AUS DER ENTWICKELUNGSGESCHICHTLICHEN ABTHEILUNG DES ANATOMISCHEN
INSTITUTS DER UNIVERSITÄT Breslau.

DIE
BINDEGEWEBSFIBRILLEN DER ZAHNPULPA
UND
IHRE BEZIEHUNGEN ZUR DENTINBILDUNG.

VON
ARTHUR MASUR,
Breslau.

Mit 12 Figuren auf den Tafeln 18/19.

Die Entwicklung des Zahnbeins ist von jeher ein strittiger Punkt in der Histologie gewesen, und die jeweilig vorherrschenden Ansichten über die Bildung der Grundsubstanzen spiegeln sich in den Arbeiten wieder, die die Histogenese des Zahnbeins behandeln.

Seitdem Waldeyer (22) in einer grundlegenden Arbeit den Nachweis erbracht hatte, dass die Odontoblasten allein die Zahnbildung besorgen, blieb es noch unentschieden und der Gegenstand weiterer Forschung, ob das Zahnbein durch Umwandlung des Protoplasmas der Elfenbeinzellen in Grundsubstanz oder aber durch Ausscheidung aus denselben, durch eine Art Secretionsprozess, gebildet werde. Für die letztere Deutung ist unter anderen auch Koelliker (13) und v. Ebner (5 u. 6) eingetreten, während unter den Vertretern der Umwandlungstheorie in erster Reihe Waldeyer, Walkhoff (23), Morgenstern (18) u. a. zu nennen sind.

Die Entdeckung v. Ebners (3), dass im Zahnbein tangential und mehr senkrecht zu den Odontoblastenausläufern verlaufende collagene Fibrillen vorkommen, stand mit bezug auf die Herkunft der Fibrillen im Widerspruch mit der von Max Schultze und L. Beale u. a. vertretenen Anschauung, dass die Fibrillen der Stützsubstanzen sich in unmittelbarem Anschluss an ihre Bildungszellen bilden. Diese neuere, durch die Arbeiten von Flemming, Reinke, Spuler usw. weiter

ausgebaute Lehre über die celluläre Bildung der Fibrillen führten zu weiteren Arbeiten über die Bildung der Zahnbeingrundsubstanz. In erster Reihe war es C. Hansen (10), der die Fibrillen des Zahnbeins aus einem oberflächlichen Fibrillennetze der Pulpa ableitete, ähnliche Gedanken entwickelten H. Mummery (19) und H. Smith, doch erst durch die Arbeiten von v. Korff gewann die fibrilläre Genese des Zahnbeins erhöhtes Interesse. v. Korff (15, 16) brach mit den bisherigen Anschauungen über den Hauptanteil der Odontoblasten an der Zahnbeinbildung und unterstützte die von ihm vertretene Lehre der fibrillären Dentingenese durch so überzeugende Bilder, dass man schwerlich an Trugbilder glauben konnte. Seine Arbeiten wurden in der Hauptsache von F. K. Studnička (20) bestätigt, der mit Hilfe des Bielschowsky'schen Silberimprägnationsverfahrens zu ähnlichen Resultaten gelangte, und fanden ferner in Guido Fischer und Landois (8) warme Anhänger, die auf Grund ihrer Untersuchungen über die Bildung von harten Neugebilden in der Pulpa, sogen. Dentikeln, den Nachweis erbrachten, dass sich Dentikel auch direkt aus den Fibrillen der Pulpa ohne Beteiligung von Odontoblasten bilden können. Nach beiden Autoren soll die Dentikelbildung nicht nur auf pathologische Reize, sondern auch häufig auf physiologische Vorgänge in der Pulpa zurückzuführen sein.

Die Ergebnisse v. Korffs wurden nicht widerspruchsfrei aufgenommen, und namentlich Disse (1) und v. Ebner traten als Verfechter der alten Lehre von der Bildung des Zahnbeins durch die Odontoblasten auf.

v. Ebner (4) prüfte die Resultate der v. Korffschen Arbeiten eingehend nach. Für v. Ebner handelt es sich dabei gleichzeitig um den prinzipiellen Standpunkt der Genese der leimgebenden Fibrillen überhaupt, denn nach diesem Autor können sich auch leimgebende Fibrillen unabhängig von ihren Bildungszellen entwickeln, also „erst sekundär in einer Sub-

stanz entstehen, welche von den Zellen nach Art einer Cuticularbildung“ abgeschieden wird. Als Stütze für seine Ansicht führt v. Ebner die Bildung der Fibrillen im Zahnbein an, die „ohne nachweisbare Beziehung zu den einzelnen Bildungszellen und deren Protoplasmafäserchen auftreten.“

Wenn auch von Ebner auf Grund seiner Nachprüfung und eigener Untersuchungen die v. Korffschen Resultate nicht bestätigen konnte, die von letzterem gebrachten Bilder zum Teil als Trugbilder deutete, so führten sie ihn doch einen Schritt weiter in der Erkenntnis der Histogenese des Zahnbeins. v. Korff beschreibt an der Basis der embryonalen Zahnpulpa, dort wo sich das innere Schmelzepithel in das äussere umschlägt, und stets die früheste Zahnbeinanlage zu finden ist, zahlreiche radial verlaufende Fibrillen, die aus der Pulpa kommen und unter Auflösung in feinste sich überkreuzende Fäserchen die erste Anlage des Zahnbeins bilden. Diese Fasern hält v. Ebner für reelle Bildungen und nennt sie vorläufig v. Korffsche Fasern, die an der Bildung der Vorstufe des Dentins, des Prädentins, einen wesentlichen Anteil haben, später aber verschwinden und in die reguläre Zahnbeinbildung mit einbezogen werden. Die Fasern sind aber nach v. Ebner nicht leimgebende Fibrillen, die in diesem Stadium der Zahnbeinentwicklung in der Pulpa nicht nachgewiesen werden können, sondern wahrscheinlich die Fortsätze der zahlreichen an der Oberfläche der Pulpa befindlichen Zellen.

Die vorliegende Arbeit soll sich in der Hauptsache damit beschäftigen, die Genese der v. Korffschen Fasern, ihre Beschaffenheit und ihren Zusammenhang mit dem Gewebe der Pulpa festzustellen. Mit Hilfe besonderer Methoden ist es mir gelungen, das fibrilläre Gewebe der Pulpa zur gesonderten Darstellung zu bringen und so zum ersten Male ein übersichtliches Bild über die Anordnung der Fibrillen, ihre Beziehungen zu den fraglichen Gebilden der v. Korffschen Fasern und ihren Anteil an der Dentinbildung zu erhalten.

