ÜBER DEN
FEINEREN BAU DES ELEKTRISCHEN ORGANS

DES

GEWÖHNLICHEN ROCHEN

(RAJA CLAVATA L.)

VON

DR. MED. E. BALLOWITZ,

A.-O. PROFESSOR UND PROSEKTOR AN DER UNIVERSITÄT GREIFSWALD.

Mit 35 Abbildungen auf Tafel XIX—XXIX.

Die Resultate, welche ich bei meinen Untersuchungen über den feineren Bau des elektrischen Organs von *Torpedo* erhalten und in Band XLII des Archivs für mikroskopische Anatomie (28) veröffentlicht habe, gaben mir Veranlassung zu der vorliegenden Arbeit.

Ursprünglich war es meine Absicht, diese Untersuchungen auf möglichst viele Arten und alle Entwicklungsstufen von *Raja* auszudehnen, da durch Ewart nachgewiesen ist, dass bei dem Genus *Raja* Form und Bau der elektrischen Elemente des im Schwanz der Fische gelegenen Organs mancherlei Variationen unterworfen sind. Leider war es mir aber nicht möglich, mir hierzu das lebende Material zu verschaffen. Ich sah mich daher gezwungen, meine Untersuchungen auf ausgewachsene Exemplare von *Raja clavata* L. zu beschränken.

Zur Gewinnung des Materials und der Präparate benutzte ich einen Ferienaufenthalt auf Helgoland im August 1895. Durch die lebenswürdige Unterstützung des Herrn Professor Dr. Heincke, Direktors der so vielversprechenden Königlichen Biologischen Anstalt auf Helgoland, in welcher ich meine Untersuchungen ausführte, erhielt ich lebende Rochen in genügender Menge. Ausserdem hatte mir schon vorher Herr Dr. O. Hermes, Direktor des Berliner Aquariums, in dankenswerter Weise zahlreiche lebende, frisch gefangene Exemplare von *Raja clavata* aus der Nordsee und dem Mittelmeer überlassen. An diesem Berliner Material stellte ich schon im Herbst 1893 die wesentlichsten, hier zu veröfentlichenden Thatsachen fest.

Wenn meine Erfahrungen sich daher bis jetzt leider nur auf eine Species erstrecken konnten, so stehe ich doch nicht an, die erhaltenen Resultate zu veröffentlichen, da dieselben manches wesentliche Neue bringen dürften, vor Allem aber aus dem Grunde, weil sie in sehr bemerkenswerter Übereinstimmung stehen mit dem von mir bei *Torpedo* Gefundenen.

Letzterem Umstande möchte ich ein besonderes Gewicht beilegen. Wie durch die fundamentale Entdeckung Babuchins (15, 16) zuerst nachgewiesen ist, entstehen die elektrischen Platten sowohl bei *Torpedo*, wie bei *Raja* aus sich umwandelnden quergestreiften Muskelfasern, welche ich analog den „Myoblasten“, als „Elektroblasten“ bezeichnen will. Bei *Torpedo* tritt allerdings die Muskelnatur dieser Elektroblasten nicht mehr so typisch hervor, bei *Raja* hingegen unterscheiden sie sich anfangs in Nichts von echten, quergestreiften, kontraktionsfähigen Muskelfasern. Während nun bei *Torpedo* die Muskelstruktur in der ausgebildeten elektrischen Platte ganz verschwunden ist, erhalten sich bei *Raja* (ähnlich, wie bei den *Mormyriden*) noch wesentliche Reste davon, die Umwandlung erfolgt hier nur unvollkommen. Auch physiologisch prägt sich dieser Unterschied aus. Während *Torpedo* mit seinem Organ kräftige Schläge austellt, war es für *Raja* lange zweifelhaft, ob ihr „Schwanzorgan“ überhaupt Elektrizität hervorbringen könnte. Aus dieser Epoche stammt auch die Bezeichnung „pseudoelektrische Organe“. Erst in neuerer Zeit ist von Sanderson und Gotsch (22) mit Hilfe verbesserter physikalischer Methoden genau festgestellt worden, dass im Rochenorgan elektrische Ströme erzeugt werden und dass auch die gewöhnlichen Rochen im Stande sind, elektrische Schläge auszu-teilen, die allerdings nur so schwach sind, dass sie vom Menschen durch das Gefühl nicht wahrgenommen werden können. Mit Recht werden daher die *Rajidae* (ebenso wie die *Mormyridae*) als „schwachelektrische“ Fische bezeichnet und den „starkelektrischen“ (*Gymnotus*, *Malopterurus* und *Torpedo*) angereiht.

Aus diesem Gesichtspunkte dürfte von Wichtigkeit sein, dass es mir gelungen ist, bei Raja, dessen elektrisches Organ als das schwächste und wenigst wirksame von allen elektrischen Fischen bezeichnet werden muss, dieselben Strukturen aufzufinden, welche ich von dem „starkelektrischen“ Organ bei Torpedo beschrieben habe. Hieraus scheint mir hervorzugehen, dass diese Strukturen für den feineren Bau der elektrischen Organe überhaupt wesentliche und physiologisch begründete sind. Da die elektrischen Elemente der Fische (von Malopterurus muss in dieser Hinsicht vorläufig noch abgesehen werden) umgewandelte, quergestreifte Muskelfasern darstellen, dürfte auch auf diese durch meine Untersuchungen ein besonderes Streiflicht geworfen werden.

Was die Methodik der Untersuchung anbetrifft, so war es auch hier, wie früher bei Torpedo, mein Bemühen, mich nicht mit einer Methode zu begnügen, sondern möglichst alle zuverlässigen Methoden in Anwendung zu bringen.

Als Material verwertete ich nur lebende, kräftige, ausgewachsene, meist ganz frisch gefangene Exemplare. Dem durch Dekapitation getöteten Tiere wurden sofort nach der Tötung kleine Stücke des freipräparierten elektrischen Organs entnommen und sofort in die fixierenden Flüssigkeiten gebracht. Die Härtung erfolgte in von 45—96% ansteigendem Alkohol.

Zur Fixierung wurden verwandt:

1. konzentrierte Sublimatlösungen in 0,6 % Kochsalzlösung und in Seewasser;
2. Sublimateisessig;
3. Osmiumsäurelösung von 0,3—1,0 %;
4. Chromosmiumessigsäure, nach Flemming, schwache Mischung;
5. Chromessigsäure;
6. Alkohol absolutus.

Am meisten bewährten sich Sublimat, Chromosmiumessigsäure

und Chromessigsäure; weniger günstige Erfolge waren durch Behandlung mit Osmiumsäure zu erzielen.

Ausserdem wurden noch Stücke in Müllerscher Lösung und wässerigen Lösungen von Kalium bichromicum von 3–5% konserviert.

Eingebettet wurde zum Teil in Paraffin (von 52° Schmelzpunkt), zum Teil in Celloidin. Zur Vorbehandlung vor der Paraffineinbettung wurden entweder Bergamottöl oder Xylol gewählt. Die Schnitte wurden mit destilliertem Wasser aufgeklebt und dann gefärbt. Stückfärbung ist für derartige feine Untersuchungen wenig vorteilhaft.

Zur Färbung benutzte ich die üblichen Tinktionsmittel, besonders auch Anilinfarben (siehe hierüber im Text).

Wenn nicht besonders bemerkt ist, dass schwächere Systeme zur Anwendung kamen, beziehen sich alle Angaben auf Untersuchung mit Ölimmersionen (Winkels homogene Immersion $\frac{1}{24}$; Zeiss apochrom. homog. Immers. 3,0 mm., Apert. 1,40 Oc. 12).

Besonderes Gewicht lege ich auf die Untersuchung in Wasser, da Öl und Balsam die Präparate zu stark aufhellen und dadurch die feinsten Strukturen verwischen.

Ein anderer Teil des Materials wurde für Macerationen und Zupfpräparate bestimmt. Kleine Stücke von in Osmiumsäure von 0,3–1% fixiertem Material wurden entweder ohne oder nach Wasserspülung in eine Mixtur von Wasser, Glycerin und absolutem Alkohol zu gleichen Teilen gebracht und darin bis zur Präparation konserviert. Ein anderer Teil des Osmium-Materials kam direkt in 5%ige Lösung von Kali bichromicum. Zupfpräparate gaben in vieler Hinsicht wertvolle Aufschlüsse.

Auch die Vergoldung nach den üblichen Methoden lieferte in mancher Beziehung brauchbare Resultate. Ein Teil des vergoldeten Materials wurde zum Schneiden benutzt, der andere kam für Zupfpräparate in die angegebene Mixtur.

Mit der Methylenblau-Methode nach Ehrlich hatte ich bei Raja wenig Glück, allerdings konnte ich noch nicht allzu viele Versuche damit anstellen.

Um so erfolgreicher war dafür die Anwendung der schnellen Golgischen Methode, da sich das Schwanzorgan von Raja clavata für dies Verfahren als sehr geeignet erwies. Ich verfuhr dabei ebenso, wie bei meinen Untersuchungen über Torpedo (28, pag. 460—61).

In neuerer Zeit haben sich mehrfach Stimmen gegen die jetzt so vielseitig angewandte Golgische Methode erhoben und mit einigem Recht. Denn wenn bei irgend einer Methode, so ist hier Vorsicht und Kritik geboten. Mag man indessen gegen die Golgische Methode sagen, was man will, das kann meiner Ansicht nach nicht bestritten werden, dass den Färbungen und Inkrustationen, die man bei Anwendung dieses Verfahrens erhält, ganz bestimmte Strukturen des Gewebes zu Grunde liegen müssen, wenn diese Färbungen und Inkrustationen in demselben Gewebe stets ganz konstant in genau derselben Weise auftreten. Indessen sollte man nie versäumen, die mit der Golgischen Methode erhaltenen Resultate durch andere mehr einwandfreie Fixierungsmethoden zu kontrollieren. Dies habe ich mir auch in der vorliegenden Arbeit zur ganz speziellen Aufgabe gemacht und bin ich dadurch zu der Überzeugung gekommen, dass die der Golgischen Methode gemachten Vorwürfe zum Teil sehr ungerechtfertigt sind. So entdeckte ich — um ein Beispiel vorweg zu nehmen — bei Raja durch Anwendung des Golgischen Verfahrens die elektrischen Stäbchen, welche in den Golgi-Präparaten mit ausgezeichneter Schärfe hervortreten. Genau dasselbe zeigten mir sodann tadellos mit Sublimat und Osmiumsäure fixierte Präparate (siehe hierüber den Text). Da es sich hier um sehr kleine, äusserst zarte und vergängliche Bildungen handelt, ist die vielseitige Leistungsfähigkeit der Golgischen Methode geradezu staunenswert. Solche Beispiele sind wohl ge-

eignet, die fanatischen Gegner der Methode zum Schweigen zu bringen¹⁾).

Bevor ich nun in die Schilderung der Ergebnisse meiner Arbeit eintrete, halte ich es für zweckmässig, zur vorläufigen Orientierung an der Hand der Abbildungen Fig. 1 und 2 auf Taf. XIX/XX einen Überblick über den Bau des elektrischen Elementes von Raja zu geben, soweit er durch frühere Untersuchungen, besonders von Robin, von Köl liker, M. Schultze und Ewart bereits festgestellt ist. In Betreff alles Näheren hinsichtlich der Litteratur verweise ich auf die ausführliche Litteraturübersicht am Schlusse meiner Arbeit.

Auf eine bildliche Darstellung der makroskopischen Verhältnisse leiste ich hier Verzicht, da gute Abbildungen davon

1) Die von mir durch Anwendung der Golgischen Methode bei Torpedo erhaltenen Resultate sind von einem jungen russischen Forscher, Namens Jwanzoff aus Moskau, (*Bulletin de la Société Impér. des Naturalistes de Moscou*, 1894, Nr. 4) einer Besprechung unterzogen worden, ohne dass derselbe sich die Mühe genommen hat, meine Ergebnisse nachzuprüfen. Jwanzoff scheint hinsichtlich der Golgischen Methode auf demselben nihilistischen Standpunkt zu stehen, wie G. Fritsch in Berlin. Zwar sagt Jwanzoff, dass er „das elektrische Organ von Torpedo sowohl nach der langsamen Methode von Golgi, wie auch nach der schnellen Methode von Ramon y Cajal untersucht habe, aber weder in dem einen, noch dem anderen Falle zu Resultaten gekommen sei, vielmehr sehr viel Niederschlag auf dem Nervenetz selbst erhalten habe“; man kann aber wohl kaum annehmen, dass Jwanzoff so wenig die mikroskopische Technik beherrscht, dass es ihm bei einiger Mühe nicht hätte gelingen sollen, sich in die Golgische Methode soweit einzuarbeiten, um am elektrischen Organ wenigstens einige Resultate zu erzielen. Freilich gehört dazu etwas Sorgfalt und Geduld. Jwanzoff dürfte daher sehr wenig Berechtigung zu einem Urtheil haben.

Dasselbe muss ich G. Fritsch erwidern, in dessen Entgegnung (*Verh. d. physiol. Gesellsch. zu Berlin* v. 9. März 1894) auf meine Kritik (28, pag. 547—559) seiner Untersuchungen über das elektrische Organ von Torpedo, welche letztere sich auf eine Nachprüfung nach der von G. Fritsch angewandten Methode stützt, der Mangel jeglichen thatsächlichen Gegenbeweises durch Formlosigkeit ersetzt werden soll. Es liegt mir daher fern, darauf einzugehen und kann ich nur wiederholen, dass alles, was G. Fritsch über den feineren Bau des elektrischen Organs von Torpedo behauptet hat, das irrthümlichste und konfuseste ist, was jemals über diesen Gegenstand geschrieben wurde.

schon von Robin (5) und in neuerer Zeit von Ewart (23—26) gegeben sind.

Wie Stark (2) [1844] und bald darauf Robin (4, 5) [1846] zuerst gezeigt haben, stellt das elektrische Organ von Raja ein paariges, langspindelförmiges Gebilde dar, welches an beiden Seiten der Wirbelsäule in der Kaudalregion des Tieres im Bereiche der hinteren drei Viertel des Schwanzes gelegen ist. Während sein hinteres Ende bis in die äusserste Spitze des Schwanzes hineinreicht, steckt der vordere verjüngte Teil des Organs in der Muskelmasse eines Kaudalmuskels als direkte Fortsetzung dieses Muskels¹⁾. Dadurch wird vorne das Organ von einer nach hinten hin immer dünner werdenden und bald ganz verschwindenden Muskelscheide dütenförmig umgeben. Der grössere mittlere und hintere Abschnitt reicht medial gegen die Wirbelsäule, nach aussen, unten und oben liegt er unmittelbar unter der Haut. Umgeben wird das ganze Gebilde von einer derben bindegewebigen Hülle, welche in das Innere eine grosse Zahl von bindegewebigen Längs- und Querscheidewänden hinein-schickt.

