also vollkommen den oben beschriebenen Mittelwandzügen zwischen zwei Wabenreihen. Nicht selten findet man an den Knotenpunkten sogar Reste der von ihnen entspringenden queren Wabenwände, zuweilen auch ganze allseitig umrandete Waben. Die dunklere Färbung der Hohlräumchen einiger solcher Waben weist darauf hin, daß an ihnen auch die horizontal (d. h. in der Ebene des Objekttisches) liegenden Wabenwände erhalten blieben. Auf Fig. 17—21 sind verschiedenartige Übergänge zwischen solch fibrillenartigen und netzigen Gebilden mit größter Sorgfalt und Treue dargestellt. Was hier den Kanälchenscheiden und was der eigentlichen Grundsubstanz angehört, ist kaum möglich zu unter-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

scheiden. Die wichtige Tatsache ist nur die, daß man überall Netze oder an den scheinbaren Fibrillen wenigstens Knotenpunkte findet, deren Vorhandensein der Annahme einer rein fibrillären Struktur bestimmt widerspricht. Die Möglichkeit, derartige Bilder durch Überkreuzung isolierter Fibrillen erklären zu wollen, womit die Anhänger der Fibrillenlehre sehr freigebig sind, ist völlig ausgeschlossen.

Ähnliche Bilder erhält man auch, wenn man Stückchen des entkalkten Knochens vor dem Schaben mit einer Macerationsflüssigkeit behandelt (Fig. 23). Dies Verfahren bietet jedoch keine Vorteile dar, sondern ist eher nachteilig, da die macerierten Knochenstückchen nicht mehr so fein geschabt werden können.

2. Die Histogenese des Knochens.

Über die Knochenhistogenese finden wir in der neuesten Literatur, wie ich schon in der Einleitung dargelegt habe, viele Angaben, die einander scharf widersprechen. Die Lehre A. Rolletts, nach welcher die leimgebenden Bindegewebsfibrillen »in einer formlosen Substanz, die an der Oberfläche der Zellen durch Umwandlung des Protoplasmas auftritt, durch eine Art ‚Prägung' entstehen«, wird von v. Ebner (06, S. 328) auch für die Zahnbein- und Knochengrundsubstanz angenommen. Flemmings Ansicht dagegen, daß die leimgebenden Fibrillen eine Modifikation der protoplasmatischen Fibrillen von Bindegewebszellen sind, und von letzteren unmittelbar ausgeschieden werden, fand für den Knochen eine gewisse Bestätigung in den Arbeiten Hansens und Studničkas, besonders aber in denen v. Korffs. Nach den Beobachtungen des letzteren Forschers (07) treten im ersten Entwicklungsstadium der Knochenbälkchen nur zahlreiche sich kreuzende Fibrillenbündel ohne färbbare Interfibrillärsubstanz auf. Erst auf einem weiteren Stadium erscheint eine färbbare, homogene, die Fibrillenbündel maskierende Zwischensubstanz, in welche wahrscheinlich die Kalksalze abgelagert werden. Schließlich meint Retterer, daß sich in der Knochengrundsubstanz überhaupt keine Fibrillen entwickeln.

Meine eignen Untersuchungen habe ich am Femur, der Tibia und der Fibula junger Mäuse ausgeführt. Die abgeschnittenen Extremitäten chloroformierter Tiere wurden von der Haut befreit und dann in konzentrierter wässeriger Sublimatlösung, in Hermannscher Flüssigkeit oder in 96%igem Alkohol fixiert. Die Zerlegung dieses Materials in dünne Schnitte (5 μ) gelingt ohne Schwierigkeit nach Einbettung in Paraffin. Zum Färben der Schnittserien leisteten das oben erwähnte

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Blochmannsche Gemisch, ferner die Methoden Mallorys und Hansens die besten Dienste.

Das Wachstum der Röhrenknochen erfolgt, wie bekannt, sowohl der Dicke als auch der Länge nach, so daß man auf einem und demselben Längsschnitt durch jungen Knochen verschiedene Entwicklungsstadien beobachten kann. An der Übergangsstelle der Diaphyse in die Epiphyse oder an der sog. Ossifikationsfurche, wo die erste Anlage des Knochens sich bildet, finde ich stets eine Lage typischer Osteoblasten (Fig. 24 *Ostb*). Es sind dies gewöhnlich längliche Zellen, die etwa senkrecht zur Oberfläche der sich bildenden Knochenmasse orientiert sind. Von den umgebenden Bindegewebszellen (*Bgwz*) unterscheiden sie sich sowohl durch ihre Form als auch durch ihr Verhalten gegen Farbstoffe. Mit Blochmannschem Gemisch nämlich werden die Bindegewebszellen tiefblau, die Osteoblasten dagegen grün. Die beiden Zellarten sind jedoch untereinander durch zahlreiche, zum Teil verästelte Ausläufer verbunden. An diesen feinen Verbindungssträngen kann man ebenfalls verschiedene Tinktionsfähigkeiten beobachten. Die Fortsätze, welche unmittelbar aus den Osteoblasten entspringen, sind zunächst rein grün; bei der Annäherung an die Bindegewebszellen werden sie allmählich blau. Zwischen den cylindrischen, rundlichen oder kolbenförmigen Osteoblasten finden sich gewöhnlich spaltförmige Intercellularräume, welche auch von feinen Zellbrücken durchsetzt werden. Trotz dem großen Unterschiede zwischen den zwei genannten Zellarten muß man wegen der zahlreichen vorhandenen Übergangsformen schließen, daß die Osteoblasten nichts andres als umgewandelte Bindegewebszellen sind. Nach innen von den dicht aneinander geordneten Bindegewebszellen des Periostes findet man hier und da (Fig. 24) einige freier liegende sternförmige Zellen, welche mit den Osteoblasten durch ein dichtes Ausläufernetz verbunden sind. Einige dieser Zellen erscheinen auf meinen Präparaten etwas heller blau als die Bindegewebszellen, die andern, ähnlich den Osteoblasten, grün gefärbt. Die Kerne der Bindegewebszellen sind verschiedenartig abgeplattet, die der Osteoblasten sind rundlich oder oval.

Abgesehen von den oben beschriebenen Zellverbindungen beobachte ich in der Regel noch lange fadenförmige Ausläufer dieser sternförmigen Zellen (Fig. 24 *a*), welche zwischen den Osteoblasten verlaufen und die Bindegewebszellen direkt mit der neugebildeten Knochensubstanz verbinden. Diese Ausläufer, welche an die von v. Korff beschriebenen Fasern einigermaßen erinnern, sind jedoch keine Bindegewebsfibrillen und nehmen keinen Anteil an dem Aufbau der Knochengrundsubstanz;

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

es sind vielmehr Zellausläufer, welche, nachdem sie in den Knochen gelangen, in dessen Kanälchen als Plasmafädchen verlaufen. Eine ähnliche Erscheinung haben wir auch im erwachsenen Knochen kennen gelernt, wo die Kanälchen nicht immer die in zwei benachbarten Lamellen liegenden Knochenzellen verbinden, sondern manchmal auch zwischen zwei weiter voneinander entfernten Zellen verlaufen, d. h. durch mehrere Lamellen vertikal hindurch ziehen. Auf diesem Stadium habe ich zwischen den Osteoblasten keine Spur von collagenen Fibrillen beobachtet, obgleich ich die für leimgebende Substanzen besonders geeigneten Farbstoffe verwendete.