Dass wir mit unseren besten Bindegewebsfärbungen diese Frage nicht lösen können, hat bereits v. Ebner in seinen Ausführungen gegen v. Korff gezeigt, und ich hatte ebenso bereits in einer früheren Arbeit darauf hingewiesen, dass die faserigen Differenzierungen der Schmelzpulpa sich mit unseren anerkanntesten Bindegewebsfärbungen ebenso wie wirkliche Bindegewebsfibrillen färben lassen (14). Erst mit Hilfe der künstlichen Verdauung in Trypsin und Pankreatin, welche Enzyme bekanntlich alles zellige Gewebe restlos verdauen, war es mir möglich, die komplizierten Bilder, wo es sich um ein Durcheinander von Fäserchen, Zellfortsätzen und Fibrillen handelt, zu entwirren und mit Sicherheit die Entscheidung zu fällen, ob es sich im gegebenen Falle um wirkliche Fibrillen oder Zellfortsätze handelt.

Material und Methoden.

Als Material für meine Untersuchungen dienten mir eine Reihe von Schweinsembryonen, ferner die Zahnpulpen vom neugeborenen und erwachsenen Menschen, vom Rind und Schwein. Die Entkalkung erfolgte entweder nach Schaffer in 5 % wässriger Salpetersäure oder in der v. Ebnerschen Entkalkungsflüssigkeit.

Zur Fixierung erwiesen sich am geeignetsten die Zenger'sche Lösung und der absolute Alkohol. Die fibrillären Strukturen treten besonders scharf an in Alkohol fixierten und nach Mallory gefärbten Objekten hervor.

Von den in Paraffin eingebetteten Objekten wurden möglichst lückenlose Serienschnitte von 5—8 μ Dicke angefertigt und nach der von Mall modifizierten Mallory'schen Methode, nach Hansen oder den von v. Korff angegebenen Methoden gefärbt.

Bezüglich der bei der künstlichen Verdauung zur Anwendung gelangten Methoden verweise ich auf meine früheren Angaben (14).

Um über Verlauf und Anordnung der Fibrillen eine klare Vorstellung zu gewinnen, ist es nötig, den Zahnkeim von seinem ersten Entstehen bis zu dem Auftreten der fibrillären Bildungen zu verfolgen. Die erste Anlage der Zahnpulpa oder des Zahnkeims zeigt sich in einer zunächst diffusen Anhäufung von Rund- und polygonalen Zellen um die schlauchförmige Einsenkung der Zahnleiste in das Mesoderm. Die Zellen liegen in einer anscheinend schleimigen, netzartige oder alveoläre Verbindungen aufweisenden Grundsubstanz und unterscheiden sich vorläufig kaum von denen ihrer Umgebung im Mesoderm (Fig. 1).

Mit der weiteren Ausbildung des schlauchförmigen Schmelzorgans zu einem glockenartigen Gebilde ordnen sich auch die Zellen des Zahnkeims zu einem kugeligen Haufen, der sich in die Glocke des Schmelzorgans einschiebt und über die Ränder desselben ausbreitet.

Gleichzeitig nehmen die Zellen des Mesoderms in der Umgebung der Zahnpapille einen mehr zu ihrer Längsachse gestreckten Verlauf ein, grenzen sich in zwei oder drei Lagen längsgestreckter Zellen gegen das Mesoderm ab und bilden so die erste Anlage des späteren Zahnsäckchens.

Die Zellen der Zahnpapille sind Rund- oder polygonale Zellen mit einem grossen, mehrere Kernkörperchen führenden Kern und entbehren scheinbar des Protoplasmas. Die nackten Zellen liegen in einer jetzt dichter gefügten Grundsubstanz, die sich an der Grenze des Schmelzorgans zu einer homogenen Lage der Basalmembran verdichtet, und berühren sich fast überall mit ihren äusseren Flächen (Schwein 9 cm, Fig. 2).

In einem weiteren Stadium (Fig. 3) erhält die Papille allmählich die charakteristische Zahnform, und man sieht dann

an besonders gut fixierten und nach Mallory gefärbten Präparaten das ganze Gewebe des Zahnkeims von einem feinen Maschenwerk durchsetzt, dessen Öffnungen ungefähr kreisförmig sind und den früheren Zellformen entsprechen. Die Maschen sind in der Mitte des Zahnkeims am grössten, werden nach der Oberfläche desselben kleiner und gehen schliesslich am Rande der Pulpa in arkadenartige vorspringende Linien über, die in einem breiteren von der Grundsubstanz gebildeten Saume verlaufen. Die Maschen hängen überall zusammen und bilden ein feines Netzwerk, in dem die Zellen gewissermassen aufgehängt zu sein scheinen. Wo sich die Zellen der Oberflächenschicht der Pulpa zu den typischen Odontoblasten zu formieren beginnen, sieht man zwischen den sich senkrecht zur Oberfläche der Pulpa reihenweise hintereinander ordnenden kleinen Rundzellen feine radial verlaufende Linien, die nach unten mit dem eben beschriebenen die ganze Pulpa durchsetzenden Maschenwerke verbunden sind, während sie nach oben in dem arkadenartig vorspringenden Maschennetz endigen. Diese feinen radial verlaufenden Linien teilen sich häufig kurz vor ihrer Endigung oder aber gehen als sich konisch ausbreitende oder kreisförmig verlaufende Linien in die äusserste Begrenzung der Maschennetze über.

Es entsteht nun die Frage, wofür dieses Maschenwerk zu halten ist.

Da das Maschennetz an die Stelle der sich mehr zwischen den Zellen verdichtenden Grundsubstanz getreten ist, erscheint es plausibel, die Entstehung des Maschennetzes aus der Grundsubstanz abzuleiten.

Das Maschennetz hängt überall zusammen und ist den Wachstumsveränderungen der Zahnpapille unterworfen. Es lässt sich an nach Mallory gefärbten Präparaten in einem frühen Stadium der embryonalen Papille beobachten, während es später nicht mehr in derselben Isoliertheit zu verfolgen

ist. Man könnte daher annehmen, dass diese feinen Maschen durch den beim weiteren Wachstum erfolgten Zug nach der Tiefe zu Fibrillen ausgesplittert werden, die man in der immer reichlicher auftretenden Grundsubstanz in Präparaten älterer Objekte in grosser Menge auftreten sieht.

Ich gehe nunmehr zur Betrachtung solcher Präparate über, bei denen sich bereits die erste Anlage einer Zahnbeinschicht zeigt.

In der überall zusammenhängenden Grundsubstanz des Zahnkeims eines Schweineembryos von 22 cm Länge findet man zahlreiche Zellen eingelagert (Fig. 4). Dieselben weisen gegenüber den in früheren Stadien vorherrschenden polygonalen Formen auch Spindelzellenformen auf und haben Fortsätze, mit denen sie untereinander in Verbindung treten. Ausserdem sieht man in der Grundsubstanz zahlreiche Fäserchen, teilweise in unmittelbarer Nähe der Zellen und ihrer Verlaufsrichtung folgend, teilweise auch isoliert, und es ist schwer zu entscheiden, ob man es mit Bindegewebsfibrillen oder mit den Fortsätzen von Zellen zu tun hat.

