Das Gebiß des Cyclopterus lumpus L.

Von

Bruno Schmidt, Saalfeld (S.-M.).

Mit Tafel XV—XVII und 23 Figuren im Text.

(Aus dem Zoologischen Institut zu Jena.)

A. Einleitung.

Nachdem Hase (1911) in seiner Arbeit „Studien über das Integument von Cyclopterus lumpus L.“ bezüglich der Hautverknöcherungen dieses Vertreters zu Resultaten gekommen war, die von unserer bisherigen Kenntnis der Hautossifikationen bei den Teleostiern erheblich abweichen, lag der Gedanke nahe, wegen der Homologie der beiden Gebilde einmal die Verknöcherungen der Mundhöhle, die Zähne von Cyclopterus zu untersuchen und eventuell weitere Beziehungen zwischen den beiden Hartgebilden aufzufinden. Sehr gerne ging ich daher auf den Vorschlag des Herrn Privatdozenten Dr. Hase ein, die Bezahnung des Cyclopterus lumpus nach Bau und Entwickelung einer eingehenden Bearbeitung zu unterziehen. Dabei durfte ich mich nicht allein auf die Entstehung und Struktur des einzelnen Zahnes beschränken, wie es die meisten Bearbeiter ähnlicher Themata tun, sondern mußte auch dem ganzen Gebiß und den damit in Beziehung tretenden Knochen einige Beachtung schenken.

Die Untersuchung erschien mir auch insofern noch fruchtbar, als die Familie, zu der Cyclopterus gehört, überhaupt noch wenig Würdigung gefunden hat und in obiger Hinsicht völliges Neuland darstellt. Speziell über die Bezahnungsverhältnisse in dieser Familie wissen wir nichts Genaueres. Bis jetzt wurden Zähne und besonders die Zahnentwickelung bei Knochenfischen nur von Vertretern bekannterer Familien (Salmoniden, Cottiden, Gadiden, Perciden, Esociden, Scaroiden und Cypriniden), an einzelnen Fischen oft zu wiederholten Malen, studiert. Es muß deshalb von Interesse

sein, auch einmal eine ferner stehende Familie nach der angegebenen Richtung hin kennen zu lernen[1]).

Ich fühle mich verpflichtet, auch an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. Plate, wärmsten Dank auszusprechen für das Interesse, das er meinem Studium und vor allem meiner Arbeit entgegengebracht hat. Nicht minder herzlichen Dank schulde ich Herrn Privatdozenten Dr. Hase, für die Stellung des Themas sowie für die Unterstützung, die er mir bei der Bearbeitung desselben zuteil werden ließ.

B. Material und Methode.

Zu meinen Untersuchungen stand mir dasselbe Material zur Verfügung, das auch Hase schon zu seiner Arbeit (1911) benutzt hatte. Für meine Zwecke waren jedoch noch einige Ergänzungen nötig; besonders fehlten Embryonen, denn nur an diesen konnte die Entstehung der ersten Zähne beobachtet werden. Alle neuen Stücke wurden aus der Biologischen Station Helgoland bezogen. Ich erhielt von dort:

a) 6 Jungfische, 2 von 5 mm, 3 von 6 mm und 1 von 7 mm Länge, im Juni 1911, Kons. Sublimat, übergeführt in 80 % Alk.;

b) 4 Köpfe von ausgewachsenen Tieren lebendfrisch im März 1911, 2 von 25 cm ♂ und 2 von 40 cm ♀, Kons. Alk. 80 %;

c) und eine Anzahl Embryonen in drei Altersstufen, 15 Tage, 24 Tage und 26 Tage nach der Befruchtung, im Mai 1912, Kons. Sublimat, übergeführt in Alk. 80 %.

d) Eine Reihe von weiteren Jungfischen verdanke ich der Liebenswürdigkeit des Herrn Dr. Marcus (Jena), der dieselben während seines Aufenthaltes an der Station im August 1911 gesammelt hat. Sie umfaßte die Größen von 14—22 mm und 1 Exemplar von 27 mm. Kons. Sublimatalkohol, übergeführt in Alk. 80 %.

Das mehr als ausreichend vorhandene, gut brauchbare Material gruppiert sich demnach folgendermaßen:

---

1) Einer Bearbeitung nach ähnlichen Gesichtspunkten harren noch die winzigen Samtzähne, wie sie z. B. bei einigen Siluriden auftreten, die Bürstenzähne des Chaetodon u. a. m. Den einzelnen Dentitionen im Zusammenhange mit dem Zahnwechsel gebührt auch bei diesen Gebißformen besondere Berücksichtigung.

I. Alter der Exemplare bzw. Größe derselben in mm.	II. Anzahl der vorhandenen Exemplare.	III. Kurze Charakteristik der Bezahnung in einzelnen Stadien.
15 Tage alt	beliebig	Je 3 Zahnanlagen im Dentale, Intermaxillare und auf den oberen Schlundknochen.
24 „ „	beliebig	In den Kiefern ist je eine zweite Zahnreihe angelegt; auf den oberen Schlundknochen Anlagen unregelmäßig.
26 „ „	beliebig	Auf den unteren Schlundknochen treten die ersten Zahnanlagen auf.
5 mm	7	Zähne in der ersten Reihe in den Kiefern sind fertig, aber noch nicht durchgebrochen.
6 „	4	
7 „	2	
11 „	4	In den Kiefern sind in der ersten Reihe die Zähne mit dem Knochen verwachsen und z. T. durchgebrochen; auf den Schlundknochen entstehen unregelmäßig neue.
12 „	4	
13 „	5	
14 „	3	
15 „	7	Die Zähne der ersten Generation sind in Tätigkeit, die der zweiten durchbrechen eben das Epithel; eine dritte Zahnreihe wird angelegt.
16 „	3	
17 „	3	
18 „	8	
19 „	4	
20 „	3	
21 „	3	
22 „	6	Im Unterkiefer sind zwei Reihen von Zähnen in Tätigkeit; zwei jüngere Zahngenerationen sind noch vorhanden. Im Oberkiefer nur 3 Zahnreihen, von denen die beiden ältesten funktionieren.
23 „	1	
24 „	2	
25 „	2	
26 „	3	
27 „	3	
28 „	2	
30 „	2	
31 „	5	
32 „	1	
36 „	1	Im Ober- und Unterkiefer tritt je eine neue Zahngeneration auf, also die 4. bzw. die 5. u. s. f.
37 „	1	
38 „	2	
40 „	1	
55 „	1	
150 „	1	
180 „	1	
190 „	1	
200 „	1	
250 „	2	
360 „	1	Im Unterkiefer 7 Zahnreihen vorhanden; auf den 3 übrigen Knochen ist die Stellung unregelmäßig.
400 „	2	
460 „	1	

Die Embryonen wurden zunächst von Eihaut und Dotter befreit und konnten dann in Schnitte zerlegt werden. Von den Jungfischen von 5—7 mm Länge konnten ohne weitere Vorbehandlung Schnittserien angefertigt werden. Eine Entkalkung machte sich erst von den 11 mm langen Exemplaren an nötig.

Entkalkt wurde mit dem ORTHschen Gemisch (Salpetersäure [3—4 ccm] + Alk. abs. [70 ccm] + Aq. dest. [30 ccm] + Chlornatrium [0,25 g]) 8 Tage bis 4 Wochen, je nach der Größe der Objekte. Den erwachsenen Tieren wurden Stücke aus den Kiefern oder den Schlundknochen herausgeschnitten und diese dann entkalkt; von den Jungfischen verwandte ich meist den ganzen Kopf. Nach beendeter Entkalkung wurden die Stücke in Alk. 60 % ausgewaschen und entweder sofort weiterbehandelt oder in Alk. 80 % aufbewahrt. Die Objekte wurden teils im Block, teils im Schnitt gefärbt. Zur Blockfärbung diente mir hauptsächlich Hämalaun nach P. MAYER — salzsaures Karmin nach P. MAYER. Zur Schnittfärbung benutzte ich ebenfalls Hämalaun nach P. MAYER — Hämatoxylin nach DELAFIELD — salzsaures Karmin nach P. MAYER.

Verschiedene Farbkombinationen wurden angewandt: Hämalaun mit Orange G + Fuchsin S nach zwei verschiedenen Vorschriften von DISSE (1907 und 1909) — Hämalaun mit Eosin — Hämalaun mit Pikrokarmin nach WEIGERT — Hämalaun mit Pikraminsäure und Chromotrop — salzsaures Karmin mit Bleu de Lyon.

Als spezielle Bindegewebsfärbung wandte ich die von MALLORY empfohlene Methode an. Zur Darstellung elastischer Fasern im Bindegewebe war Kresofuchsin sehr gut geeignet.

Die Dicke der Schnitte wechselt von 3—10 μ, in einzelnen Fällen beträgt sie 15 μ.

Dünnschliffe. Nachdem einzelne Zähne in kochendem Aq. dest. gut von ihren Weichteilen befreit waren, wurden von ihnen Dünnschliffe angefertigt. Als Schleifmittel kam allein der Arkansasstein in Betracht, da die Objekte sehr wenig widerstandsfähig sind. Die fertigen Schliffe wurden teils in Kanadabalsam eingebettet, teils trocken eingeschlossen. Einige Längs- und Querschliffe ließ ich in Göttingen bei Voigt & Hochgesang herstellen; besonders gut sind diese jedoch nicht ausgefallen.

C. Hauptteil.

I. Verhältnisse der Bezahnung in der Familie der Cyclopterinae.

Über die Bezahnung des Cyclopterus lumpus konnte mir die vorhandene Literatur, soweit sie zugänglich war, nicht genügend Aufschluß geben. Meist fand ich nur kurze, um nicht zu sagen dürftige Angaben darüber. Bestenfalls wurde die Stellung der Zähne in den Kiefern und ihr Vorkommen auf anderen Knochen der Mundhöhle zur Systematik der einzelnen Arten der Familie Cyclopterinae mit herangezogen. Um eine kurze Übersicht nach dieser Richtung hin zu geben, zitiere ich aus Garman (1892) und Jordan und Evermann (1898) die betreffenden Stellen:

Cyclopterinae: jaws with bands of slender, simple teeth; no teeth on vomer or palatines.

1. Cyclopterus (Art.): teeth simple, small, arranged in a band;
   C. lumpus L.: „the lower limb (of the intermaxillary [der Verf.]) bears the upper teeth.“ „The lower pharyngeals are elongate club-shaped, and bear a rounded bunch of conical teeth on the anterior fourth of the length“ (Garman).
2. Eumicrotremus (Gill.).
   E. spinosus (Müller): Teeth small, simple, subconical, in a narrow band.
   E. orbis (Günther): Teeth numerous, small, subconical, in pavement, 4 or 5 series.
3. Lethotremus (Gilbert).
   L. muticus (Gilbert).
   L. vinolentus (Jordan & Starks): teeth on vomer (the specimen is so small, we can not be sure of the palatine teeth).
4. Cyclopteroides (Garman): Teeth small, subconical.
   C. gyrinops (Garman): Teeth very small, conical, slightly hooking backward, in 5 rows at the symphysis, some of which are shorter and do not extend so far toward the sides as the others.

Liparopsinae: the teeth are subconical.

5. Cyclopterichthys (Steindachner): teeth rather small, simple, hooked, sharp in 2 rows anteriorly.
   C. ventricosus (Pallas): Teeth small, simple, in 2 series in front, and but 1 toward the side.
6. Liparops (Garman): A little-known genus, apparently closely allied to Cyclopterichthys, but distinguished by the elongate dorsal, the tubercles and the dentition.
   L. stelleri (Pallas): teeth slender, bunt, unequal.

Soweit nichts Besonderes dazu bemerkt ist, beziehen sich diese Angaben auf die Kieferzähne. Die Übersicht zeigt, daß die Zähne selbst wenig Abwechselung bieten bei den einzelnen Gruppen. Die ganze Familie ist ausgezeichnet durch einfache, kleine Kegelzähne. Dieser Umstand erklärt uns auch, weshalb die Bezahnung eines oder des anderen Vertreters dieser Familie bisher nicht eingehender bearbeitet wurde. Wir werden jedoch später sehen, daß die kleinen Kegelzähne unseres Seehasen nach Entwickelung und Struktur sicher ebensoviel Interessantes bieten wie die Zähne anderer Teleostier, die durch ihre Größe oder durch irgend eine andere Eigenschaft charakteristisch für das Tier werden. Aus verschiedenen Gründen konnte nur die eine Art, Cyclopterus lumpus L., bezüglich ihrer Bezahnung bearbeitet werden.

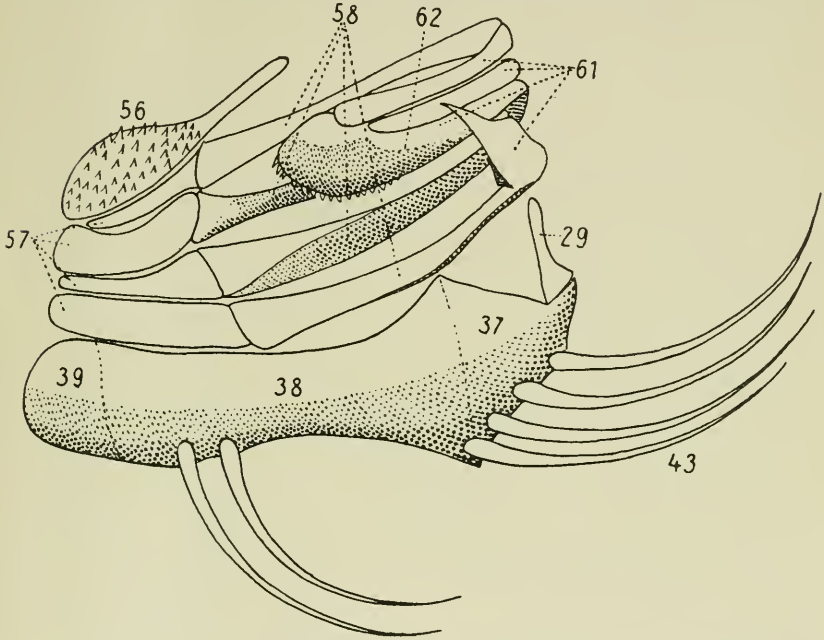
II. Die zahntragenden Knochen von Cyclopterus lumpus L.

Bei den niederen Wirbeltieren, besonders bei Vertretern in der Klasse der Fische können Zähne auf allen Knochen der Mundhöhle vorkommen. Selten sind sämtliche Deckknochen derselben gleichzeitig bezahnt, aber, abgesehen von zahnlosen Formen, finden wir Zähne in der Regel auf mehreren Knochen gleichzeitig vor. So sind auch beim Lump vier Knochen, Dentale, Intermaxillare und obere und untere Schlundknochen, mit Zähnen besetzt. Der Vollständigkeit und Orientierung halber will ich kurz auf die gegenseitige Lagerung dieser Knochen in der Mundhöhle eingehen[1]); einmal auch, um die Angaben früherer Autoren zu ergänzen und dann noch, um unsere Kenntnis des Mundhöhlenskeletts von Cyclopterus etwas zu erweitern.

---

1) Zwecks weiterer Information hierüber sei auf die vortreffliche Arbeit von Garman: „The Discoboli“ (1892) verwiesen, in der ein Kapitel der Topographie und Morphologie der Schädelknochen vom Lump gewidmet ist.

Zur Veranschaulichung der Verhältnisse mögen die Fig. 1 und 2, Taf. XV, sowie die Textfig. 1 und 2 dienen[1]). Textfig. 2 ist der Arbeit Garmans (1892) entnommen, sie zeigt gut die dreieckige Gestalt des Kopfes, auf die schon oft hingewiesen worden ist. Das Maul ist beim Cyclopterus endständig; Knochen der beiden ersten Kieferbögen bilden den Eingang. Das Intermaxillare (17 in Fig. 1, 2, Taf. XV und Textfig. 2) hat eine eigenartige Gestalt. Es besteht aus zwei Stücken, die fast rechtwinklig aneinandergesetzt sind. Das obere Stück liegt parallel zur Symmetrieebene des Tieres und

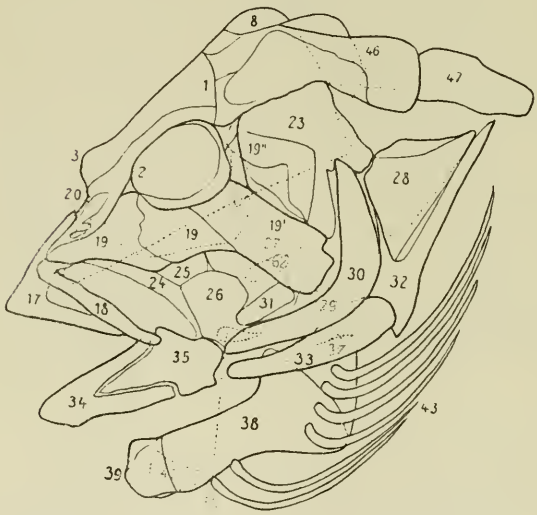


Textfig. 1. Zungenbein und Kiemenapparat von Cycl. 36 cm.

zeigt nach der Spitze des Supraoccipitale (8 in Fig. 1 und 2, Taf. XV und Textfig. 2), während das untere nach dem Mundwinkel zu parabolisch gekrümmt ist; diesen erreicht es jedoch nicht, sondern endet vorher in einer Spitze. Nur das untere Glied des Intermaxillare trägt Zähne; auf der Symphyse stehen keine. Die Verbindung des Intermaxillare mit dem Mundwinkel stellt das Maxillare (18 in Fig. 1 und 2, Taf. XV und Textfig. 2) her. Beide Knochen sind durch Bänder beweglich miteinander verbunden. Den Mundwinkel

1) Die Numerierung der Knochen stimmt mit der von Günther (1886) und Garman (1892) überein.

bildet das Maxillare mit dem Unterkiefer, der sich aus Dentale (34, Fig. 1, 2, Taf. XV und Textfig. 2) und Artikulare (35 in Fig 1, Taf. XV und Textfig. 2) zusammensetzt. Das Dentale allein ist mit Zähnen besetzt. Nahe der Symphyse hat es seine größte Breite und läuft, indem es sich fortwährend verschmälert, ebenfalls in einem Parabelbogen nach dem Mundwinkel. Die mit Zähnen besetzte Fläche ist von der Mitte nach dem Winkel hin nach innen gedreht, so daß sie windschief erscheint. Wie in einen Schuh schiebt sich das Artikulare in das Dentale und stellt mitsamt dem Angulare (36, Fig. 1, Taf. XV) die gelenkige Verbindung des Unterkiefers mit dem Quadratum (26 in Fig. 1, Taf. XV und Textfig. 2) her. Das Artikulare ist nach außen gewölbt und bildet mit dem Dentale einen kompakten Knochen. Das Dach der Mundhöhle setzen Vomer und Basisphenoid (6 in Fig. 1, Taf. XV) zusammen, beides dünne Knochenblätter, die nicht miteinander verschmelzen und nur am äußersten Ende etwas verdickt sind. Den Boden der Mundhöhle bilden Teile des Kiemenapparates und der Zungenbeinschenkel. Die einzelnen Stücke sind Basihyale (39), Ceratohyale (38) und die Basibranchialia (53, 54, 55 in Fig. 2, Taf. XV), an denen die drei ersten Kiemenbögen mit ihren untersten Abschnitten, den Hypobranchialia (57 in Textfig. 1), ansetzen. Die Bezahnung des Kiemenapparates wird schon von Rathke (1822) teilweise angedeutet. Wir lesen bei ihm l. c. p. 513 ff.: „Der letzte Kiemenbogen aber läuft nach innen und unten mit einem knorpeligen Faden aus, welcher sich zwischen die letzte Kiemenbogenstütze und eine dicht hinter ihr be-



Textfig. 2. Schädel des Cycl. nach Garman (1892), Taf. X, Fig. B. (Die Knochen 56 und 62 wurden vom Verf. eingezeichnet.)

findliche, an ihrer unteren Fläche glatte, an ihrer oberen aber mit Zähnen besetzte Knochenplatte legt.“ Er meint mit dieser Knochenplatte die unteren Schlundknochen, sieht diese aber nicht mehr als Kiemenbogen oder als Rest eines solchen an, sondern glaubt, den Fortsatz der Platte als Zungenbeinknochen ansehen zu dürfen. Diesen vermißt man jedoch beim Cyclopterus durchaus. Die unteren Schlundknochen sind vielmehr als Ceratobranchialia der 5. Kiemenbögen zu betrachten. Mit den Hypobranchialia der vier anderen Kiemenbögen und den Basibranchialia (53, 54 und 55) sind sie in eine Gallertmasse eingebettet, so daß die Isolierung der einzelnen Knochen mit einigen Schwierigkeiten verknüpft ist. Nach Garman l. c. p. 29 sind die unteren Schlundknochen „elongate club-shaped, and bear a rounded bunch of conical teeth on the anterior fourth of the length“. Nur die hinterste Verlängerung des Knochens, die tiefer im Mesoderm liegt, ist frei von Zähnen. Von den unteren Schlundknochen aus, nach hinten seitlich verschoben, befinden sich am Dache des Schlundes die oberen Schlundknochen (62 in Fig. 2, Taf. XV und Textfig. 1), deren Zusammensetzung bei den einzelnen Knochenfischen verschieden ist. Garman berichtet für Cyclopterus hierüber l. c. p. 29: „the upper (pharyngeals [der Verf.]) on each side form a single bone, in which the components are indistinct, connected with the epibranchials of the posterior three arches.“ Nach meiner Untersuchung bildet den Hauptbestandteil des Knochens das Epibranchiale des 2. Kiemenbogens. Es verbreitert und verdickt sich an seinem vorderen Ende und wird auf seiner Unterseite (nach dem Schlunde hin) von einer ovalen Fläche begrenzt, die mit Zähnen besetzt ist. Die Epibranchialia des 3. und 4. Bogens sind deutlich als besondere Knochen zu erkennen (61 in Textfig. 1), die weder unter sich, noch mit dem Epibranchiale des 2. Bogens verschmelzen. Das Epibranchiale des 1. Kiemenbogens ist nicht an der Bildung der oberen Schlundknochen beteiligt, es legt sich nur lose an (61 in Textfig. 1).