Die der (nach der Methode Blochmanns) blaugefärbten Knochenmasse am nächsten liegenden Osteoblastenenden sind folgendermaßen differenziert. Die grüne Farbe der Osteoblasten geht hier allmählich in eine blaue über. Die in den übrigen Zellregionen undeutliche Plasmastruktur wird hier gestreift-wabig und geht ganz allmählich in die ebenfalls schön wabige Grundsubstanz des Knochens über (Fig. 24). Die Waben erscheinen in der jungen Knochengrundsubstanz stellenweise in vertikalen oder horizontalen Reihen, meistens sind sie jedoch unregelmäßig angeordnet. Hier und da findet man in der dunkelblauen Grundsubstanz hellere strangartige oder rundliche Flecke. Da die Stränge zuweilen von den Osteoblasten entspringen (Fig. 24), halte ich sie für dickere Knochenkanälchen und die rundlichen Flecke für Querschnitte derselben. Auf dem betreffenden Stadium besitzen die Knochenkanälchen noch sehr verschiedene Dicke. Die feinsten von ihnen sind an den mit Blochmannschem Gemisch gefärbten Schnitten nicht erkennbar.

Auf einem Tangentialschnitte durch die Lage der Osteoblasten (Fig. 25) erscheinen die letzteren (*Ostb*) in Form von sternartig verästelten, miteinander zusammenhängenden Zellen und bieten eine große Ähnlichkeit mit Knochenkörperchen dar. Sie stehen jedoch viel näher aneinander, und die Dicke ihrer Ausläufer ist sehr verschieden. Bei einer gewissen Einstellung gelingt es manchmal, zwischen den Osteoblasten, etwas nach innen von ihnen, die wabige Knochengrundsubstanz sichtbar zu machen (Fig. 25 *Grs*). Auf den nach Mallory behandelten Schnitten sind die Osteoblasten mit ihren Ausläufern violett, die Grundsubstanz dagegen ist hellblau gefärbt. Die letztere zeigt auf diesem Stadium, wo sie noch nicht verkalkt ist, einen etwas andern Charakter als auf Schliffen erwachsener Knochen. Obgleich die verdickten Knotenpunkte hier überall vorhanden sind (Fig. 27 *Grs*), erscheinen sie doch nicht so angeschwollen, so daß man hier eher von einer schaumig-wabigen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

als einer globulitisch-wabigen Struktur sprechen kann. Auf einem späteren Entwicklungsstadium, wo die Knochenmasse eine bedeutendere Dicke erreicht hat und wo sie wahrscheinlich schon mit Knochenerden imprägniert wird, sind die Globuliten viel kräftiger ausgebildet. Dieser Umstand bestätigt meine obige Vermutung, daß die Wabenwände vorwiegend aus organischen, ihre Knotenpunkte oder Globuliten vorwiegend aus anorganischen Substanzen bestehen.

Schon auf den ersten Entwicklungsstadien der Knochengrundsubstanz sind, wie gesagt, Züge von reihenweise angeordneten Waben zu beobachten (Fig. 25, 27 *Grs*). In den längsgerichteten Zügen von Wänden zwischen benachbarten Wabenreihen unterschied ich oft feinste, nach der Behandlung mit Blochmannscher Flüssigkeit viel dunkler als die übrigen Wabenwände gefärbte Linien (Fig. 27), welche an die Knochenfibrillen der Autoren lebhaft erinnern. Das sind, meiner Ansicht nach, fibrilläre, manchmal aber auch bandförmige Differenzierungsprodukte in den Wabenwänden. Ihre Dicke variiert in gewissen Grenzen, im allgemeinen sind sie aber äußerst fein, zuweilen sogar mit den stärksten Vergrößerungen kaum wahrnehmbar. Ähnliche Bildungen habe ich vor kurzem auch in der Grundsubstanz des Knorpels beschrieben (08, S. 245—7). Dort war die Erscheinung sehr leicht zu beobachten, weil die collagenen Fibrillen des Knorpels sich in einer aus Chondromucoiden bestehenden Substanz differenzieren, so daß sie bei Anwendung gewisser Farbstoffe als blaue Linien oder Netze in der braunen Grundsubstanz klar hervortreten. In der Knochengrundsubstanz dagegen, welche fast ausschließlich aus Collagen (Osseîn) besteht, scheinen die betreffenden Gebilde durch Verdichtung oder, nach dem Ausdruck von Rollett und v. Ebner, durch eine Art »Prägung« in dem Wabenwerk der Grundsubstanz entstanden zu sein, deshalb sind sie hier nur an der größeren Intensität ihrer Farbe von der Masse des letzteren zu unterscheiden.

Die obige Auffassung stimmt mit der Angabe v. Ebners insofern überein, als die fibrillären Differenzierungen des Knochens, meiner Ansicht nach, sich in der Grundsubstanz sekundär entwickeln. Im Gegensatz zur Lehre des genannten Forschers halte ich jedoch für sicher, daß solche »Knochenfibrillen« nicht in homogener, sondern in einer wabig strukturierten Masse gebildet werden und außerdem, daß sie in der globulitisch-wabigen Knochengrundsubstanz nur eine mehr oder weniger untergeordnete Rolle spielen.

An einer von der Epiphyse etwas weiter entfernten Stelle der Diaphyse, wo die Knochenlage dicker ist, kann man auch das Eindringen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Osteoblasten in die Knochenmasse, d. h. ihre Umwandlung in Knochenzellen verfolgen. Auf Fig. 26 ist eine solche Stelle eines Längsschnittes abgebildet, welcher nach der von Schuberg (03, S. 192—4) zum Nachweis der Zellverbindungen angegebenen Methode (wässerige Dahlialösung mit Essigsäure und darauffolgende Fixierung mit 10%igen Tannin- und 1%igen Brechweinsteinlösungen) gefärbt wurde. Die Osteoblastenausläufer sind hier ganz deutlich (*Knl*); man sieht, wie sie die ganze Lage der neugebildeten Knochengrundsubstanz (*Grs*) bis zum Perichondrium (*Prch*) durchsetzen. Charakteristisch sind die kegelartig ausgebreiteten Enden dieser Ausläufer. Es scheint mir nicht unwahrscheinlich zu sein, daß gerade diese Ausläufer auf den Präparaten Studničkas mit Silber imprägniert und von ihm (07) als Fibrillenkegel beschrieben wurden, eine Vermutung, welche übrigens schon v. Ebner in bezug auf die von v. Korff im Prädentin geschilderten pinselartig ausstrahlenden Fibrillen geäußert hat. v. Ebner hält nämlich (06, S. 306) diese Fibrillen »für Trugfasern, welche durch die reichlichen Fortsätze der jungen Odontoblasten vorgetäuscht werden«.

Die Osteoblasten sind an denjenigen Stellen, wo sie in die Knochenmasse eingehen, viel kleiner geworden (Fig. 26 *Ostb*); sie besitzen jetzt um den Kern nur eine geringe Protoplasmamenge. Ihre cylindrische Gestalt haben sie verloren, und ihre Umrisse sind sehr mannigfaltig geworden. Manchmal wird auch die Gestalt des Kernes entsprechend der der Zelle stark modifiziert. Ich habe an solchen Stellen auch amitotische Kernteilungsfiguren nicht selten beobachtet.