An der Basis des Zahnkeims, am Umschlagsrande des Schmelzepithels, findet man immer die allererste Anlage des Zahnbeins. Unter einem schmalen Saume, den die Grundsubstanz der Pulpa an der Oberfläche bildet, und der gegen das Schmelzepithel durch eine feine, nach Mallory blau gefärbte Linie, die Basalmembran, abgegrenzt ist, sieht man, wie die oberflächlichen Pulpazellen sich hintereinander ordnen, ihre Fortsätze in zur Oberfläche der Pulpa senkrechter Richtung verlängern und sich allmählich zu den typischen Odontoblasten differenzieren. In dieser Region sieht man zahlreiche radial verlaufende Fasern, die an der Basis der Pulpa, wo die oberflächlichen Zellen noch keine Odontoblastenform angenommen haben, in der Grundsubstanz verlaufen und in die Basalmembran übergehen. Diese Fasern entsprechen den in

Fig. 3 gezeichneten, nach der Oberfläche des Zahnkeims radial verlaufenden Linien und sind mit ihnen identisch.

Weiter kronenwärts in der Gegend der sich zu Odontoblasten differenzierenden Palpazellen färben sich diese Fasern intensiver und gehen mittelst einer kegelartigen Verbreiterung in eine sich nach Mallory blau färbende Masse über, die sich von der Basalmembran nicht abhebt, sondern mit ihr verschmilzt und nach der Spitze des Zahnkeims an Dicke zunimmt (Fig. 4). Diese Masse wurde von v. Ebner als „Prädentin“ bezeichnet, und nach dem übereinstimmenden Urteil aller Autoren haben wir es hier sicherlich mit der ersten Anlage des Dentins zu tun. Die Prädentinmasse erscheint an gefärbten Präparaten an ihrer tiefsten Basis homogen und wird weiter kronenwärts in der Region der ersten Odontoblasten von den Fortsätzen derselben durchzogen. Mit der weiteren Ausbildung der Odontoblasten zu breiten cylinder- oder birnenförmigen Zellen rücken sie etwas weiter voneinander, lassen die Grundsubstanz der Pulpa zwischen sich treten und erhalten deutliche Fortsätze, die in die Lücken der nach der Spitze an Höhe zunehmenden Prädentinsubstanz eintreten. Wir haben es hier mit der von Zahnbeinkanälchen durchzogenen Vorstufe des Dentins zu tun. In dieser Region sieht man die radial verlaufenden Fasern der Pulpa sehr selten und auch dann erscheinen sie an gefärbten Präparaten häufig als deutliche Fortsätze der unter den Odontoblasten liegenden Zellen (Fig. 5).

v. Korff (16) schreibt diesen radial und mit einer kegelartig verbreiteten Endigung in die Prädentinsubstanz übergehenden Fasern eine grosse Bedeutung für die Dentinbildung zu. Er hält sie auf Grund von ihm angewandter bestimmter Färbungsmethoden für collagene Fibrillen, die als intercelluläre Bindegewebsfasern oder Stränge oder zu Bündeln vereint die Zwischenräume zwischen den Elfenbeinzellen in stark ge-

schlängelteltem Verlauf durchsetzen, sich zwischen den peripherischen Enden der Odontoblasten in ihre Bestandteile, nämlich allerfeinste Bindegewebsfibrillen auflösen und dann als Radiärfibrillen büschelförmig oder pinselartig nach allen Richtungen bis zur Schmelzmembran ausstrahlen. „Auf diese Weise wird ein der Hauptsache nach von Fibrillen zusammengesetztes filzartiges Gewebe als erste Anlage des Dentins gebildet, dessen Fibrillen jedoch immer in büschelförmiger oder pinselartiger Anordnung bis zu den peripheren Enden der intercellulären Stränge verfolgbar sind.“

Erwin Hoehl (11) hat zuerst Fasern beschrieben, die an der Bildung der dentinogenen Substanz oder des Prädentins (v. Ebner) beteiligt sein sollten. Hoehl äussert sich jedoch nicht über die Natur dieser Fasern und beschreibt sie als glatt, was nur in den untersten Abschnitten der Pulpa zu sehen ist, während sie weiter kronenwärts mehr wellig gewunden erscheinen und den von v. Korff abgebildeten gleichen. Auch Walkhoff (22) bildete in einer Mikrophotographie (Taf. VIII, Fig. 108) Fibrillen ab, die aus der Grundsubstanz der Pulpa kommen und zwischen die Odontoblasten treten; er hielt sie anfangs für Nerven, später jedoch für unverkalkte leimgebende Fibrillen.

v. Ebner hält, wie bereits oben erwähnt worden ist, in einer sehr ausführlichen Arbeit, die sich mit der Genese der v. Korffschen Fasern beschäftigt, diese Fasern teilweise für besondere unter der Einwirkung der zur Fixierung gebrauchten Mittel entstandene Gebilde der Grundsubstanz, zum grossen Teil aber für die Fortsätze der zahlreichen unter den Odontoblasten befindlichen Zellen. Er bestreitet überhaupt auf Grund von Untersuchungen an Isolationspräparaten das Vorkommen von leimgebenden Fibrillen in Zahnkeimen, die sich noch im Zahnsäckchen befinden und hält all die wirr verlaufenden Fäserchen in der Pulpa für Fortsätze von Zellen, „für Protoplasmafäserchen“.

Ich habe dieselben Färbungen wie v. Ebner bei meinen Untersuchungen gebraucht und muss gestehen, dass ich auf Grund der nach Mallory und Hansen gefärbten Präparate und auch solcher, die nach den von v. Korff angegebenen Methoden behandelt worden sind, zu denselben Resultaten wie v. Ebner hätte kommen müssen. Es war mir ebensowenig wie Studnicka (20) geglückt, die eigentümlichen wellig gewundenen collagenen Stränge, die zwischen die Odontoblasten treten und sich an den äusseren Enden derselben pinselartig bis zur Schmelzmembran ausbreiten, an einfach nur gefärbten Präparaten zur Darstellung zu bringen.

Es verhält sich aber anders, wenn man nicht allein gefärbte, sondern in Trypsin und Pankreatin verdaute Schnitte untersucht. Man sieht dann sofort, dass in solchen verdauten Präparaten viele Strukturen zum Vorschein kommen, die unter dem Gewirr von Kernen, Zellen und deren Fortsätzen verborgen liegen, und erhält so zum ersten Male ein klares und deutliches Bild über die Anordnung der fibrillären Strukturen. Ich will nunmehr dasselbe Präparat in Trypsin verdaut und nach Mallory gefärbt betrachten, das vorher meiner Beschreibung der ersten Zahnbeinanlage zugrunde lag. An diesem Präparat kann man die Entwicklung des Zahnkeims beinahe von seinem frühesten Entwicklungsstadium an verfolgen. Der Zahnkeim weist hier drei Höcker auf, die sich in ungleicher Entwicklungsstufe befinden. An dem linken Höcker (Fig. 7) findet man an der Oberfläche der Pulpa noch keine Spur von Zahnbein, wohl aber die Zellen in jener charakteristischen Hintereinanderordnung, die die Umformung dieser Zellen zu Odontoblasten anzeigt, der mittlere Höcker (Fig. 6) entspricht dem oben beschriebenen Stadium der Dentingenese, während der rechte Höcker noch weiter in der Dentinentwicklung vorgeschritten und gleichzeitig gegenüber dem anderen Teile des Präparates mehr tangential vom Schnitt getroffen ist.