III. Äußere Betrachtung der Zähne.

Nun zu den Zähnen selbst. In bezug auf die Stellung der Zähne zeigt das Dentale einige Regelmäßigkeit. Auf dem mazerierten Dentale eines ausgewachsenen Exemplares habe ich mit Leichtigkeit eine Anzahl (bis 7) Zahnreihen unterscheiden können. Entsprechend der Drehung der mit Zähnen besetzten Fläche divergieren die Reihen etwas von der Mitte nach der Seite. Quer-

reihen sind nicht auffindbar. Auf dem Intermaxillare ist eine reihenweise Anordnung nur nach dem Mundwinkel hin angedeutet, sonst stehen die Zähne regellos, ebenso wie auf den beiden übrigen Knochen. Eine ausgeprägte Richtung haben die Zähne aller vier Knochen nicht, zumeist stehen sie senkrecht auf ihrer Unterlage. Die Größe der Zähne ist nicht sehr variabel. Die größten Zähne sind auf jedem der vier Knochen nahe der Körpermittellinie zu finden. Nach der Seite und den Rändern hin werden sie etwas kleiner. Die Höhe eines Zahnes beträgt nur $1-1^1/_2$ mm. Beim lebenden Tier wird der größte Teil des Zahnes von Weichteilen bedeckt, nur die Spitze ragt darüber hinaus. Eine genaue Zählung der Zähne wird durch die Unregelmäßigkeit in der Stellung und durch die Kleinheit unmöglich gemacht. Meine Schätzungen ergaben jedesmal auf dem Knochen einer Seite eines 36 cm langen Exemplares:

im Dentale	105,	auf	beiden	Seiten	also	210	Zähne,
„ Intermaxillare	100,	„	„	„	„	200	„
auf den oberen Schlundknochen	85,	„	„	„	„	170	„
auf den unteren Schlundknochen	80,	„	„	„	„	160	„
Ein 36 cm langer Cyclopterus hat also im ganzen						740	„

Die Berechnung wurde so ausgeführt, daß auf den Schlundknochen die ungefähren Zahnreihen, die senkrecht zueinander liegen, an zwei verschiedenen Stellen gezählt wurden. Das Mittel aus den Ergebnissen kommt der Wirklichkeit nahe. Die in den Kiefern mit Zähnen besetzten Flächen haben Dreiecksform. Die Berechnung ist hier einfacher. Ähnlich wurde die von den Zähnen eingenommene Fläche bestimmt. Danach enthielten angenähert das Dentale 50 qmm, das Intermaxillare 52 qmm, die oberen Schlundknochen 48 qmm und die unteren Schlundknochen 33 qmm; die Zahlen verdoppeln sich für beide Körperhälften. Wenn man also die Ausdehnung der zahnbesetzten Fläche berücksichtigt, so kommen auf den Quadratzentimeter rund: im Dentale 210 Zähne, im Intermaxillare 190, auf den oberen Schlundknochen 180 und auf den unteren Schlundknochen 240 Zähne; oder nach der Dichte geordnet:

untere Schlundknochen	240	Zähne	pro Quadratzentimeter,	
Dentale	210	„	„	„
Intermaxillare	190	„	„	„
obere Schlundknochen	180	„	„	„

Derartige Angaben habe ich in der einschläglichen Literatur von keiner Form gefunden. Zum Vergleiche gebe ich daher die analogen Zahlen von einigen Fischen, die sich in der Sammlung des Zoologischen Instituts zu Jena befanden. In der folgenden Tabelle (s. p. 324) gelten die Angaben immer nur für die Knochen einer Körperseite, außerdem sind unter b) nur diejenigen Knochen in Betracht gezogen, die den zahntragenden Knochen des Cyclopterus entsprechen.

Mit Hilfe solcher Zahlen kann man sich einmal ein Bild von der jeweiligen Größe der Zähne machen; für die Hechelzähne, z. B. von Esox, ist allerdings eine Durchschnittsgröße anzunehmen, ebenso wie für die Zähne von Lamna, die ja nach dem Mundwinkel zu an Größe abnehmen. Dann aber sieht man auch aus der Tabelle wieder, je weniger gut ausgebildet und je schwächer die einzelnen Zähne sind, desto zahlreicher treten sie auf und um so dichter stehen sie zusammen, oder, die Gebißdifferenzierung geht Hand in Hand mit der Reduktion der Zahl der Zähne. Über die Gestalt der Zähne wurde eingangs schon gesprochen. Die Form aller Zähne ist die eines mit der Spitze leicht nach hinten überhängenden Kegels. Die nach hinten gerichteten Spitzen der Zähne lassen die Nahrung gut passieren, aber bei etwaigem Rückwärtsgleiten derselben wirken sie wie Widerhaken.

Von der Funktion der Zähne wird ihre Form beeinflußt, und diese verrät die Lebensweise des betreffenden Tieres. Der Kegelzahn dient lediglich zum Festhalten der Nahrung. Daß die Zähne des Lump nicht zum Zermalmen harter Stoffe gebraucht werden können, sieht man bei der oberflächlichsten Betrachtung. Im allgemeinen haben Pflanzenfresser besser ausgebildete Zähne. Wir schließen also aus seiner Bezahnung, daß der Cyclopterus auf Fleischnahrung angewiesen ist. Das bestätigt Garman l. c. p. 23—24 „Their food is that of the majority of carnivorous fishes, — crustaceans, worms, mollusks, and fishes, mixed with which more or less of vegetable matter is found in the stomachs of some specimens“.

Mit einer kurzen Charakteristik der Bezahnung will ich dieses Kapitel schließen. Das Gebiß unseres Vertreters zeigt homodonten Typus, es stellt also ein Gebiß dar, in welchem die Zähne mehr oder weniger einander gleichen und neben einer geringen Größe eine kegelförmige Gestalt besitzen. Mit diesen beiden Erscheinungen steht die Zahl der Zähne in einem um-

	Länge des Tieres in cm	Unterkiefer			Oberkiefer			untere Schlundknochen			obere Schlundknochen			Summe aller Zähne	Art der Zähne	Bemerkung
		Zahl der Zähne	Ausdehnung der zahnbesetzten Fläche in qcm	Dichte der Bezahnung pro qcm	Zahl der Zähne	Ausdehnung der zahnbesetzten Fläche in qcm	Dichte der Bezahnung pro qcm	Zahl der Zähne	Ausdehnung der zahnbesetzten Fläche in qcm	Dichte der Bezahnung pro qcm	Zahl der Zähne	Ausdehnung der zahnbesetzten Fläche in qcm	Dichte der Bezahnung pro qcm			
a) Selachier																
1. Raja sp.?	erwachsen	154	5,0	31	180	4,8	37,5	—	—	—	—	—	—	668	pflasterförmige Zähne	Oberkiefer = Palatoquadratum
2. Lamna sp.?	erwachsen	98	36	2,6	90	39	2,3	—	—	—	—	—	—	376	dolchförmige Zähne	Unterkiefer = Mandibulare
b) Teleostier																
1. Esox lucius	27,3	25	0,5	50	132	0,9	146,6	56	0,15	373,3	60	0,25	240	546	Kiefer: Hechelzähne, Schlundknochen: Samtzähne	Oberkiefer = Intermaxillare + Gaumenbein
2. Scorpaena porcus	21,5	240	0,54	444,4	406	0,75	541,3	150	0,27	555,5	231	0,55	420	2054	Samtzähne	Oberkiefer = Intermaxillare
3. Gadus morrhua	29	34	0,4	85	87	0,6	145	63	0,18	350	58	0,39	145	484	„	Oberkiefer = Intermaxillare
4. Cyclopterus lumpus	36	105	0,5	210	100	0,52	190	80	0,33	240	85	0,48	180	740	„	Oberkiefer = Intermaxillare

gekehrten Verhältnisse. Bezahnt sind untere Schlundknochen, Dentale, Intermaxillare und obere Schlundknochen, und zwar nimmt die relative Dichte der Bezahnung auf den einzelnen Knochen in der aufgeführten Reihenfolge ab.

IV. Entwickelung der Zähne.

1. Kurzer literarischer Rückblick.

Bevor ich auf die Entwickelung der Cyclopteruszähne eingehe, dürfte es wohl angebracht sein, in kurzen Worten der Zahnentwickelungsverhältnisse bei anderen Knochenfischen zu gedenken. Ich berücksichtige dabei nur die Autoren der letzten Jahre. Denn einmal befinden sich „historische Rückblicke" bei Carlsson (1895) und Friedmann (1897) u. a., weiter waren aber nur den jüngeren Bearbeitern auf diesem Gebiete vollständige Entwickelungsreihen zur Hand, während alle früheren Autoren die Entwickelung der Zähne nur an Ersatzzähnen beobachten konnten. Wenn auch hier die Verhältnisse sich leichter überblicken lassen, so ist es doch wesentlich, die Anlage der ersten Zähne verfolgen zu können, da diese, wie Röse gezeigt hat, in vielen Fällen eine andere sein kann als die der Ersatzzähne.

Röse, der wohl als der beste Kenner auf dem Gebiete der Zahnforschung gelten kann, beschreibt bei den Zähnen der Knochenfische (1894 und 1896) drei Entwickelungsmodi:

1. Die ersten Zähne entwickeln sich mehr oder weniger an der Oberfläche der Mundschleimhaut. Das erste beobachtete Stadium nennt er das „Stadium der freien Papillenbildung" oder „plakoides Stadium".

2. Die Ersatzzähne der allermeisten Knochenfische bilden sich in der Tiefe des Mesoderms an besonderen Epithelzapfen. „Stadium der Zapfenbildung".

3. „Bei mehrreihiger Zahnstellung der Knochenfische werden entweder sämtliche Zähne von einer gemeinsamen Zahnleiste gebildet, oder jede Zahnreihe hat ihre eigene mehr oder weniger vollständige Zahnleiste[1])". „Zahnleistenstadium".

---

1) Dieser Passus befindet sich in der Abhandlung: „Über das Zahnsystem der Wirbeltiere" in Ref. Deutsch. Monatsschr. f. Zahnheilkunde, 1896, Nr. 4. Die Monatsschrift war mir nicht zugänglich, ich konnte infolgedessen den Satz nur aus zweiter Hand bekommen. Vgl. Jentsch (1897) p. 14.

Carlsson (1895) läßt die Zähne der von ihm untersuchten Knochenfische (Salmo salar, Cottus quadricornis, Abramis brama, Carassius vulgaris und Gasterosteus aculeatus) an einer Zahnleiste entstehen, die er als rinnenförmige Vertiefung des Epithels an der lingualen Seite der Kieferknochen beschreibt. „Eine Schmelzleiste zieht sich ununterbrochen über die ganze Länge der zahntragenden Knochen". Am Boden resp. an der Seite dieser Leiste bilden sich die Zähne. Das plakoide Stadium Röses erkennt er nicht an.

Friedmann (1897) untersucht die Zahnentwickelung beim Hecht und Karpfen und kommt zu verschiedenen Resultaten. Die ersten Zähne des Hechtes legen sich nach dem plakoiden Typus an, die Ersatzzähne nach dem Typus der Zapfenbildung, während beim Karpfen alle Zähne nach diesem letzten Modus sich entwickeln.

2. Erstes Auftreten der Zähne bei Cyclopterus.

Eine typisch ausgebildete Zahnleiste, wie sie den Selachiern zukommt, scheint bei den Teleostiern selten zu sein, wenn überhaupt eine auftritt. Schon äußerlich zeigt sich meist die Andeutung einer Zahnleiste in der sog. Zahnfurche, einer Einsenkung des Mundepithels. Betrachten wir nun einen Cyclopteruskopf, so fallen sowohl im Ober- als auch im Unterkiefer je zwei Furchen sofort in die Augen. Bei näherer Prüfung jedoch erweist sich keine von diesen als Zahnfurche. Das Charakteristische für eine solche ist nämlich, daß sie zungenwärts vom Knochen liegt. Die vier Furchen sind beim Lump als Lippenfurchen zu betrachten, die vor resp. über oder unter dem Kieferknochen liegen. Nachdem so, allerdings ganz oberflächlich, das Vorhandensein einer Zahnleiste in unserm Falle in Frage gestellt ist, müssen wir an die Untersuchung von Jungfischen gehen, um uns Aufschluß über die Zahnentwickelung zu holen.

Die Zähne werden hier sehr frühzeitig angelegt. Die vorhandene Entwickelungsreihe umfaßte Größen von 5—40 mm. Sie genügte noch nicht, um die erste Anlage von Zähnen einwandfrei festzustellen. Eine Untersuchung von Embryonen war deshalb unerläßlich. In drei verschiedenen Stadien wurden solche herangezogen, der erste 15 Tage nach der Befruchtung, der zweite war 24 Tage und der dritte 26 Tage alt. Schon in dem jüngsten Stadium von 15 Tagen waren in drei Regionen, in der Dental-, Intermaxillar- und oberen Schlundknochenregion, Zähne angelegt.

Ein Grund für das frühe Auftreten von Zähnen dürfte wohl darin zu suchen sein, daß der Dotter während des Embryonallebens vollkommen aufgebraucht wird, so daß der junge Cyclopterus sofort nach dem Ausschlüpfen auf selbständigen Nahrungserwerb angewiesen ist. Auch die weitere Ausbildung der ersten Zähne schreitet ziemlich schnell vorwärts. Diese Schnelligkeit der Zahnentwickelung erfordert zur Beschreibung eine sehr große lückenlose Entwickelungsreihe. Wenn nun auch in der vorhandenen einzelne Größenstadien fehlten, so genügte sie doch vollkommen zur Feststellung der Zahnentwickelung. Auch die Entfaltung des Gebisses konnte Schritt für Schritt an ihr verfolgt werden. Eine noch größere Anzahl von Embryonen und Jungfischen hätte vielleicht weitere Details zutage gefördert, aber an den Ergebnissen hätten diese nichts geändert.

3. Entwickelung eines einzelnen Zahnes.

a) Entstehung eines Zahnes vor der Geburt.

Wo in der Mundhöhle das Bedürfnis, d. h. die innere Notwendigkeit einer Zahnbildung vorhanden ist, entstehen da, wo sich Ektoderm und Mesoderm gegenseitig begrenzen, kleine Papillen, von denen Textfig. 3 eine wiedergibt. Die Epidermiszellen des Stratum germinativum sind etwas verlängert und regelmäßig angeordnet gegenüber den übrigen Zellen dieser Schicht (Textfig. 3, 4, 5). Im Mesoderm dagegen sehen wir eine Wucherung und Anhäufung von einigen Zellen. In beiden Keimblättern hat also an der betreffenden Stelle eine Veränderung stattgefunden. Ob nun die Wucherung der Bindegewebszellen das Primäre und die Streckung der Epithelzellen das Sekundäre oder ob das Umgekehrte der Fall ist, läßt sich schwer sagen, wenn es überhaupt entschieden werden

Textfig. 3. Erstes Stadium (plakoides) der Zahnentwickelung im Dentale. Cycl.-Embryo 15 Tage nach der Befruchtung. Vergr. 920 : 1.

kann. Jedenfalls findet an solchen Stellen eine gleichzeitige Veränderung des Ektoderms und des Mesoderms statt. Ich bezeichne dieses Stadium ebenfalls als „plakoides Stadium", obgleich es hier weniger typisch ist als in anderen Fällen, aber seine Bildung und Weiterentwickelung erfolgt im wesentlichen im Bereiche des Ektoderms, und das ist schließlich für die Benennung ausschlaggebend. Eine äußerlich erkennbare Hervorwölbung der Epidermis ist nicht festzustellen. Im weiteren Verlaufe der Entwickelung ist die aktive Wucherung des Ektoderms

Textfig. 4. Weiteres Stadium in der Entwickelung der ersten Zähne. Das Epithel wuchert an den Rändern der Bindegewebspapille in die Tiefe, während die Spitze dieser Papille annähernd dieselbe Stelle im Raume beibehalten hat. Cycl.-Embryo 26 Tage nach der Befruchtung. Vergr. 920 : 1.

nicht zu verkennen (Textfig. 4). Während die Spitze der Mesodermpapille ungefähr dieselbe Stelle im Raume wie früher beibehält, also sich vollkommen auf passiven Widerstand beschränkt, wächst das Epithel an den Rändern der Papille in die Tiefe. Auf diese Weise kommt es zur Ausbildung des „glockenförmigen" Stadiums, wie es Textfig. 5 zeigt. Gleichzeitig bemerkt man hier wie auch in Textfig. 4 eine Neigung der Anlage nach hinten. Das glockenförmige Stadium stellt die Grundform des Zahnes dar, eine weitere Veränderung der Form erfolgt nicht, vielmehr beginnt nun die Grundsubstanzbildung. Für wenig Knochenfische ist bisher dieser

Typus der Zahnentwickelung bekannt. Röse (1894) hat ihn festgestellt für Salmo salar L., Salmo fario, Thymallus vulgaris Nilss. und Coregonus Wartmanni Bl. und Friedmann für Esox lucius. Das plakoide Stadium in der Zahnentwickelung erhält seine Bedeutung dadurch, daß erst durch sein Auftreten die Verwandtschaft der Verknöcherungen des Integumentes und der Mundhöhle bestätigt wird. — Auf allen vier zahntragenden Knochen waren bei den Em-

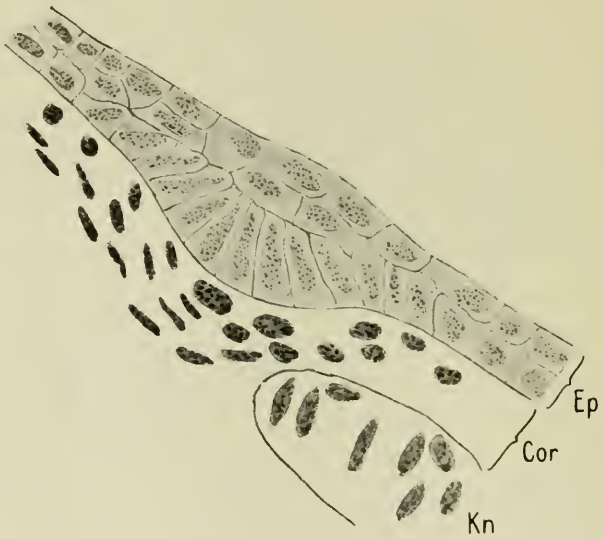
Textfig. 5. Glockenförmiges Stadium eines Zahnkeims aus dem Intermaxillare. Cycl.-Embryo 15 Tage nach der Befruchtung. Vergr. 920 : 1.

bryonen in verschiedener Höhe der Ausbildung Anlagen anzutreffen, die diesen Entwickelungsweg eingeschlagen hatten. Aber bald nach dem Ausschlüpfen aus dem Ei wird dieser Weg verlassen.

b) Entstehung eines Zahnes nach der Geburt.

Jetzt können wir ohne Zweifel konstatieren, daß das Ektoderm zuerst die Zahnbildung veranlaßt. Wiederum durch Verlängerung von Zellen des Stratum germinativum treibt — diesmal aber das Ektoderm eine „knospenförmige“ Wucherung in das Mesoderm (Textfig. 6). Carlsson stellt ein solches knospenförmiges Stadium bei den Knochenfischen als fraglich hin, l. c. p. 234: „Ein knospenförmiges Stadium des Schmelzkeims, welches

aus einer einfachen Anschwellung der Leiste besteht und bei den Säugern sich sehr früh ausbildet, kommt wahrscheinlich bei den Knochenfischen nicht vor.“ Ich habe die Ausbildung dieses Stadiums in der charakterisierten Weise immer vorgefunden, so daß ich den Ausdruck „knospenförmig“ dafür beibehalte. Im Mesoderm bemerkt man bis jetzt noch keine wesentliche Veränderung, diese tritt erst im nächsten Stadium, dem „zapfenförmigen“, ein (Textfig. 7). Die anfängliche Epithelwucherung hat sich zapfenartig ins Mesoderm gedrängt, an ihrem Grunde sieht man eine Anhäufung von runden Bindegewebszellen. In dem folgenden Stadium (Textfig. 8) leistet jener Haufen von Bindegewebszellen



Textfig. 6. Erstes Stadium in der Entwickelung der Ersatzzähne (knospenförmiges Stadium), untere Schlundknochen. Cycl. 5 mm. Sag. Vergr. 920 : 1.

dem immer noch vordringenden Epithelzapfen Widerstand und stülpt ihn nach oben ein. Das „kappenförmige“ Stadium kommt auf diese Art zustande. Obwohl von verschiedenen Seiten (Röse, Carlsson usw.) das Ektoderm bei der Zahnbildung allein als „aktives Element“ bezeichnet wird, so glaube ich doch, daß jetzt in unserem Falle auch dem Mesoderm eine eigene Wucherung zuzuschreiben ist, worauf vor allem die Vermehrung der Bindegewebszellen schließen läßt. Ich betone, die Zahnbildung wird allein durch das Ektoderm eingeleitet, erst in einer gewissen Tiefe im Mesoderm beginnt dieses dem Ektoderm wirksam ent-

gegenzuarbeiten. Bald ist dann die Form einer „Tischglocke“[1]) erreicht (Textfig. 9), die in ihrer Gestalt keine Veränderung weiter erfährt. Die Zahnanlage hat also jetzt auf dem Umwege der Zapfenbildung dasselbe Stadium erlangt, welches nach dem ersten Entwickelungsmodus sozusagen von Anfang an gegeben ist. Um

Textfig. 7. Zapfenförmiges Stadium aus dem Dentale. Anhäufung von Bindegewebszellen am Grunde des Epithelzapfens. Cycl. 12 mm. Trans Vergr. 920 : 1.

den Unterschied der beiden Entwickelungsarten sich noch einmal deutlich vor Augen zu führen, vergleiche man Textfig. 3, 4, 5

1) Die Bezeichnungen „knospenförmig“, „kappenförmig“ und „glockenförmig“ sind von Leche eingeführt worden, der Ausdruck „zapfenförmig“ wird zuerst von Röse gebraucht.

mit Textfig. 6. 7, 8, 9. An beiden Typen der Zahnentwickelung, dem plakoiden und dem des Zapfenstadiums, beteiligen sich also

Textfig. 8. Kappenförmiges Stadium aus dem Dentale. Cycl. 12 mm. Trans. Vergr. 920 : 1.

zwei Zellarten, eine, die ektodermaler Herkunft ist und das Schmelzepithel bildet, während die andere dem Mesoderm entstammt und den eigentlichen Zahnkeim darstellt.

Die Frage nach der Verschiedenartigkeit der Zahnentwickelung beim Cyclopterus ist vielleicht ähnlich zu beantworten, wie von Friedmann die Zahnentwickelung des Karpfens begründet wird, die allein nach dem Typus der Zapfenbildung vor sich geht, l. c. p. 567: „Anders als beim Hechte legen sich bei Cyprinus die ersten Zähnchen an; sie entwickeln sich nicht nach plakoidem Typus, sondern nach Art der Ersatzzähne in der Tiefe des

Textfig. 9. Glockenförmiges Stadium aus dem Dentale, entspricht dem in Textfig. 5 abgebildeten. Cycl. 14 mm. Trans. Vergr. 920 : 1.