Die Ausläufer der Knochenzellen (Fig. 26 *Knl*) sind auf diesem Stadium noch nicht so gleichmäßig fein wie später. Hier und da erweitern sie sich zu lacunenartigen Ausbreitungen, von welchen die Kanälchen in verschiedenen Richtungen entspringen. Neben den vertikalen Knochenkanälchen begegnet man hier auch schon den horizontalen (Fig. 26 oben) und damit der ersten Andeutung von Knochenlamellen. Die horizontalen Kanälchen verlaufen meistens in einer und derselben Ebene; die Knochenzellen dagegen sind in der Knochenmasse unregelmäßig zerstreut. Daraus wird auch die oben beschriebene Erscheinung verständlich, die nämlich, daß die Zellen des erwachsenen Knochens nicht nur in kanälchenreicheren, sondern auch in kanälchenärmeren Lamellen liegen.

Die Grundsubstanz der nach Schuberg behandelten Knochenschnitte erscheint kaum gefärbt; doch bemerkt man in ihr in diesen Präparaten stellenweise eine ziemlich klar ausgesprochene Wabenstruktur mit oben genannten fibrillären Differenzierungen (Fig. 26 *Grs*).

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Auf den beiden beschriebenen Stadien findet man keine fibrillären, in den Knochen aus dem Bindegewebe eintretenden Elemente. Solche sind aber in einer vom Ende des Röhrenknochens noch weiter gelegenen Region der Diaphyse vorhanden (Fig. 28). Hier sehen wir keine von den übrigen Bindegewebszellen scharf abgesonderte Osteoblastenlage. Die stark abgeplatteten, voneinander durch die dunkel gefärbte Grundsubstanz (*Bgg*) getrennten Bindegewebszellen (*Bgwz*) der äußersten Periostschicht gehen allmählich in die innere Lage der rundlichen, dicht aneinander gepreßten Osteoblasten (*Ostb*) über. Zwischen den letzteren verlaufen stellenweise schief zur Knochenoberfläche gerichtete, dunkelgefärbte Stränge (*Shf*), welche sich oft verzweigen und in die Grundsubstanz der äußeren Periostschicht (*Bgg*) übergehen. Die Dicke dieser Stränge ist sehr verschieden. Die dickeren von ihnen werden gewöhnlich als Sharpeysche Fasern bezeichnet. Die andern sind äußerst fein und oft von den Zellkonturen kaum zu unterscheiden. Diese feinsten Fasern werden bei der Aufnahme in die Knochengrundsubstanz wahrscheinlich zwischen die Wabenreihen eingelagert und erhalten dadurch ein mit den oben beschriebenen fibrillären Differenzierungsprodukten der Wabenwände ähnliches Aussehen. Die Sharpeyschen Fasern und die mit ihnen identischen feineren Fäserchen sind meiner Ansicht nach die einzigen fibrillär gebauten Elemente, welche bei der Entwicklung des Knochens vom Bindegewebe geliefert werden. Ihre Aufnahme geschieht jedoch nur in einer begrenzten Region des Röhrenknochens; sie fehlen, wie gesagt, an der frühesten Knochenanlage, und auch weiter in der Mitte der Diaphyse habe ich sie nur selten beobachtet. Die Eintrittsregion dieser Elemente scheint bei verschiedenen Knochen verschieden umfangreich zu sein. Ich habe wenigstens gefunden, daß sie am Femur einer neugeborenen Maus bedeutend geringere Ausdehnung besitzt als an der Fibula.

Ich glaube, daß es die eben beschriebenen feineren Sharpeyschen Fasern waren, welche v. Korff veranlaßt haben, seine Theorie der Bildung der Knochengrundsubstanz aus den Bindegewebsfibrillen aufzustellen. Auf die Tatsache, daß die von v. Korff beschriebenen Fasern nur an gewissen Stellen des sich bildenden Zahnbeines vorhanden sind, hat schon v. Ebner (06, S. 316) hingewiesen. Auch v. Korff selbst nimmt an (07, S. 521), daß der Eintritt der Fasern in die Knochenbälkchen ein räumlich begrenzter ist. Er bemerkt aber dabei, daß dieser Eintritt gerade an denjenigen Stellen zu beobachten ist, »wo ein ständiges Wachstum der Knochen erfolgen muß«. Bezüglich der von mir untersuchten Compacta des Röhrenknochens kann man jedoch

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

kaum annehmen, daß das Dickenwachstum hier an verschiedenen Stellen verschieden intensiv sein soll. Außerdem haben wir gesehen, daß auch bei der Bildung der ersten Anlage der Knochengrundsubstanz keine Bindegewebsfasern beteiligt sind. Die Rolle der faserigen Bindegewebselemente darf also beim Aufbau der Knochengrundsubstanz als eine nicht wesentliche betrachtet werden.

Über die Struktur der Sharpeyschen Fasern habe ich, wie gesagt, keine speziellen Untersuchungen angestellt. Auf den eben besprochenen, mit Blochmannscher Flüssigkeit gefärbten Schnitten erscheinen jedoch die Querschnitte dieser Fasern (Fig. 28 *Shf*) so bemerkenswert, daß ich sie hier kurz besprechen will. Die gewöhnlich runde oder ovale, manchmal paarig bis gruppenweise angeordneten Querschnitte durch die Fasern erscheinen bei schwächerer Vergrößerung fein punktiert. Stärker vergrößert (Fig. 29 *Shf*), erscheinen aber die einzelnen Punkte miteinander durch feine, zuweilen kaum wahrnehmbare Linien verbunden. Dadurch entsteht das Bild eines Netzes mit verdickten Knotenpunkten, welches an eine wabige Struktur erinnert. Der Charakter des Netzbildes ist jedoch ein solcher, daß er auch als ein rein optischer, bei tiefer Einstellung entstandener gedeutet werden könnte, als das sog. tiefe falsche Netzbild, das Bütschli (98 S. 20) genauer erörtert hat. Diese meine Beobachtung läßt sich vielleicht auch mit folgender Angabe Köllikers in Zusammenhang bringen. Bei der Beschreibung der ausgeglühten Knochenschliffe bemerkt der genannte Forscher, daß an den dickeren Sharpeyschen Fasern »die lufthaltigen Röhrchen nicht immer als Kanälchen erscheinen, sondern auch nicht selten als Reihen lufthaltiger kleinster Vacuolen oder rosenkranzförmig aufgereihter, mit Luft erfüllter kleiner Hohlräume« (86, S. 668).