Die Anordnung dieses etwas komplizierten Bindegewebsgerüsts ist zuerst von M. Schultze (13) klar gestellt worden. Wie schon Robin (5) vermutet hat, entspricht ein Teil der Längsscheidewände den Myocommata des vor dem elektrischen

¹⁾ Robin (5) bezeichnet diesen Muskel nach Cuvier als *M. sacrolumbalis*. Ewart hat kürzlich (26) die Anordnung der Schwanzmuskulatur bei Rochen und Haien untersucht und miteinander verglichen. Ewart unterscheidet auf jeder Seite fünf aus Reihen von Myomeren bestehende Muskeln, von denen drei über, zwei unter dem transversalen Bindegewebsseptum gelegen sind, welches von der Wirbelsäule zur Haut der Seitenlinie geht. Von diesen fünf Muskeln liegt einer dorsal, der andere ventral neben der Wirbelsäule, ein dritter lateral und über dem transversalen Septum. Die beiden noch übrigen Muskeln lagern sich zwischen dem Lateral-Muskel einerseits und dem dorsalen und ventralen Muskel andererseits ein und werden von Ewart als „dorsolateral“ und „ventrolateral row of cones“ bezeichnet. Von diesen fünf Muskeln setzt sich bei Raja ausschliesslich der lateral gelegene direkt in das elektrische Organ fort (26, pag. 391).

Organ gelegenen Muskels und setzt die Reihe der Myocommata direkt nach hinten hin im elektrischen Organ fort. In Übereinstimmung mit der Form der Myomeren gleichen diese Scheidewände in einander gesteckten Kegeln mit nach vorne gerichteter Spitze; anstatt der Myomeren befinden sich aber zwischen den Bindegewebskegeln die elektrischen Elemente. Die Bindegewebskegel sind nun mit einander durch andere Längsscheidewände verbunden, welche von vorne nach hinten etwas spiralig verlaufen und den zwischen je zweien Bindegewebskegeln gelegenen Raum in röhrenartige Nebenräume abteilen. Diese Röhren sind schliesslich wiederum durch vertikal gestellte Querscheidewände in zahlreiche, über einander gelegene, kleinste Räume zerlegt.

Durch diese Anordnung des bindegewebigen Gerüsts wird eine grosse Anzahl von kleinen, kammerartigen, in der Richtung von vorne nach hinten etwas abgeplatteten Hohlräumen gebildet. In jeder Kammer liegt je ein „elektrisches Element“, wie ich das Derivat je eines Elektroblasten samt seinen Nervenendigungen nennen will. Jedes Element besitzt die Form einer etwas unregelmässig begrenzten, von vorne nach hinten abgeplatteten, 4—6 bis mehrseitigen, bisweilen fast kreisrunden Platte. Die Platte, an welcher man eine vordere, eine hintere Fläche und einen Rand unterscheiden kann, füllt den vorderen Teil der Kammer aus, stösst aber nicht unmittelbar an die Hinterfläche der vorderen Kammerwand, sondern wird von derselben durch eine schmale Schicht Gallertgewebe getrennt. Durch dieses Gallertgewebe gehen die sich reichlich verzweigenden Nerven hindurch, welche mit ihren gröberen Ästen in der bindegewebigen Fächerwand verlaufen, mit ihren feinsten Endzweigen aber an die Vorderfläche der elektrischen Platte herantreten. Der hinter der Platte gelegene Raum wird gleichfalls von Gallertgewebe ausgefüllt, welches als Träger der Blutgefässe

fungiert, die sich ausschliesslich hier hinten verzweigen, niemals aber in die elektrische Platte selbst eindringen.

Die Form, sowie die gröbere Zusammensetzung des elektrischen Elementes zeigt uns Fig. 1 auf Taf. XIX/XX, welche einen vertikalen Durchschnitt durch den Inhalt einer Kammer, senkrecht zu den beiden Flächen der Platte, bei schwacher Vergrösserung darstellt. G bezeichnet das vordere, G₁ das hintere Gallertgewebe, welches die elektrische Platte (P) umschliesst. In unmittelbarer Nähe der Vorderfläche der Platte befindet sich die kernreiche Zone der feineren Nervenverzweigungen, welche ihrer Vorderfläche zustreben. In dem hinteren Gallertgewebe sieht man Gefässdurchschnitte. Ausserdem treten im Gallertgewebe vorne und hinten die intensiv tingierten Kerne der unregelmässig zerstreuten Bindegewebszellen hervor. Bei Doppelfärbung mit Hämatoxylin und Eosin bleibt das Gallertgewebe blau, während sich das ganze elektrische Gewebe rot färbt; dadurch erhält man sehr hübsche Übersichtsbilder.

An dem Durchschnitte durch die elektrische Platte selbst (P) fällt sofort auf ihre Zusammensetzung aus einer Innensubstanz (I) und einer relativ dünnen Rindenschicht (R), welche die erstere allseitig umgiebt. In tingierten Präparaten wird diese Zusammensetzung dadurch sehr deutlich, dass sich die Rindenschicht etwas intensiver färbt. Auch in Goldpräparaten hebt sich die dunkel violett gefärbte Rinde von dem hell gebliebenen Innern sehr auffällig ab. (Vergl. Fig. 29 auf Taf. XXVI/XXVII).

Die Innensubstanz (I) zeigt die längstbekannte, so eigentümliche, „mäandrische“ Streifung, von welcher durch Leydig (9) nachgewiesen ist, dass sie von übereinander geschichteten, (bei *Raja clavata*) unregelmässig verschlungenen Lamellen gebildet wird. In regelmässiger Folge alterniert je eine helle mit einer dunklen Lamelle. Babuchin (15—18) hat das Verdienst, zuerst gezeigt zu haben, dass dieser eigentümliche Innenkörper hervorgeht aus der quergestreiften Muskelsubstanz des Elektroblasten.

An zwei Stellen des Präparates (Fig. 1) haben sich die Lamellen etwas von einander getrennt, so dass künstliche Spalten entstanden sind, eine Reagenswirkung, die nicht selten zur Beobachtung kommt. Kerne treten in der Lamellensubstanz nur sehr spärlich auf. Um so reichlicher sind sie in der Rindenschicht, welcher die mäandrische Streifung fehlt.

Diese Rindenschicht (R) zeigt ein verschiedenes Aussehen, je nachdem sie die vordere (V R) oder die hintere Fläche (H R) der elektrischen Platte überzieht. An der vorderen, mehr ebenen Fläche erscheint sie glatt und dünn mit einer einfachen Lage zahlreicher, ziemlich regelmässig verteilter Kerne. Die hintere Fläche dagegen ist sehr uneben, mit einer grossen Zahl unregelmässiger, nach hinten gerichteter, auf dem Durchschnitt nicht selten mit einander in Verbindung tretender Fortsätze versehen; die netzförmigen Verbindungen sind bei *Raja clavata* meist zahlreicher als in Fig. 1 dargestellt wurde. Die beste Anschauung von der Gestaltung der Hinterfläche geben Flächenansichten isolierter Platten, wie man sie in Macerations-Präparaten leicht erhält¹⁾. Man erkennt dann, dass die Hinterfläche dicht besetzt ist mit kleinen und grösseren, unregelmässigen, netzförmigen Erhebungen, die dadurch, dass sie hier und da mit einander in Verbindung treten, um sich dann wieder zu trennen, ein schwammartiges Aussehen erhalten. (Daher die Bezeichnung „Schwammkörper“, wie von Kölliker (12) die ganze Platte nannte). Wie der Durchschnitt (Fig. 1) zeigt, wird dieses grobe Netzwerk von der hinteren Rindenschicht gebildet; ausserdem geht bei *Raja clavata* häufig noch die mäandrische Innensubstanz in die dickeren Erhebungen dieses eigentlichen „Schwammkörpers“ hinein. In Folge dessen ist die hintere Rindensubstanz dicker als die vordere;

¹⁾ Robin hat Flächenansichten der Platte von *Raja clavata* schon sehr hübsch abgebildet (5 Pl. 4, Fig. 3 u. 4).

wie diese, ist sie mit gleich gestalteten, zahlreichen, ebenfalls ziemlich regelmässig verteilten Kernen versehen.

Am Rande des elektrischen Elementes gehen die vordere und hintere Rindenschicht kontinuierlich in einander über. Meist ist der Rand der Platte etwas dünner und ein wenig nach hinten umgebogen. Mit der hinteren Rindenschicht treten niemals Nervenfasern in Verbindung, die Nervenendigungen finden sich ausschliesslich im Bereich der vorderen, glatten Rindensubstanz.

Ich unterscheide also, um die Terminologie für später sogleich festzusetzen, indem ich absichtlich möglichst indifferente Bezeichnungen wähle, an jedem elektrischen Element von Raja folgende Schichten:

1. die vordere (glatte) Rindenschicht;
2. die (lamelläre oder „mäandrische“) Innensubstanz;
3. die hintere (unregelmässig netzförmige) Rindenschicht.

Alle drei Schichten zusammen bilden nach meiner Auffassung das „elektrische Gewebe“ des elektrischen Elementes.

Fig. 2 auf Tafel XIX/XX zeigt ein Stück eines vertikalen Durchschnittes durch eine Platte bei stärkerer Vergrösserung, wie vorher, aus einem nach etwas anderer Methode hergestellten Präparat. Bei V R liegt die vordere, bei H R die hintere Rindensubstanz, deren netzförmige, nach hinten gerichtete Fortsätze unregelmässig getroffen sind. Bei I₁, I₂ und I₃ erstreckt sich die lamelläre Innensubstanz (I) in die gröberen Fortsätze hinein; auch noch an drei anderen kleineren Stellen sind isolierte Lamellenzüge getroffen. Zwischen den Netzbalken befindet sich das hintere Gallertgewebe (G₁) mit grossen verzweigten Zellen. An die Vorderfläche der vorderen Rindenschicht treten bei N die feineren Nervenverzweigungen heran, um in die jetzt deutlich sichtbaren Nervenendigungen (N E) überzugehen. Über die Art der Nervenendigung ist wenig Zuverlässiges bekannt und gehen die Meinungen der Autoren darüber sehr auseinander.

Zu den oben aufgeführten drei Schichten des elektrischen Gewebes käme mithin als vierte Lage der Platte noch die Schicht der Nervenendigungen.

Das ganze Element besteht also aus

1. dem elektrischen Gewebe mit seinen drei Schichten, als dem Abkömmling der Substanz des Elektroblasten und
2. der Nervenendausbreitung, als dem Homologon der zum Elektroblasten gehörigen motorischen Nervenendplatte.

Dazu kommt als Füllmasse des bindegewebigen Kästchens und Träger der gröberen Nervenäste und Gefässe, sowie zugleich als Isolator der Elemente das vordere und hintere Gallertgewebe, ersteres mit den Nervenverästelungen, letzteres mit den Gefässverzweigungen. —

In Folgendem will ich nun den feineren Bau dieser Schichten beschreiben, wie ich ihn durch meine Untersuchungen festgestellt habe; er ist, wie ich fand, ein sehr komplizierter. Überhaupt kann ich die Bemerkung nicht unterdrücken, dass es sich hier um ein recht schwieriges Gewebe handelt.

Betrachten wir zunächst die vordere Rindenschicht, welche unsere Beachtung in erster Linie in Anspruch nimmt, weil die Nervenendigungen mit ihr in Beziehung treten.

Behandelt man kleine Stücke des elektrischen Organs nach der schnellen Golgischen Methode und fertigt Schnitte parallel den Flächen der Platten an, so findet man die vordere Rindenschicht in sehr charakteristischer Weise gefärbt. Die Färbung tritt sehr leicht ein und wird kaum in einem Schnitt vermisst. Man sieht dann in den Präparaten mehr oder weniger zahlreiche und verschieden grosse Stücke einer hellbraunrot tingierten Membran, die in eigentümlicher Weise siebartig durchlöchert ist. Fig. 6 auf Taf. XXI/XXII zeigt bei schwacher Vergrösserung einen Teil dieser Membran, die sich in diesem Falle, wie nicht selten, auf eine weite Strecke hin gefärbt hatte. Dass diese Membran

der vorderen Rindenschicht entspricht, zeigen sofort vertikale Durchschnitte senkrecht zu den Flächen der Platte.

Die Löcher stehen in der Membran ziemlich dicht, sind rundlich oder elliptisch oder oval und differieren ein wenig in der Grösse; die elliptische Form herrscht vor. Ihre Begrenzung ist, bei schwacher Vergrösserung betrachtet (Fig. 6), meist scharf, wie mit dem Locheisen ausgeschnitten. Zuweilen kommt es vor, dass zwei oder mehr Löcher mit einander verschmelzen, was zum grössten Teil wohl auf ungenügender Imprägnation des Gewebes beruht (Fig. 6 unten rechts).

Die Membran selbst sieht bei schwacher Vergrösserung wie feinkörnig aus und erscheint an vielen Stellen gleichmässig gefärbt. Sehr oft ist die Färbung aber auch etwas ungleichmässig, verschwommene dunkle Stellen wechseln mit helleren ab, sodass ein etwas fleckiges Aussehen entsteht. Meist sieht man ausserdem noch (vergl. Fig. 6 und Fig. 9 rechte Seite) zahlreiche kleine helle Stellen in unregelmässiger Verteilung, welche, wie ich zeigen werde, in Beziehung zu den Nervenendigungen stehen.

Untersucht man die Membran mit den stärksten Vergrösserungen (vergl. Fig. 9 und 10 auf Taf. XXI/XXII), so erkennt man, dass ihre braunrote Färbung bedingt wird durch eine eigenartige Struktur. An den gut ausgefärbten Stellen der Membran ist es sehr schwierig, wenn nicht unmöglich, sich völlige Klarheit über die Anordnung dieser Struktur zu verschaffen, solche Stellen dürften zu den schwierigsten Testobjekten gehören. Man erkennt nur eine äusserst feine Zeichnung, die aus kleinsten, punktförmigen Kreisen und Hohlräumen besteht. Dieses Aussehen ist durch Abbildung recht schwer wiederzugeben, in Fig. 10 und in der linken Hälfte der Fig. 9 ist der Versuch gemacht worden. Um sich Aufschluss zu verschaffen, muss man dünne Stellen der Membran oder die Randpartien untersuchen.