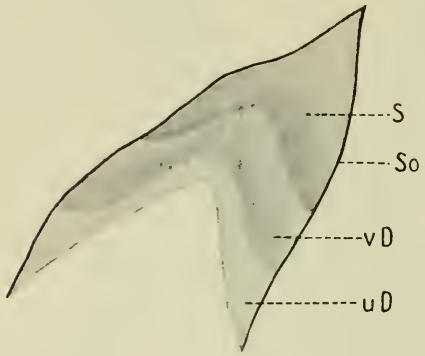
Mesoderms. Der Grund hierfür dürfte wohl in mechanischen Verhältnissen zu suchen sein. Da nämlich die jungen Embryonen schon sehr frühzeitig das Ei verlassen und sehr bald den Dottersack verlieren, sind sie schon sehr zeitig angewiesen, Nahrung von außen aufzunehmen. Wenn nun die ersten Zähnchen auf der Oberfläche sich entwickeln würden, wären sie allen mechanischen Einflüssen beim Nahrungserwerb ausgesetzt; ihre Ent-

wickelung könnte dadurch nicht nur gehindert, sondern auch ganz unmöglich gemacht werden."

Analoge Verhältnisse haben wir beim Cyclopterus schon festgestellt. Aber gerade, weil er sehr bald gezwungen ist, Nahrung von außen aufzunehmen, wozu Zähne in genügender Zahl vorhanden sein müssen, entwickeln sich die ersten nach einem wesentlich schnelleren Modus als die Zähne, die erst nach dem Ausschlüpfen gebildet werden.

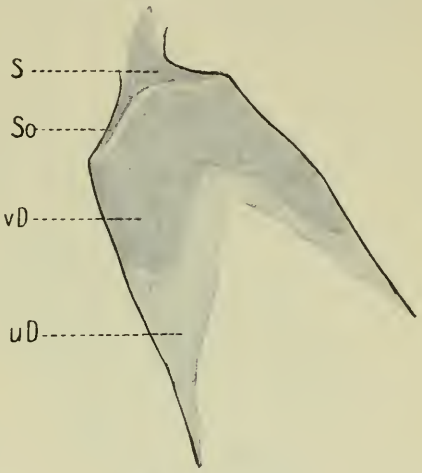
c) Gemeinsame Weiterentwickelung.

Nach diesem Exkurs kehren wir zurück zur Entwickelung. Mit der Ausbildung des glockenförmigen Stadiums war die Grundform des zukünftigen Zahnes gegeben. Die jetzt einsetzende Bildung von Grundsubstanz zeigt sich an der Oberfläche der Bindegewebspapille meist in sichelförmiger Gestalt (Taf. XVI, Fig. 3). In dem nächstfolgenden Stadium bemerkt man, wie durch vermehrte Grundsubstanzbildung der kegelförmige Zahn sich gebildet hat, der noch nicht verkalkt ist (Taf. XVI, Fig. 4). Eng liegen die Epithelzellen dem Kegel noch an. In der Grundsubstanz selbst ist ein verschiedenes Verhalten gegen Farben zu bemerken, das auf Differenzierungen in derselben deutet. Die Spitze ist durch eine deutliche Grenze von den basalen Teilen geschieden. Nach den freien Rändern läuft die Grundsubstanz spitz zu (Taf. XVI, Fig. 4, 5, 6; Textfig. 10, 11). Die nun eintretende Verkalkung erfordert eine Behandlung mit entkalkender Säure. Solche entkalkten Schnitte zeigen uns sehr interessante Verhältnisse. Wir können nämlich in aufeinanderfolgenden Stadien, d. h. an Zähnen, an denen die Verkalkung immer mehr vorgeschritten ist, das allmähliche Verschwinden der deutlich abgesetzten Spitze verfolgen (Textfig. 10, 11; Taf. XVI, Fig. 5, 6). Zunächst bemerkt man auch hier wieder verschiedene Farbreaktionen im Spitzen- und im Basalteile. Während



Textfig. 10. Hartsubstanzkegel mit Schmelzspitze. Verkalktes und unverkalktes Dentin sind zu unterscheiden. Unvollständig verkalkter junger Zahn von den oberen Schlundknochen. Cycl. 18 mm. Sag. Vergr. 920:1.

letzterer typische Bindegewebsfärbung zeigt, nimmt die Spitze stets Blaufärbung an, die ihre Zugehörigkeit zur Epidermis erkennen läßt. Wir haben also eine Schmelzdecke vor uns, die eine ziemliche Mächtigkeit erlangt (Textfig. 10). Sie sitzt kappenförmig auf dem Dentin — denn als solches ist der Basalteil anzusehen — ohne dessen Seitenränder zu bedecken. Der ganze Hartsubstanzkegel wird von einem feinen, dunkelblau gefärbten Saume umzogen. Die Verkalkung fängt gerade an. In einem weiteren Stadium hat die Grundsubstanz mehr Kalksalze aufgenommen, infolgedessen erhalten wir nach der Entkalkung einen kleineren organischen Rückstand der Spitze (Textfig. 11). Es tritt schon eine deutliche Loslösung der Schmelzkappe vom Dentin ein. Währenddessen ist auch im Dentin eine Differenzierung eingetreten. Die Basis des Zahnes färbt sich matt, während sein oberer Teil intensivere Färbung zeigt. Dieser hat schon Kalksalze aufgenommen, die basalen Teile dagegen sind noch unverkalkt (Textfig. 10, 11; Taf. XVI, Fig. 6). Dieses unverkalkte Dentin (Prädentin) nimmt an der äußeren Grenze weiter Kalksalze auf, gleichzeitig wird von innen immer neue Grundsubstanz gebildet. Der Zahn wächst. Ist schließlich im oberen Teile die Verkalkung vollkommen beendet, so ist nach der Entkalkung die Schmelzspitze bis auf geringe organische Reste verschwunden (Taf. XVI, Fig. 5 und 6 *Sr.*). Daß die Auflösung des Schmelzes mit starker Druckentwickelung verbunden sein muß, ist daraus ersichtlich, daß das früher dem Zahne eng anliegende Epithel jetzt weit zurückgedrängt ist (Taf. XVI, Fig. 5 und 6).



Textfig. 11. Weiter verkalkter Zahn als der in Textfig. 10 abgebildete. Die Schmelzspitze hat hier nach der Entkalkung einen geringeren organischen Rückstand. Dentin wie in Textfig. 10. Cycl. 22 mm. Sag. Vergr. 920 : 1.

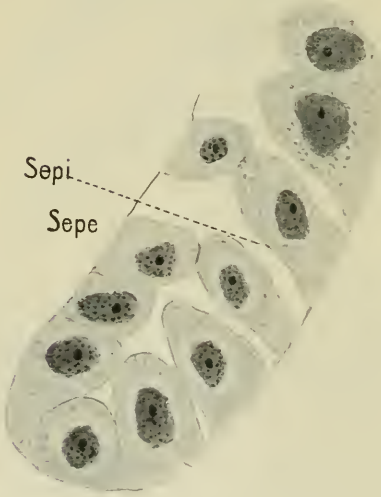
Mit aus dieser Tatsache schließen auch Röse und Friedmann auf das Vorhandensein von Schmelz. Röse (1898) schreibt l. c. p. 65: „Der fertige oder nahezu fertig gebildete Schmelz

löst sich bei der Entkalkung des Gewebes bis auf geringe Reste völlig auf. Durch die damit verbundene Gasentwickelung wird das Epithel der Epithelscheide stets zurückgedrängt und der Zwischenraum zwischen Zahnbein und Epithelscheide erscheint im Schnitte größer als er in Wirklichkeit ist."

Nachdem das Wachstum des Zahnes abgeschlossen ist, tritt dieser uns in der in Taf. XVI, Fig. 7 abgebildeten Form entgegen. Wir sehen da einen Hohlkegel mit gleichmäßig dickem Mantel. Nur die Schmelzspitze, die allerdings in der Figur fehlt, und ein kleiner Teil des Dentins ragen über das Mundhöhlenepithel hervor, die übrige Partie des Zahnes ist von Weichteilen bedeckt.

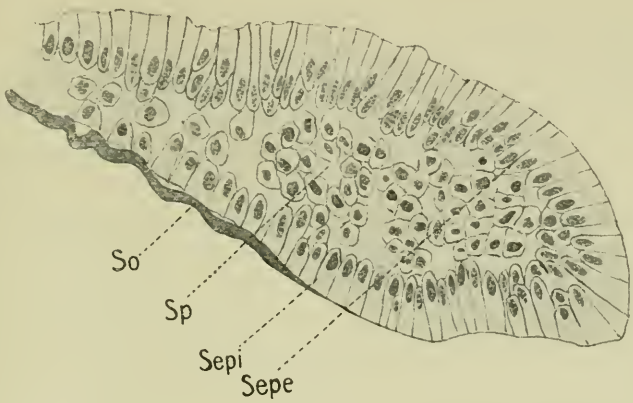
d) Die Zellen des Schmelzorgans.

Welche Veränderungen gehen nun während des Wachstums des Zahnes mit den an seiner Bildung beteiligten Zellen vor? Betrachten wir zunächst die dem Ektoderm angehörenden Schmelzzellen. Außer einer Verlängerung und Vermehrung dieser Zellen ist bis zur Bildung des glockenförmigen Stadiums an ihnen keine Differenzierung weiter wahrzunehmen. Erst jetzt findet eine deutliche Sonderung statt (Taf. XVI, Fig. 3, 4, 5, 6; Textfig. 12). Auf dem Zahnkeime finden wir zwei Schichten von Epidermiszellen; die der Papille zunächst liegenden erlangen eine beträchtliche Höhe, besonders an der Spitze der Papille ist dies zu konstatieren; der große Kern, der oft die ganze Zelle erfüllt, rückt alsdann nach dem Ende, welches der Bindegewebspapille abgewandt ist. Nach beiden Seiten hin nehmen die Schmelzzellen dieser Lage, des „inneren Schmelzepithels", an Höhe ab und gehen an der Basis des Zahnkeims kontinuierlich in die mehr kubischen Zellen des „äußeren Schmelzepithels" über. Sehr gut zeigen



Textfig. 12. Übergang der Zellen des inneren Schmelzepithels in die des äußeren. Cycl. 15 mm. Sag. Vergr 1590 : 1.

diese Verhältnisse Taf. XVI, Fig. 3 und 5. Die Zellen des äußeren Epithels haben einen kleineren Kern, der zentral liegt. Die Kerne beider Epithellagen enthalten einen Nukleolus und sind außerdem noch reich an Chromatin. Tomes hat den Satz aufgestellt, daß die Entwickelung der Zellen des inneren Schmelzepithels in einem direkten Verhältnisse zur Dicke des Schmelzes steht. Für die Zähne des Aales ist dieses Verhalten typisch. Auch hier findet sich nur eine kleine kappenförmige Schmelzbekleidung der Zahnspitze, die Schmelzzellen haben hohe Zylinderform. Auf der Mantelfläche des Dentins liegt kein Schmelz, und da sind die Schmelzzellen nahezu rudimentär geworden. Ein solch schroffer Gegensatz ist an den Cyclopteruszähnen nicht bemerkbar, es be-



Textfig. 13. Bildung einer Art Schmelzpulpa. Cycl. 25 cm. Dentale, Sag. Vergr. 515 : 1.

steht, wie schon gesagt, ein allmählicher Übergang der Zellen des inneren in die des äußeren Epithels, obgleich Schmelz auch nur in Form einer Kappe die Spitze bedeckt. Eine Trennung des Schmelzorgans (inneres + äußeres Schmelzepithel) von der Epidermis tritt nie ein. Zwar wird durch Neigung und Verschiebung der Anlage oft eine solche vorgetäuscht (Taf. XVI, Fig. 3), aber auf vollkommenen Schnittserien ist der Verbindungsstrang („Hals des Schmelzorgans") immer nachzuweisen (Taf. XVI, Fig. 5). Nach beendeter Schmelzbildung verlieren die Schmelzzellen ihre hohe Zylinderform, sie gleichen dann wieder den übrigen Epithelzellen, aus denen sie ja früher hervorgegangen waren (Taf. XVI, Fig. 6 und 7). Nur an der Umkehrstelle behalten sie etwas länger die hohe Gestalt bei (Taf. XVI, Fig. 7 und Textfig. 13).

Noch eine Erscheinung möchte ich nicht unerwähnt lassen, die uns gerade diese beiden Figuren sehr gut zeigen. An allen älteren Zähnen liegen die beiden Schmelzepithelien nicht mehr dicht aufeinander wie früher. Zwischen beide treten polygonale Zellen der Epidermis, so daß diese Erscheinung vielleicht als Anfang einer Schmelzpulpa zu betrachten ist. Das Gewebe dient jedenfalls der Ernährung des Schmelzepithels. Ähnliche Bildungen sind auch schon für andere Teleostier festgestellt. Friedmann hat eine Schmelzpulpa bei Hechtzähnen an älteren Tieren beschrieben. Die Zellen derselben sind sternförmig wie in der Schmelzpulpa der höheren Vertebraten. Carlsson berichtet l. c. p. 238: „Die beiden Schichten des Schmelzkeims sind nur durch gewöhnliche Epithelzellen geschieden, also fehlt hier eine vollständig geschlossene Schmelzpulpa.“ — Für Cyclopterus gilt dasselbe (Taf. XVI, Fig. 7 und Textfig. 13).

Zuletzt möchte ich an dieser Stelle noch kurz auf Klaatschs Theorie betreffs der Zahnbildung bei den Fischen zu sprechen kommen. Das Für und Wider seiner „Skleroblastentheorie“ bei den verschiedenen Autoren findet bei Hase (1911) Berücksichtigung (p. 77 ff.), so daß ich nur das Wesentlichste für unsern Fall, die Bezahnung, anzugeben brauche. In seiner Arbeit (1894) „Über die Herkunft der Skleroblasten“ kommt Klaatsch zu dem Resultat, „daß die Zellen, welche die Hartsubstanz bei den Fischen bilden, aus dem Ektoderm stammen“, l. c. p. 219. Und zwar kommen Zellübertritte zunächst an den Faltungsrändern der Plakoidorgane und der Zähne vor. Seine Bilder zeigen hier auch regelmäßig eine Unterbrechung der Membrana terminans. Die Ektodermzellen treten an solchen Stellen ins Mesoderm über und liefern da sowohl Odontoblasten wie Osteoblasten. Schon Röse (1894) wies diese Auffassung als auf einem Beobachtungsfehler beruhend zurück. In neuester Zeit hat Rosén (1910) die Ansicht Klaatschs Punkt für Punkt an der Forelle widerlegt. Aus meiner Darlegung über das Schmelzorgan der Cyclopteruszähne geht hervor, daß hier keine Stütze für die Hypothese Klaatschs gewonnen wird. Stets war eine deutliche Grenze zwischen Ektoderm und Mesoderm vorhanden. Eine Unterbrechung der Basalmembran habe ich nirgends finden können (vgl. Taf. XVI, Fig. 3, 4, 5, 6, 7 und Textfig. 3—9, 12 und 13). Vielmehr kann ich für unseren Vertreter Wort für Wort von dem unterstreichen, was Merkel (1909) über das Verhalten der Membrana terminans an Zahnkeimen im allgemeinen sagt, l. c. p. 335: „Am Zahnkeime

ist das Verhalten der Terminans auch in anderer Weise interessant. An einer Reihe verschiedenalteriger Präparate läßt sich mit Leichtigkeit nachweisen, daß man in der Membrana präformativa nur die Grenzhaut (terminans) vor sich hat, welche das Corium allenthalben gegen die Epidermis abschließt (gesperrt vom Verf.), was auch für v. Korff nicht dem geringsten Zweifel unterliegt. Man sieht dann auch, daß die Membran durchaus nicht mit der Papille zu Ende ist, sondern um die Spitze der sie deckenden Epithelkappe umbiegt, um an der äußeren Seite des Schmelzorganes weiter zu gehen." Betreffs der Entstehung und Bedeutung der Membrana terminans verweise ich auf Hase (1911), p. 14 und 26 ff.

e) Die Odontoblasten.

Nachdem wir die Veränderungen kennen gelernt haben, die die ektodermalen Schmelzzellen während des Wachstums erleiden, wenden wir uns im folgenden zu den mesodermalen Elementen, denen bei der Hartsubstanzbildung die Hauptaufgabe zufällt[1]).

---

1) Bezüglich der Grundsubstanzbildung, speziell der des Dentins stehen sich zurzeit zwei Ansichten gegenüber, die eine, in erster Linie vertreten durch v. Korff (1910) und Studnička (1907 und 1909), leugnet eine direkte Beteiligung der Zellen. Nach v. Korff wird die Grundsubstanz des Zahnbeins durch interzelluläre Bindegewebsfibrillen der Pulpa gebildet. Die Odontoblasten haben nur Fortsätze zu bilden, um das Dentin zu ernähren. Nach der anderen Auffassung stammt die Grundsubstanz des Dentins von den Odontoblasten. Über ihre Bildungsweise herrscht jedoch auch hier unter den Autoren keine Einigkeit. Die einen lassen die Grundsubstanz durch Sekretion aus den Odontoblasten hervorgehen. Vertreter dieser Meinung sind Kölliker, Kollmann (1872), Baume (1882), Schaffer (1901) u. a. Auf der anderen Seite wird angenommen, das Dentin werde durch Umwandlung des Protoplasmas gebildet. Hier sind unter anderen die Namen Waldeyer (1871), Tomes, (1878) Röse (1892), Disse (1909) und v. Ebner (1909) zu nennen.

Meines Erachtens ist die Frage, ob Dentin durch Sekretion oder durch Transformation entsteht, von untergeordneter Bedeutung. Eine Umwandlung muß schließlich irgendwo erfolgen, damit es zur Ablagerung von Kalksalzen kommen kann. Wichtiger ist es, festzustellen, daß den Odontoblasten die Aufgabe der Dentinbildung überhaupt zufällt. Da ich an meinem Objekte nirgends Bilder sah, die für die Auffassung v. Korffs sprechen, so muß ich für Cyclopterus die Odontoblasten als alleinige Dentinbildner ansehen. Zunächst geht aus ihnen unverkalkte Grundsubstanz hervor, welche später Kalksalze aufnimmt.

Bis zur Entstehung des glockenförmigen Stadiums ist an der Bindegewebspapille ebenfalls keine Besonderheit zu bemerken. Ein Haufen dichtgelagerter, runder Bindegewebszellen mit großen Kernen bildet diese Papille, die gegen das übrige Bindegewebe nicht abgegrenzt ist (Textfig. 9; Taf. XVI, Fig. 3, 4, 5, 6). Ein Zahnsäckchen findet sich also hier nicht. Zur Zeit der ersten Grundsubstanzbildung tritt auch die erste Differenzierung in den Zellen des Dentinkeims ein, und zwar strecken sich die der obersten Schicht etwas in die Länge und ordnen sich senkrecht zur Oberfläche der Papille (Textfig. 9; Taf. XVI, Fig. 3 und 5). Der große Kern rückt in das dem Mittelpunkte der Papille zunächst liegende Ende (Taf. XVI, Fig. 6 und Taf. XVII, Fig. 10). Er enthält ebenfalls einen Nukleolus und außerdem noch sehr viel Chromatin. Die Zylinderzellen dieser obersten Schicht sind die Odontoblasten (Waldeyer), die die Aufgabe der Grundsubstanzbildung haben (s. Anmerkung p. 339). An Zähnen von sehr jungen Fischen ist die Anordnung nicht so charakteristisch wie an älteren Zähnen (vgl. Taf. XVI, Fig. 4 mit Fig. 6 und Taf. XVII, Fig. 10). Die Zellen im Inneren der Papille dienen jedenfalls der Ernährung der Odontoblasten, später übernehmen sie auch die Bildung von Fibrillen und Fasern in der Pulpa. Sie liegen dann nicht mehr so zusammengedrängt wie am Anfang und machen neuen, von unten einwandernden Bindegewebselementen Platz. Es entwickelt sich die Zahnpulpa (Taf. XVI, Fig. 7 *P*). Nach Holländer (1877) findet man in jeder Pulpa „zahlreiche Nerven und Gefäßverzweigungen und ein faseriges Bindegewebe. Man kann sie als ein Organ beschreiben, welches aus einer schleimig-gelatinösen Matrix besteht, die eine Menge von Zellen enthält, welche nach außen besonders zahlreich sind“, l. c. p. 73. — Diese Beschreibung läßt sich auf die Pulpa der Cyclopteruszähne übertragen.

Solange die Produktion von Grundsubstanz dauert, solange besitzen die Odontoblasten ihre typische Form[1]; nachdem jene abgeschlossen ist, haben sich die Zellen sozusagen verbraucht, sie werden kleiner, bis fast nur noch der Kern übrig bleibt (Taf. XVI, Fig. 7). Dieser Zustand macht sich zuerst in den höher gelegenen Partien der Pulpa bemerkbar. An der Basis des Zahnes, besonders an der Verwachsungsstelle desselben mit dem Knochen

1) Für die einzelnen Arten ist die Form der Odontoblasten verschieden, wie Heincke angibt. Bald sind sie mehr osteoblastenähnlich, bald mehr zylindrisch. Zwischen beiden Ausbildungen gibt es zahlreiche Übergänge.

behalten die Odontoblasten noch längere Zeit ihre hohe Zylinderform bei (Taf. XVI, Fig. 7 und Taf. XVII, Fig. 10). Die veränderten Odontoblasen findet man bis zur Abnutzung des Zahnes, dem Dentin eng anliegend; deshalb glaube ich nicht, daß sie trotz der Reduktion, die sie erfahren haben, vollkommen funktionslos werden, vielmehr möchte ich ihnen dieselbe Aufgabe zuschreiben, die nach HASE (1911) auch die Skleroblasten dieses Tieres aller Wahrscheinlichkeit nach zu erfüllen haben. Er sagt l. c. p. 84: „daß den Skleroblasten keine Neubildung von Hartsubstanz in dem modifizierten Zustande mehr zukommt, dies besorgen die in voller Funktion bleibenden an der Basis, sondern daß sie die ständige Dickenzunahme der schon gebildeten Hartsubstanz veranlassen durch Abgabe von Kalksalzen an die Fibrillenlagen."