Abgesehen von den vorher erwähnten Untersuchungsmethoden habe ich einige Knochenschnittserien nach den Vorschriften Hansens mit Pikrinsäurefuchsin-Essigsäure gefärbt. Auch mit Hilfe dieser Methode, welche zum sicheren Nachweis collagener Fibrillen besonders geeignet sein soll, konnte ich meine obigen Beobachtungen nur bestätigen. Fig. 40 stellt einen Teil des nach Hansen gefärbten Querschnittes durch den Femur einer 9 Tage alten *Mus musculus* dar. Die Knochensubstanz ist hier schon stark entwickelt, und die auflösende Tätigkeit von Osteoclasten (*Ostcl*) hat bereits angefangen. Die Außenfläche der Knochenröhre (Fig. 40 links) ist von einer Lage dicht aneinander gepreßter Zellen bedeckt, welche ähnlich den auf Fig. 26 abgebildeten Osteoblasten plattgedrückt erscheinen. Außerhalb dieser Lage befindet sich eine Schicht von stark rot gefärbten, miteinander verflochtenen Binde-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gewebsfasern (*Bgf*). Keine einzige dieser Fasern aber durchbricht die Osteoblastenlage, keine einzige tritt in die Knochensubstanz hinein. Die innere Knochenfläche (Fig. 40 rechts) wird von einer Lage charakteristischer, cylinderförmiger, voneinander durch spaltförmige Intercellularräume getrennter Osteoblasten (*Ostb*) umhüllt. Weder zwischen diesen, noch zwischen den ihnen nächstanliegenden Markzellen (*Bgwz*) finde ich eine Spur collagener Bildungen. Alles ist hier auf meinen Präparaten gleichmäßig gelb gefärbt. Im Markraume des Mausfemurs, ebenso wie in den Haversschen Kanälen der von mir untersuchten, ebenfalls nach der Methode Hansens behandelten Röhrenknochen erwachsener Katzen, sind rot gefärbte leimgebende Fasern überhaupt nur in sehr geringer Menge vorhanden.

Aus den im vorstehenden geschilderten Beobachtungen über die Histogenese des Knochens halte ich mich für berechtigt folgende Schlüsse zu ziehen:

1) Die Knochengrundsubstanz entsteht durch eine Umwandlung des Plasmas der gewöhnlich cylinderförmig ausgezogenen Partien von Osteoblasten.

2) Nachdem die Osteoblasten einen gewissen Teil ihres Plasmas zur Bildung der Grundsubstanz verbraucht haben, beginnt eine zweite äußere Osteoblastenlage Grundsubstanz zu bilden, wodurch die erste Lage von Osteoblasten in Form verästelter Knochenzellen von der Grundsubstanz völlig umhüllt und in sie aufgenommen wird.

3) In die sich bildende Knochensubstanz treten nicht nur die plasmatischen Ausläufer der dem Knochen unmittelbar anliegenden Osteoblasten hinein, sondern auch die der weiter entfernten, zu Osteoblasten noch nicht differenzierten Bindegewebszellen.

4) Die Grundsubstanz des Knochens besitzt von Anfang an eine wabige Struktur, in welcher sich in den bälkchenartigen Zügen zwischen den Wabenreihen feinste fibrillenartige Differenzierungen entwickeln können. Diese zuerst schaumig-wabige Struktur modifiziert sich später zu einer globulitisch-wabigen.

5) Außer den verschieden dicken Sharpeyschen Fasern, welche in gewissen Regionen in großer Zahl in den Knochen eintreten, nehmen keine andern, aus dem Bindegewebe stammenden faserigen Elemente am Aufbau des Knochens teil. Die feinsten Sharpeyschen Fasern werden in der Knochengrundsubstanz zwischen den Wabenreihen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

eingelagert und können nebst den oben erwähnten fibrillenartigen Differenzierungen der Knochengrundsubstanz ein feinfaseriges bzw. fibrilläres Aussehen verleihen.

Triest, im Juni 1908.

Literaturverzeichnis.

92. H. Ambronn, Anleitung zur Benutzung des Polarisationsmikroskops bei histologischen Untersuchungen. Leipzig.

03. S. Awerinzew, Über die Struktur der Kalkschalen mariner Rhizopoden. Diese Zeitschr. Bd. LXXIV.

82. G. Broesike, Über die feinere Struktur des normalen Knochengewebes. Arch. f. mikroskop. Anat. Bd. XXI.

86. — Über die sogenannten Grenzscheiden des Knochenkanalsystems nebst Bemerkungen über die Keratinsubstanzen. Arch. f. mikroskop. Anat. Bd. XXVI.

92. O. Bütschli, Untersuchungen über mikroskopische Schäume und das Protoplasma. Leipzig.

94. — Vorläufiger Bericht über fortgesetzte Untersuchungen an Gerinnungsschäumen, Sphärokristallen und die Struktur von Cellulose- und Chitinmembranen. Verhandl. d. nat.-med. Vereins, Heidelberg. Bd. V.

98. — Untersuchungen über Strukturen insbesondere über Strukturen nichtzelliger Erzeugnisse des Organismus und über ihre Beziehungen zu Strukturen, welche außerhalb des Organismus entstehen. Leipzig.

03. — Interessante Schaumstrukturen von Dextrin- und Gummilösungen. Sitzungsber. d. math.-phys. Kl. d. K. Bayer. Akad. d. Wiss. München. Bd. XXXIII. H. 2.

74. V. v. Ebner, Untersuchungen über das Verhalten des Knochengewebes im polarisierten Lichte. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Math.-Nat. Kl. Bd. LXX. Abt. III.

75. — Über den feineren Bau der Knochensubstanz. Ebenda. Bd. LXXII. Abt. III.

82. — Untersuchungen über die Ursachen der Anisotropie organisierter Substanzen. Leipzig.

87. — Sind die Fibrillen des Knochengewebes verkalkt oder nicht? Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. XXIX.

94. — Über eine optische Reaktion der Bindesubstanzen auf Phenole. Sitzungsbericht d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Math.-nat. Kl. Bd. CIII. Abt. III.

06. — Über die Entwicklung der leimgebenden Fibrillen, insbesondere im Zahnbein. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Math.-naturw. Kl. Bd. CXV. Abt. III.

06. L. Fleischmann, Die Entwicklung der Zahnscheiden; gleichzeitig ein Beitrag zur Entwicklung der Zahnbeingrundsubstanz. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. LXVIII.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

07. L. Fleischmann. Zur Bildung der Zahnbeingrundsubstanz. Archiv für mikrosk. Anat. Bd. LXX.

01. W. Gebhardt, Über funktionell wichtige Anordnungsweisen der gröberen und feineren Bauelemente des Wirbeltierknochens. Arch. f. Entwicklungsmech. Bd. XI, XII.

03. — Auf welche Art der Beanspruchung reagiert der Knochen jeweils mit der Ausbildung einer entsprechenden Architektur. Ebenda. Bd. XVI.

06. — Über funktionell wichtige Anordnungsweisen d. feineren und gröberen Bauelemente des Wirbeltierknochens. Der Bau der Haversschen Lamellensysteme und seine funktionelle Bedeutung. Ebenda. Bd. XX.

07. O. Hammarsten, Lehrbuch der physiologischen Chemie. 6. Aufl. Wiesbaden.

99. F. C. C. Hansen, Über die Genese einiger Bindegewebsgrundsubstanzen. Anat. Anzeiger. Bd. XVI.

86. A. Kölliker, Der feinere Bau des Knochengewebes. Diese Zeitschrift. Bd. XLIV.

89. — Handbuch der Gewebelehre. Leipzig.

06. K. v. Korff, Die Entwicklung der Zahnbeingrundsubstanz der Säugetiere. Arch. f. mikrosk. Anat. Bd. LXVII.

07. — Die Analogie in der Entwicklung der Knochen- und Zahnbeingrundsubstanz der Säugetiere nebst kritischen Bemerkungen über die Osteoblasten- und Odontoblastentheorie. Ebenda. Bd. LXIX.