Man sieht hier (Fig. 9 und 10) feinste, äusserst zarte, braun gefärbte Fädchen, welche in kleinen, winkelligen Biegungen ver-

laufen und oft eine Strecke weit isoliert verfolgt werden können. Diese Fäserchen senden zahlreiche kurze Äste ab, welche mit den benachbarten Fäserchen in Verbindung treten. Dadurch dass die Fäserchen sehr nahe beisammenliegen und ihre gegenseitige Verbindung eine sehr enge und dichte ist, wird ein äusserst engmaschiges, schwer definierbares Netzgerüst gebildet. Die Durchmesser der feinen Maschenlücken erscheinen kaum grösser als die sie begrenzenden Fädchen dick sind. Der Verlauf der Fäserchen scheint meist ein unregelmässiger, wirrer zu sein; nicht selten sieht man sie jedoch strichweise in bestimmter Richtung verlaufen, obgleich dies niemals sehr ausgeprägt ist. Am häufigsten ist noch ein regelmässiger Verlauf in der Begrenzung der Löcher, um welche die Fäserchen oft in sehr deutlich cirkulären Zügen herumziehen (vergl. Fig. 9 und besonders Fig. 10). Auch über die Löcher der Membran streichen oft isolierte, sich verzweigende Fäserchen oder ganze Züge von solchen, von der einen zur anderen Seite hinweg¹⁾ (Fig. 10 links). Sehr häufig ragen auch freie Enden der Fäserchen mehr oder weniger weit oberflächlich in die hellen Lücken hinein, sodass die Begrenzung der letzteren nicht so scharf ist, wie es bei schwacher Vergrösserung meist scheinen will (Fig. 9). Besonders an solchen Stellen ist der unregelmässige Verlauf der Fäserchen, ihre Verzweigung und gegenseitige Verbindung zu den feineren und feinsten Maschen in sehr instruktiver Weise zu demonstrieren. In die feinsten Fädchen sind oft kleinste Körnchen eingelagert, die allerdings auch nicht selten vermisst werden. An den gut ausgefärbten Stellen der Membran sieht man hier und da gröbere Körnchen in unregelmässiger Verteilung; ich lasse es dahin gestellt, ob dies Niederschläge in Folge zu starker Inkrustation sind, was bei der ausserordentlichen Zartheit der Bildung ja nicht überraschen kann.

1) Man muss sich hier jedoch hüten vor Verwechselung mit den Fäserchen der tiefer gelegenen Gewebsschicht, worüber weiter unten im Text.

Das Gewebe der Membran besteht also in den Golgi-Präparaten aus einem äusserst engmaschigen Netzgerüst feinsten, sich verzweigender und in reichstem Maasse mit einander in Verbindung tretender, oft körnchenführender Fädchen. Die Membran ist nur dünn, entsprechend dem Dickendurchmesser der vorderen Rindenschicht auf dem senkrechten Durchschnitt.

Die Löcher der Membran erscheinen meist ganz hell. Oft aber geht, wie oben bereits erwähnt, eine dünne Schicht des Netzgewebes über sie hinweg. Ihr Rand wird von dem Gewebe selbst gebildet, eine die Löcher begrenzende Membran fehlt. In jedem Loche befindet sich ein grosser, von oben gesehen, meist kreisrunder Kern mit deutlichem Kernkörperchen. Um den Kern herum sieht man in den Golgi-Präparaten, besonders, wenn sie gleich nach der Anfertigung untersucht werden, eine körnige, krümelige, nicht gefärbte Masse. In den Figuren 6, 9 und 10 der Tafel II sind diese Kerne fortgelassen, weil sie in Folge der starken Aufhellung der Balsampräparate in ungefärbtem Zustande meist undeutlich werden; nur in Fig. 10 wurden sie in drei Lücken eingezeichnet.

Die geschilderte Struktur der vorderen Rindenschicht ist durch keine andere Methode so prägnant zur Anschauung zu bringen, als durch das Goltgische Verfahren. Es gelingt aber auch durch andere Methoden die Bestätigung von dem Vorhandensein des Netzgerüsts zu erhalten. Allerdings zeigt die Rindensubstanz in Schnitten durch mit Sublimat, Flemmingschem Gemisch u. a. R. fixiertes Material, ferner nach Behandlung mit Müller'scher Lösung und Lösungen von Kali bichromicum, ein feinkörniges oder auch mehr homogenes Aussehen. (Vergl. Fig. 1, 2, 3 und 4 auf Tafel XIX/XX). Weniger ist dies schon in guten Goldpräparaten der Fall, wo auf dünnen Schnitten die feinsten Körnchen eine mehr netzige Anordnung zeigen. In guten Zupfpräparaten bei Untersuchung in Wasser gelingt es, an den Rändern der Rindenstücke feinste, kurze Fäserchen, die

sich mit einander zu engen Netzen verbinden, deutlich zu erkennen. Besonders Zupfpräparate von vergoldetem Material sind hierzu geeignet. Nicht unerwähnt will ich lassen, dass ich in den Zupfpräparaten von mit Osmiumsäure und Kalibichromicum behandeltem Material bisweilen bei Flächenansicht eine Netzzeichnung antraf, deren Maschen weit grösser und unregelmässiger waren, als oben beschrieben wurde; das Ganze machte mehr den Eindruck von Vakuolenbildungen. Wahrscheinlich handelt es sich hier um eine unvollkommene Reagenswirkung.

Die Bedeutung der Löcher der braunroten Membran in den Golgi-Präparaten ist bei Behandlung des Gewebes nach anderen Methoden leicht festzustellen: sie dienen zur Aufnahme von Zellen. Am deutlichsten abgegrenzt sieht man diese Zellen in Goldpräparaten. Fig. 7 auf Taf. XXI/XXII ist einem Zupfpräparat von mit Goldchlorid behandeltem Material entnommen und giebt uns in der Flächenansicht eines Stückchens der vorderen Rindenschicht gewissermassen das Positiv zu dem Negativ der Fig. 6 des Golgi-Präparates. Das Gewebe der Rindensubstanz hat sich hier nur wenig gefärbt, um so deutlicher treten die dunkelviolett tingierten Protoplasmakörper der Zellen hervor. Das Protoplasma sieht grobkörnig aus, setzt sich von der Umgebung ziemlich scharf ab und umschliesst einen hellen, grossen Kern, der gewöhnlich excentrisch liegt. Selten befinden sich zwei Kerne in einer Zelle oder zwei Zellen stossen so dicht an einander, dass sie zu einem semmelartigen Gebilde zusammenfliessen. (In dem in Fig. 7 abgebildeten Präparat war dies zufällig an drei Stellen der Fall). Durch Zerzupfen lassen sich die Zellen leicht isolieren und schwimmen dann in grösserer Zahl in jedem Präparat herum. Fig. 8 auf Taf. XXI/XXII zeigt zwei isolierte Zellen aus dem Zupfpräparat eines mit Goldchlorid behandelten und in Mixtur konservierten Präparates. Auch nach anderen Methoden ist es leicht, das Protoplasma der zelligen Elemente von der Zwischensubstanz deutlich abzugrenzen. Das gelingt

z. B. in jedem Schnitt durch mit Sublimat, Flemming'scher Lösung u. a. R. fixiertes Material nach Färbung mit Hämatoxylin oder Anilinfarben; auch Präparate von mit Müller'scher Lösung oder Kalibichromicum-Lösungen behandelten Organstücken leisten dies. In den Figuren 2—5 auf Taf. XIX/XX ist z. B. jeder Kern von einem deutlichen Hofe grobkörnigen Protoplasmas umgeben. In dünnen Schnitten kann es vorkommen, dass das Protoplasma der Zelle getroffen wird, während der Kern nicht mehr mit in den Schnitt gefallen ist (vgl. Fig. 2 an zwei Stellen). Dasselbe gilt für die Zellen der hinteren Rindenschicht. Misst man die Grösse der Protoplasmaleiber und vergleicht sie mit der Grösse der Löcher in der braunroten Membran der Golgi-Präparate, so erhält man ziemlich genau dieselben Werte. Daraus folgt, dass die Löcher von den Zellindividuen eingenommen werden. Der Kern und ein Teil des Protoplasmas sind ja auch schon in den Golgi-Präparaten, wie oben angegeben, in jeder Lücke wahrzunehmen, wenn die Aufhellung nicht zu stark geworden ist. Mit der Form der Löcher stimmt auch die Form der Zellen überein (vgl. Fig. 6 mit Fig. 7). Infolge der Dünnhheit der vorderen Rindenschicht sind die Zellen von vorne nach hinten abgeplattet, wie am besten Durchschnitte der Platte senkrecht zu ihrer Oberfläche zeigen (vgl. Fig. 2—5). Auch die grossen Kerne zeigen gewöhnlich diese Abplattung und besitzen 1—2, selten 3 relativ grosse, leicht färbbare, kugelige Kernkörperchen.

Die vordere Rindensubstanz wird also gebildet von einer dünnen Platte aus einem filzartig dichten, feinfädigen, äusserst engmaschigen Netzgerüst und von zahlreichen in besondere Lücken des Netzgerüsts eingelagerten Zellen. Das Netzgerüst ist als eine spezifische Zwischensubstanz aufzufassen, als deren Bildner die Zellen angesehen werden müssen. Was sich in dem engen Hohlraumsystem des Netzgerüsts vorfindet, vermag ich mit Bestimmtheit nicht zu sagen. Aller Wahrscheinlichkeit wird

es von einem flüssigen, plasmatischen Gewebsbestandteil eingenommen. Jedenfalls habe ich hier ebenso wenig, wie bei Torpedo, einen Anhalt dafür gewonnen, dass in den Lücken Körnchen in regelmässiger Verteilung angeordnet sind. Das gewöhnliche feinkörnige Aussehen der Rindensubstanz erklärt sich zur Genüge durch die Existenz des geschilderten Netzgerüsts.

Alle früheren Beobachter¹⁾ haben die Rindensubstanz als „Protoplasma“ oder „protoplasmatisch“ angesprochen. Davon kann aber keine Rede sein, da gewöhnliches Zellprotoplasma niemals die beschriebene Reaktion mit der Chromsilbermethode giebt. Es handelt sich hier schon um eine wesentlich modifizierte Zwischensubstanz. Allerdings erinnert die gefundene Struktur lebhaft an das Bild, unter welchem man sich die Protoplasmastruktur wohl vorzustellen pflegt, worauf ich schon bei meiner Untersuchung über Torpedo hingewiesen habe.

Damit ist der feinere Bau der vorderen Rindensubstanz des elektrischen Elementes von Raja aber noch nicht erschöpft. Dünne mit Hämatoxylin oder Anilinfarben tingierte Schnitte von 3—5 μ Dicke durch das mit Sublimat fixierte Organ zeigten mir noch eine weitere Struktur, der ich eine hohe Bedeutung für die elektrischen Organe überhaupt beilege, nämlich die elektrischen Stäbchen.

Fig. 3 auf Taf. XIX/XX stellt den Durchschnitt durch ein Stück der vorderen Rindensubstanz dar. Der Schnitt ist senkrecht zur Oberfläche der Platte gefallen. In der Rindensubstanz (V R.) sieht man drei deutlich abgegrenzte Zellen mit ihren abgeplatteten Kernen und intensiv gefärbten Kernkörperchen. Bei J sind an ihrer Hinterfläche noch vier dunkle Lamellen der Innensub-

¹⁾ Merkwürdig ist, dass den meisten Beobachtern, auch den neueren, die eingelagerten Zellen entgangen sind, obwohl die Kerne stets erwähnt werden. Nur M. Schultze (13) hat ihre Existenz richtig erkannt und gewürdigt. Dass sich hierin die Arten von Raja verschieden verhalten, wäre möglich, ist mir aber nicht wahrscheinlich.

stanz mitgetroffen. Der Vorderfläche der Rindensubstanz liegen Nervenendigungen (NE) dicht an und zwar so dicht, dass sie sich mit ihrer hinteren konvexen Fläche in die Rindensubstanz eindrücken, ja bisweilen fast ganz einlagern. Wie hier schon im voraus bemerkt sein mag, sind die Nervenendigungen (NE) von einer als dunkle Begrenzung deutlich hervortretenden Hülle umgeben; ausserdem werden sie durch eine mit ihrer Hülle zusammenhängende Membran (S), die als scharf gezogene Randlinie sichtbar ist, verbunden (Siehe das Nähere hierüber weiter unten im Text).

Von der in die Rindensubstanz vorragenden Hinterfläche der Hülle der Nervenendigungen sieht man nun zarte, scharf begrenzte, kurze Linien ausgehen, welche alle von gleicher Länge sind und nach kurzem Verlaufe aufhören. Dadurch entsteht eine sehr deutlich gestrichelte, schmale Zone im vorderen Teil der Rindenschicht (bei St.). Die Linien sind alle gleich dick, ohne jede Anschwellung, vor allem fehlen Endknöpfchen. Bei genauer Einstellung erkennt man, dass jedes dunkle Strichelchen der Ausdruck eines von der Umgebung scharf abgesetzten Stäbchens ist. Noch deutlicher wird dies bei Färbung mit Anilinfarben, z. B. mit Säurefuchsin, besonders wenn die Präparate einige Tage unter dem Deckglase unter Wasser gelegen haben, sodass die Färbung sich mehr differenziert hat. Überhaupt ist die Untersuchung in Wasser geboten, da sonst die feineren Lichtbrechungs differenzen verlöschen. Fig. 4 auf Taf. I zeigt einen Schnitt nach Färbung mit Säurefuchsin bei Untersuchung in Wasser. Wie in Fig. 3, ist auch hier nur die vordere Rindenschicht (VR) mit den ihr anliegenden Nervenendigungen (NE) gezeichnet. Wie man sieht, treten (bei St) die Stäbchen als solche ausserordentlich scharf begrenzt hervor. Sie finden sich nur an der der Rindensubstanz zugekehrten Fläche der Nervenendigungen. Da diese hintere Fläche meist stark konvex ist, die Stäbchen aber senkrecht auf den Endigungen

stehen, so sind die Stäbchen in der Platte nicht alle parallel neben einander direkt von vorne nach hinten gerichtet, vielmehr stehen sie, je näher dem Rande der konvexen Nervenendigungen, um so schräger. Die Nervenendigungen haben daher mit ihren nach hinten abstehenden Stäbchen etwas Igelartiges (siehe Fig. 3 und 4, St). Würde man ein derartiges Präparat von der Fläche betrachten, so müssten die randständigen Stäbchen am Rande der Nervenendigungen mehr oder weniger kammartig vorstehen, wie in der That Flächenschnitte zeigen. (Siehe hierüber weiter unten). Die Zahl der Stäbchen auf den Nervenendigungen ist eine sehr grosse.

Ich glaube mich nun überzeugt zu haben, dass die Stäbchen nicht allein auf der Hinterseite der Nervenendigungen, sondern auch an der Hinterfläche der sie verbindenden Membran (S der Figg. 3 und 4) stehen. Jedenfalls waren sie auf den Schnitten in den Räumen zwischen den Durchschnitten der Nervenendigungen meist deutlich sichtbar; bisweilen fehlten sie dort oder waren nur spärlich vorhanden. Vielleicht kann jedoch die Möglichkeit nicht ganz ausgeschlossen werden, obwohl die Schnitte sehr dünn waren, dass die Stäbchen wenigstens zum Teil Nervenendigungen angehörten, welche nicht oder nicht ganz in den Schnitt gefallen waren, da die Nervenendigungen etwas unregelmässig stehen, in den Sublimatpräparaten oft nicht ganz deutlich sind und die Stäbchen auf den Endigungen nach verschiedenen Richtungen divergieren. Indessen werden wir sehen, dass mir auch die anderen Methoden Stützen dafür gegeben haben, dass die Stäbchen der Hinterfläche der Membran nicht fehlen.