Auch das Innnere der Pulpa erleidet im Alter Veränderungen. Auf Kosten der Zellen nimmt das faserige Bindegewebe überhand; die wenigen Zellen, die noch anzutreffen sind, haben spindel- oder sternförmige Gestalt angenommen (Taf. XVI, Fig. 7 und Taf. XVII, Fig. 10). Alle Fasern des Pulpabindegewebes sind kollagener Natur. Verknöcherungen kommen auch im Alter der Zähne in den Pulpen nicht vor; gegen das übrige Bindegewebe werden diese nicht abgeschlossen.

Nachdem wir so die Entwickelung eines einzelnen Zahnes in allen Einzelheiten kennen gelernt haben, wollen wir im nächsten Abschnitte die Ausbildung des Gebisses in aufeinanderfolgenden Stadien beobachten.

4. Entfaltung des Gebisses.

Stadium A. Ei, Durchmesser fast 2 mm, Dotter ziemlich reichlich. 15 Tage nach der Befruchtung.

MECKELscher Knorpel vorhanden. Dentale ist bereits angelegt als Knochengrundsubstanzlamelle im Mesoderm. Intermaxillare tritt ebenfalls als Grundsubstanzbalken auf. Obere und untere Schlundknochen sind knorpelig.

Im Unterkiefer bemerken wir jederseits drei Zahnanlagen; nahe der Medialebene eine glockenförmige Anlage, die ungefähr so alt ist wie die in Textfig. 4 abgebildete; neben dieser befindet sich eine Anlage, die an ihrer Spitze bereits eine schwache Grundsubstanzbildung zeigt. Endlich tritt in der Nähe des Mundwinkels die jüngste Zahnanlage auf; sie ist in Textfig. 3 dargestellt. Die Anlagen in beiden Kieferhälften sind annähernd von gleichem Alter; dasselbe gilt auch für die anderen Knochen.

Auch im Oberkiefer sind bereits drei Zähne auf jeder Seite angelegt. Sie haben alle das glockenförmige Stadium schon erreicht (Textfig. 5), und zwar befindet sich die älteste Anlage zwischen den beiden anderen; von diesen wieder liegt die jüngere ebenfalls in der Nähe des Mundwinkels.

Die Zahnanlagen auf den oberen Schlundknochen, drei an der Zahl, sind glockenförmig. Am weitesten vorn bemerken wir die jüngste. Seitlich hinter ihr sind zwei Anlagen schon ziemlich weit entwickelt, an beiden wird schon Grundsubstanz gebildet. Mit der Spitze sind alle drei Zahnkeime nach der Körpermittellinie gerichtet.

In der Region der unteren Schlundknochen sind noch keine Zähne angelegt.

In diesem Stadium sind also an drei Stellen der Mundhöhle je drei Zähne rechts und links nach plakoidem Typus angelegt. An welcher Stelle die Zähne zuerst gebildet werden, läßt sich jetzt mit Sicherheit nicht mehr entscheiden. Legt man die Höhe der Entwickelungsstufe zugrunde, so findet man den ältesten Zahn im Unterkiefer, die nächstältesten zwei Zähne auf den oberen Schlundknochen und die jüngsten im Oberkiefer. Bei gleichschneller Entwickelung würden demnach zuerst im Unterkiefer Zähne angelegt.

Stadium B. Ei, Durchmesser 2 mm, Dotter geringer, 24. Tag.

Meckelscher Knorpel wird ringförmig von der Knochengrundsubstanzlamelle des Dentale umgeben. Intermaxillare ist weiter entwickelt. Obere und untere Schlundknochen knorpelig. In den beiden Kiefern ist je eine neue Zahnreihe angelegt. Die Zähne der ersten Reihe sind weiter entwickelt, an den ältesten ist Grundsubstanz schon in bedeutender Menge gebildet, die jüngsten treten wieder in der Nähe des Mundwinkels auf. Die Zahnanlagen der zweiten Zahnreihe stehen meist nicht hinter den Zahnreihen der ersten, sondern unregelmäßig hinter deren Zwischenräumen. Ihre Spitzen sind nach rückwärts gerichtet, während die weiter ausgebildeten Zähne der ersten Dentiton[1]) schon das Bestreben haben, sich aufzurichten. Im Unterkiefer konnte ich in der vorderen Reihe sieben, in der hinteren drei Zähne resp.

---

1) Dentition und Zahngeneration gebrauche ich im Sinne von Zahnreihe, über den Zahnersatz soll mit diesen Ausdrücken noch nichts gesagt sein.

Zahnanlagen zählen. Im Oberkiefer waren in der ersten Reihe vier, in der zweiten zwei Zähne bzw. Anlagen vorhanden.

Auf den oberen Schlundknochen entstehen neue Zähne zwischen den alten. Eine absolut genaue Zählung ist infolge der dadurch entstehenden Unregelmäßigkeit ausgeschlossen.

Die Ausbildung aller Zähne erfolgt noch im Bereiche des Ektoderms. Verkalkung ist noch nicht eingetreten, weder in den Zähnen noch im Knochen, dagegen sind die am weitesten entwickelten Zähne im Unter- und Oberkiefer schon teilweise mit dem Knochen verwachsen.

Stadium C. 26 Tage nach der Befruchtung, Cyclopterus eben ausgeschlüpft, 5 mm lang.

Bemerkenswert für dieses Stadium ist das Auftreten von Zahnanlagen auf den unteren Schlundknochen. Jederseits sind zwei Zähne angelegt, die älteren liegen hinter dem Knochen fast horizontal, mit der Spitze nach hinten gerichtet. Sie beginnen bereits mit Grundsubstanzbildung. Hier könnte man zweifelhaft sein, welchen Entwickelungsgang diese Zahnkeime eingeschlagen haben. Aber vor ihnen befindet sich je eine Anlage, die nach plakoidem Typus in der Höhe der untersten Epidermisschicht gebildet ist (Textfig. 4). Wenn jedoch spätere Zähne plakoid angelegt werden, so muß dies um so mehr bei älteren Zähnen der Fall sein. Die Anlagen zeigen deutlich das Bestreben, sich ins Mesoderm einzusenken.

Auf den übrigen Knochen ist, abgesehen von einigen neuen Anlagen, eine wesentliche Änderung nicht eingetreten.

Stadium D. Cyclopterus 5 mm lang.

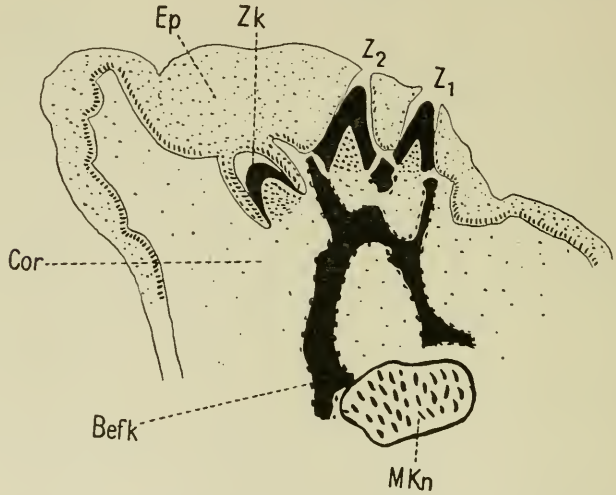
Obwohl zwischen diesem und dem vorigen Stadium kein Unterschied in der Größe besteht, so zeigt doch die Bezahnung weiter entwickelte Verhältnisse. Im Ober- und Unterkiefer sind in der ersten Zahnreihe die der Mitte zunächst stehenden Zähne fertig gebildet, aber noch nicht oder doch nur wenig verkalkt. Sie dringen mit ihrer Spitze nahezu bis an die oberste Epidermisschicht, ohne diese zu durchbrechen (Taf. XVI, Fig. 4). Die Zähne der zweiten Zahnreihe sind in ihrer Entwickelung noch nicht so weit gediehen. Auf den unteren Schlundknochen sind die vier erwähnten Anlagen weiter entwickelt, außerdem erscheinen wieder vor diesen die beiden jüngsten Anlagen. Sie machen sich bemerkbar durch knospenförmige Anschwellung der untersten Epidermisschicht (Textfig. 6). Auch auf den oberen Schlundknochen und in den beiden Kiefern gehen jetzt die Zahnanlagen diesen

Weg (Textfig. 7, 8, 9), d. h. sie entwickeln sich in der Tiefe des Mesoderms.

Stadium E. Cyclopterus 11 mm lang.

In diesem Stadium bemerken wir eine deutliche Verdickung des Mundhöhlenepithels über den zahntragenden Knochen. Der MECKELsche Knorpel ist noch vorhanden, er wird von einer ziemlich dicken Knochenhülle umgeben. Auch um die oberen und unteren Schlundknochen haben sich dünne Knochenlamellen gebildet.

Die ältesten Zähne der ersten Zahnreihe in den Kiefern sind fertig, mit dem Knochen verwachsen; die Verkalkung ist in



Textfig. 14. Zwei funktionierende Zähne im Unterkiefer, dahinter ein Zahnkeim, dessen Grundsubstanz schon teilweise verkalkt ist. Cycl. 27 mm. Sag. Vergr. 97 : 1.

ihnen beendet. Einzelne treten in Funktion, d. h. sie haben das Epithel durchbrochen. In der zweiten Reihe ist die Bildung der Zähne noch nicht vollendet. Die Verkalkung schreitet in ihnen vorwärts; mit dem Knochen sind sie noch nicht verwachsen. Im allgemeinen ist ihre Entwickelung im Unterkiefer gegenüber der im Oberkiefer die weiter vorgeschrittenere. Die jüngsten Anlagen sind wieder in der Nähe des Mundwinkels zu finden. Auf den Schlundknochen erfolgt die Anlegung neuer Zähne regellos zwischen den vorhandenen. Die ältesten sind verkalkt und mit dem Knochen verwachsen. Auch sie beginnen, das verdickte Epithel zu durchbrechen.

Die Weiterentwickelung des Gebisses ist aus dem bisher Gesagten wohl schon ersichtlich, ich kann mich also für die folgenden Stadien kürzer fassen.

Stadium F. Cyclopterus 15 mm lang.

Im Unterkiefer funktionieren Zähne der ersten Zahngeneration, und die der zweiten Generation sind im Durchbruch durch das Epithel begriffen. Außerdem sind hinter den beiden ersten Reihen Zähne einer dritten Dentition angelegt.

Im Oberkiefer ist ebenfalls die erste Zahnreihe zum größten Teil in Tätigkeit. Die ältesten der zweiten sind nur stellenweise mit dem Knochen verwachsen, sie sind noch mehr oder weniger im Mesoderm verborgen. Auch hier erscheinen Zahnanlagen, die einer dritten Generation angehören, unabhängig von den schon vorhandenen [1]).

Für die Zahnanlagen der Schlundknochen gilt dasselbe wie für die des vorigen Stadiums.

Stadium G. Cylopterus 22 mm.

Die Anlagen einer vierten Dentition erscheinen im Unterkiefer. In den beiden ersten Zahnreihen ist die Mehrzahl der Zähne in Tätigkeit, die der dritten Generation liegen noch im Mesoderm

Im Oberkiefer sind nur drei Reihen von Zähnen bzw. Zahnanlagen vorhanden, die Zähne der letzten sind noch in Entwickelung begriffen.

Mit dem Wachstum des Tieres haben auch alle Zähne an Größe zugenommen.

Stadium H. Cyclopterus 36 mm.

Sowohl im Unterkiefer wie auch im Oberkiefer tritt je eine neue Generation von Zähnen auf. Im Dentale haben Zähne dreier Generationen das Kieferepithel durchbrochen, im Oberkiefer funktionieren dagegen nur Zähne der beiden ersten Dentitionen. Die Anlagen der beiden letzten Zahnreihen sind verschieden weit entwickelt; die jüngsten sind am Innenrande der Kiefer anzutreffen. Auch in der Nähe des Mundwinkels entstehen neue Anlagen.

In diesem Stadium wie auch in den vorhergehenden ist stets eine bedeutende Verdickung des Mundepithels über den zahntragenden Knochen zu konstatieren.

---

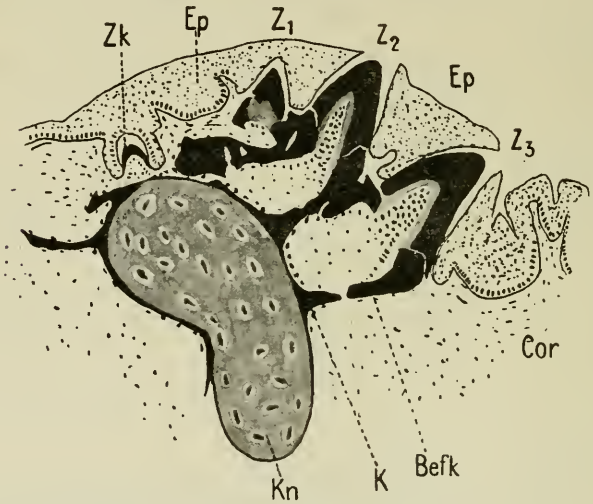
1) Die geschilderten Verhältnisse gelten für die mittleren Partien der Kiefer, wo sie am ausgeprägtesten sind.

Die Zahnentwickelung im Oberkiefer scheint etwas gegen die im Unterkiefer zurückzubleiben, doch kommt das beim ausgewachsenen Tier nicht mehr in Betracht. Hier funktioniert ein ganzes Band von Zähnen, außerdem kommen Unregelmäßigkeiten durch den Zahnersatz zustande.

Die Zähne der älteren Generation bleiben natürlich nicht dauernd erhalten, sondern sie werden abgenutzt und fallen aus; an ihre Stelle treten in der Regel neue, Ersatzzähne.

5. Zahnersatz und Zahnbefestigung.

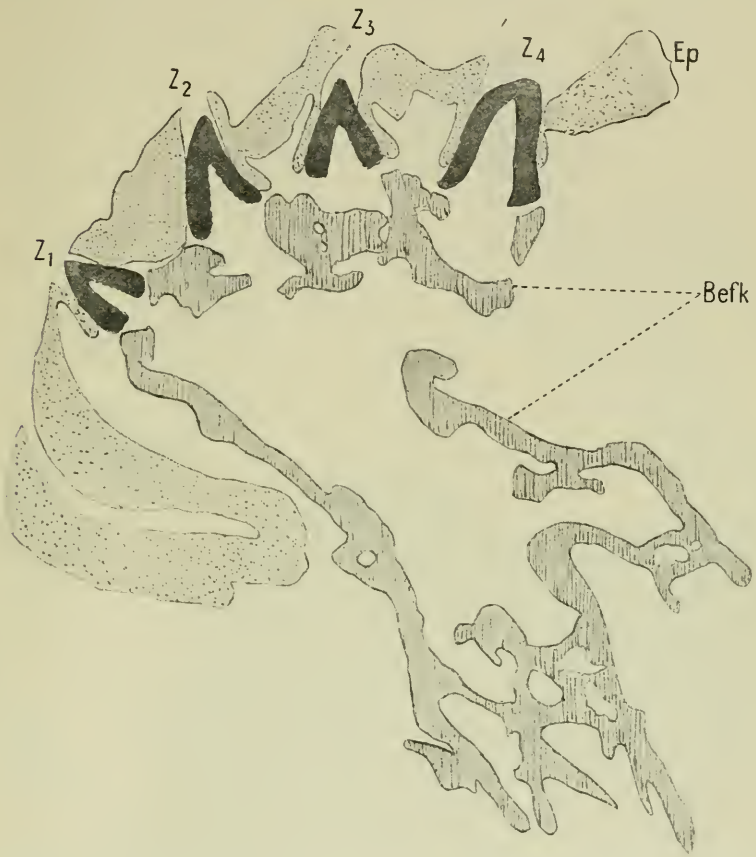
Wie der Zahnersatz erfolgt, das ist schon in der Beschreibung der Gebißentfaltung angedeutet. Von einer Zahnleiste ist auf



Textfig. 15. Drei fertige Zähne auf den oberen Schlundknochen, der erste von ihnen ist tangential getroffen. Vor ihnen ein Zahnkeim. Cycl. 27 mm. Sag. Vergr. 97 : 1.

allen zahntragenden Knochen nichts zu bemerken, wenn man nicht die Verdickung des Mundepithels (Textfig. 14 und 15) als ersten Anfang einer solchen ansehen will. Aber selbst in den Kiefern kann von einer serialen Anordnung der Zähne in Querreihen, wie sie für das Kiefergebiß der Selachier charakteristisch ist, nicht die Rede sein. Jeder Zahn entsteht hier, ebenso wie auf den Schlundknochen für sich. Eine Zahnleiste, wie sie Carlsson (1895) für Knochenfische beschreibt, wird manchmal auch beim Cyclopterus vorgetäuscht (Textfig. 18). Die Figur ist nach dem Sagittalschnitt durch einen Cyclopteruskopf gezeichnet.

Der Schnitt liegt in der Nähe des Mundwinkels. An dieser Stelle ist das Mundepithel sehr stark gefaltet; oft erscheinen dann im Schnitt, zumal da der Knochen nicht genau quer getroffen ist, solche Falten als einheitliche Einsenkung ins Mesoderm. Von einer Zahnleiste kann man also auch hier nicht sprechen. Übrigens sah ich eine derartige Erscheinung auch nie in der Mitte des



Textfig. 16. Vier funktionierende Zähne im Dentale mit Befestigungsknochen Halbschematisch. Cycl. 25 cm. Sag. Vergr. 97 : 1.

Kiefers, wo sie doch zuerst als Zahnleiste hätte angesprochen werden können.

Um zu prüfen, ob zwischen den Zähnen ein ähnlicher Zusammenhang bestände wie zwischen denen des Hechtes und auch des Karpfens, wurden Flächenschnitte durch die Kiefer angefertigt. Sie zeitigten jedoch ein negatives Resultat. Während in den beiden genannten Familien die Ersatzzähne von ihrem Vorgänger

in der Weise abhängen, daß das äußere Epithel des ersten Zahnes zum inneren des zweiten wird, steht bei Cyclopterus kein Zahn in irgendeiner Verbindung mit seinem Vorgänger oder Nachfolger, wenn überhaupt von solchen hier gesprochen werden kann. Der größte Teil der Schleimhaut in den Kiefern wie auf den Schlundknochen ist imstande, Zähne zu bilden. In dieser Be-

Textfig. 17. Zwei benachbarte, fertige Zähne auf den oberen Schlundknochen mit Befestigungsknochen. Halbschematisch. Cycl. 40 cm. Trans. Vergr. 97 : 1.

ziehung präsentiert sich also unser Lump als ein Vertreter der Knochenfische, bei welchem jene Verhältnisse noch sehr primitiv liegen.

Gleich hier möchte ich noch erwähnen, daß uns weitere primitive Verhältnisse bei Cyclopterus auch noch in der geringen Verknöcherung des Skeletts und in der eigenartigen Ausbildung des Schuppenkleides entgegentreten.

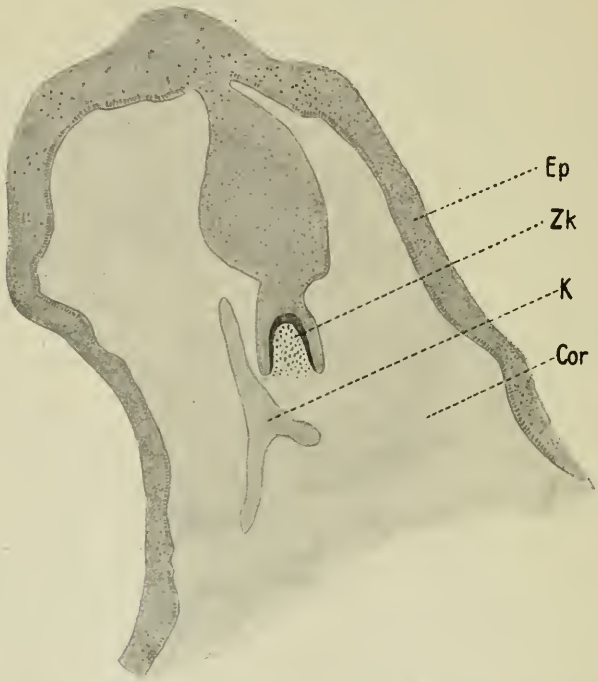
Die Entstehung der Ersatzzähne in den Kiefern zeigt allerdings schon einige Gesetzmäßigkeit gegenüber derjenigen auf den Schlundknochen. Hier können an jeder Stelle zwischen den bereits funktionierenden Zähnen neue gebildet werden, ähnlich wie am Gaumen des Hechtes. Hierüber berichtet FRIEDMANN l. c. p. 566—567 folgendes: „Die Ersatzzähne des Gaumens beim Hechte bilden sich in den häufigsten Fällen ganz unabhängig von den funktionierenden Zähnen da, wo gerade Platz für ihre Entwickelung vorhanden ist. Wir finden hier keine langen Epithelzapfen, sondern, wenn überhaupt welche vorhanden sind, ganz kurze. Gewöhnlich entwickeln sich die Gaumenzähne direkt vom Epithel; die unterste Epithelschicht wuchert in das unterliegende Bindegewebe und umwächst dort eine zur Papille werdende Mesodermpartie. Sehr oft kommt es vor, wie schon oben bemerkt, daß ein funktionierender Zahn überhaupt keinen Ersatzzahn hat, er wird resorbiert, verschwindet und nirgends ist die Spur eines Ersatzzahnes zu sehen. Es entstehen eben hier neue Zähne zwischen den alten da und dort, wo sie gerade Platz finden."

Etwas anders liegen die Verhältnisse im Ober- und Unterkiefer. Niemals sah ich hier Ersatzzähne zwischen den alten Zähnen auftreten. Immer stehen die jüngsten Zähne an der lingualen Seite des Knochens. Insofern ist also hier eine Beschränkung in der Zahnentwickelung zu verzeichnen, als nur die hinterste Partie des Kieferepithels Zähne zu bilden vermag. Der Zahnersatz erfolgt in horizontaler Richtung (Textfig. 14). Eine Spezialisierung ist hier schon angedeutet; auch an einer Zahnleiste ist nur die am tiefsten gelegene Stelle in der Lage, Zähne zu bilden. Verspüren wir vielleicht in der Entwickelung des Kiefergebisses vom Lump den ersten Anklang an eine noch undifferenzierte Zahnleiste? Jedenfalls ist aber der oben erwähnte Satz RÖSES, daß bei mehrreihiger Zahnstellung der Knochenfische entweder alle Zähne an einer Zahnleiste gebildet werden oder jede Reihe ihre besondere Zahnleiste habe, für unser Objekt mit Vorsicht zu gebrauchen.