95. N. Matschinsky, Studien über die Struktur des Knochengewebes. Ebenda. Bd. XLVI.

08. M. Nowikoff, Beobachtungen über die Vermehrung der Knorpelzellen nebst einigen Bemerkungen über die Struktur der »hyalinen« Knorpelgrundsubstanz. Diese Zeitschr. Bd. XC.

75—82. L. Ranvier, Traité technique d'histologie. Paris.

05. Ed. Retterer, Structure et histogenèse de l'os. Journ. Anat. Physiol. Paris. Année XLI.

89. J. Schaffer, Über den feineren Bau fossiler Knochen. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. in Wien. Math.-nat. Kl. Bd. XCVIII. Abt. III.

93. — Die Methodik der histologischen Untersuchung des Knochengewebes. Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie. Bd. X.

03. A. Schuberg, Untersuchungen über Zellverbindungen. Diese Zeitschrift. Bd. LXXIV.

07. A. L. L. Seitz, Vergleichende Studien über den mikroskopischen Knochenbau fossiler und rezenter Reptilien und dessen Bedeutung für das Wachstum und Umbildung des Knochengewebes im allgemeinen. Nova Acta. Abh. d. k. Deutsch. Akad. d. Naturf. Bd. LXXXVII. Nr. 2.

83. H. E. Smith, Enthalten die Knochen Keratin? Zeitschrift f. Biologie. Bd. XIX.

99. A. Spuler, Beitrag zur Histogenese des Mesenchyms. Anat. Anzeiger. Bd. XVI. Ergänzungsheft.

89. O. van der Stricht, Recherches sur la structure de la substance fondamentale du tissu osseux. Archives de Biologie. T. IX.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

06. F. K. Studnička, Über collagene Bindegewebsfibrillen in der Grundsubstanz des Hyalinknorpels, im Dentin und im Knochengewebe. Anat. Anzeiger. Bd. XXIX.

07. — Die radialen Fibrillensysteme bei der Dentinbildung und im entwickelten Dentin der Säugetierzähne. Ebenda. Bd. XXX.

07. H. Triepel, Die Anordnung der Knochenfibrillen in transformierter Spongiosa. Anat. Hefte. Bd. XXXIII.

89—90. P. A. Zachariadès, Recherches sur la structure de l'os normal. Compt. rend. de la Soc. de Biol. Année 1889, p. 207, 245, 597, 632. Année 1890, p. 316.

93. — Note sur la structure de l'os. Zeitschrift f. wiss. Mikroskopie. Bd. X.

06. Ziegler, Studien über die feinere Struktur des Röhrenknochens und dessen Polarisation. Deutsche Zeitschr. f. Chirurgie. Bd. LXXXV.

Erklärung der Abbildungen.

Gemeinsame Bezeichnungen:

Bgf, Bindegewebsfasern;
Bgg, Grundsubstanz des Bindegewebes;
Bgwz, Bindegewebszellen;
Grs, Knochengrundsubstanz;
Hkn, Haversscher Kanal;
KnaL, kanälchenarme Lamelle;
Knl, Knochenkanälchen;
Knlh, horizontal verlaufende Knochenkanälchen;
Knlv, vertikal verlaufende Knochenkanälchen;
KnrL, kanälchenreiche Lamelle;
Knrp, Knorpel;
Knrpz, Knorpelzellen;
Knsch, Knochenkanälchenscheide;
Knz, Knochenkörperchen;
Ostb, Osteoblasten;
Ostcl, Ostoclast;
Pr, Protoplasmareste in den Knochenkanälchen;
Prch, Perichondrium;
Shf, Sharpeysche Fasern.

Tafel I.

Die Figuren aller vier Tafeln sind mit Hilfe des Abbéschen Zeichenapparates (Mikroskop von Zeiss) entworfen.

Fig. 1. Mensch. Femur. Längsschliff in geschmolzenem Kanadabalsam. Apochrom. von Zeiss 2 mm. Apert. 1,30. Kompensationsocul. 12. Vergr. 1950. — Die Knochenlamellen eines Havers schen Systems. Die mit Luft gefüllten Knochenkanälchen sind hoch eingestellt und sehen dunkel aus.

Fig. 2. Mensch. Femur. Querschliff in geschmolzenem Kanadabalsam. Vergr. wie Fig. 1. — Teil eines Havers schen Lamellensystems. Die Knochenkanälchen sind nicht mit Luft gefüllt.

Fig. 3. Mensch. Femur. Tangentialschliff in geschmolzenem Kanadabalsam. Vergr. wie Fig. 1. — Schief getroffene Havers sche Lamellen. Bogenförmige Struktur der Grundsubstanz. Nur wenige Knochenkanälchen sind sichtbar.

Fig. 4, 5. Mensch. Femur. Tangentialschliff in geschmolzenem Kanadabalsam. Vergr. wie Fig. 1. — Die Knochenlamelle ist tangential getroffen. Die

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

mit Luft gefüllten Kanälchen tief eingestellt. — Fig. 4 . Unregelmäßige Wabenstruktur der Knochengrundsubstanz. Fig. 5. Kreuzstreifige Wabenstruktur.

Fig. 6, 7. Mensch. Femur. Tangentialschliff in geschmolzenem Kanadabalsam. Vergr. wie Fig. 1. — Die Knochenkanälchenscheiden sind deutlich sichtbar. — Fig. 6. Kanälchen hoch; Fig. 7. Kanälchen tief eingestellt.

Fig. 8. Mensch. Femur. Längsschliff, weiß ausgeglüht, im Olivenöl. Apochrom. 2 mm. Ocul. 18. Vergr. 2925. — Tangentialschliff durch eine Knochenlamelle hoch eingestellt.

Fig. 9. Mensch. Femur. Längsschliff, weiß ausgeglüht, im Olivenöl. Vergr. wie Fig. 8. — Ein abgesprengtes Stückchen der Knochengrundsubstanz, tief eingestellt.

Fig. 10—14. Mensch. Fibula, weiß ausgeglüht, in einer Reibschale zersplittert, in verdünntem Kanadabalsam eingeschlossen. Vergr. wie Fig. 8. — Globulitisch-wabige Struktur der feinsten Knochenstückchen, sowie einzelne Globulite. — Fig. 10—12 hoch, Fig. 13—14 tief eingestellt.

Fig. 15—22. Mensch. Fibula, entkalkt, mit Blochmannschem Gemisch gefärbt. Die mit einem Rasiermesser abgeschabten Knochenpartien sind in Wasser eingeschlossen. Apochr. 2 mm. Ocul. 18. Vergr. 2925. — Fig. 15—21. Abgerissene Stückchen der Knochengrundsubstanz. Fig. 22. Ein isoliertes Knochenkörperchen mit verästelten Ausläufern.

Fig. 23. Mensch. Fibula, entkalkt, $^1/_2$ Stunde mit Eau de Javelle behandelt. Eisenhämatoxylin nach Heidenhain. Im Glyzerin mit zwei Nadeln zerzupft.

Tafel II.

Fig. 24. Maus (neugebor.). Femur, entkalkt. Längsschnitt etwa 7 μ dick. Sublimat, Boraxkarmin, Blochmannsche Flüssigkeit. Apochrom. 2 mm. Ocul. 8. Vergr. 1300. — Die erste Anlage des Knochens. — Die Bindegewebszellen und die Knochengrundsubstanz sehen blau, die Osteoblasten grün aus. *a*, ein in die Knochengrundsubstanz eintretender Ausläufer der Bindegewebszelle.