Betrachtet man eine solche in Trypsin oder Pankreatin verdaute Pulpa, so erscheint sie wie ein aus unzähligen kleinen Maschen gewebter durchsichtiger Schleier, dessen Maschen überall zusammenhängen und in einer sich nach Mallory hellblau färbenden, feinen durchsichtigen Grundsubstanz schweben (Fig. 7). Die Maschen werden von feinsten Fibrillen gebildet, die bei Pulpen des frühesten Entwicklungsstadiums isoliert (Fig. 7), später aber zu zweien oder mehreren, beinahe parallel zueinander in Zügen verlaufen und die Hohlräume umschliessen, welche vor der Verdauung von den Zellen oder Kernen ausgefüllt wurden (Fig. 8 und 10). In der Mitte der Pulpa sind die Maschenräume kleiner und erscheinen bald kreisförmig, bald polygonal bis zu asymmetrischen Formen, nach der Oberfläche werden sie weiter und weisen mehr unregelmässige quadratische Formen auf, deren Längsdurchmesser weiter ist als der Querdurchmesser. Die zwischen letzteren radial nach der Oberfläche ziehenden Maschen sind länger und stärker als diejenigen in der Mitte der Pulpa, biegen sich an der Oberfläche um und verlieren sich hier in dem von der Grundsubstanz gebildeten feinen Grenzsaume unter Auflösung in feinste sich überkreuzende Fibrillen.

Der Übergang von den kleineren Maschenräumen im Innern der Pulpa zu den grösseren an der Oberfläche erfolgt in der Region der unter den Odontoblasten gelegenen Zellen, wahrscheinlich deshalb, weil hier das ursprünglich überall aus gleich grossen Maschenräumen zusammengesetzte Gewebe der Pulpa durch Differenzierung der kleinen Pulpazellen zu den grossen Odontoblasten eine Veränderung erfährt. Die Maschenräume werden grösser, indem sie sich den Formen der Odontoblasten anpassen, die sie umgebenden Maschen werden zusammengedrängt und durch den beim Wachstum des Zahnkeimes nach der Tiefe gerichteten Zug gleichzeitig nach unten gezogen.

Bevor sich die Odontoblasten zu den typischen breiten

cylindrischen oder Birnenformen differenziert haben, liegen sie im Bereiche der ganzen Pulpaoberfläche als schmale spindelförmige oder schwächliche cylinderförmige Zellen dicht gedrängt nebeneinander und senden ihre Fortsätze in zur Pulpaoberfläche senkrechter Richtung in die über ihnen befindliche Grundsubstanz. Die Form und Lagerung dieser von Hoehl als „Primärodontoblasten“ bezeichneten Zellen spiegelt sich auch im Bereiche des rechten Höckers des verdauten Zahnkeims wieder, an dessen Oberfläche, wie erwähnt wurde, noch keine Spur einer Zahnbeinschicht zu finden ist. Die radial nach der Oberfläche ziehenden Maschen sind hier aus feinen Fibrillen zusammengesetzt. Sie färben sich nach Mallory schwach blau, haben einen ungleich dicken Durchmesser, erscheinen fein gekörnt und können vorläufig nicht als collagene Fibrillen bezeichnet werden (Fig. 7). Wo, wie an dem mittleren Teil des Zahnkeims, bereits eine Zahnbeinschicht an der Oberfläche vorhanden ist, wird das oberflächliche Maschennetz noch wesentlicher verändert. In den untersten Abschnitten der Pulpa, wo man vorher an dem unverdauten Präparat die vielen v. Korffschen Fasern beobachten konnte, sieht man an der Oberfläche zahlreiche Fasern in unmittelbarem Zusammenhange mit dem die ganze Pulpa durchziehenden Maschennetz (Fig. 6). Sie verlaufen radial zur Pulpaoberfläche und enden hier in einer, die letztere überziehenden, tief blau gefärbten Linie, die kronenwärts an Dicke zunimmt. In kurzen Abständen von ihnen sieht man noch dickere, schraubenförmig gewundene Fasern, die ebenso wie die ersteren parallel zu einander verlaufen, keine Verästelungen aufweisen und sich nach Mallory intensiv blau färben.

Noch höher kronenwärts folgen ihnen eben solche Fasern, die nach der Oberfläche in eine kegelartige Verbreiterung übergehen, die sich deutlich aus einzelnen Fibrillen zusammensetzt und am Rande in die Prädentinsubstanz übergeht. Auch diese

Fasern entsprechen den vorher beschriebenen v. Korffschen Fasern, nur dass die Kegel an gefärbten Präparaten homogen erscheinen, während sie sich in Wirklichkeit aus deutlichen Fibrillen zusammensetzen. Weiter nach oben in dem Bereiche der grossen Odontoblasten und unterhalb der ersten von Kanälchen durchzogenen breiten Dentinschicht konnte ich an diesem Präparate keine Fasern sehen, die den v. Korff abgebildeten gleichen. Es ist möglich, dass sie bei dem Verdauungsprozess ausgefallen sind, da sich das Zahnbein hier in grösserer Entfernung von der Pulpaoberfläche abgehoben hat. Aber auch bei dem dritten, mehr tangential getroffenen Höcker dieses Präparates, bei dem die Zahnbeinschicht noch dicker und in direktem Zusammenhange mit der Pulpaoberfläche geblieben ist, konnte ich die v. Korff an dieser Stelle beschriebenen collagenen Stränge und Faserbündel nicht beobachten. Sie spielen daher, wie es auch v. Ebner annimmt, wahrscheinlich nur bei der Prädentinbildung eine Rolle. Dagegen konnte ich die v. Korff dargestellten, zwischen den Odontoblasten verlaufenden Stränge an einem anderen Präparat deutlich sehen, das wahrscheinlich einem früheren Entwicklungsstadium angehört. Es handelt sich hier um die Pulpa von einem neugeborenen Kinde, die in Pankreatin und in Trypsin verdaut wurde. Bei diesem Präparat kommt das fibrilläre Maschenwerk noch viel deutlicher als bei früheren Präparaten zur Darstellung, weil es durch die ihm ersparten Prozeduren der Entkalkung für Farbstoffe empfänglicher ist und auch sonst weniger verändert wurde (Fig. 9). Hier sieht man im ganzen Bereiche der Pulpaoberfläche an radialen Längsschnitten direkte Stränge oder Fibrillenbündel zwischen die Odontoblasten treten und sich an den peripherischen Enden derselben beinahe rechtwinkelig umlegen und unter Auflösung in feinste Fibrillen mit den benachbarten Fibrillen zu einem Geflecht vereinigen, das die Odontoblastenausläufer umgibt. Nach unten gehen die dickeren

Stränge in feinere Fibrillenzüge über, die ihrerseits mit dem durch die ganze Pulpa verbreiteten Maschennetz verbunden sind. Die oberflächlichsten unter den Odontoblasten befindlichen Maschen verlaufen entsprechend den hier mehr parallel zur Pulpaoberfläche gerichteten Zellen und setzen sich aus deutlichen Fibrillen zusammen. Letztere verlaufen in peripherischen Schichten um die Zellen und man sieht deutlich, wie neben diesen feinen Fibrillen durch Verdichtung stärkere, sich nach Mallory tief blau färbende entstehen (Fig. 10).