Im Anschluß hieran möchte ich einiges über die Befestigungsart der Zähne beim Lump erwähnen. Bekanntlich unterscheidet man bei allen bezahnten Wirbeltieren drei Typen der Befestigung[1]): 1. Befestigung durch Ligamente, 2. durch Ankylose, 3. durch Gomphose. Wie bei den meisten Fischen, so sind auch beim

1) S. DE TERRA 1910.

Cyclopterus die Zähne ankylosiert, wie es die Textfig. 14, 15, 16, 17 und Taf. XVI, Fig. 7 veranschaulichen. Jeder Zahn steht auf einem besonderen Knochensockel. Oft verschmelzen benachbarte Sockel miteinander, dann sieht es aus, als ob auch die auf ihnen stehenden Zähne verschmolzen seien, das trifft natürlich durchaus nicht zu. In ihrer Gesamtheit bilden diese Sockel eine siebartig durchlöcherte Platte, die dicht unter dem Epithel liegt. Durch die Löcher steht die Zahnpulpa in Kommunikation mit dem übrigen Bindegewebe. Durch Knochenbänder und -brücken,



Textfig. 18. Sagittalschnitt aus der Nähe des Mundwinkels, Epithelfalten im Dentale eine Zahnleiste vortäuschend. Cycl. 36 mm. Vergr. 97 : 1.

die kreuz und quer das Bindegewebe durchziehen, wird diese Platte mit dem eigentlichen Knochen verbunden. Nach Baume (1882) sieht ein derartiges Gebilde „wie spongiöse Knochensubstanz aus“ (besonders Textfig. 16). Eine besondere Zementschicht am Wurzelteile des Zahnes konnte ich nicht finden, sie wird auch nicht vermißt, da von einem Zahnsäckchen, aus dem sich an den Zähnen anderer Tiere später Zement bildet, nichts vorhanden war. Zwischen Zahn und Knochen ist die Verwachsung nie so innig, daß man nicht mehr sagen könnte, wo ein Teil an-

fängt und der andere aufhört. Vielmehr ist immer eine deutliche Grenze vorhanden; in den meisten Fällen findet sich an der Verwachsungsstelle ein fibrilläres Gewebe, das allmählich verkalkt (Taf. XVI, Fig. 7). Die Standfestigkeit der Zähne wird erhöht dadurch, daß der Zahn nicht mit einer glatten Fläche dem Sockel aufsitzt, sondern daß an beiden Ansatzflächen Auszackungen und Buchten auftreten (Taf. XVI, Fig. 7).

Vergleichen wir noch einmal die Textfig. 14—17 miteinander, so fällt uns auf, daß nicht nur bei Jungfischen (Textfig. 14 und 15) die zahntragenden Knochen knorpelig sind, sondern daß sich der Knorpel auch noch bei ausgewachsenen Tieren ziemlich mächtig erhält[1]) (bes. Textfig. 17). Den Hauptbestandteil der knöchernen Substanz liefern die „Befestigungsknochen" (Tomes) und besonders die aus den verschmolzenen Zahnsockeln bestehende Platte. Die knorpeligen Elemente des Dentale und Intermaxillare werden bis auf geringe Reste von den Befestigungsknochen verdrängt. Die Verknöcherung

---

1) Die meisten Kopfknochen bewahren dauernd ihren primitiven Charakter, nur an ihrer Oberfläche werden dünne Knochenplatten gebildet. Garman berichtet hierüber: „Much the greater part of this skeleton is soft semi-cartilaginous. A small amount of osseous material exists in thin lamellae, frequently forming chambres and cavities, upon and around which lies the soften matter" l. c. p. 24 und „The bones are squamous, the thinnest have but a single broad plate of osseous matter" l. c. p. 26. — Beim Durchsehen meiner Schnittserien fiel mir auf, daß das Maxillare, ein massiger Knochen, auch bis auf geringe Knorpelreste verknöchert. Während also die primären Knochen des Schädels dauernd auf einem embryonalen Stadium stehen bleiben, ist in einigen sekundären (Deck-)Knochen zunehmende Verknöcherung festzustellen. Um den Bezeichnungen „primär" und „sekundär" aus dem Wege zu gehen, da sie gerade bei Cyclopterus Verwirrung anzurichten geeignet sind, könnte man in diesem Falle vorteilhaft die von Vrolik (1873) eingeführten Ausdrücke anwenden. Er bezeichnet solche Knochen, in denen die Knochensubstanz über den Knorpel überwiegt, als „enchondrostotische" und solche, die zum größeren Teil aus Knorpel bestehen, als „perichondrostotische". Diese Bezeichnungen sollen jedoch nur zur Charakterisierung des Mengenverhältnisses zwischen Knorpel und Knochen benutzt werden; wir haben demnach am Schädel des Cyclopterus perichondrostotische Knochen mit Ausnahme des Dentale, Intermaxillare und Maxillare. Ein weiteres Eingehen auf diese Verhältnisse liegt vom Ziele meiner Arbeit zu weit ab. Die Bearbeitung der Frage, ob das Skelett des Cyclopterus überhaupt ein Knochenskelett (enchondrostotisch) ist, würde aber sicher lohnend sein und viel Interessantes auch bezüglich der systematischen Stellung des Cyclopterus ergeben.

der Kieferknochen steht also auch hier in ursächlichem Zusammenhange mit der Zahnbildung. Somit findet die Hertwigsche Theorie, daß die Deckknochen der Mundhöhle ein Produkt der Zähne und ursprünglich aus deren verschmolzenen Zahnsockeln entstanden seien, auch am Seehasen eine neue Stütze.

V. Histologie der Zähne.

1. Das Dentin.

Eine genaue Kenntnis von der Histologie der Fischzähne haben wir erst seit Owens klassischer „Odontography" (1845). Er unterscheidet nach Trockenschliffen drei Dentinmodifikationen und zwar Vasculardentin, das größere und kleinere Kanäle beherbergt, einfaches Dentin mit Zahnbeinkanälchen und schließlich Vitrodentin, das als schmelzartiger Überzug zu betrachten ist. Für alle späteren Bearbeiter von Fischzähnen ist Owen vorbildlich. Die von ihm geschaffenen Bezeichnungen sind, abgesehen von einigen Korrekturen, auch heute noch in der Literatur gang und gäbe.

In neuerer Zeit hat Röse (1898) in seiner Abhandlung „Über die verschiedene Abänderung der Hartgewebe bei den niederen Wirbeltieren" folgende Arten von Zahnbein beschrieben:

1. Echtes Zahnbein = Dentin,
   a) Röhrchenzahnbein = normales Dentin.
   b) einschlußfreies Zahnbein = Vitrodentin,
   c) Gefäßzahnbein = Vasodentin,
2. Bälkchenzahnbein = Trabeculardentin, entsteht frei im Bindegewebe,
3. einschlußfreies Hartgewebe = osteoides Gewebe (Vitrotrabeculardentin),
4. Knochenzahnbein = Osteodentin.

Er führt den neuen Begriff Trabeculardentin ein. Im Gegensatze zu dem echten Dentin, das nur von einer Seite vermehrt wird, ist dieses ein allseitig wachsendes Zahngewebe, das hauptsächlich in der Zahnpulpa angetroffen wird.

Schließlich wäre noch der Arbeit Burckhardts zu gedenken, der „Entwickelungsgeschichte der Verknöcherungen des Integumentes und der Mundhöhle der Wirbeltiere" (1906). Er hält sich mit seiner Klassifikation der Dentine an Röse (1898) und teilt ein nach dem Verhältnisse der Weichteile zu den ge-

bildeten Hartsubstanzen. Unter den „echten Hartgeweben“ des Bindegewebes unterscheidet er solche

1. ohne Einschlüsse; dazu gehört das Vitrodentin „mit feinsten Kanälchen ohne nachgewiesenen Protoplasmaeinschluß“;
2. mit Einschluß von Zellteilen; hier reiht sich das Dentin ein, das „unter sich parallele, für Protoplasmaausläufer bestimmte Röhrchen“ enthält;
3. mit Einschluß von Zellen; Knochen;
4. mit Einschluß ganzer Pulpaabschnitte; hier ist das Trabeculin zu erwähnen, ein „allseitig wachsendes, rein mesodermal entstehendes Hartgewebe, welches balkenartig die Pulpa durchzieht“. Auch das Vasodentin gehört hierher, „ein einseitig wachsendes Dentin“, das ganze Gefäße in sich aufnimmt.

Daß die einzelnen Dentinmodifikationen sich nicht scharf voneinander abgrenzen lassen, braucht nach diesen historischen Bemerkungen wohl kaum noch einmal erwähnt zu werden. Übergänge kommen auch hier vor. Ich werde mich im folgenden hauptsächlich an die Einteilung von Röse halten. Die Trennung der verschiedenen Dentinarten wird noch dadurch erschwert, daß besonders bei den Fischen an ein und demselben Zahne mehrere Arten kombiniert vorkommen. Man findet häufig, z. B. beim Hechtzahne, die Pulpa ausfüllend, das Trabeculardentin, darüber liegt normales Dentin, und als oberste Schicht ist Vitrodentin vertreten. Selbstverständlich sind die verschiedensten Kombinationen möglich.

Ich komme nun zu den eigenen Befunden.

An den allermeisten Schnitten ist infolge der Entkalkung von Struktur nichts mehr zu sehen, nur ein Unterschied zwischen verkalktem und unverkalktem resp. weniger verkalktem Dentin war immer festzustellen. Darauf wurde schon früher hingewiesen (s. p. 335, Taf. XVI, Fig. 6). Bei der Anwendung des Farbgemisches Orange G und Fuchsin S zeigte das verkalkte Dentin homogenes gelbliches Aussehen, während in dem unverkalkten an manchen Stellen eine feine Körnelung erschien (Taf. XVI, Fig. 6 und Taf. XVII, Fig. 9). Besser schon ließ sich die Struktur des Zahnbeins nach der Färbung mit Pikraminsäure-Chromotrop und dem Mallory schen Gemisch erkennen. Taf. XVII, Fig. 8 stellt den Sektor eines Querschnittes durch einen Zahn, der mit der ersten Zusammensetzung behandelt wurde, dar. Im Zentrum ist der mehr oder weniger

ausgedehnte Querschnitt der Pulpa zu sehen. In mäßiger Dicke um dieselbe liegt das jüngste Dentin. In unmittelbarer Nähe der Pulpa befindet sich ein dunkel gefärbter Streifen, der jedenfalls als eine dem Kölliker schen Häutchen — festere Dentinlamelle zwischen allerjüngster und nächst älterer Zahnbeingrundsubstanz — analoge Bildung aufzufassen ist. Er war in allen Präparaten wiederzufinden. In konzentrischer Anordnung um diese Lamelle wechseln hellere mit dunkleren Partien ab. Ohne deutliche Grenze geht das jüngste Dentin in älteres über. Bei weitem die mächtigste Schicht des ganzen Zahnes nimmt ein Dentin ein, das das Aussehen eines wirren Filzes hat. Nach außen geht diese „filzige" Dentinlage in eine wohlgeordnete Schicht über. Letztere ist von radiär gerichteten Balken durchsetzt, so daß eine prismenähnliche Struktur zustande kommt. Sie erinnert stark an die Bilder, die Sternfeld von Schnitten durch den Hechtzahn gibt (1882) [s. dort Taf. XXVI, Fig. 8]. Er erklärt dabei diese Lage für Schmelz prismatischer Natur. Friedmann legt jedoch später dar, daß diese Außenschicht der Hechtzähne noch zum Zahnbeine zu rechnen ist. Zweifelsohne gehört sie auch bei den Cyclopteruszähnen noch zum Dentin, denn eine Grenze zwischen ihr und der vorhergehenden besteht nicht, beide gehen ineinander über. Außerdem liegt auf ihr eine weitere Schicht, die letzte, die ebenfalls noch Dentincharakter trägt. Das geht einmal aus ihrer Färbung hervor. Ferner zeigte sich, daß sie mit der vorletzten Schicht viel inniger verbunden ist als mit der darüberliegenden, vom Epithel gebildeten. Bei zu großer mechanischer Beanspruchung tritt nur eine Loslösung dieser letzteren vom Zahnbeine ein, wie mehrere meiner Präparate das gut erkennen ließen; die Schichten des Zahnbeins selber bleiben aneinander haften. Die Schicht epithelialen Ursprungs ist auch scharf gegen die letzte Dentinlage abgegrenzt. Irgendwelche Struktur konnte ich auf keinem Schnitte an dieser erkennen, sie ist hier vollständig homogen.

Welche Erklärung haben wir nun für diese merkwürdigen Strukturverhältnisse, und wo läßt sich das Dentin der Cyclopteruszähne in das System einordnen? Vorausschicken will ich, daß wir es nur mit Modifikationen des echten Dentins zu tun haben, charakteristisch für dasselbe ist ja einseitiges Wachstum.

Bei den miteinander abwechselnden helleren und dunkleren Partien des jüngsten Dentins handelt es sich um mehr oder minder große Anhäufungen von Fibrillen der Grundsubstanz, die als Schichtungsstreifen oder Konturlinien bezeichnet werden

(Taf. XVII, Fig. 8, 12, 13). Röse (1898) sagt über derartige Gebilde: „Infolge von unregelmäßigem Wachstume während der Entwickelung sind in der Grundsubstanz aller bindegewebigen Hartgebilde die leimgebenden Fibrillen bald dichter, bald weniger dicht angehäuft. Die Stellen, an denen die Fibrillen dichter angehäuft sind, erscheinen unter dem Mikroskope bei starker Abblendung als fortlaufende, zarte Streifungen. Es sind dies die sog. Schichtungsstreifen oder Konturlinien", l. c. p. 28. Solche Streifen werden aber auch hervorgerufen durch Knickungen der Dentinröhrchen. Darüber berichtet eingehend Kollmann (1872). Die Knickungen führt er zurück auf Druckschwankungen während des Wachstums und bezeichnet deshalb die Konturlinien auch als Drucklinien. An meinem Objekte konnte ich zunächst an Schnitten von Zahnbeinröhrchen nichts bemerken. Jedenfalls werden sie durch die Färbung verdeckt. Dagegen ließen sich mit der Zusammensetzung Hämalaun-Orange G-Fuchsin S sehr schön die Dentinausläufer der Odontoblasten (Tomessche Fasern) darstellen. Sie treten mit den Zahnbeinröhrchen gemeinsam auf und sind deshalb hier zu erwähnen. Jede Dentinzelle schickt einen bis drei Fortsätze in das Dentin hinein, die sich mit Hämalaun blau färben, ebenso wie die Odontoblasten selbst (Taf. XVI, Fig. 6, Taf. XVII, Fig. 9; Textfig. 19). Mit zunehmender Entfernung von der Zelle verjüngen sie sich und reichen höchstens bis an das fertig verkalkte Dentin heran. Sehr gut sind diese Verhältnisse in Taf. XVII, Fig. 9 zu sehen. In älteren Zähnen ist ihr Querschnitt kleiner als in jungen, noch nicht fertig gebildeten; sicher eine Folge der zunehmenden Verkalkung (vgl. Textfig. 19 und Fig. 9, Taf. XVII). Ihr Verlauf ist meist gerade, selten schwach wellenförmig wie in Textfig. 19. Sie gehen von einer Zelle aus, enthalten mithin Protoplasma, über dessen Struktur ich allerdings näheres nicht ermitteln konnte. Im allgemeinen ist es etwas heller als das der zugehörigen Zelle (Textfig. 19). Aller Wahrscheinlichkeit nach dienen sie auch hier der Ernährung des Dentins, vielleicht auch der Sensibilität. Über ihre Aufgabe schreibt Baume (1882): „Wir sehen also als Lebensäußerungen im Zahnbein, daß Zirku-

Textfig. 19. Odontoblasten mit je einem Tomesschen Fortsatz. Zahnkeim. Cyclopt. 28 mm. Sag. Vergr. 1590 : 1.

lation und die Sensibilität von der Pulpa ausgehen. Das Zahnbein selbst, oder besser die in ihm enthaltenen Weichteile erscheinen nur als Vermittler der vorbeschriebenen Erscheinung", l. c. p. 140. — Bestimmteres läßt sich auch heute über die Funktion der Tomesschen Fibrillen noch nicht sagen.

Für jedes Dentin, das Odontoblastenausläufer beherbergt, ist auch das Vorhandensein von Dentinkanälchen nachgewiesen, die jene Ausläufer aufnehmen. Da ich auf Schnitten keine Kanälchen zu Gesicht bekommen konnte, fertigte ich Schliffe an. Ist

Textfig. 20. Längsschliff eines Oberkieferzahnes mit konz. HCl behandelt. Deutlich sichtbar werden dadurch die Dentinkanälchen. Vergr. 405 : 1.

der Schliff gut gelungen und dünn genug, dann sieht man an einem Längsschliffe von der Pulpa feine, dunkle, unter sich parallele Linien ausgehen, die nicht weit in das Dentin vordringen (Taf. XVII, Fig. 11—13). Sie liegen ganz dicht beieinander und stehen senkrecht auf der Pulpaoberfläche. Ihr Verlauf ist gerade, nirgends habe ich eine Verzweigung, Biegung oder Knickung gesehen. Wir haben in diesen Gebilden Zahnbeinröhrchen vor uns, deren Länge ungefähr derjenigen der Tomesschen Fasern entspricht. Um sicher zu gehen, daß wir es hierbei auch mit Röhr-

chen zu tun haben, versuchte ich sie zu isolieren. Ein Schliff wurde mit konzentrierter HCl benetzt und unter dem Mikroskope beobachtet. Da bei zu langer Einwirkung der Säure die organischen Rückstände des Zahnes zerfallen, mußte die Entkalkung unterbrochen werden, sobald die Dentinröhrchen deutlich wurden. Da beim Entkalken von den Kanälchen die Wandungen (Neumannschen Scheiden) übrig bleiben, so kann man an einem so behandelten Schliffe gut ihren röhrigen Bau erkennen (Textfig. 20). Leider ist das Entkalken in starker Säure von Schrumpfungserscheinungen begleitet, trotzdem konnte ich auch hier wieder feststellen, daß die Kanälchen sehr kurz sind, ebenso weisen sie keine einheitlichen Knickungen auf, die sonst die Konturlinien veranlassen. So fein wie die Dentinröhrchen bei anderen Zähnen an der Dentinschmelzgrenze endigen, beginnen sie bei den Cyclopteruszähnen an der Pulpa.

Die Charakteristik der innersten Dentinschicht lautet demnach: einseitiges Wachstum und Auftreten von Zahnbeinröhrchen mit feinen Protoplasmaausläufern; mithin ist diese Lage als „normales Dentin“ zu betrachten.

Wie steht es nun mit den nächsten Schichten, die ihrer Entstehung nach auch als echtes Dentin zu bezeichnen sind? Ihnen fehlt, wie aus dem bisherigen hervorgeht, das, was das Wesen des normalen Dentins ausmacht, die Röhrchen. Protoplasmatische Einschlüsse kommen also sicher nicht mehr vor. Solche Hartsubstanz wird als Vitrodentin bezeichnet. Aber ein Blick auf einen Schnitt oder Schliff lehrt, daß wir hier nicht ein kompaktes Dentin, wie es das Vitrodentin ist, vor uns haben. Die ganze Masse macht vielmehr den Eindruck, als ob sie aus einzelnen Körnern bestände, die mehr oder weniger zusammengeballt sind (vgl. Taf. XVII, Fig. 8, 11, 12, 13). Alles liegt so „wirr durcheinander“, daß der Ausdruck „filzig“ wohl anwendbar wäre. Wie kommt diese Struktur nun zustande? Ich halte sie für eine Erscheinung des Verkalkungsprozesses. Schon an jungen Zähnen konnte man bemerken, daß die Grenze zwischen verkalktem und unverkalktem Dentin nicht linear ist, sondern Auszackungen zeigt. Noch deutlicher wurden diese Verhältnisse an einem Radialschnitte durch einen älteren Zahn, an dem die Bildung von Grundsubstanz noch nicht beendet und die von außen nach innen fortschreitende Verkalkung im vollsten Gange war (Taf. XVII, Fig. 10). Deutlich ist verkalktes von unverkalktem Zahnbein abgesetzt und zwar mit einer ganz unregelmäßigen Grenze von kugeligen Vorsprüngen

und Auszackungen (Taf. XVII, Fig. 10). In der größeren Partie des Zahnes, über die bereits die Verkalkung sich ausdehnte, heben sich Stellen ab, die, nach ihrer Färbung zu urteilen, weniger Kalksalze aufgenommen haben als andere. Die Hauptmasse des Zahnes besteht demnach aus unregelmäßig verkalktem Dentin. Stärker verkalkte Stellen wechseln mit schwächer verkalkten ab. Mit anderen Worten, die Hauptmasse des Dentins der Cyclopteruszähne ist von Interglobularräumen durchsetzt. Auf Schliffen erscheinen auch in dieser Schicht dunklere Partien, die nach der Zahnspitze konvergieren (Taf. XVII, Fig. 12 und 13). Es sind das ebenfalls Konturlinien, diesmal aber hervorgerufen durch Anhäufung von Interglobularräumen.

Schwierig erscheint zunächst die Deutung der nächsten Dentinschicht, die prismatischen Charakter zeigt sowohl auf Schnitten wie auf Schliffen (Taf. XVII, Fig. 8, 11, 12, 13 *p D.*) Aber auch über sie gibt uns Taf. XVII, Fig. 10 Auskunft. Wir sehen da am Rande ebenfalls verkalkte Kugeln (*Zbk*) wie in der zuletzt beschriebenen Dentinlage, nur daß sie hier weniger geordnet sind als dort. Mit zunehmender Verkalkung entstehen dann Gebilde, wie sie uns in Taf. XVII, Fig. 8 entgegentreten. Also auch diese Struktur ist als eine Folge von unregelmäßiger Verkalkung anzusehen. Immerhin scheint aber hier die ungleichmäßige Verkalkung geregelter zu sein als in der nach innen angrenzenden Schicht. Die Kalksalze werden in Paketen abgelagert, die prismenähnlich angeordnet sind. Dadurch wird natürlich die Festigkeit dieser Schicht beträchtlich erhöht gegenüber dem anderen Dentin. Das innere, von Interglobularräumen durchsetzte Kalkgerüst ist sehr hinfällig und wird deshalb von einem fester gefügten Mantel bedeckt. Die Interglobularräume erscheinen hier als radiäre, dunkle Balken der weniger verkalkten Grundsubstanz. Daß es sich dabei nicht um Dentinröhrchen handeln kann wie beim Hechte, geht daraus hervor, daß diese, wie bekannt, beim Cyclopterus nur in beschränktem Maße zur Ausbildung kommen.