Betonen möchte ich noch, dass die stäbchenführende Zone ausschliesslich in der vorderen Rindenschicht liegt, soweit als die Nervenendigungen reichen.

Mit dem Nachweis der Stäbchen in Schnittpräparaten habe ich unter meinem fixierten Material eigentlich nur an dem

Sublimat-Material Erfolg gehabt. An mit Flemmingscher Lösung, Chromessigsäure und Osmiumsäure fixierten Stücken konnte ich die Stäbchen deutlich nicht mehr zur Darstellung bringen. Zwar sieht man oft noch etwas von der Stäbchenzone, aber ohne wünschenswerte Klarheit. In meinen Goldpräparaten war keine Spur mehr davon wahrzunehmen (vgl. Fig. 5 auf Taf. I). Daraus ist wohl zu schliessen, dass die Stäbchen sehr zarte, leicht vergängliche Bildungen sind, die besonders empfindlich auf Essigsäure und Wasser reagieren.

Bevor es mir gelang, die elektrischen Stäbchen bei Raja in der geschilderten Weise zur Darstellung zu bringen, hatte ich sie schon mit Hilfe der Golgischen Methode aufgefunden. Wie bei Torpedo, färben sie sich auch bei Raja leicht und ist es nicht schwer, bei einiger Sorgfalt gute Präparate zu erhalten. Für die Untersuchung empfehlen sich vor allem Schnitte, die parallel den Flächen der elektrischen Platten gehen.

Bei gut ausgefallener Reaktion sieht man in den Schnitten an vielen Stellen in einer Ebene ausgebreitete, braun gefärbte, eigentümlich zusammengesetzte, netzartige Zeichnungen (Figg. 17, 18 und 19 auf Taf. XXIII und XXIV/XXV). Die Streifen, welche die Netze zusammensetzen, sind unregelmässig hin und her gebogen und ungleich breit, oft wie eingeschnürt. Durch Seitenäste treten sie miteinander in Verbindung, indessen sind diese Netzverbindungen nicht so reichlich, wenn auch mit Bestimmtheit bei guter Färbung in grösserer Zahl nachweisbar. Oft tritt auch nur eine Berührung der Fortsätze ein. Häufiger noch, als die Netzverbindungen, sind frei endigende, an den Spitzen bisweilen etwas umgebogene oder verdickte, meist abgerundete kurze Fortsätze. Hierdurch erhält die ganze Zeichnung etwas sehr Eigenartiges und Unregelmässiges, ich möchte auch sagen, etwas Plumpes, wenn ich sie mit der ähnlichen Bildung bei Torpedo vergleiche (28, Taf. 29 und 30). Dieser Eindruck wird noch dadurch vermehrt, dass die Färbung, wie es scheint, oft unvoll-

ständig bleibt, sodass grössere oder kleinere Lücken in den Netzen entstehen (vgl. besonders Fig. 19). Auch wird die Zeichnung am Rande der gefärbten Stellen oft dadurch defekt, dass nur Stücke der Netzbalken braun gefärbt sind; in der Nähe der mehr oder weniger zusammenhängenden Netze liegen dann vollständig isolierte Stücke, wie z. B. in Fig. 18 unten rechts. Stets sind die Netze in einer Ebene ausgebreitet, abgesehen von den Faltungen, welche die elektrische Platte durch Schrumpfung infolge von Reagenswirkung naturgemäss oft erleidet. Nicht selten sind diese Zeichnungen auf grosse Strecken hin ausgeprägt (Figg. 17—19), wenn auch nicht so ausgedehnt, wie bei Torpedo; meist tritt jedoch ihre Imprägnation nur fleckweise auf.

Was diesen Netzen nun ein ganz eigentümliches Aussehen giebt und am meisten in die Augen springt, ist ihr dichter, pelzartiger Besatz mit kleinen, braun gefärbten Stäbchen (Figg. 17—19 auf Taf. XXIII und XXIV/XXV; Fig. 28 auf Taf. XXVI/XXVII). Ich will die Netze daher als „Stäbchen-netze“ bezeichnen; in wie weit sie mit den Nervenendigungen zusammenfallen, wird noch erörtert werden.

Die Identität dieser Stäbchen mit den oben von mir beschriebenen wird sofort klar bei Untersuchung mit starken Vergrösserungen (Figg. 17 auf Taf. XXIII und 18 auf Taf. XXIV/XXV). Sie erscheinen dann als kleine, gerade, braun gefärbte Stäbchen von ziemlich starker Lichtbrechung. Ihre Länge beträgt 0,0014 bis 0,0018 mm. Mit ihrem einen Ende sitzen sie unter rechtem Winkel der Netzzeichnung auf. Das andere Ende ragt frei hervor, ist meist leicht zugespitzt, sonst abgerundet oder quer abgestutzt. Die Stäbchen sind gerade gestreckt, nur selten ein wenig umgebogen. Einlagerungen von Kügelchen in die freien Enden, wie ich sie bei Torpedo beschrieben, fehlen hier durchaus. Im optischen Querschnitt erscheinen sie meist als kleine Kreise mit etwas hellerem Innern.

Diese Stäbchen sitzen nun in ausserordentlich grosser Zahl den Netzbalken an. Die Streifen des Netzes sind wie mit einem dichten Pelze von Stäbchen besetzt, sodass sie förmlich davon starren (Fig. 17). Dabei stehen sie stets einzeln in im allgemeinen ziemlich regelmässigen Abständen; doch scheinen die Zwischenräume auch ein wenig zu variieren, sodass die Stäbchen an der einen Stelle etwas dichter, an einer anderen ein geringes weniger dicht stehen. Durch die zahllosen Stäbchen wird überhaupt erst die dunkelbraune Färbung der Netzzeichnung bedingt, da die sie tragende Membran nur hellbraun, wenn auch sehr deutlich, tingiert ist. Stäbchenkombinationen, wie ich sie bei Torpedo beschrieben habe, fehlen bei Raja, ich habe hier niemals Andeutungen davon gesehen. Überhaupt machen die Stäbchen von Raja, im Vergleich mit denen von Torpedo, einen weniger vollkommenen Eindruck. Die Zahl der Stäbchen ist, wie auch schon von den oben beschriebenen Schnittpräparaten hervorgehoben, eine ganz enorme. Meiner Schätzung nach zählen sie in jedem elektrischen Element, wenn nicht nach Millionen, so doch nach vielen Hunderttausenden. Gerade diese Golgi-Präparate¹⁾, in denen die Stäbchen so prägnant gefärbt und bei Flächenansicht in so grosser Zahl hervortreten, führen recht eindringlich vor Augen, dass es sich in den Stäbchen um ein wichtiges, für die Anatomie und Physiologie des Organs wesentliches Strukturelement handeln muss, dessen Bedeutung schon wegen seiner enormen numerischen Ausbildung jedenfalls nicht gering anzuschlagen ist.

Bei flüchtiger Betrachtung der Präparate in der Flächenansicht könnte es nun scheinen, als ob die Balken der Netze in

1) Natürlich ist von den Stäbchen in den Golgi-Präparaten nicht das Allergeringste zu sehen, wenn die angegebene charakteristische Färbung ausgeblieben ist. Nur wenn die Präparate abblässen, sieht man an Stelle der braunen Stäbchen noch eine Zeit lang glänzende, fast ganz farblos gewordene Gebilde.

ihrer ganzen Peripherie mit dem Pelzbesatz der Stäbchen versehen wären. Dieses ist aber durchaus nicht der Fall, wie eine Untersuchung schon der Flächenansichten bei starker Vergrößerung unter Benutzung der Mikrometerschraube zeigt. Ein Vergleich der Abbildungen Fig. 17, 18 und 19 mag dies erläutern. Die drei Figuren stellen die Stäbchennetze bei etwas verschiedener Vergrößerung dar; in Fig. 17 sind sie am stärksten, in Fig. 18 etwas weniger stark und in Fig. 19 am schwächsten vergrößert.

In Fig. 18 blickt man von oben auf die Vorderfläche einer elektrischen Platte. Stellt man ganz oberflächlich ein, so dass nur gerade das Netz sichtbar zu werden beginnt, so sieht man von den Stäbchen zunächst noch nichts. Bewegt man das Objektiv um eine Idee weiter nach unten, so wird das Netz als verwaschene braune Zeichnung sichtbar. Zu beachten ist dabei, dass die Ränder der Netzzeichnung als dunkle, scharf begrenzte Linien membranartig sehr deutlich hervortreten. Dabei will es oft scheinen, als wäre der von diesen Konturen umschlossene Raum gar nicht oder nur sehr wenig gefärbt. In Fig. 18 ist an einer Stelle oben rechts versucht worden, ein Stück des Netzes bei oberflächlicher Einstellung zu zeichnen; von den Stäbchen ist hier noch nichts zu sehen. Stellt man noch etwas tiefer ein, so erscheinen endlich die Stäbchen und zwar werden sie gewöhnlich am Rande der Netzstreifen früher deutlich, als in ihrer Mitte. Hier sieht man sie gewöhnlich als dunkle Kreise, während die Stäbchen der Randpartien meist am Rande der Netzstreifen kammartig hervorragen (Fig. 18).

Aus dem Beobachteten ist zu folgern, dass die Stäbchen nur der Hinterfläche der Netzstränge eingepflanzt sind und dass diese Hinterfläche gewöhnlich etwas gewölbt ist. Bisweilen scheint es übrigens, als wenn in den Golgi-Präparaten nur die hintere stäbchentragende Wand der Netzstreifen gefärbt ist.

Wenn man umgekehrt eine unter dem Mikroskop mit ihrer Hinterfläche nach oben gewandte elektrische Platte einstellt, wird

man zuerst die nach oben und den Seiten hin starrenden Stäbchen antreffen, wie in Fig. 17 auf Taf. XXIII dargestellt ist.

Bei schwächerer Vergrösserung (Fig. 19 auf Taf. XXIV/XXV) gehen die Stäbchen in der braunen Netzzeichnung gewissermassen mehr unter, besonders wenn die Vorderfläche des Netzes nach oben gewandt ist (Fig. 19). Die schräg gerichteten Randstäbchen sieht man als kleine Spitzen hier und da am Rande der Netzbalken hervorlugen, während die mehr vertikal (d. h. in der Platte von vorne nach hinten) gerichteten Stäbchen eine dichte Punktierung der Netzzeichnung hervorrufen (Fig. 19).

Die Probe auf die Richtigkeit unserer Beobachtung am Flächenschnitt liefern uns Schnitte senkrecht zur Oberfläche der Platte (Fig. 28 auf Taf. XXVI/XXVII). Wir erkennen dann, dass die Netzbalken meist abgeplattet-cylindrische Streifen darstellen. Die (nach oben gerichtete) Vorderfläche der Streifen ist glatt, ausschliesslich ihre Hinterfläche trägt den Stäbchenbesatz. Das Gleiche nimmt man nicht selten schon bei Flächenansicht wahr, wenn geringe Faltungen in der Platte entstanden sind. In Fig. 17 ist dies an mehreren Stellen der Fall, z. B. bei O.

Wir sehen hier also durch die Golgische Methode nach jeder Richtung hin alles genau bestätigt, was wir im sorgfältig angefertigten Schnittpräparat von mit Sublimat fixiertem Material schon gefunden hatten: mehr kann man von der Golgischen Methode füglich nicht verlangen.

Damit steht im Einklang, dass ich in den Golgischen Präparaten nicht selten auch zwischen den Netzbalken gefärbte Stäbchen angetroffen habe, stets aber in Verbindung mit einer Membran. Ist das Stäbchennetz in grösseren Flecken inkrustiert, so findet man bisweilen die dunkel gefärbten Netzbalken durch eine zarte, gelbbraun gefärbte Membran verbunden, an deren Hinterfläche von vorne nach hinten gerichtete Stäbchen sichtbar sind. Die Stäbchen scheinen hier weiter zu stehen als an der Hinter-

fläche der Netzbalken. Bisweilen färbt sich diese Membran auch auf grössere Strecken.

Ich habe mich nun schliesslich noch bemüht, um die Zupfmethode nicht zu vernachlässigen, an isolierten, gut fixierten Plattenstücken Flächenansichten der Stäbchennetze und Stäbchen zu erhalten. Wie oben erwähnt, scheinen die Stäbchen sehr empfindlich und leicht vergänglich zu sein. In allen meinen mit Wasser nachbehandelten Osmiumpräparaten, ferner in den Zupfpräparaten von mit Müllerscher Lösung, Kalibichromikum- und Goldchlorid-Lösungen behandelten Organstücken habe ich nichts mehr von ihnen sehen können. Auch ist die Untersuchung isolierter Stücke im Zupfpräparat recht schwierig. Denn es lassen sich die einzelnen Schichten nicht so vollkommen von einander trennen, wie bei Torpedo, sodass man bei Raja auch nicht annähernd so elegante Isolations-Präparate erhält, wie bei dem Zitterrochen. Zwar kann man die dem Stäbchennetz entsprechende Gewebsslage von dem dicken, undurchsichtigen übrigen Teil der elektrischen Platte ablösen, doch bleibt damit stets noch im Zusammenhang die dicke Schicht der Nervenverästelungen mit ihren Kernen und den Zellen des vorderen Gallertgewebes, meist auch noch die vordere Rindenschicht. Man hat es daher, auch bei sorgfältigster Präparation, immer noch mit einer dickeren Gewebsslage zu thun, in welcher man das zarte Stäbchennetz mit Hilfe der Mikrometerschraube aufsuchen und einstellen muss. Um darin Einzelheiten bei Immersion einigermassen klar zu sehen, bedarf es eines sehr guten Lichtes, genauester Einstellung und schärfster Beobachtung.