Es ist auffallend, dass die dicken Faserbündel unterhalb der Odontoblastschicht in feinere, schräg zur Pulpaoberfläche gerichtete Fibrillenbündel übergehen, was dafür zu sprechen scheint, dass sich die Fasern nicht aus der Pulpa vorschieben, sondern an Ort und Stelle entstanden sind, und durch das nach der Tiefe gerichtete Wachstum der Pulpa mitgezogen werden.

Weil (23) hat bereits unter den Odontoblasten eine zellenlose aus zahlreichen schräg zur Pulpaoberfläche gerichteten feinsten Fibrillen gebildete Zone beschrieben und lässt die Fibrillen aus den Basalfortsätzen der Odontoblasten hervorgehen.

Aus meinen Präparaten geht es unzweifelhaft hervor, dass die Fortsätze der Odontoblasten zum geringeren Teile an der Bildung dieser Zone beteiligt sind, wohl aber jene eben erwähnten feineren Fibrillenbündel, die in Verbindung zwischen den stärkeren zwischen die Odontoblasten ziehenden collagenen Stränge v. Korffs und dem fibrillären Masschennetz herstellen. Ausserdem findet man in der Weilschen Schicht die Endverzweigungen von Capillaren und Nerven.

Wo der Schnitt nicht senkrecht, sondern mehr tangential zu den zwischen die Odontoblasten tretenden Fibrillenbündeln verläuft, erscheinen die Fibrillenbündel als weites Maschennetz, das die Körper der Odontoblasten umgibt.

Es ist auffallend, dass an allen in Trypsin und Pankreatin verdauten Präparaten sämtliche Zellen und Kerne der Pulpa restlos verdaut werden bis auf die Odontoblasten. Diese bleiben, sobald sie vollkommen entwickelt sind, unverdaut als sich blau färbende Massen zwischen dem fibrillären Maschennetz erhalten und stellen also gegenüber noch unentwickelten Odontoblastenformen und den anderen Zellen der Pulpa eine Besonderheit dar.

Es entsteht nun die Frage, ob man die unzähligen feinen, das Maschennetz der Pulpa bildenden Fibrillen für collagene Fibrillen oder für einfache Plasmafäserchen halten soll. v. Ebner (4) sieht als Kriterium für die leimgebende Fibrille an, dass sie stets glatt und unverzweigt sei, wenn er auch zugibt, dass auch dort, wo echte leimgebende Fibrillen sicher vorkommen und auch chemisch nachweisbar sind, diese häufig feine Geflechte bilden. Hansen hält es dagegen nicht für ausgeschlossen, dass sich Bindegewebsfibrillen im ausgewachsenen Zustande verästeln können.

Auf Grund ihres auf lange Strecken zu verfolgenden Verlaufes, ihres ziemlich gleichmässigen Durchmessers, ihrer Unabhängigkeit von den Fortsätzen von Zellen, ihrer Unverdaulichkeit in Trypsin und Pankreatin halte ich die Fibrillen für Bindegewebsfibrillen und möchte sie in Übereinstimmung mit Studnička (20) als „präcollagen“ bezeichnen. Als weiteren Beweis dafür, dass es sich um Bindegewebsfibrillen handelt, führe ich ihr Verhalten bei der künstlichen Verdauung in Pepsin und Papayotin an. Von diesen Enzymen wird das fibrilläre Maschenwerk der Pulpa vollkommen verdaut, während die Zellen mit ihren Fortsätzen erhalten bleiben.

Dass aus diesen präcollagenen Fibrillen, vielleicht durch Verschmelzung mehrerer feinerer zu einer dickeren Fibrille, collagene entstehen, kann man besonders schön an den v. Korffschen Fasern erkennen. Dieselben färben sich gegen-

über dem schwach blau tingierten fibrillären Maschennetz tief blau und verhalten sich färberisch und morphologisch ebenso wie die zweifellos collagenen Fibrillen des Zahnsäckchens oder der Gefäßshäute in der Pulpa.

Dass es v. Ebner nicht gelungen ist, diese v. Korffschen Fasern isoliert darzustellen, mag darin seinen Grund haben, dass sie innig mit dem präcollagenen Maschennetz der Pulpa, dessen Teile sie ja sind, zusammenhängen und wahrscheinlich durch Einwirkung eines von den oberflächlichen Pulpazellen ausgeschiedenen Secretes stark hyalinisiert werden. Die oberflächlichen Partien sowohl der embryonalen als auch der erwachsenen Pulpa erscheinen gegenüber dem mittleren Teile an nach den üblichen Methoden behandelten Präparaten wie durchscheinend und lassen die wirklichen fibrillären Strukturen nicht zum Vorschein kommen. Man kann sich davon an menschlichen Pulpen Erwachsener, noch schöner aber an der Pulpa der Rinderzähne überzeugen. Betrachtet man den Längsschnitt einer nach Mallory gefärbten Rinderpulpa (Fig. 11), so erscheint die Grundsubstanz mit ihren zahlreichen Zellen und feinsten Fäserchen wie durchscheinend, die unter den Odontoblasten gelegene Weilsche Schicht beinahe strukturlos. Dasselbe Präparat in Trypsin verdaut und nach Mallory gefärbt ist kaum wieder zu erkennen. Man sieht von der Wurzel nach der Krone dichte collagene Fibrillenbündel ziehen (Fig. 12). Die Fibrillen färben sich tief blau, sind wellig gewunden und ziehen in paralleler Richtung zueinander bis zu der Weilschen Schicht, in der sie sich als feinere und schwächer gefärbte Fibrillen fortsetzen und bis an die Odontoblastenanlage verfolgen lassen.

Die Frage der Histogenese des Zahnbeins ist auch durch Feststellung der collagenen bzw. präcollagenen Natur der v. Korffschen Fasern noch nicht als gelöst anzusehen, so lange es nicht gelungen ist, die starken zwischen den Odonto-

blasten verlaufenden Stränge v. Korffs in unmittelbarem Zusammenhange mit der Dentinanlage nachzuweisen. Es war mir dies ebensowenig an gefärbten noch an verdauten Präparaten möglich. Auch Studnička konnte die eben erwähnten Fibrillenbündel und Faserstränge nicht in Verbindung mit der der Pulpaoberfläche zugewandten Dentinschicht zur Darstellung bringen, bildet sie aber in den oberflächlichen Partien des fertigen Dentins ab. Aus dem Umstande aber, dass die pinselartigen Ausstrahlungen der von Studnička hier abgebildeten Stränge nur mit der oberflächlichen Dentinschicht in Verbindung stehen, während die dickeren Stränge und Fibrillenbündel in den tieferen Schichten wie abgerissen endigen und keinen Zusammenhang mit den v. Ebnerschen Fibrillen im Dentin aufweisen, muss man vorläufig zu dem Schlusse kommen, dass die von v. Korff abgebildeten Fibrillen und intercellulären Stränge nur an der Bildung des Prädentins beteiligt sind und später nach Ansicht v. Ebners in die reguläre Dentinbildung mit einbezogen werden, welche im wesentlichen von den Odontoblasten besorgt wird.