Gebilde, die an anderen Zähnen nur ausnahmsweise vorkommen, treten also in den Cyclopteruszähnen konstant auf und noch dazu in ungeheurer Zahl. Interglobularräume findet man in den Zähnen anderer Wirbeltiere, niederer sowohl wie höherer, nur an wenigen Stellen, meist an der Dentinschmelzgrenze, vor.

Es bleibt nun noch übrig, die Dentinart der obersten Schicht des Zahnbeinkegels zu prüfen (Taf. XVII, *Vd* Fig. 11, 12, 13). Während an Schnitten diese Lage vollkommen homogen erschien,

sieht man auf Schliffen in ihr eine ganz zart angedeutete, radiäre Streifung (Taf. XVII, Fig. 11—13). In den Streifen haben wir aber nicht etwa eine Fortsetzung der radiären Grundsubstanzbalken der prismatischen Dentinschicht zu erblicken. Dafür spricht die Tatsache, daß auf entkalkten Schnitten nichts von einer Radiärstreifung in der Rindenschicht zu sehen ist, während die vorhergehende Schicht gut ausgeprägt die senkrecht zur Oberfläche gestellten Balken erkennen läßt (Taf. XVII, Fig. 8 *p D*). Wie aus Taf. XVII, Fig. 11—13 hervorgeht, erreicht die Oberflächenlage nur eine geringe Dicke, die ganz von den parallelen Streifen durchsetzt wird. Nach ihrer Struktur und Festigkeit trägt diese Schicht den Charakter einschlußfreien Dentins, des Vitrodentins. Die Radiärstreifung verrät den faserigen Bau desselben.

Eine oberflächliche Bedeckung von Vitrodentin kommt bei den meisten Fischzähnen vor, sie liegt bei den Knochenfischen unter dem echten Schmelz.

Zu erwähnen ist schließlich noch, daß wir im Wurzelteile des Zahnes, an der Stelle seiner Verwachsung mit dem Sockel ein Hartgewebe vor uns haben, das auf der Pulpaseite von Odontoblasten, außen dagegen von Osteoblasten gebildet wird (Taf. XVI, Fig. 7 *Ost* und *Od*). Es erfährt Verdickung von zwei Seiten und nimmt somit eine Zwischenstellung zwischen Dentin und Knochen ein.

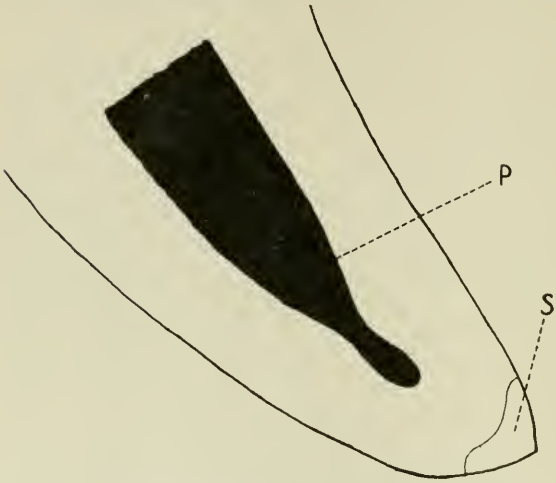
2. Der Schmelz und das Schmelzoberhäutchen.

Über das Vorkommen von Schmelz an den Fischzähnen ist man von jeher geteilter Meinung gewesen.

Nach Owen (1845) sind nur solche Zähne, die sich in der Tiefe der Kiefer entwickeln, später von Schmelz bedeckt. Die allermeisten Fischzähne entbehren nach ihm des Schmelzes. Heincke (1873) findet zuerst bei Hechtzähnen Schmelz. Hertwig (1874) nimmt für alle Fischzähne Schmelz an. Röse (1898) spricht den Selachiern den Schmelz ab. „Die Haifischzähne besitzen zwar ein Schmelzoberhäutchen, aber keinen Schmelz.“ Die meisten Teleostierzähne sind dagegen von echtem Schmelze bedeckt. „Freilich ist dieser Schmelz oft sehr dünn und beschränkt sich auf die äußerste Spitze der Zähne. Nach unten hin setzt sich der Schmelz, wie O. Hertwig richtig angibt, stets in eine dünne Cuticula (Schmelzoberhäutchen!) fort.“

Daß auch in unserem Falle Schmelz vorhanden ist, wurde schon bei der Zahnentwickelung erwähnt. Auf jungen, noch un-

vollendeten Zähnen, die noch im Mesoderm verborgen sind, liegt eine relativ dicke Schmelzbekleidung in Form einer Kappe (Textfig. 10, 11; Taf. XVI, Fig. 4). In welchem Verhältnisse eine solche auf durchgebrochenen Zähnen anzutreffen ist, konnte auf entkalkten Schnitten aus bekannten Gründen nicht festgestellt werden. Daß aber eine Schmelzdecke auch auf fertigen Zähnen noch liegt, das lehrt einmal die Wirkung des Gasdruckes bei der Entkalkung, dann aber auch die Betrachtung eines ganzen Zahnes (Textfig. 21). Die kappenförmig abgesetzte, kleine Spitze ist hier deutlich zu sehen. Der Zahn wurde in Kanadabalsam eingekittet und dann mit 20 % HCl behandelt. Unter dem Mikroskope kann man da einen allmählichen Zerfall und schließlich gänzliche Auflösung der Spitze verfolgen. Der Dentinkegel schrumpft dabei etwas und läßt eine hügelartig hervorgewölbte Spitze erkennen (Textfig. 22)[1]. In dem erhärteten Kanadabalsam aber bleibt die Kontur des intakten Zahnes erhalten. An fertigen Zähnen ist also die Schmelzbedeckung viel geringer als an jungen Zähnen (vgl. Textfig. 11, 12 mit 21, 22).

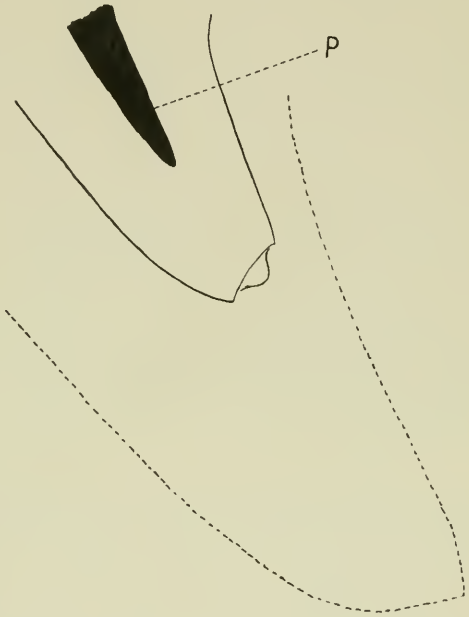


Textfig. 21. Oberer Teil eines intakten Zahnes mit Schmelzkäppchen. Vergr. 97 : 1.

Über die Struktur des Schmelzes hoffte ich an Dünnschliffen Aufschluß zu bekommen. Bei der Anfertigung der Schliffe stellten sich jedoch Schwierigkeiten ein. Zunächst sind die Objekte ziemlich klein, so daß nur geschliffen werden kann unter Kontrolle mit dem Mikroskope. Aber selbst das gewährleistet meist nicht den gewünschten Erfolg, da die Spitze wegen ihrer Sprödigkeit in der Regel abspringt. Da man immer peinlich befürchtet, daß

1) Diese hügelartige Spitze war auf allen Schnitten wiederzufinden, die die Zähne axial getroffen hatten (Taf. XVI, Fig. 5, 6, 7; Textfig. 22).

beim Weiterschleifen der Schliff zerfällt, weil ja die ganze Masse des Zahnes wenig widerstandsfähig ist, so gelingt es sehr selten, einen Schliff so dünn herzustellen, als es wünschenswert ist. Eine scharfe Grenze zwischen Schmelz und Dentin sieht man daher nicht. Vom Dentin aus scheinen noch ein Stück weit Fasern in den Schmelz einzudringen. Ob das jedoch sicher ist, muß dahingestellt bleiben. Prismenstruktur konnte ich in dem Schmelze nicht nachweisen; überhaupt scheint diese nach Röse im Schmelze der Fischzähne selten zu sein.



Textfig. 22. Derselbe Zahn mit 20 % HCl behandelt. Schmelzspitze verschwunden. Dentinkegel mit hügelartig hervorgewölbter Spitze. Vergr. 97 : 1.

Eins geht mit Sicherheit aus dem bisher Gesagten hervor, nämlich daß Schmelz auch an den Cyclopteruszähnen nur in geringer Menge die Spitze bedeckt. Die Mantelfläche des Dentinkegels ist frei von echtem Schmelze. Hier wird er jedoch ersetzt durch eine andere, ihm verwandte epitheliale Bildung, von der schon früher einmal die Rede gewesen ist (s. p. 335). Daß sie wirklich vom Epithel stammt, ist einerseits aus ihrer Färbung zu erkennen — auf allen Zahnschnitten lag ein dunkelbau gefärbter Saum (Taf. XVII, Fig. 8 *So*; Textfig. 10, 11, 13) — andererseits ist dieser Saum überall scharf gegen das Zahnbein abgegrenzt (bes. Taf. XVII, Fig. 8). Bei mechanischer Beanspruchung tritt nie eine Trennung zwischen Saum und Epithelscheide, wohl aber zwischen Saum und Zahnbein ein.

Infolge ihres ektodermalen Ursprungs ist diese oberste, äußerst dünne Schicht der Zähne als schmelzähnliche Bildung anzusehen. Im Gegensatze zu dem echten Schmelz, der von Säuren fast restlos aufgelöst wird, hält jene Oberflächenschicht ihren Einwirkungen stand, ein Zeichen, daß sie weniger Kalksalze auf-

genommen hat als der Schmelz. Nur eine mehr oder weniger starke Quellung ist an ihr zu bemerken, je nach der Größe der Konzentration und der Dauer der Einwirkung der Säure (vgl. Taf. XVII, Fig. 8 mit Textfig. 10, 11, 13). Die Bildung besitzt also alle Eigenschaften, die dem „Schmelzoberhäutchen" der Autoren zukommen. Auf Schliffen läßt es sich zunächst wegen seiner äußerst geringen Dicke nicht feststellen. Man kann hier deshalb auch nicht mit Bestimmtheit sagen, ob es sich noch über die Schmelzspitze hinzieht, es scheint aber der Fall zu sein, denn auf entkalkten Schnitten findet es sich immer nach deren Auflösung noch vor. Ich glaube daher nicht, daß es einfach eine Fortsetzung der Schmelzspitze auf die Seitenränder des Dentins ist — ein Schmelzoberhäutchen ist ja auch bei allen den Formen vorhanden, die keinen Schmelz besitzen — sondern halte es für ein selbständiges Gewebe. Im Wasser kommen gelöst Alkalien, überhaupt Stoffe, die zersetzend auf das Zahnbein wirken, immer vor, wenn auch in minimalen Mengen. Daher erhält besonders bei wasserlebenden Tieren das Schmelzoberhäutchen seine Bedeutung als Schutzmantel gegen chemische Einwirkungen auf den Zahn. Irgendwelche Struktur konnte ich an dem Schmelzoberhäutchen nicht nachweisen, es erscheint überall homogen (Taf. XVII, Fig. 8 *So*).

Anhangsweise will ich noch hinzufügen, daß von mancher Seite diese Cuticula auch als strukturloses Zement beschrieben wird, so z. B. von Baume (1882): „Die Bedeckung des Kronenteils aller Zähne mit Zement in Form des Schmelzoberhäutchens ist unzweifelhaft." Für unseren Fall ist das von vornherein ausgeschlossen, denn es ist schon des öfteren darauf hingewiesen worden, daß sich die Zähne des Cyclopterus nicht in einem „Zahnsäckchen" entwickeln. Nur wo das der Fall ist, kann überhaupt von einer Zementbildung gesprochen werden.

Ein wichtiges und unentbehrliches Hilfsmittel zur Beurteilung besonders der Hartgewebe gibt uns deren Untersuchung im polarisierten Lichte an die Hand. Sie wurde an den Schliffen ausgeführt bei gekreuzten Nicols und mit eingeschaltetem Gipsblättchen[1]). Alle einzelnen Teile des Zahnes erwiesen sich als mehr oder weniger stark doppelbrechend. Während das Schmelzoberhäutchen in gewöhnlichem Lichte an einem Schliffe nicht zu be-

---

1) Herrn Prof. Dr. Ambronn sage ich für die liebenswürdige Hilfe bei der Untersuchung auch an dieser Stelle meinen besten Dank.

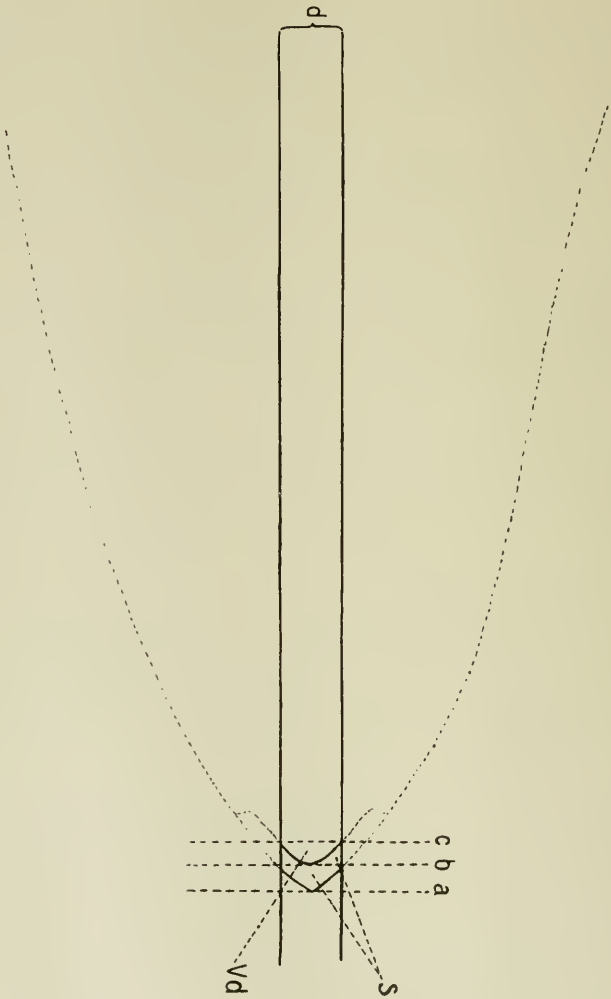
merken ist, wird es im polarisierten Lichte durch den Farbenwechsel deutlich sichtbar. In unserem Falle ist also der Kalkgehalt des Schmelzoberhäutchens größer als an anderen Zähnen, wo es keine Doppelbrechung zeigt. An den Seiten des Zahnes ist auch optisch kein echter Schmelz festzustellen, eine Bestätigung unseres früheren Befundes. Nach innen folgt vielmehr die Vitrodentinschicht, deren optisches Verhalten dem von Schmelz nahekommt. Zu bemerken wäre vielleicht, daß in dem Schmelzoberhäutchen und dem Vitrodentin die korrespondierenden optischen Elastizitätsachsen, die die Schwingungsrichtungen der beiden Strahlen, des außerordentlichen und des ordentlichen, angeben, senkrecht aufeinander stehen. Die nächste, die prismatische Dentinschicht, zeigt ebenfalls noch deutliche und einheitliche Doppelbrechung. Die Elastizitätsachsen liegen in ihr genau so wie im Vitrodentin. Die einheitliche Doppelbrechung läßt auf eine regelmäßige Anordnung der Kalksalzkristalle schließen. Eine solche Einheit der Doppelbrechung vermißt man in der folgenden, mit Interglobularräumen durchsetzten Schicht durchaus. Die Interglobularräume selbst und die durch ihre Anhäufung bedingten Konturlinien sind nur schwach doppelbrechend. Eine besonders große Menge von Interglobularräumen befindet sich über der Pulpa; sie liegen hier so dicht, daß die Stelle oft als Loch oder als Fortsetzung der Pulpa erscheint.

Das normale Dentin, das an die Pulpa grenzt, ist wieder deutlich einheitlich doppelbrechend. Auch hier schwingen ordentlicher und außerordentlicher Strahl in denselben Richtungen wie die entsprechenden Strahlen der ersten beiden Dentinlagen.

Die Pulpa ist isotrop.

Wie verhält sich nun unsere Schmelzspitze in polarisiertem Lichte? Als das am meisten verkalkte Hartgewebe zeigt der Schmelz am ausgeprägtesten Doppelbrechung. Es ist daher überraschend, wenn hier die Zahnspitze nicht oder nur schwach doppelbrechend ist. Woher kommt das? Wir haben gesehen, daß Schmelz nur in minimaler Menge die Spitze bedeckt. Das Dentin schiebt sich dazu hügelartig in die Schmelzkappe hinein, so daß an einem Schliffe, besonders da nicht beliebig dünn geschliffen werden konnte, die einzelnen Schichten nicht nebeneinander liegen, sondern sich z. T. überdecken (Textfig. 23). Nun zeigen aber zwei sonst gleiche, dünne Platten von entgegengesetzter Doppelbrechung, wenn sie übereinander gelegt werden, bei einer gewissen Stellung ein dunkles Gesichtsfeld. Bei verschiedener

Dicke der Platten treten in der Doppelbrechung Unregelmäßigkeiten auf; die Polarisationsfarben subtrahieren sich. Es kann also, obwohl zwei Schichten doppelbrechend sind, bei ihrer Überlagerung scheinbare Isotropie hervorgerufen werden, wenn die ein-



Textfig. 23. Schema eines Längsschliffes von der Kante gesehen, um die Verhältnisse an der Spitze zu veranschaulichen. *d* Schliffdicke. Zwischen *a b* die kegel-(keil-)förmige Schmelzspitze, zwischen *b c* überdecken sich Schmelz und Dentin.

ander entsprechenden optischen Achsen sich rechtwincklig kreuzen. Auch bei keil- oder kegelförmigen Platten ändern sich die Verhältnisse etwas. Sehen wir unsere Textfig. 23 daraufhin an, so finden wir zwischen *a* und *b* die kegelförmige Spitze. Die Doppelbrechung war hier schwach. Zwischen *b* und *c* aber liegen zwei

Schichten von entgegengesetzter Doppelbrechung übereinander. An manchen Schliffen blieb diese Stelle immer dunkel, an anderen wieder zeigte sie schwachen Wechsel von hell und dunkel; das hängt von der Dicke der beiden Schichten ab.

Wir sind mit der Beschreibung der histologischen Details zu Ende und können zusammenfassend sagen: die Zähne des Cyclopterus bestehen aus Schmelzoberhäutchen, Schmelzkappe und Dentin. Dieses setzt sich aus verschiedenen Modifikationen zusammen. Seine Hauptmasse stellt ein wenig widerstandsfähiges, von Interglobularräumen durchsetztes Dentin dar, das außen und innen von festerem Material umhüllt wird, und zwar finden wir außen unter dem Schmelzoberhäutchen Vitrodentin und innen, an die Pulpa grenzend, normales Dentin.

D. Vergleichspunkte zwischen den Hautossifikationen und den Zähnen von Cyclopterus.

Zuletzt will ich an der Hand von Hases „Studien über das Integument von Cyclopterus lumpus L.“ und der vorliegenden Abhandlung einige Vergleiche zwischen den Verknöcherungen des Integumentes und denen der Mundhöhle ziehen.

Schuppen und Zähne sind homologe Gebilde. Das vermuteten schon Owen (1845) u. a., erst Hertwig brachte endgültig den Nachweis von der Richtigkeit dieses Gedankens. Auf der ersten Stufe der Gebißentfaltung bei den Wirbeltieren „produziert die Mundschleimhaut allein allerorts Zähne, die den Plakoidschuppen in Bau und Entwickelung ähnlich sind. (Mundschleimhautzähne der Selachier)“ (Burckhardt 1906). Im Laufe der phylogenetischen Entwickelung treten dann bei beiden Hartgebilden sowohl in der Entwickelung als auch besonders im Bau Differenzierungen auf. Nur die ontogenetische Entwickelung der Zähne und Schuppen vermag uns dann noch Aufschluß über ihre Verwandtschaft zugeben.

Bei Cyclopterus haben die fertigen Hartgebilde in der Mundhöhle einerseits und die auf der äußeren Haut andererseits keine Ähnlichkeit mehr miteinander. Die Anlage aller Hautdornen wie auch die der ersten Zähne weist jedoch darauf hin, daß beide ursprünglich aus einfachen Hautverknöcherungen entstanden sein müssen. Beide werden nach plakoidem Typus angelegt (vgl. Textfig. 3 mit Hases Fig. 34), haben also eine gemeinsame Wurzel.

Haben die ersten Anlagen noch Ähnlichkeit miteinander gehabt, so macht sich bald ein wesentlicher Unterschied in der Weiter-

entwickelung bemerkbar. Während bei der Ausbildung der Zahnanlagen das Ektoderm aktiv beteiligt ist, spielt es in der Entwickelung der Hautdornen überhaupt keine Rolle, es verhält sich hier vollkommen passiv. Dieser Umstand hat zur Folge, daß zwei verschiedene Hartsubstanzen, Dentin und Schmelz, die Zähne aufbauen, während das Hartgewebe der Hautdornen allein mesodermalen Charakter trägt.

Nach Hase „haben die Hautverknöcherungen Dentinstruktur". Somit ist es auch nicht verwunderlich, wenn die Bildungszellen des Dentins der Zähne und desjenigen der Hautdornen große Ähnlichkeit zeigen. Über die Skleroblasten heißt es bei Hase (1911): „Wenn wir nicht wüßten, daß wir es mit Skleroblasten zu tun hätten, so würde der Unbefangene wohl diese Gebilde für echte Odontoblasten halten. Ich möchte ausdrücklich betonen, daß die Gestalt der Skleroblasten tatsächlich derjenigen von Dentinbildnern aufs Haar gleicht", l. c. pag. 83. Vergleicht man seine Abbildungen: Fig. 36—42, 44, 46—48 mit meinen Bildern Taf. XVI, Fig. 3, 5, 6, 7, Taf. XVII, Fig. 10, so erübrigen sich weitere Worte. Auf die analogen Funktionen der Odontoblasten und Skleroblasten nach abgeschlossener Grundsubstanzbildung wurde schon früher hingewiesen.