Von dem auf Helgoland für Zupfpräparate konservierten Material habe ich für diesen Zweck nur die Organstücke gebrauchen können, welche 24 Stunden mit 1%iger Lösung von Osmiumsäure behandelt und dann, ohne voraufgegangene Wasserspülung, sogleich in 3%ige Lösung von Kalibichromikum gelegt waren; hierin wurden sie bis zur Präparation aufbewahrt. Fig. 15

und Fig. 16 auf Taf. XXI/XXII zeigen eine Stelle aus einem derartigen Zupfpräparate bei hoher (Fig. 15) und tiefer (Fig. 16) Einstellung. Das Stück lag so, dass die vordere Fläche nach oben gegen das Deckglas gewandt war. Bei hoher Einstellung erschien die Netzzeichnung gleichmässig hell und scharf begrenzt. Die Netzverbindungen sind genau so gezeichnet, wie ich sie im Präparat gesehen habe; gerade hier, wie auch an zahlreichen anderen Stellen dieser Präparate, konnte ich sie gut überblicken. Bei N geht ein Nervenendzweig direkt in einen Netzstreifen über. Am Rande der Netzstreifen sah ich nun feine Stäbchen vorragen, die als solche sehr deutlich hervortraten; auch ihr freies Ende setzte sich scharf von der Umgebung ab. Dies sind die elektrischen Stäbchen, welche dem Rande der meist gewölbten Unterfläche der Netzzüge aufsitzen. Je stärker die Wölbung dieser Unterfläche ist, um so schräger stehen die Stäbchen, um so mehr müssen sie bei Flächenansicht am Rande der Streifen vorspringen. Ist die Konvexität der Unterfläche sehr schwach oder gar nicht vorhanden, so werden die Randstäbchen kaum oder gar nicht den Rand der Netzbalken überragen. Man trifft daher hier, wie auch in den Golgi-Präparaten, die Ränder der Netzstreifen oft ganz glatt oder nur mit undeutlichen kurzen Vorsprüngen besetzt (Vgl. auch Fig. 18 und 19 auf Taf. XXIV/XXV). Zwischen den Netzstreifen, welche sich, wie uns die Sublimatschnitte gezeigt haben, in das darunter gelegene Gewebe eindrücken, quillt nun gewissermassen die dazwischen gelegene Substanz etwas hervor. In diesen Räumen wollte es mir bei oberflächlicher Einstellung (Fig. 15) scheinen, als ob hier zerstreute Punkte wie Stäbchenquerschnitte sichtbar würden. Man muss sich allerdings hüten, die Körnelung der vorderen Rindenschicht damit zu verwechseln. Die Pünktchen waren nicht in allen Zwischenräumen sichtbar, wie überhaupt diese Beobachtung aus den oben angedeuteten Gründen schon etwas schwierig wurde.

Fig. 16 zeigt uns genau dieselbe Stelle bei etwas tieferer Einstellung. Die vorher hellen Netzstreifen erscheinen jetzt sehr deutlich punktiert. Am schärfsten sind die Punkte wieder in der Mitte der Streifen. Gegen die Ränder hin scheinen sie sich zu verlängern und gehen in die jetzt verschwundenen, seitlich vörragenden Stäbchen direkt über, wenn man die Einstellung wieder um ein geringes höher zurückführt. Die Pünktchen werden also, wie in den Golgi-Präparaten (vgl. Fig. 18 und 19), durch die optischen Querschnitte der elektrischen Stäbchen bedingt. Nur erscheinen die Pünktchen und Stäbchen hier etwas zarter und feiner, als in den inkrustierten Golgi-Präparaten. Es liegt auf der Hand, dass diese unwesentliche Differenz in der Eigenart der verschiedenen Methoden begründet ist.

Somit gelingt es bei Raja auch am Osmiumsäure-Präparat, im Flächenbild die „elektrische Punktierung“ nachzuweisen, welche von Boll vor Jahren bei Torpedo entdeckt wurde und welche nach ihrem Entdecker auch wohl als „Bollsche Punktierung“ bezeichnet ist. Wie ich in meiner früheren Arbeit gezeigt habe, entsteht das Bild der „elektrischen Punktierung“ beim Zitterrochen aber in etwas anderer Weise als bei Raja insofern, als dort hauptsächlich die von mir beschriebenen Endkügelchen der elektrischen Stäbchen die Punktierung bedingen.

Es erübrigt jetzt noch, bevor ich auf die anderen Schichten eingehe, die Lagebeziehungen der Stäbchen zu ihrer Nachbarschaft zu berücksichtigen.

Wie die senkrechten Durchschnitte der Sublimat-Präparate in Fig. 3 und 4 auf Taf. XIX/XX uns schon gezeigt haben, befinden sich die Stäbchen in innigem Kontakt mit der vordersten Schicht der vorderen Rindensubstanz. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass sie entweder ganz oder doch mit ihren hinteren Enden in das Netzgerüst der Rindenschicht hineinragen und gewissermassen darin stecken. In feinen Durchschnitten setzt sich die Zone der

Stäbchen nicht scharf von dem Gewebe der Rindensubstanz ab, eine Grenze zwischen Rinde und Stäbchenlage ist nicht vorhanden, vielmehr heben sich bei guter Färbung zwar die einzelnen Stäbchen scharf von ihrer Umgebung ab, das Gewebe, worin sie stecken, hängt aber direkt mit der Rindensubstanz zusammen, stellt nur einen Teil der letzteren dar. Dass die Stäbchen in das Gerüstwerk der Rindensubstanz, wenigstens zum grössten Teil, hineinragen müssen, geht schon daraus hervor, dass die Netzbalken oft tief in die Rindensubstanz eingelagert sind, wie Fig. 4 auf Taf. XIX/XX zeigt; um so weiter nach hinten müssen auch die Stäbchen reichen.

Auch in den Golgi-Präparaten ist die enge Beziehung der Stäbchen zu der Rindenschicht festzustellen. Hier kommt es nicht selten vor, dass das Stäbchennetz und das Netzgerüst einer Platte an derselben Stelle gleichzeitig gefärbt sind (Fig. 18). Das Stäbchennetz liegt dann dicht an der Vorderfläche der braunen Netzmembran und zwar so, dass alle Stäbchen gegen dieselbe gerichtet sind. Bei scharfer Einstellung des Stäbchennetzes ist das braune Netzgerüst der Rindenschicht undeutlich; geht man eine Idee mit dem Tubus tiefer, so wird das letztere scharf. In Fig. 18 auf Taf. XXIV/XXV ist das Netzgerüst nicht ganz scharf eingestellt, weil das Stäbchennetz gezeichnet wurde; man sieht, dass die Stäbchen nach hinten gegen die Gerüstsubstanz gerichtet sind, viele Randstäbchen allerdings ziemlich schräg. Dadurch dass diese mit Stäbchen besetzten Netzbalken oft in die Gerüstmasse der Rindenschicht eingedrückt sind, entstehen in den Golgi-Präparaten auch die so häufigen, schmalen, unregelmässigen, hellen Stellen, auf welche bei Schilderung der durchlöcherten Membran oben aufmerksam gemacht wurde. (Vgl. Fig. 6 und Fig. 9, rechte Seite, auf Taf. XXI/XXII.) Wie Fig. 18 auf Taf. XXIV/XXV zeigt, gehen die mit den Stäbchen besetzten Netzzüge auch über die Zellücken hinweg, müssen hier also auch mit dem Protoplasma der in den Löchern gelegenen

Zellen, wenn nicht in Berührung, so doch in engste Nachbarschaft kommen.

Weit schwieriger ist es, die Beziehungen der Stäbchen und des Stäbchennetzes zu den vor der Platte gelegenen Nerven festzustellen. Dies ist der heikelste Punkt meiner Untersuchung. Das Sichere, was ich eruieren konnte, ist folgendes.

Wie von den früheren Autoren beschrieben worden ist, verlaufen die stärkeren, noch markhaltigen Nerven in der vorderen Scheidewand einer jeden Kammer. Von dort treten sie in das vordere Gallertgewebe, verzweigen sich hier reichlich und werden marklos. Mit Hilfe der Golgischen Methode gelingt es leicht, die marklosen Nervenzweige zu färben. In Flächenschnitten (z. B. Fig. 17 auf Taf. XXIII) kann man sie auf grosse Strecken hin verfolgen und sieht, dass sie sich reichlich dichotomisch teilen, bis die feinsten Reiserchen in die Endverzweigungen übergehen. Bisweilen zerfällt eine Nervenfaser auch in 3—4 Zweige, niemals aber findet eine netzförmige Verbindung dieser Nervenäste statt, vielmehr verlaufen sie stets isoliert, überkreuzen sich aber häufig. Die Art der Verzweigung dieser Nervenendbäume ist nicht so zierlich und regelmässig geweihförmig, wie bei *Torpedo*. Auch kommen *Wagnersche* Büschel niemals zur Beobachtung. Dagegen ist das Organ nicht minder nervenreich, als beim *Zitterrochen*. Besonders in etwas dickeren Schnitten der *Golgi-Präparate*, welche senkrecht zur Oberfläche der elektrischen Platte ausgeführt sind, fällt die grosse Zahl feinsten Nervenäste auf, die der Vorderfläche der Platte zustreben (Fig. 23 auf Taf. XXVI/XXVII). Der Verlauf der Endzweige ist auf ihrer letzten Strecke vorwiegend senkrecht zur Oberfläche der Platte (Fig. 23). Auch in Schnitten durch mit *Sublimat*, *Chromosmiumessigsäure* u. s. w. fixiertes Material ist der Reichtum an Nervenästen und ihr Verlauf festzustellen (vgl. Fig. 2 auf Taf. XIX/XX). Recht deutlich treten die Nerven oft auch in den *Goldpräparaten* hervor; auch hier kann man sich davon überzeugen, dass keine

gegenseitige Verbindung der Fasern stattfindet. In diesen Präparaten sieht man in geringer Entfernung von der elektrischen Platte den letzten Verzweigungen der Nerven grosse, häufig etwas unregelmässige Kerne anliegen, welche der Nervenscheide der Fäserchen angehören (Fig. 2). Ihre Zahl ist nicht unbedeutend und finden sie sich, wie erwähnt, hauptsächlich in einer Zone in geringer Entfernung von der Platte. Diese Zone erscheint daher in Übersichtsbildern (Fig. 1) kernreicher, als die Umgebung. Es lässt sich feststellen, dass die Nervenendzweige bis an die Vorderfläche der Platte von einer feinen, sie umschliessenden Scheide begleitet werden.

Wie endigen nun die Nerven? Diese wichtige Frage ist bei Raja recht schwer zu entscheiden.

In den Golgi-Präparaten sieht man die Nervenendäste in zweifacher Weise endigen.

In dem einen Falle gehen die Nervenendäste in relativ breite, intensiv schwarz oder schwarzbraun gefärbte, abgeplattet-cylindrische Streifen über, die sich nur eine kurze Strecke verfolgen lassen. In den Figg. 24—27 auf Taf. XXVI/XXVII sind vier solcher Endausbreitungen bei Immersion genau kopiert. Die Streifen sind unregelmässig hin und her gebogen, hier und da eingeschnürt und mit blind endigenden, kurzen Fortsätzen und Verzweigungen versehen. Im allgemeinen besitzen sie Form und Verlauf des oben von mir geschilderten Stäbchennetzes, es macht den Eindruck, als wären es schlecht ausgefärbte Stücke desselben. Damit stimmt überein, dass man hier und da auf das deutlichste Netzmaschen konstatieren kann, wie Figg. 24 und 27 zeigen. Dann und wann liegen auch isolierte Stücke daneben (Fig. 26) oder sind durch schmale Brücken mit der Hauptmasse verbunden (Fig. 25). Alles erweckt den Anschein, als handle es sich hier um eine geronnene, unvollkommen gefärbte Nervenmasse. Alle diese gefärbten, meist abgerundet frei endigenden Stücke liegen in einer Ebene, die der Lage nach mit dem

Stäbchennetz zusammenfällt. In Durchschnitten der Platte senkrecht zu ihrer Oberfläche befinden sich die dunklen Endmassen daher am Ende der zahlreichen Nervenzweige alle in einer Linie, sodass die ganze Nervenzeichnung ein Pinien-artiges Aussehen erhält (Fig. 23 auf Taf. XXVI/XXVII). Besonders mache ich noch darauf aufmerksam, dass diese dunklen Zeichnungen (Figg. 24—27) an ihrer Oberfläche ganz glatt sind; nirgends ist hier etwas von einem Stäbchenbesatz zu sehen. Diese Art der Nervenendigung habe ich hauptsächlich dort beobachtet, wo die Nervenverästelungen in grösserer Ausdehnung inkrustiert waren, während die Färbung der Stäbchennetze und meist auch der Rindensubstanz an diesen Stellen ausgeblieben war.

Die zweite Form der Nervenendigungen in den Golgi-Präparaten tritt schon in nähere Beziehung zu dem Stäbchennetz. Ist das letztere in grösserer Ausdehnung gefärbt, so sind gewöhnlich auch die vor ihm gelegenen Nervenverzweigungen mehr oder weniger inkrustiert (Fig. 17 auf Taf. XXIII bei N; in den Figg. 18 und 19 auf Taf. XXIV/XXV) sind die Nerven samt ihren geschwärzten Eintrittsstellen in dem Netz fortgelassen, um die Zeichnung nicht zu sehr zu komplizieren). Man kann dann mit Benutzung der Mikrometerschraube mühelos konstatieren, dass die letzten feinsten Zweige der Nerven in grosser Zahl von vorne an das braune Stäbchennetz herantreten und direkt in dasselbe übergehen. Wie ich von Torpedo beschrieben habe, tritt auch hier bei Raja fast ausnahmslos an allen den Stellen, mit welchen sich die Nerven verbinden, eine intensiv schwarze oder schwarzbraune Färbung der Netzbalken ein, sodass dadurch die Stäbchen undeutlich und zum Teil verdeckt werden (Fig. 17). Die Ausdehnung dieser geschwärzten Stellen ist verschieden, meist aber nur gering; gewöhnlich sind nur die Netzbalkenabschnitte in unmittelbarer Nähe des Nerveneintrittes gefärbt. Man gewinnt den Eindruck, als ob sich hier ein Inhalt der abgeplatteten Netzstreifen gefärbt hat. In Fig. 17 tritt diese Eigentümlichkeit

deutlich hervor, es sind aber nicht alle zu den dunklen Stellen gehörigen Nerven gezeichnet, um die Figur nicht zu bunt zu machen (vgl. auch Fig. 28 auf Taf. XXVI/XXVII). Übrigens kann auch eine Schwärzung kleiner Netzabschnitte eintreten, ohne dass Nerven mit diesen Stellen in Zusammenhang gefunden werden.

Wie sind nun diese beiden Formen von Nervenendigungen zu erklären und miteinander in Übereinstimmung zu bringen?

Mit Bezug auf das Stäbchennetz wurde oben bereits bei Schilderung desselben von mir ausgeführt, dass bei genauer Einstellung im Golgi-Präparat meist festzustellen ist, dass die Netzzüge mehr oder weniger abgeplattet-cylindrische Streifen darstellen, an welchen eine deutlich gefärbte membranartige Aussenschicht und eine nicht oder wenig gefärbte Innenmasse zu unterscheiden ist. Stellt man die vordere Oberfläche der Netzstreifen ein, so erscheinen sie eigentümlich höckerig; nur an der hinteren Fläche findet sich der Stäbchenbesatz. Diese hülsen- oder röhrenartige Beschaffenheit der Streifen des Stäbchennetzes wird noch deutlicher, wenn die Färbung eine unvollkommene oder im Verblassen begriffene ist. Bisweilen sieht man dann auch, dass die Stäbchen der Hinterfläche sich nicht mitgefärbt haben.