Fig. 25. Maus (neugebor.). Femur, entkalkt. Längsschnitt etwa 10 μ dick. Sublimat, Boraxkarmin, Dreifachfärbung nach Mallory. Vergr. wie Fig. 24. — Die Osteoblastenlage ist tangential getroffen.

Fig. 26. Maus (neugebor.). Femur, entkalkt. Längsschnitt etwa 7 μ dick. Sublimat, Dahlia, Tannin, Brechweinstein (nach Schuberg). Vergr. wie Fig. 24.— Das Eintreten von Osteoblasten in die Knochenmasse und der Beginn der Lamellenbildung.

Fig. 27. Maus (neugebor.). Tibia, entkalkt. Tangentialschnitt. Alkohol 96°, Boraxkarmin, Blochmannsche Flüssigkeit. Apochrom. 2 mm. Ocul. 18. Vergr. 2925. — Wabenstruktur der Knochengrundsubstanz mit fibrillären Differenzierungen.

Fig. 28. Maus (neugebor.). Tibia, entkalkt. Querschnitt etwa 5 μ dick. Hermannsche Flüssigkeit, Safranin, Blochmannsche Flüssigkeit. Apochrom. 2 mm. Ocul. 4. Vergr. 650. — Die Sharpeyschen Fasern und deren Eintritt in den Knochen.

Fig. 29. Ein Teil der Fig. 28. Apochrom. 2 mm. Ocul. 18. Vergr. 2925. — Querschnitt durch zwei Sharpeysche Fasern.

Fig. 30. Mensch. Fibula, entkalkt. Ein in 35%iger Essigsäure 5 Minuten lang gekochter und im Glyzerin eingeschlossener Querschnitt. Objektiv von

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Zeiss DD, Ocul. 3. Vergr. 425. — Ein Teil des Haversschen Lamellensystems.

Fig. 31. Ein Teil der Fig. 30. Apochrom. 2 mm. Ocul. 18. Vergr. 2925. — Die Knochenkanälchen sind hoch eingestellt. Die Wabenstruktur der Knochengrundsubstanz ist sehr deutlich.

Tafel III.

Fig. 32. Mensch. Femur, in einer $^1/_2$%igen alkoholischen Fuchsinlösung ausgetrocknet. Tangentialschliff durch eine Haversche Knochenlamelle in verdünnten Kanadabalsam eingeschlossen. Apochrom. 2 mm. Ocul. 8. Vergr. 1300. — Die hoch eingestellten Knochenkanälchen sehen hell aus, die tief eingestellten dunkel.

Fig. 33. Mensch. Fibula, in einer $^1/_2$%igen alkoholischen Fuchsinlösung ausgetrocknet. Querschliff in verdünntem Kanadabalsam. Apochrom. 2 mm. Ocul. 4. Vergr. 650. — Die quer getroffenen Haversschen Knochenlamellen.

Fig. 34, 35. Mensch. Femur, in einer $^1/_2$%igen alkoholischen Fuchsinlösung ausgetrocknet. Tangentialschliff durch die Haversschen Knochenlamellen in verdünntem Kanadabalsam. Apochrom. 2 mm. Ocul. 4. Vergr. 650. — Fig. 34. Hoch eingestellt (eine kanälchenärmere Knochenlamelle mit vertikalen Kanälchen). Fig. 35. Etwa 8 μ tiefer eingestellt (eine kanälchenreichere Knochenlamelle mit vertikalen und horizontalen Kanälchen).

Fig. 36. Mensch. Fibula, entkalkt. Querschnitt. Methylenblau, Pikrinsäurefuchsin-Essigsäure nach Hansen, Kanadabalsam. Apochrom. 2 mm. Ocul. 4. Vergr. 650. — Vier Knochenkörperchen einer Haversschen Lamelle mit ihren Ausläufern.

Fig. 37. Mensch. Femur, in einer $^1/_2$%igen alkoholischen Fuchsinlösung ausgetrocknet. Querschliff in Olivenöl. Apochrom. 2 mm. Ocul. 8. Vergr. 1300. — Teil eines Haversschen Lamellensystems. Nur wenige der Knochenkanälchen sind mit Fuchsin gefüllt.

Fig. 38. Mensch. Fibula, entkalkt. Tangentialschnitt, mit Safranin gefärbt, in 35%iger Kalilauge erwärmt, in verdünnten Glyzerin eingeschlossen. Apochrom. 2 mm. Ocul. 8. Vergr. 1300. — Vier Knochenkörperchen mit ihren Ausläufern.

Fig. 39. Mensch. Fibula, weiß ausgeglüht, in einer $^1/_2$%igen alkoholischen Fuchsinlösung ausgetrocknet, zwischen zwei Objektträgern zerdrückt, in verdünnten Kanadabalsam eingeschlossen. Apochrom. 2 mm. Ocul. 18. Vergr. 2925. — *a*, einzelne Globulite; *b*, *c*, *d*, *e*, sehr feine, aus Globuliten bestehende Stückchen der Knochenmasse.

Fig. 40. Maus (9 Tage alt). Femur, entkalkt. Querschnitt, etwa 10 μ dick. Sublimat, Pikrinsäurefuchsin - Essigsäure nach Hansen. Kanadabalsam. Apochrom. 2 mm. Ocul. 4. Vergr. 650. — Die Knochengrundsubstanz wird hier ausschließlich von Osteoblasten geliefert.

Tafel IV.

Fig. 41. Mensch. Femur. Querschliff, mit Silber imprägniert, in geschmolzenem Kanadabalsam. Apochrom. 2 mm. Ocul. 8. Vergr. 1300. — Ein Teil des Haversschen Lamellensystems. Die Knochenkanälchenscheiden, ebenso wie die Protoplasmareste im Innern der Kanälchen sind dunkel gefärbt.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Fig. 42—43. Teile der Fig. 41. Apochrom. 2 mm. Ocul. 18. Vergr. 2925. — Knochenkanälchen mit ihren Scheiden.

Fig. 44. Mensch. Femur. Querschliff, mit Silber imprägniert, in verdünntem Kanadabalsam. Apochrom. 2 mm. Ocul. 8. Vergr. 1300. — Ein Teil des Haversschen Lamellensystems. Die kanälchenreichen Lamellen sind ebenso dunkel wie die vertikalen Kanälchen gefärbt.

Fig. 45. Mensch. Fibula. Tangentialschliff durch eine Haversche Lamelle, braun geglüht, in verdünntem Kanadabalsam. Apochrom. 2 mm. Ocul. 12. Vergr. 1950. — Die Wabenstruktur der Knochengrundsubstanz; an der oberen Hälfte der Figur hoch, an der unteren tief eingestellt.