Hase kommt zu dem Schluß, daß „der gesamte Hautpanzer des Cyclopterus dem Schuppenkleid der Selachier näher steht als dem der Teleosteer". Das Resultat der vorliegenden Arbeit lautet dahin: die Bezahnung des Cyclopterus trägt den Charakter eines sehr primitiven Teleostiergebisses.

E. Zusammenfassung der Resultate.

Zum Schlusse will ich in einer gedrängten Übersicht die in der vorliegenden Arbeit gewonnenen Resultate zusammenstellen.

1. Bezahnt sind bei Cyclopterus Dentale, Intermaxillare, untere und obere Schlundknochen. Die Bezahnung ist relativ am dichtesten auf den unteren Schlundknochen; es folgen dann Dentale, Intermaxillare und obere Schlundknochen.
2. Das Gebiß trägt homodonten Charakter.
3. Vor der Geburt werden die Zähne nach plakoidem Typus angelegt, d. h. Ektoderm und Mesoderm verändern sich an den betreffenden Stellen gleichzeitig, so daß die Zahnanlage immer im Bereiche des Ektoderms sich befindet.

Ein 15 Tage alter Cyclopterusembryo hat je sechs Zahnanlagen im Dentale, Intermaxillare und auf den oberen Schlundknochen. Im Alter von 26 Tagen erscheinen vier Zahnanlagen auf den unteren Schlundknochen.

4. Nach der Geburt werden die Zähne in der Tiefe des Mesoderms gebildet und zwar an einzelnen Epithelzapfen, im Gegensatz zu anderen Fischen, z. B. Hecht und Karpfen, bei denen an einem Epithelzapfen mehrere Zähne hintereinander entstehen. Den ersten Anstoß zur Zahnentwickelung gibt jetzt das Ektoderm.
5. Im Dentale und Intermaxillare entstehen die jüngsten Zähne immer auf der lingualen Seite des Knochens. Der Zahnersatz geschieht horizontal; die ältesten Zähne stehen am Außenrande des Kieferknochens; von der lingualen Seite her werden die abgenutzten Zähne ersetzt.
6. Auf den Schlundknochen entstehen neue Zähne auch zwischen den bereits funktionierenden da, wo sie gerade Platz finden. Zahnersatz also unregelmäßig, aber auch horizontal.
7. Eine differenzierte Zahnleiste irgendwelcher Art ist auf keinem von den vier zahntragenden Knochen vorhanden. Jeder Zahn ist unabhängig von seinem „Vorgänger“ und „Nachfolger“. Auch bei den reihenweise angeordneten Zähnen in den Kiefern entsteht jeder Zahn für sich.
8. Die Zähne sind ankylosiert.
9. Die Zähne bestehen aus
   Schmelzoberhäutchen, als äußerst dünner Belag den Zahn bedeckend,
   Schmelz, kappenförmig auf die Spitze des Zahnes beschränkt,
   Vitrodentin, einem festen Detinmantel, unter dem Schmelz resp. dem Schmelzoberhäutchen liegend,
   Dentin, von Interglobularräumen durchsetzt, nach außen in eine prismatische Dentinschicht übergehend,
   normalem Dentin mit Dentinröhrchen, die Tomessche Fasern beherbergen, und Konturlinien.
10. Mit den Hautossifikationen stimmen nur die ersten Zähne in ihrer Anlage überein; in beiden Fällen ist diese plakoid. Bei Cyclopterus lumpus läßt sich also die Homologie von Zähnen und Schuppen noch direkt erkennen.

Literatur.

1) Baume, R., Odontologische Forschungen. Leipzig 1882.
2) Benda, C., Die Dentinbildung in den Hautzähnen der Selachier. Arch. f. mikr. Anat. 1882, Bd. XX.
3) Boas, V., Die Zähne der Scaroiden. Zeitschr. f. wiss. Zool. 1878, Bd. XXXII.
4) Burckhardt, R., Die Entwickelungsgeschichte der Verknöcherungen des Integuments und der Mundhöhle der Wirbeltiere. In: O. Hertwig, Ontogenie der Wirbeltiere. 1906, Bd. IV.
5) Carlsson, A., Über die Zahnentwickelung bei einigen Knochenfischen. Zool. Jahrb., Abt. Anat. 1895, Bd. VIII.
6) Disse, J., Über die Bildung des Zahnbeins. Sitz.-Ber. d. Ges. z. Beförd. d. Naturw. zu Marburg 1907.
7) Ders., Wie entsteht die Grundsubstanz des Zahnbeins? Anat. Anz. 1909, Bd. XXXV.
8) v. Ebner, V., Über die Entwickelung der leimgebenden Fibrillen im Zahnbein. Verh. d. Anat. Ges. 20. Vers. in Rostock 1906.
9) Ders., Über scheinbare und wirkliche Radiärfasern des Zahnbeins. Anat. Anz. 1909, Bd. XXXIV.
10) Fleischmann, L., Zur Bildung der Zahnbeingrundsubstanz. Arch. f. mikr. Anat. 1907, Bd. LXX.
11) Friedmann, E., Beiträge zur Zahnentwickelung der Knochenfische. Morph. Arb. v. G. Schwalbe 1897, Bd. VII.
12) Garman, S., The Discoboli. Cyclopteridae, Liparopsidae and Liparidae. Cambridge 1892. Mem. of Mus. of comp. Zoology at Harvards College 1892, Vol. XIV, Nr. 2.
13) Giebel, C. G., Odontographie. Leipzig 1855.
14) Günther, A., Handbuch der Ichthyologie. Wien 1886.
15) Hansen, Fr. C. G., Über die Genese einiger Bindegewebsgrundsubstanzen. Anat. Anz. 1899, Bd. XVI.
16) Hase, A., Studien über das Integument von Cyclopterus lumpus L. Jenaische Zeitschr. f. Naturwiss. 1911, Bd. XLVII, N. F. XL, Heft 1.
17) Heincke, F., Untersuchungen über die Zähne niederer Wirbeltiere. Zeitschr. f. wiss. Zool. 1873, Bd. XXIII.
18) Hertwig, O., Über das Zahnsystem der Amphibien und seine Bedeutung für die Genese des Skeletts der Mundhöhle. Arch. f. mikr. Anat. 1874, Bd. XI.
19) Hoehl, E., Beitrag zur Histologie des Dentins und der Pulpa. Arch. f. Anat. u. Physiol., Abt. Anat. 1896.
20) Holländer, L., Die Anatomie der Zähne des Menschen und der Wirbeltiere. Berlin 1877.
21) Jentsch, B., Beitrag zur Entwickelung und Struktur der Selachierzähne. Diss. Leipzig 1898.

22) Jordan, D. S., and Evermann, B. W., The fishes of North- and Middle-America. Part II, Washington Bull. Unit. St. Amer. Nat. Museum 1898, No. 47.
23) Kassowitz, M., Die normale Ossifikation. I. Teil. Wien 1881.
24) Klaatsch, H., Über die Herkunft der Skleroblasten. Morph. Jahrb. 1894, Bd. XXI.
25) Kollmann, J., Zahnbein, Schmelz und Zement. Eine vergleichend-histologische Studie. Zeitschr. f. wiss. Zool. 1873, Bd. XXIII.
26) v. Korff, Die Entwickelung der Zahnbeingrundsubstanz der Säugetiere. Arch. f. mikr. Anat. 1906, Bd. LXVII.
27) Ders., Entgegnung auf die v. Ebnersche Abhandlung „Über scheinbare und wirkliche Radiärfasern des Zahnbeins". Anat. Anz. 1910, Bd. XXXV.
28) Lickteig, A. u. E., Beitrag zur Kenntnis der Anlage und Entwicklung der Zahnbeingrundsubstanz der Säugetiere. Arch. f. mikr. Anat. 1912, Bd. LXXX.
29) Magitot, E., Des lois de la dentition. Journ. anat. et physiol. 1883, T. XIX.
30) Merkel, Fr., Betrachtungen über die Entwickelung des Bindegewebes. Anat. Hefte 1909, Abt. I, Heft 115, Bd. XXXVIII.
31) Milne-Edwards, H., Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux 1860, T. VI.
32) Mummery, J. H., Some points in the structure and development of dentine. Phil. Trans. Roy. Soc. London 1891.
33) Owen, R., Odontography. 1840—45.
34) Rathke, Bemerkungen über den Bau des Cyclopterus lumpus, Lumpfisch, Seehase. Deutsch. Arch. f. Physiol. Herausgeg. v. Meckel 1822, Bd. VII. Halle a. S.
35) Röse, C., Über den Zahnbau und Zahnwechsel der Dipnoër. Anat. Anz. 1892, Bd. VII.
36) Ders., Über die Zahnentwickelung der Fische. Anat. Anz. 1894, Bd. IX.
37) Ders., Das Zahnsystem der Wirbeltiere. Ref. deutsch. Monatsschrift für Zahnheilkunde. 1896, Nr. 4[1]).
38) Ders., Über die verschiedene Abänderung der Hartgewebe bei niederen Wirbeltieren. Anat. Anz. 1898, Bd. XIV.
39) Rosén, N., Beitrag zur Frage: Welches Keimblatt bildet das Skelett der Wirbeltiere? Lund 1910.
40) Schaffer, J., Grundsubstanz, Interzellularsubstanz und Kittsubstanz. Anat. Anz. 1901, Bd. XIX.
41) Schwalbe, G., Über Theorien der Dentition. Verh. d. Anat. Ges., Bd. IX. Straßburg 1893.
42) Sternfeld, B., Über die Struktur des Hechtzahnes, insbesondere die des Vasodentins. Arch. f. mikr. Anat. 1882, Bd. XX.

---

1) Vgl. Fußnote S. 325.

43) Studnička, F. K., Über einige Grundsubstanzgewebe. Anat. Anz. 1907, Bd. XXXI.
44) Ders., Zur Lösung der Dentinfrage. Anat. Anz. 1909, Bd. XXXIV.
45) de Terra, P., Vergleichende Anatomie des menschlichen Gebisses und der Zähne der Vertebraten. Jena 1911.
46) Tomes, Ch. S., On the development of teeth. Quart. Journ. micr. Sc. 1876, Vol. XVI, New S.
47) Ders., On the structure and development of vascular dentine. Phil. Trans. of the Roy. Soc. London 1878, Vol. CLXXXIX.
48) Treuenfels, Die Zähne von Myliobatis aquila. Diss. Basel 1896.
49) Vrolik, A. J., Studien über die Verknöcherungen und die Knochen des Schädels der Teleostei. Niederländisches Arch. f. Zool. 1873, Bd. I, Heft 3.
50) Waldeyer, W., Bau und Entwickelung der Zähne. In: Stricker, Handbuch der Gewebelehre 1871.
51) v. Zittel, K., Handbuch der Paläontologie. Abt. I Paläozoologie, Bd. III. München 1887.
52) Leche, Studien über die Entwickelung des Zahnsystems bei den Säugetieren. Morph. Jahrb. 1893, Bd. XIX.
53) Krause, R., Kursus der normalen Histologie. Berlin 1911.
54) Wiedersheim, R., Vergleichende Anatomie der Wirbeltiere. 7. Aufl. Jena 1909.

Erklärung der Figuren.

Abkürzungen, gültig für beide Arten von Figuren.

1. Frontale[1])
3. Ethmoideum
6. Basisphenoideum
8. Supraoccipitale
17. Inter- oder Prämaxillare
18. Maxillare
19. Infraorbitalring
20. Turbinale
23. Hyomandibulare
26. Quadratum
27. Metapterygoideum
28. Operculum
29. Stylohyale
31. Os symplecticum
32. Suboperculum
34. Dentale
35. Articulare
36. Angulare
37. Epihyale
38. Ceratohyale
39. Basihyale
42. Urohyale
43. Branchiostegalstrahlen
53. } Basibranchiales
54. } Basibranchiales
55. } Basibranchiales
56. Lower pharyngeals (Untere Schlundknochen
57. Hypobranchiale
58. Ceratobranchiale
61. Epibranchiale
62. Upper pharyngeals (Obere Schlundknochen).

1) Bezeichnungen nach Günther (1886) und Garman (1892).

Bp Bindegewebspapille
Befk Befestigungsknochen
Cor Corium
Dr Dentinröhrchen
Ep Epidermis
G Gefäß
Ir Interglobularräume
K Knochen
Kn Knorpel
Mkn MECKELscher Knorpel
nD normales Dentin
Od Odontoblasten
Ost Osteoblasten
P Pulpa
pD prismatische Dentinschicht
S Schmelz
Sepe äußeres Schmelzepithel
Sepi inneres Schmelzepithel
So Schmelzoberhäutchen
Sp Schmelzpulpa
Sr Schmelzrest
TF TOMESsche Fasern
uD unverkalktes Dentin
vD verkalktes Dentin
Vd Vitrodentin
Z Zahn
Zbk Zahnbeinkugel
Zk Zahnkeim.

Erklärung der Tafelfiguren.

Alle Figuren sind mit dem Zeichenapparat entworfen mit Ausnahme von Fig. 1 u 2 und Textfig. 1 u. 23. Die Lage der Schnittrichtung ist mit: Frontal, Sagittal, Transversal (Front., Sag., Trans.) bezeichnet.

Fig. 1. Skelettierter Cyclopteruskopf, bei extrem weit geöffnetem Maule von vorn gesehen. Zähne stehen auf dem Intermaxillare (17), dem Dentale (34), den unteren Schlundknochen (56) und den oberen Schlundknochen (62). Länge des Tieres 36 cm.

Fig. 2. Derselbe Kopf, medial durchschnitten, zeigt die gegenseitige Lage der unteren und oberen Schlundknochen.

Fig. 3. Zahnkeim von den oberen Schlundknochen. Anfang von Hartsubstanzbildung, Bildung am stärksten an der Spitze der Papille Cycl. 12 mm. Trans. 920 : 1. Hämalaun-Pikrokarmin.

Fig. 4. Längsschnitt eines Zahnes aus dem Intermaxillare; Zahn wenig verkalkt, mit Schmelzspitze (*S*), der die Zellen des Schmelzorganes (*Sepi*) dicht aufliegen. Cycl. 6 mm. 1590 : 1. Sag. Hämalaun-Orange G-Fuchsin S.

Fig. 5. Zahn von den oberen Schlundknochen. Schmelzspitze verschwunden. Dentin einheitlich dunkel gehalten. Cycl. 22 mm. Sag. 920 : 1. Hämalaun-Orange G-Fuchsin S.

Fig. 6. Kombiniertes Längsschnittbild eines Zahnes von den oberen Schlundknochen. Infolge der Entkalkung ist das Epithel weit vom Zahne zurückgedrängt; an den Seiten ist das innere Schmelzepithel (*Sepi*) mit seinen Zylinderzellen zu sehen. Darüber liegen die kubischen Zellen des äußeren Epithels (*Sepe*). Schmelzspitze fehlt (vgl. Fig. 5). Zwischen Dentinkegel und Epithel organischer Rest des Schmelzes (*Sr*). Im Zahnbein Unterschied zwischen verkalktem und unverkalktem Dentin. Letzteres enthält die TOMESschen Fasern der Odontoblasten; diese als hohe Zellen dem jüngsten Dentin aufsitzend. Cycl. 27 mm. Sag. 920 : 1. Hämalaun-Orange G-Fuchsin S.

Fig. 7. Funktionierender Zahn; Odontoblasten in den oberen Teilen der Pulpa (*P*) reduziert, nur an der Verwachsungsstelle von Zahn und Knochen sind sie noch in Tätigkeit. Pulpa reich an kollagenen Fasern und an Gefäßen (*G*). Bildung einer Art Schmelzpulpa (*Sp*) zu beobachten. Cyc. 40 cm. Intermaxillare. 405 : 1. Sag. Hämalaun-Pikraminsäure-Chromotrop.

Fig. 8. Querschnitt eines funktionierenden Zahnes. Im Dentin verschiedene Strukturen. Schmelzoberhäutchen (*So*) stark gequollen. Darunter die hier strukturlose Vitrodentinschicht (*Vd*). Besonders gut ist die Prismenstruktur der nächsten Dentinlage zu sehen. Cycl. 40 cm. Intermaxillare. 920 : 1. Front. Hämalaun-Pikraminsäure-Chromotrop.

Fig. 9. Odontoblasten mit Tomes'schen Fortsätzen. Älterer Zahn im Querschnitt. Cycl. 27 mm. Trans. 920 : 1. Hämalaun-Orange G-Fuchsin S.

Fig. 10. Längsschnitt durch einen Zahn, nahe der Basis. Unverkalktes Dentin scharf vom verkalkten abgesetzt. In letzterem eine ungeheuere Zahl von Interglobularräumen (*Ir*). Am Rande liegen eine Anzahl von Zahnbeinkugeln nebeneinander, deren weitere Verkalkung schließlich zur Bildung der in Fig. 8 dargestellten prismatischen Dentinschicht führt. Cycl. 25 cm. Dentale. 515 : 1. Sag. Hämatoxylin nach Delafield.

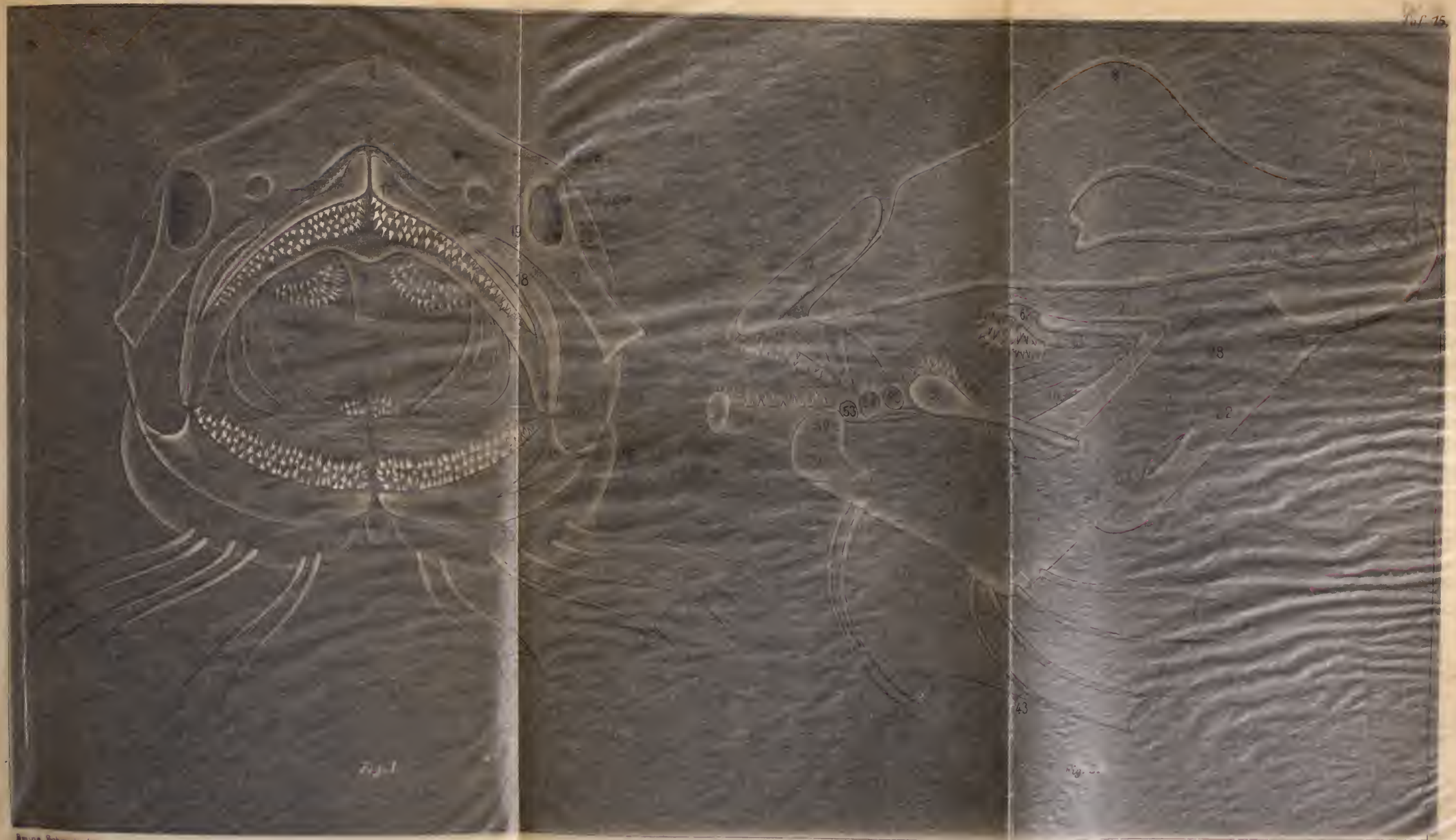
Fig. 11. Querschliff durch einen Zahn aus dem Dentale nahe der Spitze. Von der Pulpa radiale Dentinröhrchen auslaufend. Die Hauptmasse des Dentins ist von Interglobularräumen erfüllt. 405 : 1.

Fig. 12. Längsschliff durch einen Zahn aus dem Intermaxillare. Konturlinien im normalen Dentin (*nD*) und besonders in dem von Interglobularräumen durchsetzten Dentin deutlich. 405 : 1.

Fig. 13. Längsschliff durch einen Zahn aus dem Intermaxillare. Zeigt die kleine Schmelzkappe und eine große Anhäufung von Interglobularräumen im Dentin über der Pulpa. 405 : 1.

Druck von Ant. Kämpfe, Jena.

Lith. Anst. v. K. Wesser, Jena



Bruno Schmidt gez.