Genau dasselbe zeigen uns Schnitte durch mit zuverlässigen Fixierungsmitteln fixierte Organstücke und Goldpräparate. In Figg. 3 und 4 auf Taf. XIX/XX, den uns von der Untersuchung der Stäbchen her schon bekannten Schnitten durch Sublimat-Präparate, sehen wir unmittelbar an der Vorderfläche der vorderen Rindenschicht rundliche oder längliche, meist etwas abgeplattete Durchschnitte (NE), die von einer scharf hervortretenden, gefärbten, sehr deutlichen Linie begrenzt werden. Da ihrer Hinterfläche die Stäbchen (St) aufsitzen, entsprechen die Durchschnitte den Streifen des Stäbchennetzes in den Golgi-Präparaten. Die scharfe Randbegrenzung der Durchschnitte ist ohne Zweifel der optische Ausdruck einer membranartigen Hülle der Netzstreifen.

Mit dieser Hülle hängt fest eine Membran (S) zusammen, welche als dunkle, nicht minder scharf gezogene Linie unmittelbar an der Vorderfläche der Rindenschicht von einem Durchschnitt zum anderen zieht. Diese Membran fungiert als Träger der Netzausbreitung und ist als vorderer Teil des Sarkolemmms des ursprünglichen Elektroblasten aufzufassen. Alle Durchschnitte liegen der Vorderfläche der vorderen Rindenschicht in etwas unregelmässigen Abständen dicht an und zwar so innig, dass ihr hinterer, meist konvexer Teil mehr oder weniger der vorderen Rindensubstanz eingedrückt ist. Löst sich die Reihe der Querschnitte ab, wie es in Osmiumpräparaten dann und wann beobachtet wird, so bleiben am vorderen Rande der Rindenschicht zahlreiche mehr oder weniger tiefe Eindrücke, wie Einschnitte, zurück, in welchen die Querschnitte gelagert hatten. Noch deutlicher werden die Hülle der Netzstreifen und die Sarcolemmembran (S) in gut gelungenen Goldpräparaten (Fig. 5 auf Taf. XIX/XX). Der feste Zusammenhang beider wird dann besonders evident, wenn sich das Sarkolemm mit dem Netz blasenartig von der Rinde abhebt, wie ich es in Goldpräparaten mehrmals gesehen habe. In den Schnittpräparaten ist nun direkt nachzuweisen, dass die Scheide der feinsten Nervenäste direkt in die Hülle der Querschnitte übergeht. Auch bei Flächenansicht isolierter Platten lässt sich unschwer feststellen, dass die Nervenenden unter Verschmälerung direkt übergehen in die stäbchenführenden Netzstreifen. Bei Schilderung des Stäbchenbefundes in Zupfpräparaten wurde schon darauf hingewiesen (vgl. Figg. 15 und 16 bei N auf Taf. XIX/XX; N zeigt den Eintritt eines Nervenzweiges in das breitere Netz, dessen Hülle hinten mit den Stäbchen besetzt ist). Ich will noch erwähnen, dass ich in Zupfpräparaten von gewöhnlichem Osmiumsäure-Material den Übergang der Nerven in die Netzbildung oft genug gesehen habe. Figg. 21 und 22 auf Taf. XXVI/XXVII zeigen bei N den Eintritt der letzten Nervenenden. Besonders hervorheben möchte ich auch hier, dass ich auch in

diesen Osmiumpräparaten ganz unzweifelhaft Netzverbindungen festgestellt habe; die Netzmaschen schienen mir hier bisweilen sogar noch häufiger zu sein als in den Golgi-Präparaten. (vgl. Fig. 20—22). Wie oben geschildert, sind die Stäbchen in diesen Präparaten nicht mehr erhalten oder nur noch in Andeutungen wahrnehmbar. Wenn man die Abbildungen der Osmiumpräparate Figg. 15 und 16 auf Taf. XXI/XXII und Figg. 20—22 auf Taf. XXVI/XXVII zusammenhält mit den Netzzeichnungen der Golgi-Präparate auf Taf. XXIII und XXIV/XXV, so ist die Übereinstimmung beider sogleich augenfällig.

Der von der Hülle umschlossene Inhalt der Netzstreifen färbt sich auf dem Durchschnitt nur schwach diffus und erscheint auch in den Osmiumpräparaten nicht deutlicher. Von einem gut tingierten Achsencylinder oder von Achsenfibrillen habe ich in den Netzzügen an meinen Präparaten nichts wahrnehmen können. Wohl aber sieht man ziemlich zahlreiche intensiv sich färbende, körnchenartige Einlagerungen in unregelmässiger Verteilung (Figg. 3, 4 und 5 auf Taf. XIX/XX). Auch bei Flächenansicht der Netzstreifen fallen diese Einlagerungen als Züge krümeliger Körnchen, besonders in Goldpräparaten, auf (Figg. 20—22 auf Taf. XXVI/XXVII). Ob es sich hier um geschrumpfte Teile einer sehr zarten Nervenmasse handelt oder was diese Körnchen sonst zu bedeuten haben, vermag ich vorderhand nicht zu sagen.

Halte ich alle diese die Nervenendigungen betreffenden Befunde zusammen, so scheint es mir, dass die folgenden Schlussfolgerungen kaum von der Hand gewiesen werden können und den thatsächlichen Verhältnissen wohl entsprechen dürften.

Die von mir beschriebenen Netze bestehen aus einer Hülle und einem Inhalt. Dem hinteren, der vorderen Rindenschicht an- und eingedrückten Teil der Hülle sitzen die Stäbchen dicht gedrängt auf, der vordere Teil der Hülle ist von ihnen frei. Die Grenze zwischen dem stäbchenlosen und stäbchenträgenden Ab-

schnitt der Hülle bezeichnet der Ansatz der Membran, welche die Netzstreifen trägt.

Diese Membran entspricht dem Sarkolemm des Elektroblasten¹⁾. Wahrscheinlich ist, dass die Hülle des Netzes erst sekundär mit dem Sarkolemm verschmolzen ist. Auch an der Hinterfläche der Sarkolemm-Membran glaube ich das Vorhandensein von isolierten Stäbchen, die ohne Verbindung mit der Netzausbreitung sind, erkannt zu haben. Vielleicht steht dieser Befund in Zusammenhang mit dem geringen Entwicklungsgrad des elektrischen Elementes bei Raja im Vergleiche mit der hohen Ausbildung des Organs bei dem erwachsenen Zitterrochen, da nach Boll auch bei Torpedo-Embryonen die Punktierung der Platte noch gleichmässig verteilt ist, während sie auf der Platte des erwachsenen Tieres ausschliesslich an die Nervenendigungen gebunden ist, wie auch ich gefunden habe. Ist dies der Fall, so wäre damit bewiesen, dass die Stäbchen Anhangsgebilde des Sarkolemm sind. Ob sie nun direkt aus dem Sarkolemm entstehen oder ob sie, was wahrscheinlicher ist, aus der vom Sarkolemm umschlossenen Substanz hervorgehen, wäre eine weitere Frage. Die Stäbchen entwickeln sich dort am zahlreichsten, wo die Netze mit dem Sarkolemm in Verbindung treten und mit ihm verschmelzen. Demnach würden die von mir an der Hinterfläche der Netzstreifen in so grosser Zahl aufgefundenen Stäbchen ursprünglich nicht der Netzausbreitung, sondern dem Sarkolemm angehören. Nach der Verschmelzung wird das Sarkolemm an der Vorderfläche zum Träger der Netzausbreitung.

Jedenfalls scheint mir soviel sicher, dass die elektrischen Stäbchen als spezifische Anhangsgebilde der Membranhüllen und nicht als direkte Fortsetzungen der Nerven aufgefasst werden müssen. Damit stimmen auch meine Befunde bei Torpedo überein.

¹⁾ Ich möchte sie daher an dem ausgebildeten elektrischen Element als „Elektrolemma“ bezeichnen.

Mit der Hülle des Stäbchennetzes hängt die Scheide der letzten Nervenenden kontinuierlich zusammen. Ferner gehen die Achsencylinder der Nervenzweige direkt über in den von der Hülle umgebenen Inhalt des Netzes. So viel steht fest. Nun fragt sich aber zweierlei: Ist der ganze von der Hülle umschlossene Inhalt der Netzausbreitung eine zusammenhängende, nervöse, direkte Fortsetzung der Achsencylinder, so dass sämtliche zu je einer Platte tretende Nervenenden schliesslich ein netzig angeordnetes Kontinuum bilden? Oder läuft jeder Achsencylinder nur in ein kleines Stück der Netzsubstanz aus, um darin sein Ende zu finden, so dass ein Zusammenfliessen sämtlicher Endausbreitungen, sei es durch Einschnürungen, sei es durch Scheidewände oder sonst wie verhindert wird? Für die letztere Annahme spricht nur der Befund in den Golgi-Präparaten, weil ich hier, im Gegensatz zu meinen Beobachtungen an Torpedo, immer nur kleine Netzstücke im Zusammenhang mit den Nerven gefärbt erhielt. Es ist aber sehr wohl möglich, dass sich gerade für die Nervennetzfärbung mittelst der Golgischen Methode *Raja clavata* sehr wenig eignet und dass man bei anderen Raja-Arten hiermit mehr Erfolg haben wird. Für die erstere Möglichkeit dagegen sprechen die Befunde in den Osmiumpräparaten und vor allem das gleichmässige Aussehen des Inhaltes und die gleichmässige Verteilung der Stäbchen in der ganzen Ausdehnung der Netzausbreitung. Nach meiner persönlichen Überzeugung, wie ich offen gestehe, handelt es sich auch hier um ein Nervenendnetz, das sich in seiner Anordnung vollständig mit dem deckt, was ich als „Stäbchennetz“ benannt habe.

Bei der Beschreibung der Netzausbreitung habe ich also, wie ich nochmals hervorheben möchte, einen Unterschied gemacht zwischen der den Stäbchenbesatz tragenden Hülle und dem davon umschlossenen nervösen Inhalt des Netzes; nur die erstere habe ich oben als „Stäbchennetz“ bezeichnet, hauptsächlich, um die

Beschreibung der Verteilung der Stäbchen zu erleichtern. Eigentlich verdient nur der hinterste, mit dem Sarkolemm verschmolzene, mit Stäbchen bewehrte Abschnitt der Hülle diese Bezeichnung.

Aus obigen Gesichtspunkten erklären sich auch leicht die beiderlei Befunde von Nervenendigungen in den Golgi-Präparaten. Bei der ersten von mir beschriebenen Form ist nur der nervöse Inhalt ohne die stäbchentragende Hülle inkrustiert. Diese Nervenendigungen scheinen daher im Präparate ganz frei zu liegen und entbehren auch vollständig der Stäbchen. Bei der anderen Form ist das, was ich „Stäbchennetz“ genannt habe, mitgefärbt, während der von dem Stäbchennetz umschlossene Inhalt hier meist auch nur an der Stelle des Nerveneintritts tingiert ist. Durch die Inkrustation dieses Inhaltes werden die dunklen Flecken des Stäbchennetzes am Nerveneintritt bedingt und gleichzeitig die Stäbchen an diesen Stellen undeutlich gemacht.

Nicht minder interessante Resultate erhielt ich durch Untersuchung der lamellären Innenschicht.

Die alternierend angeordneten hellen und dunklen Lamellen sind in dem ausgebildeten Organ von *Raja clavata* sehr unregelmässig gelagert, zeigen viele Faltungen und wellenförmige Biegungen, so dass die Bezeichnung „mäandrische“ Schicht ganz treffend ist. Vgl. Fig. 1 und 2, J, auf Taf. XIX/XX. Die Biegungen werden fast immer gleichzeitig von mehreren neben einander gelegenen Lamellen ausgeführt. Der Grad und die Art der Faltung und Verschlingung ist in den einzelnen Elementen sehr verschieden. Bisweilen laufen die Lamellen in grosser Zahl kaum gebogen parallel den Flächen der Platte von einer Seite zur anderen. Es macht dann den Eindruck, als ob jede Lamelle ununterbrochen von der einen zur anderen Seite reicht und die Flächenausdehnung der ganzen Platte besitzt. Gewöhnlich durchziehen die Lamellen aber wohl nicht die ganze Platte, wie sich bei stark ausgebildeten Windungen besonders an der vorderen und hinteren Grenze der Innenschicht feststellen lässt. Man

sieht hier in den Durchschnitten oft, dass die Lamellenenden in der vorderen Rindenschicht gewissermassen frei stecken, hier ihr Ende erreichen. (Fig. 3 und 5, J, auf Taf. XIX/XX.) Untersucht man in Macerationspräparaten von mit Osmiumsäure oder Kalibichromicum-Lösungen behandeltem Material die isolierte vordere Rindenschicht, so trifft man stets eine grosse Anzahl kleinerer oder grösserer, meist gruppenweise zusammenliegender Bruchstücke von Lamellen, die der Hinterfläche der Rindenschicht wie ein Anflug anhaften. Das gilt noch mehr für die hintere Rindensubstanz. Hier erstrecken sich die Lamellenzüge auch in die gröberen Fortsätze in unregelmässigen Verschlingungen hinein, oft bis nahe an ihre Spitze reichend (Fig. 1 und besonders Fig. 2 bei J, J,, und J,,); meist finden die Lamellen dort ihr Ende.

Untersucht man die Lamellen auf feinen vertikalen Durchschnitten durch gut fixiertes und tingiertes Material mit starken Systemen, so erkennt man an ihnen eine weitere Differenzierung.

Zunächst ist hervorzuheben, dass die dunklen und hellen Lamellen in regelmässiger Folge alternieren, wobei die Höhe beider nur selten gleich ist; gewöhnlich erscheinen die hellen beträchtlich breiter. (Vgl. Fig. 11 mit Fig. 12 auf Taf. XXI/XXII.)