Die auffallende Erscheinung, dass die Odontoblasten bei der künstlichen Verdauung in Trypsin und Pankreatin nicht verdaut werden, lässt vermuten, dass in ihrem Plasma dem Collagen verwandte Stoffe vorhanden sind, die zur Bildung der Grundsubstanzen gebraucht werden. Ob die v. Ebnerschen Fibrillen des fertigen Dentins sich erst nachträglich in der von den Odontoblasten abgeschiedenen oder abgetrennten Substanz bilden oder ob sie sich bereits primär als feinste collagene Fäserchen ablösen, konnte auch durch die Verdauungsmethode nicht festgestellt werden. Meine Beobachtungen sprechen jedoch dafür, dass die Bildung der Fibrillen direkt oder indirekt an das Protoplasma der Odontoblasten geknüpft ist. Auch der mehr tangential zu den Fortsätzen der Odontoblasten gerichtete Verlauf der Zahnbeinfibrillen schliesst ihre

celluläre Bildung nicht aus, auch wenn man der Dentinegenese die Ergebnisse der v. Ebnerschen Untersuchungen zugrunde legt. Nach diesem Autor (5) bilden die Elfenbeinzellen an ihrer Oberfläche und an den sich berührenden Seitenflächen eine nicht fibrilläre Substanz, die zu einer gemeinsamen Masse zusammenfließt. Das Dentin entsteht also „auf Kosten der Odontoblasten wahrscheinlich dadurch, dass die Plasmafäden an der Oberfläche zu einer chemisch dem Collagen nahestehenden Substanz, die zunächst nicht fibrillär ist, zerfließt“. v. Ebner (4) neigt jedoch mehr der Ansicht zu, dass die Odontoblastenausläufer an ihren äusseren und seitlichen Enden zunächst eine homogene Substanz secernieren, denn das zuerst gebildete Dentin erscheint nach ihm „wie ein Ausguss der Zwischenräume zwischen den äusseren Enden der Dentinzellen“. Disse (2) hingegen, der in neuester Zeit die Zahnbeinbildung eingehend untersuchte und eine bestimmte Analogie mit der Knochenbildung feststellte, ist der Ansicht, dass das Zahnbein ebenso wie das Knochengewebe ungewandeltes Zellprotoplasma, hier der Odontoblasten, dort der Osteoblasten sei. „Die Bildung des Dentins wird dadurch eingeleitet, dass die Dentinzellen einen homogenen, nach aussen gekehrten Abschnitt ausbilden, der dem Schmelzorgane anliegt. Dieser Abschnitt wird glasartig durchsichtig, besitzt keine deutliche Struktur, nimmt an Durchmesser gegenüber dem protoplasmatisch bleibenden Abschnitte der Zellen zu und tritt mit den gleichartig veränderten äusseren Abschnitten der benachbarten Dentinzellen in innige Berührung. Dann fliessen die in Verbindung stehenden Enden der homogenen Abschnitte an der inneren Grenze des Schmelzorgans zu einer einzigen Lage zusammen. Diese Lage, hervorgegangen aus dem in bestimmter Weise veränderten Protoplasma der Dentinzellen, trennt sich von den Dentinzellen ab und wird zu Dentin.“ Zuvor aber erfährt nach Disse diese Lage weitere Verände-

rungen, wird körnig und somit zu einer Substanz, die man als „Prädentin“ bezeichnen muss, in der sich zuerst der letzte protoplasmatisch gebliebene Rest der Dentinzellen als Zahnfaser deutlich abhebt. Erst nachträglich treten in dieser körnigen Prädentinsubstanz deutliche leimgebende Fibrillen und die widerstandsfähigen Wandungen der Zahnkanälchen auf. Wir haben es also mit einer Grundsubstanz zu tun, die nur aus umgewandeltem Zellprotoplasma gebildet ist und daher wie dieses zu allen physiologischen Modifizierungen lebenden Protoplasmas befähigt ist.

Diese kehrt also auf Grund seiner eigenen Untersuchungen zu der von Waldeyer im Jahre 1865 vertretenen Anschauung über die Dentingenese zurück, nach der sich ein Teil des Protoplasmas der Elfenbeinzellen in leimgebende Substanz unter nachträglicher Verkalkung verwandelt.

Das Studium der Zahnbeinentwicklung wird meiner Ansicht nach dadurch erschwert, dass man die erste Anlage einer Zahnbeinschicht konform den sich Schicht für Schicht anbildenden Dentinlagen setzt und dafür sogar ein und dieselbe Bezeichnung, nämlich „Prädentin“, gewählt hat. Ich betrachte als Prädentin die allererste Anlage des Dentins, nicht die jedesmal sich neu anbildende Dentinlage unter einer bereits gebildeten und verkalkten Dentinschicht. Dieses Prädentin findet man daher nur an der äussersten Oberfläche des Dentins und, so lange der Zahn wächst, an der Umschlagstelle des Schmelzorgans in den basalen Partien des Zahnkeims. Das Prädentin geht aus einer Umwandlung der oberflächlichsten Lage der Pulpa hervor und entsteht zu einer Zeit, wo sich die Odontoblasten unter einem breiten Grenzsaum der Pulpa erst zu differenzieren beginnen. Die Grenzlage des Zahnkeims besteht aber zu dieser Zeit nicht allein aus homogener Grundsubstanz, sondern weist, wie ich festgestellt habe, bestimmt angeordnete faserige Differenzierung auf, von denen einige als collagene oder präcollagene Fasern angesprochen werden müssen.