Verlag von Gustav Fischer in Jena

Lith. Anst. v. K. Weber, Jena

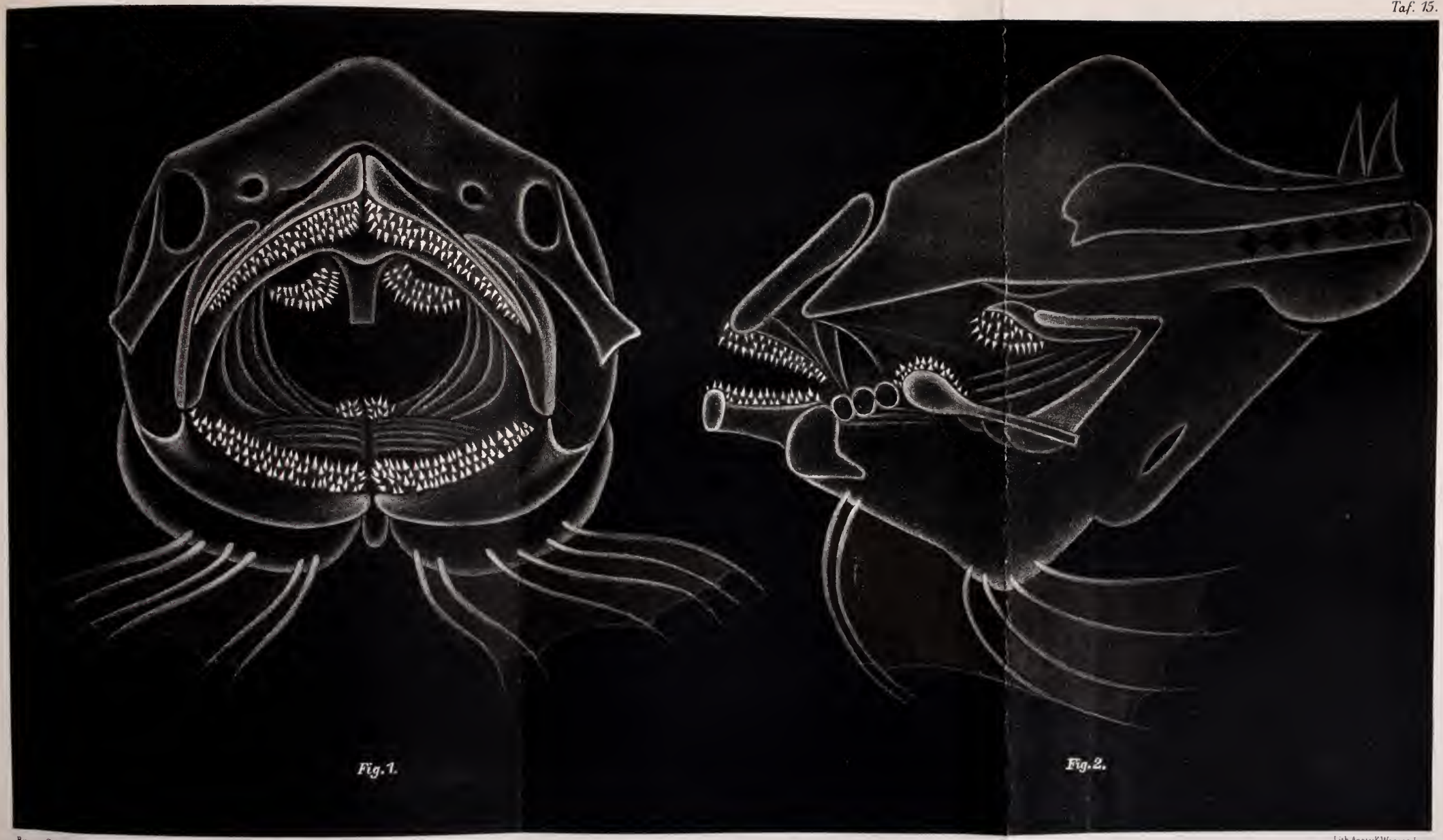


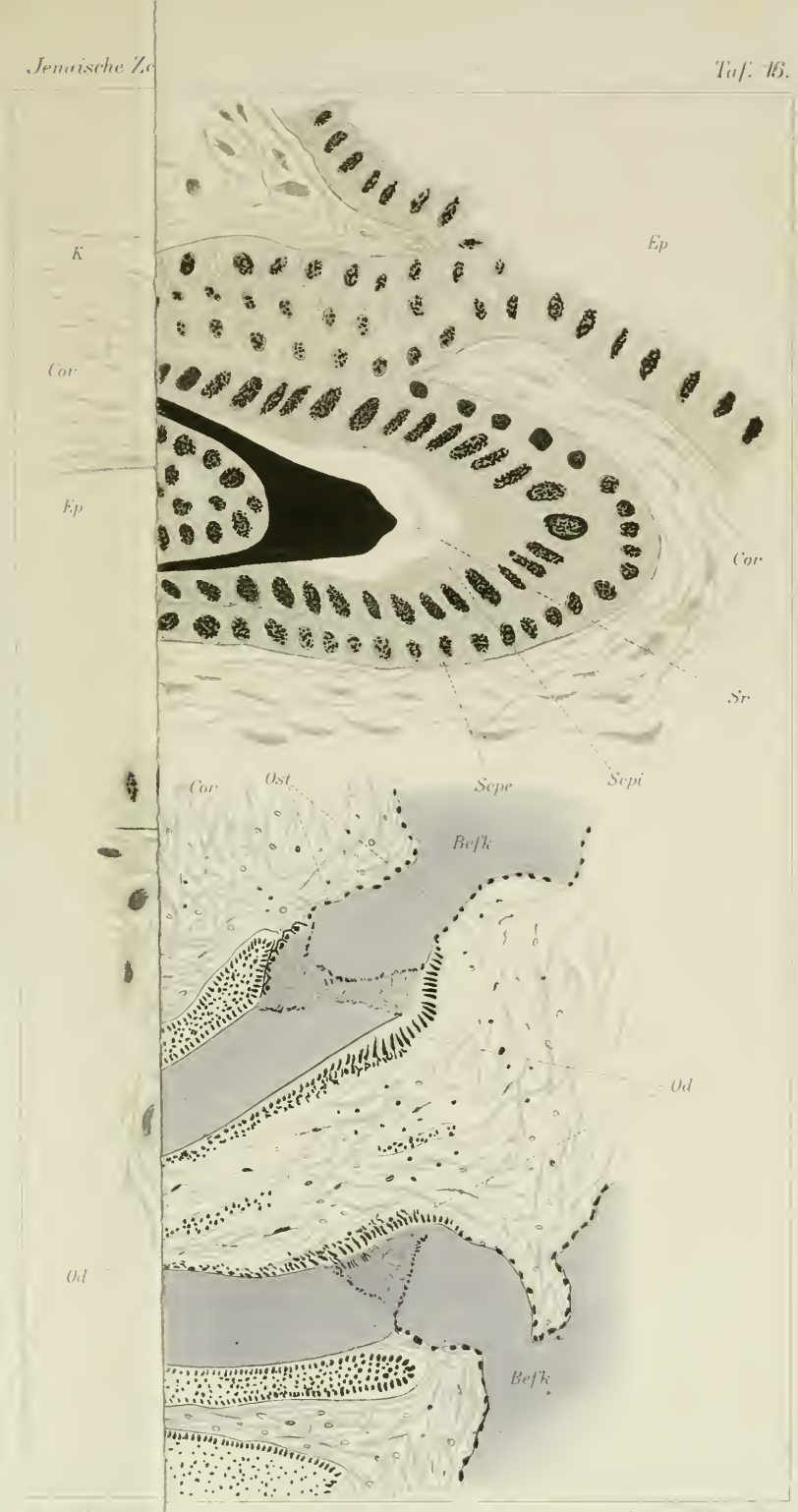
Fig. 1.

Fig. 2.

Bruno Schmidt gez

Verlag von Gustav Fischer in Jena

Lith. Anst. v. K. Wesser, Jena



Lith. Kunstanstalt

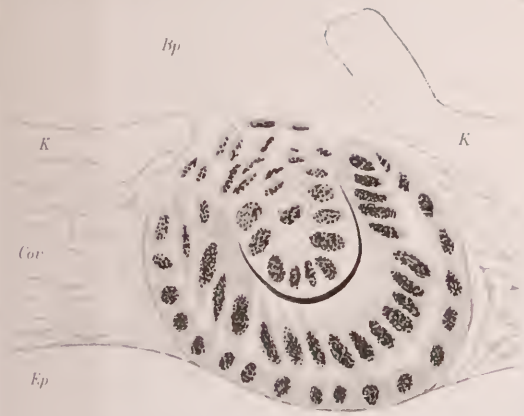


Fig. 3.

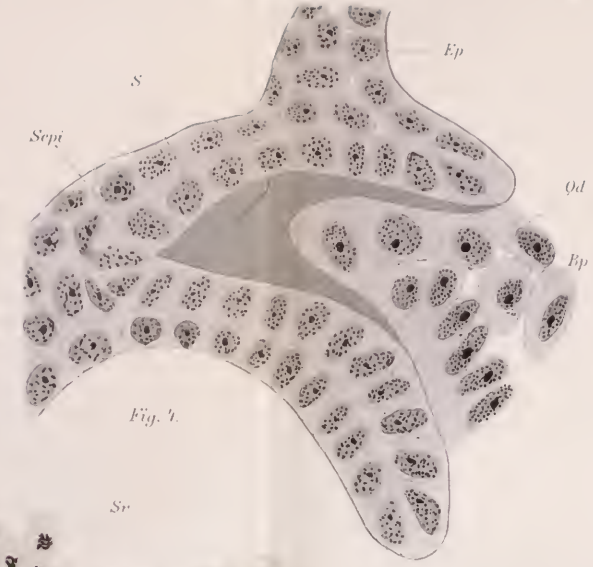


Fig. 4.

Fig. 5.

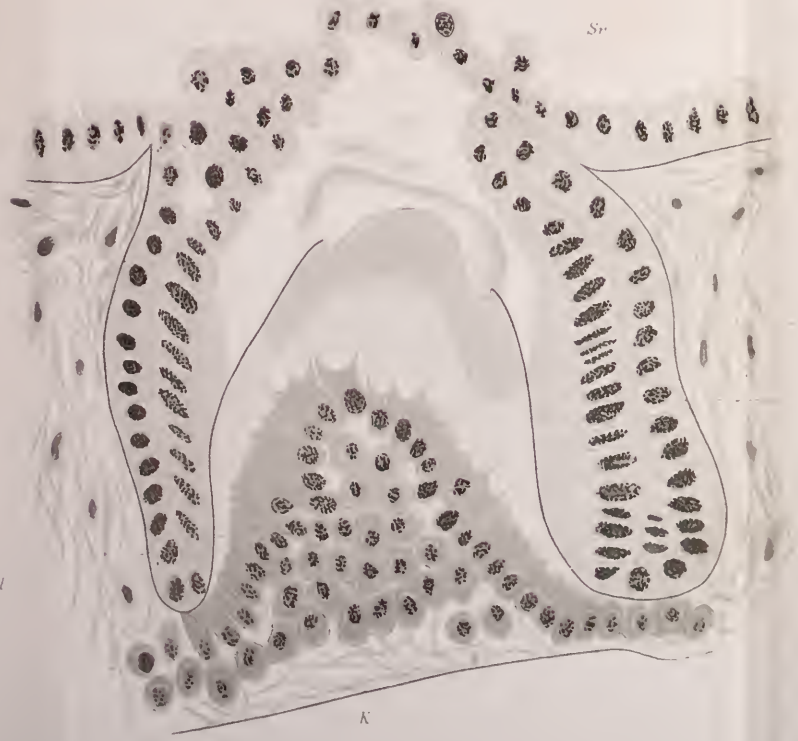


Fig. 6.

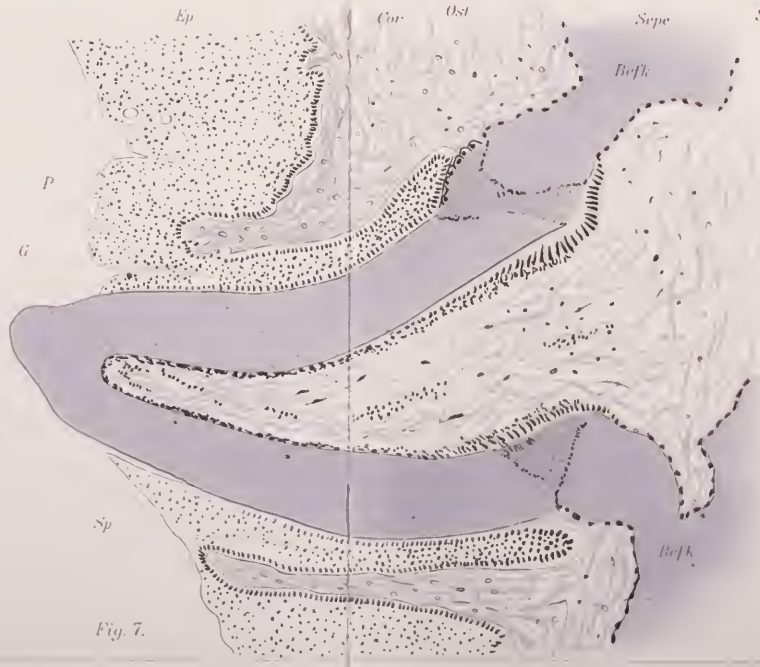


Fig. 7.

Gustav Fischer

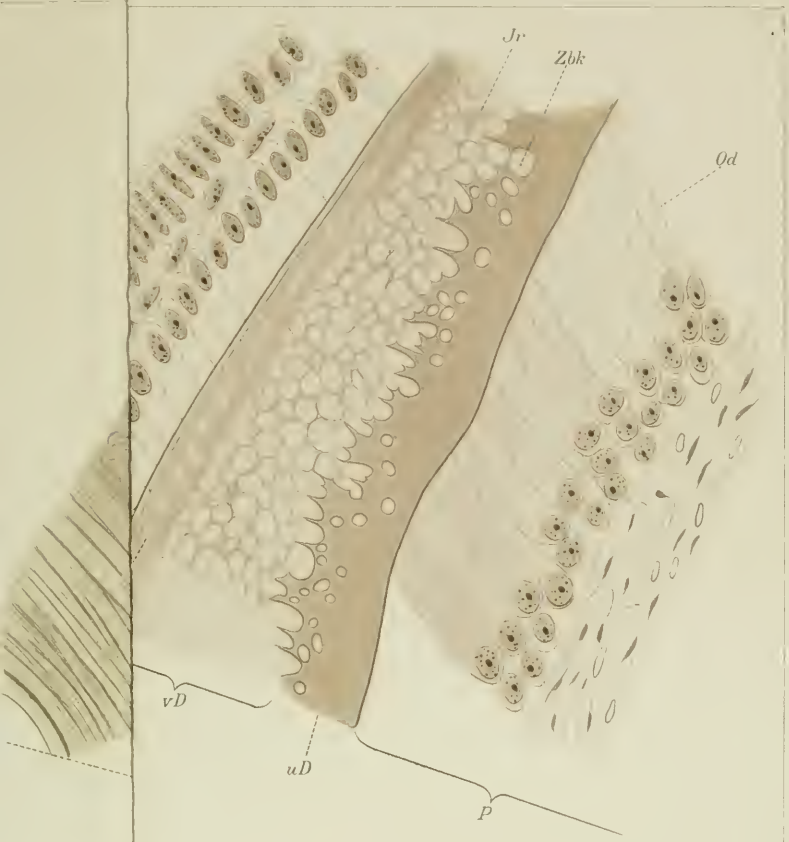


Fig. 10.

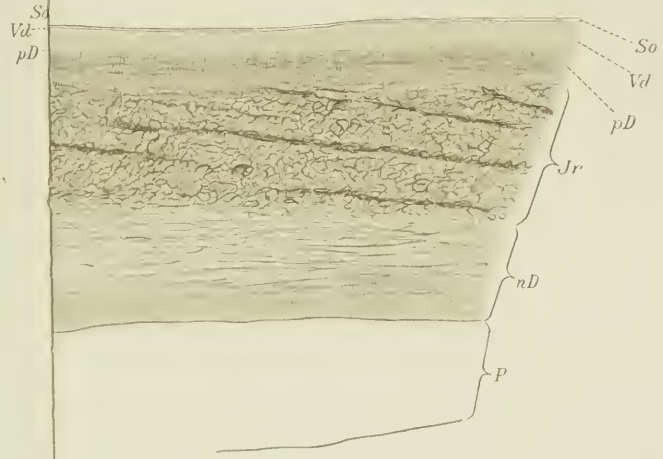


Fig. 12.

Lith. Inst. Wesser Jena

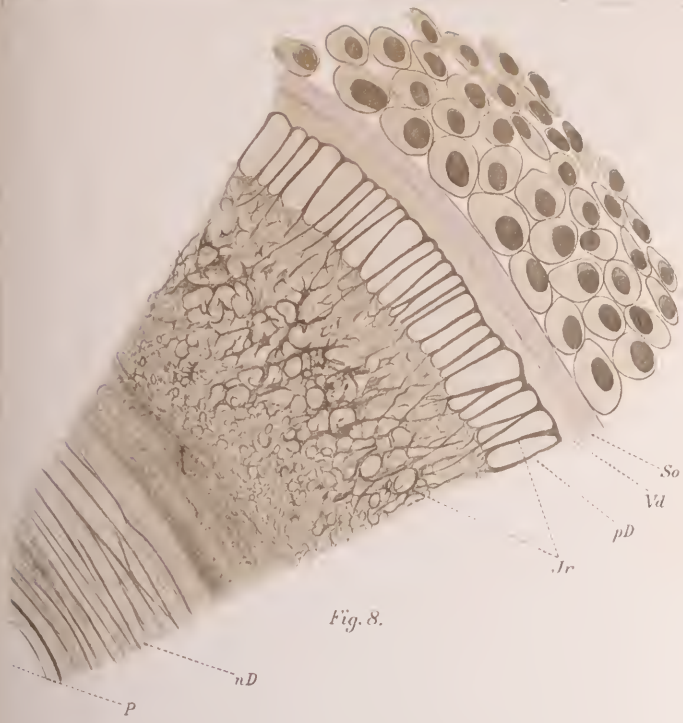


Fig. 8.

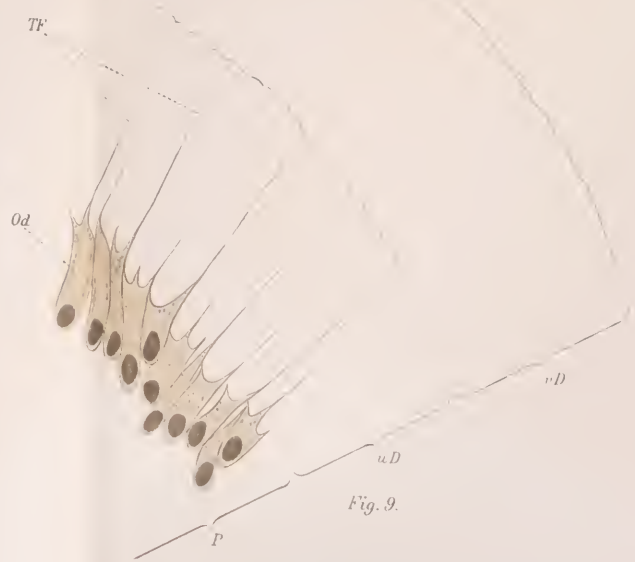


Fig. 9.

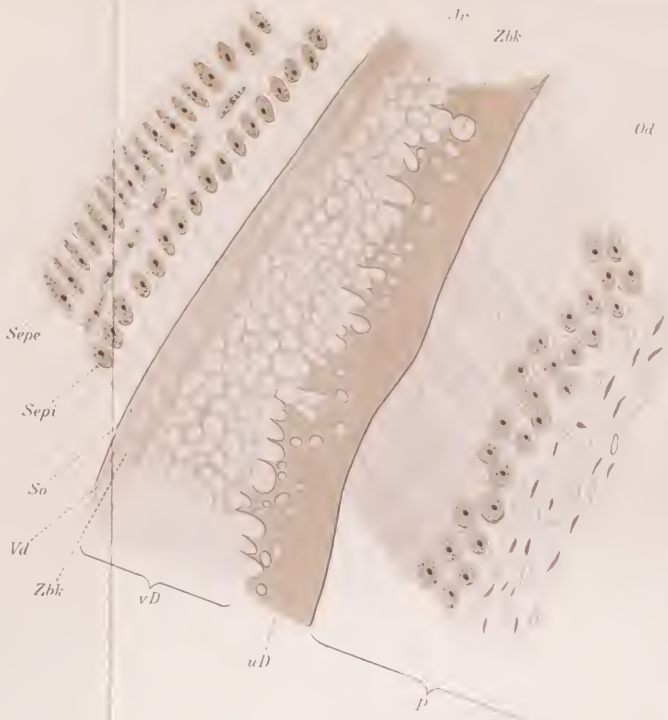


Fig. 10.

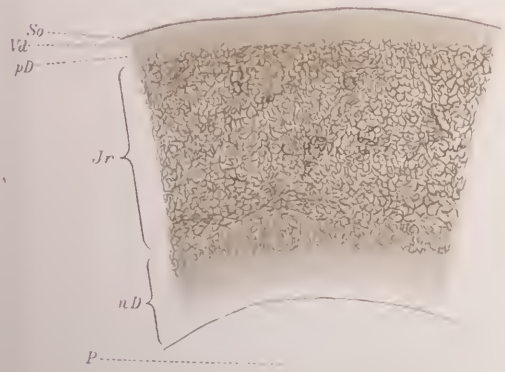


Fig. 11.

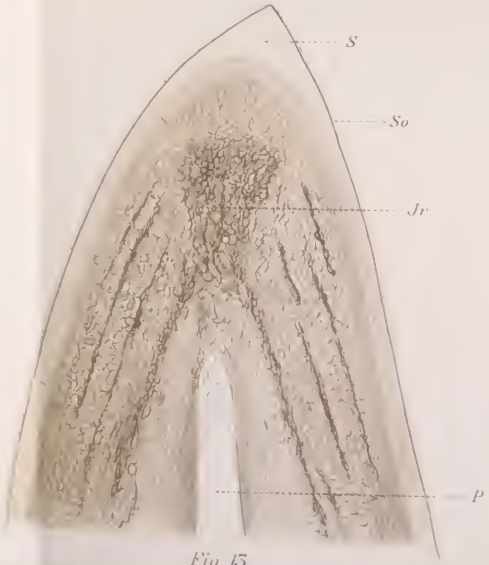


Fig. 13.

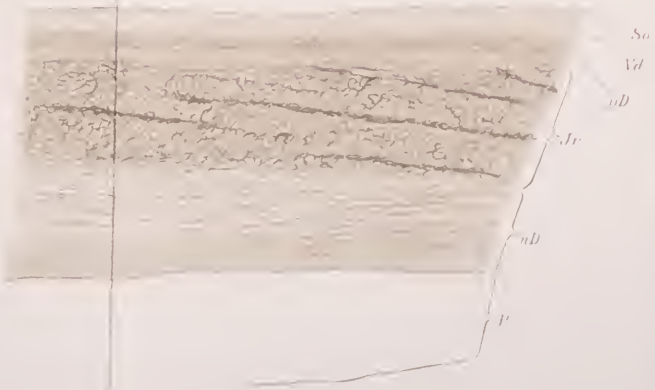


Fig. 12.

Verlag von Gustav Fischer