Das Aussehen der stärker lichtbrechenden, dunklen Lamellen variiert. Oft erscheinen sie ganz homogen. Gewöhnlich habe ich sie aber in der Weise zusammengesetzt gefunden (Fig. 11), dass in der Mitte eine dunkle, schmale, nicht unterbrochene, intensiv färbbare, meist sehr deutliche Linie (Z) verlief, welcher vorne und hinten je eine einfache Reihe etwas unregelmässig gestalteter, in ihren Begrenzungen nicht scharf hervortretender, ziemlich gleichgrosser Körnchen (N, N) dicht anlag. (Vgl. auch Fig. 3 auf Taf. XIX/XX.) Zwischen der dunklen Mittellinie und den Körnchen war gewöhnlich noch eine weniger gefärbte, äusserst schmale Zone (E) zu erkennen. In Goldpräparaten ist bisweilen der Mittelstreif hell, während die beiden

Körnchenreihen dunkel hervortreten, besonders dort, wo die Lamellen sehr eng liegen. Andererseits lagern sich die Körnchen vorne und hinten oft so symmetrisch, dass die dunkle Lamelle ein feinstreifiges Aussehen erhält. Oft konnte ich in der That eine Zusammensetzung aus sehr zahlreichen, kurzen, in einer Reihe parallel nebeneinander liegenden Stückchen fest stellen (Fig. 13 und 14 auf Taf. XXI/XXII; Fig. 5 auf Taf. XIX/XX). Dies fand ich besonders in gut gelungenen Goldpräparaten (Fig. 14), aber auch in mit Sublimat und Flemmingscher Lösung fixierten Schnitten. Hier schien die ganze dunkle Zone wie aus kleinen, dicht nebeneinander liegenden Stücken gebildet, die sich deutlich von einander abgrenzten; bisweilen waren die Stückchen noch von einer dunklen Mittellinie durchzogen (Fig. 13). Solche Stellen wurden besonders in der Nähe der vorderen und hinteren Rindenschicht und am Rande der Platte angetroffen, aber nicht in jedem Element. Das würde im Einklang stehen mit der Annahme von Engelmann (30), wonach sich bei dem Wachstum der elektrischen Elemente gerade an diesen Stellen neue Fibrillenmassen bilden sollen. Denn unzweifelhaft hängt das streifige Aussehen zusammen mit der ursprünglich fibrillären Zusammensetzung der sich zuerst als quergestreifte Muskelfasern anlegenden Elemente; es sind die letzten Reste der Muskelfibrillen, die sich am längsten in den jüngsten Teilen der dunklen Lamellen erhalten. Untersucht man dünne, gefärbte Flächen-schnitte, so sieht man sehr deutlich eine äusserst feine, zarte und dichte Punktierung der Lamellen (Fig. 3 auf Taf. XIX/XX links unten), die man geneigt sein kann, auf das Mosaikbild der noch erhaltenen Reste der Muskelfibrillen zu beziehen. Dies mag auch oft der Fall sein, besonders in den Goldpräparaten, wo die Punktierung oft sehr deutlich ist; meist aber werden die feinen Pünktchen des Flächenbildes wohl bedingt sein durch die oben beschriebenen Körnchen und Rauigkeiten der dunklen Lamellen.

Auch die helle Zone der Lamellen ist nicht ganz homogen, wenn es mir an den ausgebildeten Elementen der erwachsenen *Raja clavata* auch nicht gelungen ist, in der hellen Substanz noch irgend eine Spur von fibrillärer Zusammensetzung zu entdecken. Wohl aber sieht man in ihrer Mitte nach Färbung nicht selten eine Reihe von unregelmässigen tingierten Körnchen, so dass hier ein schmaler, dunkler, oft schwer wahrnehmbarer Mittelstreif entsteht, der allerdings auch nicht selten vermisst wird (Fig. 12 auf Taf. XXI/XXII bei M). Am regelmässigsten und schärfsten tritt dieser Mittelstreif (M) in gut gelungenen Goldpräparaten hervor (Fig. 14 auf Taf. XXI/XXII). Hier zeigt er die Färbung des Sarkoplasmas, nimmt jedoch oft auch eine dunkelviolette Färbung an, so dass er als dunkle, scharfe Linie sehr bestimmt hervortritt (Fig. 14, M). Bisweilen verläuft diese Linie nicht in der Mitte der hellen Zone, sondern biegt sich nach der einen oder anderen Seite hin etwas aus (Fig. 14).

Diese Zusammensetzung der Lamellen erinnert im Einzelnen sehr an das Bild der quergestreiften Muskelfaser, eine Ähnlichkeit, die in der direkten Entstehung der Lamellensubstanz aus der quergestreiften Muskelmasse des Elektroblasten ihre Erklärung findet. Man könnte nun von vorneherein geneigt sein, die dunkel erscheinende Zone der Lamellensubstanz mit der anisotropen und dunkel erscheinenden Querscheibe der quergestreiften Muskelfaser und die helle Zone mit dem hellen, isotropen Streifen der Muskelfaser zu identifizieren. Dem ist aber nicht so, wie die ausgezeichneten, höchst interessanten Untersuchungen Engelmanns (30) dargethan haben. Auf Grund der Polarisationserscheinungen der verschiedenen Substanzen kam Engelmann zu dem Resultat (l. c. pag. 154—167), dass die dünnen, stark lichtbrechenden und daher dunklen Lamellen des elektrischen Organs den arimetabolen (isotropen), die dicken, schwach lichtbrechenden und daher hellen Lamellen den metabolen (anisotropen) Schichten der quergestreiften Muskelfaser homolog sind. Nach dem citierten

Autor ändern sich bei der Umwandlung der quergestreiften Substanz der Elektroblasten in die Lamellenschicht des elektrischen Organs sowohl die Dimensionen, als auch die morphologischen und physikalisch-chemischen Eigenschaften der metabolen und arimetabolen Schichten. Beide nehmen an Ausdehnung zu und zwar derart, dass das Flächenwachstum, senkrecht zur Faserachse, weitaus am bedeutendsten ist. Aber auch die Höhe der Schichten zeigt eine Zunahme auf das Doppelte und Dreifache und darüber. Die Dickenzunahme betrifft beide Schichten, jedoch nicht in gleichem Grade. Noch auffälliger sind die Änderungen im morphologischen und physikalisch-chemischen Verhalten beider Lagen. In gewöhnlichem Lichte macht das Bild der ruhenden oder mässig kontrahierten Muskelsubstanz des Elektroblasten allmählich in der sich umbildenden elektrischen Platte einem Bilde Platz, wie es die stark kontrahierte Muskelfaser im Stadium der Umkehrung zeigt: schmale, sehr dunkle Querstreifen, getrennt durch breite, sehr helle Bänder, in deren Mitte ein etwas dunkler, verwaschener Querstreif hinzieht. Dabei wird die arimetabole Schicht optisch homogener, als Ganzes stärker lichtbrechend und fester, während die metabole Schicht, speziell die der Querscheiben, optisch homogener und schwächer lichtbrechend wird und ihr Doppelbrechungsvermögen verliert. Der Schwund der polarisierenden Wirkung tritt an dem Elektroblasten schon ein, ehe überhaupt die Umwandlung der Faser in die Anlage des elektrischen Elementes auf irgend eine andere Weise sich anmeldet.

Wenn wir diesen Ausführungen Engelmanns folgen, so muss die Linie (Z) in der dunklen Zone der Lamellensubstanz, die schon Engelmann gesehen und abgebildet hat (l. c. Tafel II, Fig. b), der sogenannten Krauseschen Linie oder Zwischenscheibe (Z nach der Bezeichnung von Al. Rollett¹⁾)

¹⁾ Ich folge in der Bezeichnung der von Al. Rollett (Denkschriften der math.-naturw. Klasse der kaiserl. Akad. d. Wissenschaften, Bd. LVIII, 1891. pag. 67) vorgeschlagenen Terminologie.

der Muskelfaser entsprechen (vgl. Fig. 11–14 auf Taf. XXI/XXII und Fig. 3 auf Taf. XIX/XX), während die angelagerten Körnchenreihen als die beiden Nebenscheiben (N, N) zu deuten sind. Zwischen Z und N befindet sich auf jeder Seite von Z die dünne, einfach brechende Schicht E. Die in der hellen Lamellenzone des ausgebildeten Elementes von mir beschriebene dunkle Linie (M in Fig. 12 und 14) würde der Lage nach der Hensenschen oder Mittelscheibe der Muskelfaser entsprechen, allerdings erscheint die letztere in der ruhenden Muskelfaser als zwischen den beiden Querscheiben liegendes helleres Band.

Auffällig ist, dass die fibrilläre Zusammensetzung sich, wenn auch nicht konstant und nur in Andeutungen, am längsten in dem Derivat der arimetabolen Substanz erhält, während in der ehemaligen metabolen Substanz des entwickelten elektrischen Elementes auch nicht die geringste Spur der Fibrillen mehr aufzufinden ist. Zu beachten ist ferner das Variieren der oben beschriebenen Einzelheiten, so dass das Aussehen der Lamellen, wie oben von mir betont, sehr wechselt.

In der Lamellensubstanz verborgen steckt nun noch, wie ich fand,¹ ein anderer wesentlicher Strukturbestandteil, welcher, im Gegensatze zu der wechselnden Beschaffenheit der Lamellensubstanz, stets ein sehr bestimmtes, wohl charakterisiertes Aussehen zeigt. Das sind ausgedehnte Systeme von feinsten Fibrillennetzen, welche mit dem fädigen Netzgerüst der vorderen und hinteren Rindensubstanz in innigem Zusammenhange stehen. (Taf. XXVIII/XXIX, Fig. 30–35.) Ihr Nachweis gelingt mit Hilfe der Golgischen Methode wiederum leicht. Fertigt man bei gut ausgefallener Färbung nicht zu dünne Schnitte parallel den Flächen der Platten an, so sieht man bei schwächerer Vergrößerung in der lamellären Innensubstanz ein dichtes Gewirre feinsten Fädchen (Fig. 30). Mit starker Vergrößerung ist an genügend dünnen Stellen leicht festzustellen, dass sich zwischen

den Lamellen, oder richtiger innerhalb derselben, flächenhaft ausgebreitete Fädchennetze befinden (Fig. 31–34).

Die Fädchen sind äusserst fein und zart und alle von ziemlich gleicher Stärke. Meist erscheinen sie nicht homogen, sondern zeigen reihenweise eingelagerte kleinste Körnchen, welche nur wenig dicker sind als die Fädchen selbst (Fig. 31–33). Durch die Körncheneinlagerungen gewinnen die Fädchen oft ein nahezu perlschnurartiges Aussehen. Hier und da sind auch etwas gröbere Körnchen¹⁾ eingestreut (Fig. 31). Sehr beachtenswert ist, dass in den Golgi-Präparaten auch diese Fädchen, trotz ihrer äussersten Feinheit, stets mit ganz ausserordentlicher Schärfe und Prägnanz hervortreten.

Die Fädchen verbinden sich zu flächenhaft ausgebreiteten Netzen mit verschiedenen grossen Maschen, die rundlich oder viereckig oder noch häufiger unregelmässig vielseitig sind. (Fig. 31–33). Die Maschen sind indessen lange nicht so klein und eng, wie in der vorderen Rindensubstanz, wie ein Vergleich der Figuren 31–33 auf Tafel XXVIII/XXIX mit den Figuren 9 und 10 auf Tafel XXI/XXII sogleich zeigt.

Sehr schwierig wurde es für mich, die Lagebeziehungen dieser zarten Netze zu den Lamellen selbst festzustellen. Denn in meinen Golgi-Präparaten war die Aufhellung des Gewebes schon so stark geworden, dass sich die beiden Lamellenzonen nicht mehr unterscheiden liessen. Nur an wenigen Stellen der Präparate war dies noch mit einiger Sicherheit möglich und erhielt ich Bilder wie in Fig 34. Es schien mir, dass die Netze sich stets in der Mitte der hellen Lamellensubstanz befinden, also dort, wo ich häufig, besonders in den Goldpräparaten, eine dunkle Linie antraf (vgl. Fig. 34 auf Taf. XXVIII/XXIX mit den Figuren 12

¹⁾ Man muss sich bei den unregelmässigen Biegungen der Netze hüten, die optischen Querschnitte der Fädchen, die als dunkle, ziemlich kreisförmige Punkte bei Bewegung der Mikrometerschraube oft sehr zahlreich sichtbar werden, für Körncheneinlagerungen zu halten.

und 14 auf Taf. XXI/XXII). Wenn wir die Resultate der Engelmanschen Untersuchungen acceptieren, so würden die Netze sich an der Stelle der ehemaligen Hensenschen Mittelscheibe (M in Fig. 12 und 14) befinden, also mitten in der ehemaligen metabolen (anisotropen) Substanz liegen. Doch bin ich meiner Sache hier nicht so ganz sicher geworden. Jeder hellen Lamelle des elektrischen Elements müsste dann ein Fädchennetz entsprechen, welches soweit reicht, als sich die entsprechende helle Lamelle ausdehnt. Die zarten Netze sind also auch lamellär angeordnet (Figur 33 und 34) und, entsprechend der Anzahl der hellen Lamellen, in der Innensubstanz eines jeden Elementes in grosser Zahl vorhanden. Die Netze machen alle Faltungen und Windungen der Lamellen mit. In etwas dicken Flächenschnitten (Figur 30) muss man daher in der Innensubstanz ein anscheinend unregelmässiges, bald helleres, bald dunkleres Gewirre von Fädchen erhalten, da die Lamellen ja sehr unregelmässig verlaufen und bald von der Fläche, bald von der Kante sichtbar sind. Dazu kommt, dass durchaus nicht immer sämtliche Netzlamellen einer Platte sich färben, sondern gewöhnlich nur einzelne und dass die Färbung der einzelnen Netze auch nur fleckenweise eintritt. Fig. 31 und 32 auf Tafel XXVIII/XXIX zeigen zwei Flächenansichten je eines Netzes aus verschiedenen Elementen. Die fast stets vorhandenen unregelmässigen Faltungen und Biegungen, die bei Untersuchung mit starker Vergrösserung sehr hervortreten, sind hier, ebenso wie in Fig. 33, als ausgeglichen gedacht. In Fig. 33 sieht man das Querschnittsbild der Netze (in der Zeichnung oben) infolge einer allmählichen Änderung der Verlaufsrichtung der Lamellen, Schritt für Schritt übergehen in ein Flächenbild. Das Typische, Wohlausgebildete und Wohlcharakterisierte dieser Netzstrukturen tritt in den Zeichnungen wohl ebenso hervor, als ihre beträchtliche Massentfaltung.