Das ehemalige Prädentin bewahrt auch im fertigen Dentin seine besondere Struktureigentümlichkeit, indem die oberflächlichste Lage des Dentins neben anderen unregelmässig verlaufenden Faserungen auch deutliche radiäre und Schrägfaserungen aufweist. v. Ebner (7) selbst gibt diese Tatsache in seiner letzten Arbeit zu, ohne jedoch daraus den Schluss abzuleiten, dass die älteste Bildung des Zahnbeins auf andere Weise erfolgen müsste, als die sich später anbildenden Dentinlagen. Das Prädentin entspricht in seinem Bau genau der oberhalb der Odontoblasten befindlichen Grundsubstanz, es bildet, so lange die Elfenbeinzellen noch nicht vollkommen entwickelt sind, einen schmalen, homögen gefärbten Saum der Grundsubstanz, der mit der Basalmembran des Schmelzepithels verschmilzt. Mit der weiteren Ausbildung der Elfenbeinzellen zu grossen cylindrischen Zellen mit breiten und langen Fortsätzen wird die Grundsubstanz an der Oberfläche der Pulpa weiter von derjenigen unterhalb der Odontoblasten getrennt und die Verbindung nur durch schmale sich nach unten spitz kegelförmig ausziehende Reste der Grundsubstanz erhalten. Das Prädentin erscheint dann an gefärbten Präparaten entsprechend dieser umgestalteten Grundsubstanz als eine homogen gefärbte Masse mit nach einwärts gerichteten spitzwinkligen Vorsprüngen, die nur selten eine Verbindung mit der darunter befindlichen Grundsubstanz erkennen lassen (Fig. 4). In die Nischen, die von den Vorsprüngen der Prädentinmasse gebildet werden, erstrecken sich die Fortsätze der Elfenbeinzellen und gehen hier und da am Rande in die Prädentinmasse über. Es ist natürlich nicht ausgeschlossen, vielmehr eher anzunehmen, dass auch die Fortsätze der Odontoblasten zur Bildung der Prädentinmasse beitragen oder die zu ihrer Erhärtung notwendigen Stoffe liefern, da sie sich färberisch nicht von dem Dentin unterscheiden. Erst an verdauten Präparaten sieht man deutlich, dass diese kegelförmigen Vorsprünge eine deutliche

fibrilläre Struktur besitzen und mit dem durch die ganze Pulpa ziehenden Maschenwerk verbunden sind. Es ist anzunehmen, wie bereits erwähnt wurde, dass die Elfenbeinzellen ein Secret ausscheiden, das die Grundsubstanz hyalinisiert und die fibrillären Strukturen maskiert. Bei der weiteren Dentinbildung rücken die Elfenbeinzellen immer weiter von der Pulpaoberfläche ab und sind von dieser durch ein deutlich sichtbares Häutchen, das in Längsschnitten die Fortsätze der Odontoblasten als doppelkonturierte Linie oberhalb derjenigen Stelle durchsetzt, an der sich die Körper zu ihren Fortsätzen verjüngen.

Dieses Häutchen ist von Leo Fleischmann (9) im embryonalen Zahnbein beschrieben worden und vermöge seiner gegen starke Säuren und Alkalien widerstandsfähigen Natur und seines sonstigen Verhaltens für identisch erklärt worden mit dem von Koelliker (12) im ausgebildeten Zahnbein beschriebenen Grenzhäutchen der Pulpa, das die Anfänge der Zahnbeinröhrchen verbindet. Ich kann die Beobachtung Fleischmanns aus eigenen Präparaten bestätigen. Das Koellikersche Häutchen grenzt die Zahnbeinlage scharf gegen die Grundsubstanz der Pulpa ab, und ein Übergang von Fibrillen aus der Pulpa ist, sobald das Stadium der allerersten Zahnbeinanlage, des Prädentins, überschritten ist, bei der weiteren Dentinbildung nur selten wahrzunehmen, und auch dann handelt es sich meist um Fortsätze der vom Schnitt nicht getroffenen, tiefer gelegenen Körper der Elfenbeinzellen.

Das Prädentin bildet eine nach einwärts höckerartig vorspringende Linie und unterscheidet sich dadurch von den späteren Zahnbeinlagen, die stets eine glatte Begrenzung nach der Pulpa haben. Das Prädentin hat wahrscheinlich, wie das auch v. Ebner annimmt, die Aufgabe, für die Fortsätze der Odontoblasten als festes Widerlager zu dienen, während diese auf dem Wege der Umwandlung oder der Secretion — eine

Frage, die ich an dieser Stelle nicht entscheiden möchte — die Zahnbeinbildung aufnehmen.

Diese Zeilen waren bereits niedergeschrieben, als eine Arbeit von Merkel, „Betrachtung über die Entwicklung des Bindegewebes“, erschien. Meine Beobachtungen über die Entwicklung der Bindegewebsfibrillen in der Zahnpulpa decken sich fast vollkommen mit den von Merkel entwickelten Ansichten über die Entstehung der Bindegewebsfibrillen und besonders der collagenen Fasern aus einem sehr zarten Faser-netz in der Gallerte. „Die Faserstruktur tritt in der Gallerte meist als ein indifferentes, sehr zartes Netz in die Erscheinung, welches erst in der Folge durch Zerreißen der weniger beanspruchten Fäden zu glatten und unverzweigten Fasern umgewandelt wird.“ Diesen Satz könnte man unter Zugrundelegung der Entstehung der v. Korffschen Fasern an der Oberfläche des Zahnkeims noch dahin erweitern, dass collagene Fasern auch durch Verdichtung von Fäden des Netzwerkes unter gleichzeitiger mechanischer Beanspruchung entstehen können.

Auch die jüngste Arbeit Studničkas (24), die erst vor kurzem erschienen ist, kann ich an dieser Stelle nicht näher eingehen. Nur soviel sei bemerkt, dass der Autor wieder, wie schon früher, die Erhaltung radiärer Fibrillen in der äussersten Dentinschicht betont und dass er im übrigen zwischen den Anschauungen v. Ebners und denen v. Korffs zu vermitteln sucht.

Die wichtigsten Ergebnisse meiner Untersuchungen sind die folgenden:

1. Die Entwicklung des Zahnbeins vollzieht sich unter zwei verschiedenen Formen.
2. Nur bei der ersten embryonalen Anlage bildet sich das Dentin aus einer Vorstufe, dem Prädentin. Dieses

geht im wesentlichen aus der äussersten peripher von den Odontoblasten liegenden, dünnen Grenzschicht der Pulpagrundsubstanz hervor. An seinem Aufbau beteiligen sich ferner auch die Odontoblasten sowie die präcollagenen Fasern der Pulpa, diese in Gestalt der v. Korffschen Fasern.

3. Die weiter angebildeten Dentinlagen gehen aus der Grundsubstanz der Pulpa hervor.
4. Zwischen Pulpafibrillen und Zahnbeinfibrillen besteht kein unmittelbarer Zusammenhang.

Am Schlusse dieser Abhandlung ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. Triepel für das reiche Interesse und die Unterstützung bei meiner Arbeit meinen herzlichsten Dank abzustatten.

Herrn Dr. med. Plessner bin ich für die Anfertigung der naturgetreuen Abbildungen sehr zu Dank verpflichtet.

Literatur-Verzeichnis.