Bemerkung zu vorstehender Arbeit von M. Nowikoff

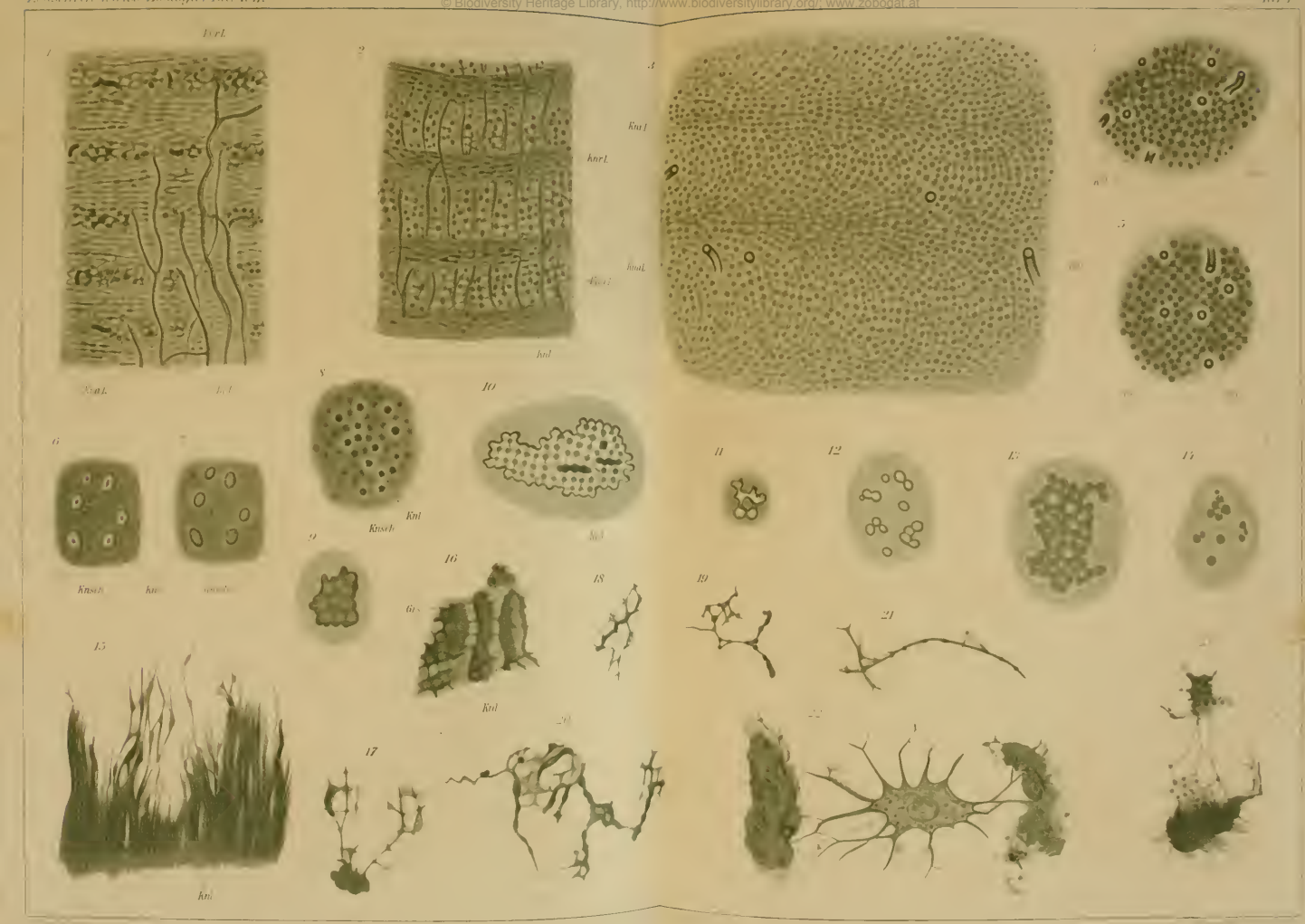
von **O. Bütschli.**

Ich halte es für angezeigt, zur Erläuterung der vorstehenden, zum Teil in meinem Institut und unter meiner tätigen Anteilnahme durchgeführten Untersuchung folgendes zu bemerken.

Vor einigen Jahren hatte ich eine Untersuchung über den feineren Bau der Knochen, insbesondere die Struktur der Grundsubstanz, begonnen, wozu ich ziemlich viel Präparate vom menschlichen Femur und den Schuppen von *Lepidosteus* anfertigte. Die Untersuchung wurde durch anderweitige Beschäftigungen unterbrochen. Da auch keine Aussicht blieb, daß ich sie selbst wieder aufnehmen könnte, war ich Herrn Dr. Nowikoff sehr dankbar, als er sich auf meinen Wunsch bereit erklärte, sich derselben anzunehmen. — Für beide Objekte war ich jedoch durch meine eignen Untersuchungen schon zu der Überzeugung gekommen, daß die Struktur der Grundsubstanz eine globulitisch-wabige sein müsse, was auch Dr. Nowikoff auf breiterer Grundlage bestätigte. Daß ich schon mit dieser Vermutung an die Frage herantrat, wird wohl das Ergebnis nicht beeinträchtigen.

Heidelberg, 13. September 1908.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