1. Disse, J., Über die Bildung des Zahnbeines. Sitz.-Ber. d. Ges. z. Bef. d. N. zu Marburg Nr. 6. 1907.
2. — Die Entstehung des Knochengewebes und des Zahnbeines. Arch. f. mikr. Anatomie etc. 73. Bd. 1909.
3. v. Ebner, V., Über den feineren Bau der Knochensubstanz. Sitz.-Ber. d. kaiserl. Akad. d. W. i. Wien. 72. Bd. 1876.
4. — Über die Entwicklung der leimgebenden Fibrillen, insbesondere im Zahnbein. Sitz.-Ber. d. kaiserl. Akad. d. W. in Wien. Bd. 115. Abt. 3. Mai 1906.
5. — Koellikers Gewebelehre. 6. Aufl. 1899.
6. — Scheffs Handbuch der Zahnheilkunde. 1. Bd. 1902.
7. — Über scheinbare und wirkliche Radiärfasern des Zahnbeines. Anat. Anz. Bd. 34. Nr. 13 u. 14. 1909.
8. Fischer, G., und F. Landois, Zur Histologie der gesunden und kranken Zahnpulpa mit besonderer Berücksichtigung ihrer harten Neugebilde. D. Z. i. Vortr. begr. v. Witzel, H. 7/9. Leipzig 1908.
9. Fleischmann, L., Die Entwicklung der Zahnscheiden; gleichzeitig ein Beitrag zur Entwicklung der Zahnbeingrunds substanz. Arch. f. mikr. Anat. etc. Bd. 68. 1906.
10. Hansen, Fr. C., Anat. Anz. 16. Bd. 1899.
11. Hoehl, E., Beitrag zur Histologie der Pulpa und des Dentins. Arch. f. mikr. Anat. etc. Jahrg. 1896.
12. Koelliker, A., Mikrosk. Anat. Bd. 2. 1. Abt. Leipzig 1852.
13. — Handb. der Gewebelehre 1867.
14. Masur, A., Beiträge zur Histologie und Entwicklungsgeschichte der Schmelzpulpa. Anat. Hefte. H. 105. 1907.
15. v. Korff, K., Die Entwicklung der Zahnbeingrunds substanz der Säugetiere. Arch. f. mikr. Anat. etc. 67. Bd. 1905.
16. — Die Analogie in der Entwicklung der Knochen- und Zahnbeingrunds substanz der Säugetiere nebst kritischen Bemerkungen über die Osteoblasten- und Odontoblastentheorie. Arch. f. mikr. Anat. etc. Bd. 69. 1906.

17. Merkel, Fr., Betrachtungen über die Entwicklung des Bindegewebes. Anat. Hefte. H. 115. 38. Bd.
 18. Morgenstern, M., Entwicklungsgeschichte der Zähne. Scheffs Handb. d. Z. 1. Bd. 1. Aufl. 1891.
 19. Mummery, J. H., Die Struktur und Entwicklung des Dentins. Ber. d. od. Ges. v. Gross. Brit. 1892. Korr. f. Z. 1892.
 20. Studnička, F. K., Die radialen Fibrillensysteme bei der Dentinbildung und im entwickelten Dentin der Säugetierzähne. Anat. Anz. 30. Bd. Nr. 9—10. 1907.
 21. — Zur Lösung der Dentinfrage. Anat. Anz. Bd. 34. p. 481—502. 1909.
 22. Waldeyer, W., Untersuchungen über die Entwicklung der Zähne. 1. T. Königsberg. med. Jahrb. Bd. 4. 1864. 2. T. Zeitschr. f. r. Med. Bd. 24. 1865.
 23. Walkhoff, O., Die normale Histologie menschlicher Zähne. Leipzig 1901.
 24. Weil, L., Zur Histologie der Zahnpulpa. D. M. f. Zahnheilk. 1887.
-

Tafelerklärung.

Fig. 1. Längsschnitt durch den Zahnkeim eines Schweinsembryos von 3,9 cm Länge. Alaun-Cochenille vorgef. Fix. Zenker. Färb. Mallory, Wolf ramhämatoxylin. MZ Zellen des Mesoderms; ZL Zellen der Zahnleiste. Leitz, Öl-Imm. $\frac{1}{12}$ Ocul. 1.

Fig. 2. Längsschnitt durch den Zahnkeim eines Schweinsembryos von 9 cm Länge. Alaun-Cochenille vorgef. Fix. Zenker. Färb. Mallory. SO Schmelzorgan; B Basalmembran des Schmelzepithels; ZK Zellen des Zahnkeimes. Leitz, Öl-Imm. $\frac{1}{12}$, Ocul. 1.

Fig. 3. Längsschnitt durch den Zahnkeim eines Schweinsembryos von 12 cm Länge. Ebenso gef. wie Fig. 2. SO Schmelzorgan; M Maschennetz; R M radial verlaufende Maschen. Leitz, Obj. 6, Ocul. 1.

Fig. 4. Längsschnitt durch die Zahnanlage eines Schweinsembryos von 22 cm Länge. Fix. Alkohol. Färb. Mallory. SO Schmelzorgan; P Prädentin K v. Korffsche Fasern; O Odontoblasten. Leitz, Obj. 6, Ocul. 1.

Fig. 5. Einige Odontoblasten aus demselben Schnitt wie in Fig. 4 und ebenso gefärbt. K v. Korffsche Fasern. Leitz, Öl-Imm. $\frac{1}{12}$, Ocul. 1.

Fig. 6. Schnitt von demselben Präparat wie in Fig. 4 und aus der gleichen Region, aber $\frac{1}{2}$ Stunde in Trypsin verdaut. Ebenso gefärbt und vorbehandelt und die gleichen Vergrößerungen und Bezeichnungen wie in Fig. 4.

Fig. 7. Von demselben Schnitt wie in Fig. 6, doch von einem Teile der Pulpa, an deren Oberfläche noch keine Zahnbeinlage gebildet ist. Das Präparat zeigt das fibrilläre Maschenwerk der Pulpa. R M radial verlaufende Maschen.

Fig. 8. Längsschnitt durch die Zahnpulpa von einem neugeborenen Menschen. 1 St. 30 Min. in Pankreatin verdaut. Fix. Alkohol. Färb. Mallory. Der Schnitt geht durch eine oberflächliche Randpartie der Pulpa, wo die Odontoblasten noch nicht differenziert sind. Leitz, Obj. 6, Ocul. 1. L Lücken durch Verdauung der Zellen hervorgerufen.

Fig. 9. Von demselben Schnitt wie in Fig. 8, aber aus der Region, in der die Odontoblasten vollkommen entwickelt sind. Leitz, Öl-Imm. $\frac{1}{12}$, Ocul. 1. O Odontoblasten; K v. Korffsche kollagene Fasern.

Fig. 10. Zahnpulpa von einem neugeborenen Menschen 1 St. 20 Min. in Trypsin verdaut. Fix. Alkohol. Färb. Mallory. Der Schnitt geht durch die Mitte der Pulpa und zeigt den peripherischen Verlauf der Fibrillen um die Zellen, die verdaut sind. Leitz, Obj. 6, Ocul. 3.

Fig. 11. Längsschnitt durch die Pulpa eines Schneidezahnes vom Rind. Fix. Zenker. Färb. Mallory. Leitz, Obj. 6, Ocul. 1.

Fig. 12. Längsschnitt von demselben Präparat wie in Fig. 11 und ebenso gefärbt, jedoch 1 St. in Pankreatin verdaut. Leitz, Obj. 6, Ocul. 1.