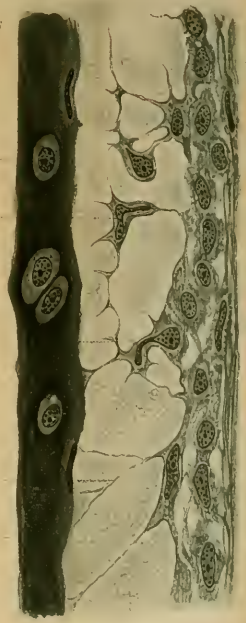


© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

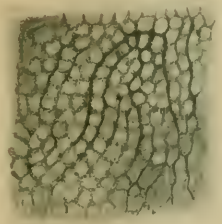
24

25

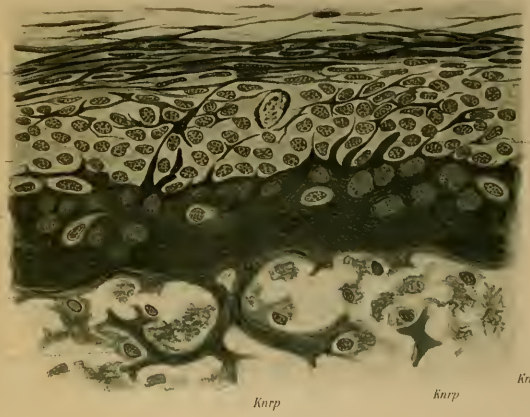
26



27



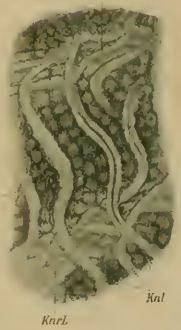
28



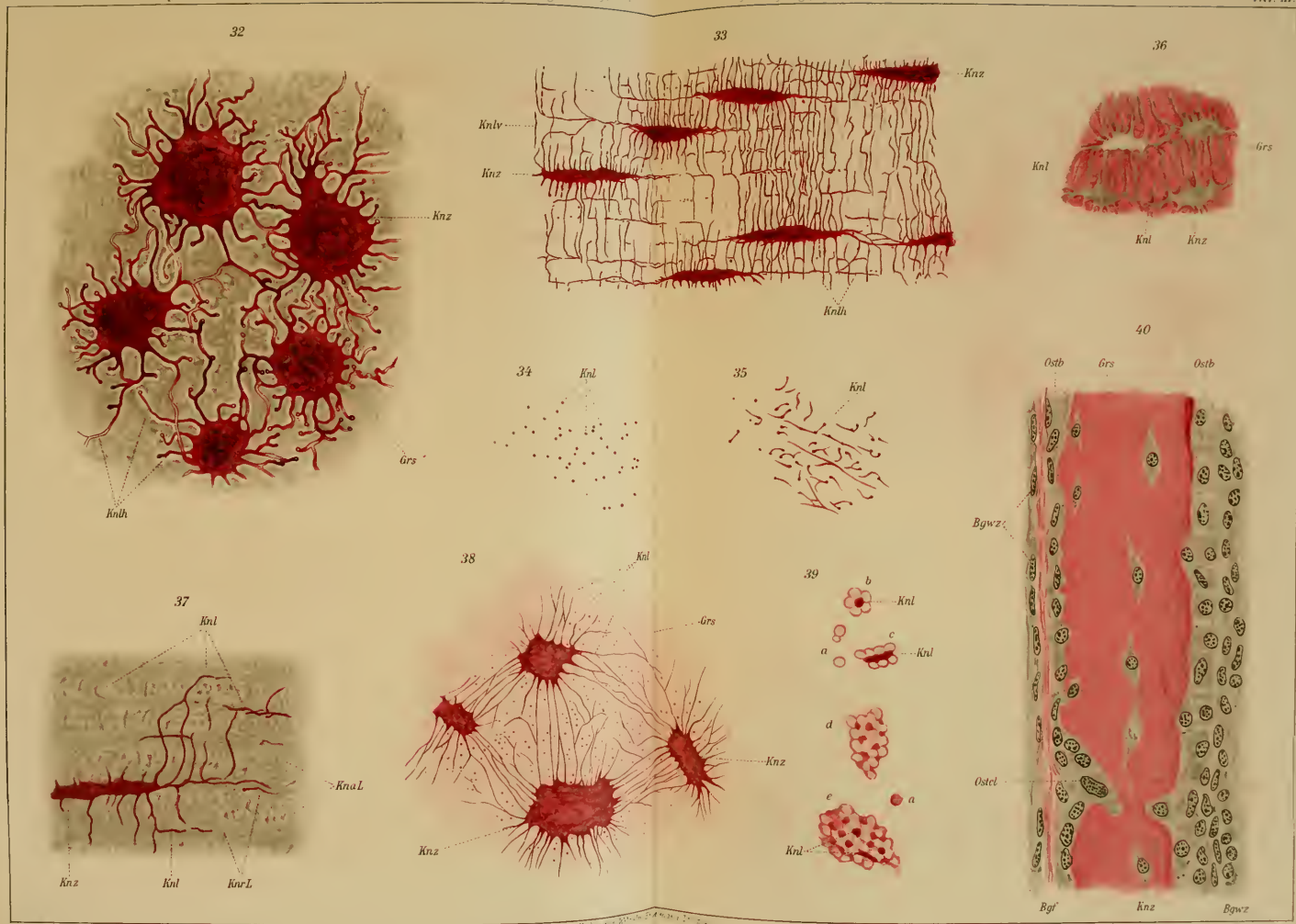
29

30

31

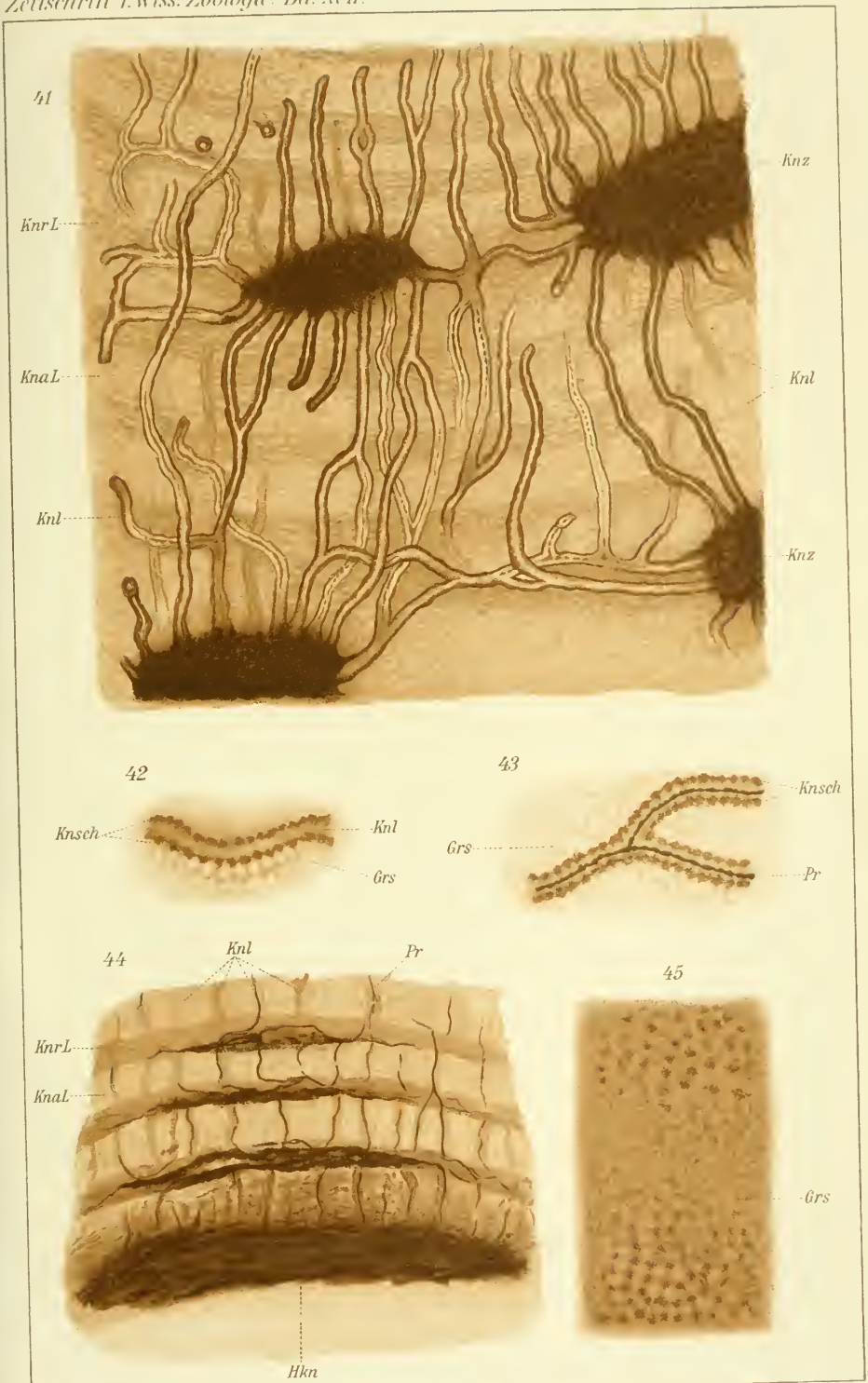


© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at



M. Nowikoff gez.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at



M. Nowakoff gez. Verlag v. Wilhelm Engelmann, Leipzig. Werner & Winter, Frankfurt a/M.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie

Jahr/Year: 1909

Band/Volume: 92

Autor(en)/Author(s): Nowikoff Michael

Artikel/Article: Untersuchungen über die Struktur des Knochens 1-50