Eine weitere Frage ist nun, ob diese zahlreichen so aus-

gedehnten Netze einer Platte unter sich kommunizieren. Bei dem unregelmässigen Verlauf der Lamellen ist diese Frage bei *Raja clavata* nicht so leicht zu entscheiden. Bisweilen wollte es mir scheinen, als ob die Körnchennetze durch die Lamellensubstanz hindurch mittelst senkrechter Fädchen untereinander in Verbindung treten. Meist lässt sich ein derartiger Zusammenhang indessen nicht erkennen. Unzweifelhaft besteht aber eine Kommunikation der Netze dort, wo eine Lamelle aufhört. Da die Lamellen, wie oben ausgeführt, oft nur stückweise ausgebildet sind, muss diese Kommunikation häufiger eintreten. Leicht festzustellen ist ferner der innige Zusammenhang dieser Netze mit dem Netzgerüst der vorderen und hinteren Rindensubstanz. Wie oben erwähnt, finden sich die Lamellenenden häufig an der Rindensubstanz; dabei gehen die lamellären Körnchennetze kontinuierlich in das Netzgerüst der Rindenschicht über. Besonders deutlich wird dies, wenn die Lamellenenden senkrecht auf die Rindensubstanz stossen, wie es z. B. in Fig. 35 auf Taf. XXVIII/XXIX dargestellt ist; es befinden sich hier mehrere Lagen von Lamellennetzen übereinander; VR ist das Netzgerüst der vorderen Rindenschicht. Hieraus folgt, dass die Lamellennetze mit dem Netzgerüst der Rindensubstanz ein zusammenhängendes Ganzes bilden, ein Umstand, dem ich für den Bau und die Genese der elektrischen Organe eine besondere Bedeutung beilege; ich komme hierauf noch zurück.

Ich habe mich nun vergeblich bemüht, die Netzlamellen auch durch andere Methoden, als die Golgische, deutlich zur Anschauung zu bringen. Meine Misserfolge nach dieser Richtung hin sind indessen sehr erklärlich, da bei dieser überaus zarten Struktur und ihrer komplizierten Anordnung in der verworrenen Lamellenmasse ohne spezifische Färbung wohl kaum etwas zu erreichen ist; eine spezifische Färbung liefert hier aber nur die Golgische Methode. Beweise, dass feine Fädchen in der Lamellenmasse existieren, erhält man allerdings oft genug in

Schnitt- und Zupfpräparaten, wenn eine Trennung der Lamellen erfolgt ist. Sehr wahrscheinlich steht das, was sich in fixierten Schnitten und besonders in Goldpräparaten innerhalb der hellen Lamellen bei M (entsprechend der Mittelscheibe) färbt (vgl. Fig. 12 und 14 auf Taf. XXI/XXII), auch in nächster Beziehung zu den Netzlammellen. Besonders deutlich sieht man zarte Fäserchen regelmässig am inneren Rande der Rindenschicht, wenn sich die Lamellensubstanz ein wenig retrahiert hat. Die grosse Zahl der dann frei vorstehenden Fäserchen beweist den innigen Zusammenhang des Gewebes der Rindensubstanz mit dem der Innenschicht.

Entgegen den Angaben anderer Autoren finde ich bei *Raja clavata* in der Innensubstanz zwischen den Lamellen hier und da spärliche Kerne, die von einem Hofe körnigen Protoplasmas umgeben sind (Fig. 1 und 2 auf Taf. XIX/XX). Kern und Protoplasma gleichen den Zellen der Rindenschicht.

Es erübrigt noch die Betrachtung der hinteren Rindenschicht. Merkwürdigerweise färbt sie sich in den Golgi-Präparaten nicht so leicht, wie die vordere. Sie zeigt dann aber dasselbe feinfädige Netzgerüst, wie es für die vordere Rindenschicht von mir beschrieben wurde, nur ist die Dicke der hinteren Schicht etwas beträchtlicher. In Betreff der eingelagerten Zellen gilt dasselbe, wie für die vordere Rindenschicht, nur treten die Zelllücken, hauptsächlich infolge der grösseren Dicke der hinteren Rindenschicht, nicht als helle, ausgeschnittene Löcher hervor. Auch nach anderen Methoden ist die feinfädige Zusammensetzung dieser Substanz nachzuweisen. In Schnitten senkrecht zu den Flächen der Platte durch mit Sublimat oder a. R. fixiertes Material sieht man in der Nähe der hinteren Fläche dieser Schicht und ihrer Fortsätze meist sehr deutlich eine feine, sehr zarte Streifung, die senkrecht zu der Hinterfläche gerichtet ist. Gegen das Innere der Rindenschicht verlieren sich die Streifen allmählich.

Diese feine Streifung wird durch Fädchen bedingt, die in der Richtung der Streifen verlaufen. Wie ich nachweisen konnte, stehen diese Fädchen in eigenartiger Beziehung zu der Sarkolemmahaut der Hinterfläche.

An der Hinterfläche der hinteren Rindenschicht und ihrer sämtlichen, netzförmig verbundenen Fortsätze befindet sich nämlich eine strukturlose Haut, welche seitlich mit der von mir oben beschriebenen, das Nervenendnetz tragenden Membran der Vorderfläche der Platte zusammenhängt. Das dreischichtige elektrische Gewebe des Elementes ist also ringsherum von einer Membran (S der Figuren) umschlossen, die als vergrössertes, der Form der Platte angepasstes Sarkolemm des Elektroblasten aufzufassen ist. Ich habe oben vorgeschlagen, diese Membran als *Electrolemm* zu bezeichnen. In gut fixierten Sublimatpräparaten, ebenso wie auch gewiss im lebenden Organ, liegt die Membran allen den Fortsätzen der Hinterfläche der Platte dicht an und erscheint als schmale, dunkle Randbegrenzung derselben; nur selten kommt hier eine Ablösung zur Beobachtung. In mit Flemmingscher Lösung (Fig. 2 auf Taf. XIX/XX), Chromessigsäure und mit Osmiumsäure behandeltem Material, besonders aber in meinen Goldpräparaten (Fig. 29 auf Taf. XXVI/XXVII) hatte sich dagegen das *Electrolemm* (S der Figuren) blasenartig oft in grosser Ausdehnung ziemlich unregelmässig von der Rindensubstanz abgehoben, jedenfalls als Folge der Reagenswirkung. Diese blasenartige Abhebung der Membran erinnert auffällig an die Ablösung des Sarkolemm vom kontraktilen Inhalt der quergestreiften Muskelfaser bei Wasserzusatz.

Am weitgehendsten trat die Ablösung des *Electrolemms* in den Goldpräparaten ein. Fig. 29 auf Taf. XXVI/XXVII zeigt aus einem Goldpräparat einen Schnitt, der parallel der Hinterfläche eines elektrischen Elementes gegangen ist und die unregelmässigen, netzförmig verbundenen Fortsätze der hinteren Rindenschicht (H R) getroffen hat. Das Gewebe der letzteren in diesen Fort-

sätzen ist dunkelviolettfärbt und lässt die zahlreichen, mit einem grossen Kern versehenen Zellen erkennen. Das Zellprotoplasma erscheint etwas dunkler und setzt sich deutlich von der Zwischensubstanz ab. In den Lücken zwischen den netzförmig verbundenen Fortsätzen sieht man das Gallertgewebe (G_1) mit grossen unregelmässigen Zellen. Wenn man nun die an das Gallertgewebe anstossenden Ränder der dunklen Netzzüge der Rinde (HR) näher betrachtet, so erkennt man eine unregelmässig wellig verlaufende, sehr scharf hervortretende Linie (S), welche den Rändern der Netzzüge in geringer Entfernung überall folgt. Hier und da senkt sich die Linie gegen die Rindensubstanz hin ein, um mit ihr in Verbindung zu treten. Diese Linie (S) repräsentiert das abgelöste Electrolemm.

Zwischen dem Electrolemm (S) und der davon entblösten Oberfläche der Rindensubstanz (HR) sieht man nun sehr zahlreiche, feine, violett gefärbte, sehr deutliche Linien, welche den Spaltraum durchsetzen und in gerader Richtung von dem abgelösten Electrolemm zu der Rindensubstanz hinziehen. Das Ganze macht auf den ersten Blick den Eindruck eines unregelmässigen, breiten, streifigen Saumes. Die Linien sind nun feine Fäden, welche durch die Ablösung des Sarkolemmes aus der Rindensubstanz hervorgezerrt wurden. Das äussere Ende dieser Fäden ist fest mit dem Electrolemm verbunden, scheint es sogar in Poren zu durchsetzen. Wenigstens habe ich in den Goldpräparaten bei Flächenansicht des losgelösten Electolemmes eine unregelmässige feine Punktierung gesehen; die Pünktchen hängen mit den gedehnten Fäden zusammen. Bei Untersuchung mit starken Systemen erscheinen die Fädchen oft unregelmässig feinkörnig. Auch in gefärbten Schnitten von mit Chromosmiumessigsäure fixiertem Material habe ich diese körnigen Fäden gesehen. Dadurch, dass die einen Fäden bei der Abhebung der Membran mehr nachgegeben haben als die anderen, wird die so äusserst unregelmässige Ablösung des Electolemmes bedingt;

ein Teil der Fädchen mag dabei auch wohl zerreißen. Diese Fädchen entsprechen nun unzweifelhaft den Fibrillen, welche das oben geschilderte streifige Aussehen der peripheren Schicht der hinteren Rindensubstanz bedingen. Ohne Zweifel haben die Fibrillen die Aufgabe, das Electrolemm gegen die Rindensubstanz zu fixieren; dadurch erklärt sich auch die zur Oberfläche senkrechte Streifung der hinteren Rindenschicht, denn bei dieser Anordnung können die Fädchen am wirksamsten auf das Electrolemm einwirken. Vielleicht hat diese ganze höchst merkwürdige Einrichtung nur den Hauptzweck, den innigen Zusammenhang des wichtigen, mit Stäbchen und Nervenendnetz bewehrten vorderen Electrolemms mit dem eigentlichen elektrischen Gewebe zu sichern, da die beiden Electrolemm-Membranen am Rande der Platte in einander übergehen.

Von elektrischen Stäbchen und Nervenendigungen ist an der Hinterfläche der Platte keine Spur zu entdecken.

Über das Gallertgewebe (G und G_1 in Fig. 1 und 2 auf Tafel XIX/XX und in Fig. 29 auf Tafel XXVI/XXVII) der Kammer ist wenig auszusagen. Die Grundsubstanz besteht aus äusserst feinen, mit einander verbundenen Gallertfibrillen, die gegen die fibrösen Scheidewände hin übergehen in derbes fibrilläres Bindegewebe; auch mit dem Sarkolemm scheinen sie in Verbindung zu treten. Das ausserordentlich dichte, feine Gerüst (Fig. 1) der Gallertfibrillen erinnert auffällig an ein Wattlepolster; man kann sich vorstellen, dass das an den Nerven vorne suspendierte elektrische Element darin, wie zwischen zwei Wattlebäuschen, elastisch verpackt ruht.

In die Gallertmasse sind nicht gerade spärliche, sehr unregelmässig gestaltete Zellen eingestreut, die lange, oft reich verzweigte, fein auslaufende Fortsätze haben (Fig. 29 auf Tafel XXVI/XXVII), welche mit einander in Verbindung treten können. Diese Zellen lagern sich oft, besonders an der Hinterfläche, der elektrischen Platte dicht an. Auch zwischen den feinen Nervenverästelungen

in der Nähe der Vorderfläche des Elementes werden sie gefunden. In Goldpräparaten sind sie mit ihren Ausläufern meist in sehr übersichtlicher Weise gefärbt (Fig. 29).

Schlussbetrachtung.

Die obigen Untersuchungen haben ergeben, dass die elektrischen Elemente von Raja eine höchst komplizierte Zusammensetzung besitzen. Die beschriebenen Strukturen gewinnen an allgemeiner Bedeutung, wenn man die Genese des elektrischen Elementes aus einer quergestreiften Muskelfaser berücksichtigt und die Bauverhältnisse der elektrischen Platte der „stark elektrischen“ Fische z. B. von Torpedo zum Vergleiche heranzieht.

Für Torpedo und Raja ist sicher erwiesen, dass jedes Element aus je einer quergestreiften Muskelfaser hervorgeht. Während diese „Elektroblasten“ bei Torpedo nur in einem sehr frühen Embryonalstadium des Tieres auftreten, abgesehen von der Querstreifung wenig charakteristisch sind und sich schnell in die elektrischen Platten umbilden, erfolgt bei Raja die Umwandlung der typischen, völlig kontraktionsfähigen Muskelfasern viel später und wickelt sich auch weit langsamer ab. Auch ist der Grad der definitiven Ausbildung der elektrischen Elemente bei den einzelnen Raja-Arten sehr verschieden. Ja, bei Raja radiata erhält sich, wie die schönen Untersuchungen von Ewart (23—26) gezeigt haben, sogar noch an dem völlig entwickelten Element des ausgewachsenen Tieres durchaus der Muskelfasertypus, so dass man im Zweifel sein kann, ob dies Gebilde neben der neuerworbenen elektromotorischen Funktion nicht auch noch seine ursprüngliche Kontraktilität bewahrt hat. Unzweifelhaft ist daher das elektrische Organ von Torpedo das phylogenetisch ältere und weiter entwickelte, während das Raja-Organ als das phylogenetisch jüngere und noch unvollkommen ausgebildete zu betrachten ist. Daher ist auch das Organ von Raja weit mehr als das von Torpedo geeignet, um die Veränderungen feststellen

zu können, welche durch den Funktionswechsel der Muskelfasern und ihre Umwandlung in elektrische Elemente bedingt sind und um Aufschluss zu erhalten über Sitz und Ursprung der Kontraktilität und der Elektrizitätsentwicklung.

Engelmann (30) ist diesen Fragen kürzlich näher getreten und sagt hierüber sehr treffend (30, pag. 148):

„Durch A. Babuchins denkwürdige Entdeckung der Entwicklung der elektrischen Organe aus Muskelfasern ist, wie durch jeden grossen anatomischen Fund, der Physiologie eine Fülle neuer Probleme, zugleich aber auch die Aussicht auf Lösung wichtiger alter Aufgaben eröffnet worden. Eine genaue Verfolgung der Prozesse, durch welche sich die zuckende Faser zum elektrischen Apparat umbildet, musste vor allem Aufschluss versprechen über Sitz und Wesen sowohl einerseits des Kontraktionsvermögens als andererseits der elektromotorischen Wirkbarkeit. Es war zu erwarten, dass in dem Masse, als das Zuckungsvermögen sich zurückbildete, auch die materiellen Grundlagen, an welche dasselbe gebunden ist, einer Rückbildung unterliegen würden, und dass auf der anderen Seite mit zunehmender Steigerung der elektromotorischen Fähigkeiten die Organisationsverhältnisse, welche Träger dieser letzteren Fähigkeiten sind, sich deutlicher und deutlicher ausbilden würden.

Nirgends in der organischen Natur ist ein ähnlich grossartiger, jene fundamentalen Erscheinungen vitaler Erzeugung mechanischer und elektrischer Energie betreffender Struktur- und Funktionswechsel in auch nur annähernd vollkommener Weise der Untersuchung zugänglich, ja überhaupt bisher wahrgenommen.“

Engelmann hat sich darauf beschränkt, die Beziehungen zwischen der ursprünglichen Muskelmasse des Elektroblasten und der Lamellensubstanz des elektrischen Elementes festzustellen. Seine mit Bezug auf die Frage nach dem Sitze der Kontraktilität wichtigsten Ergebnisse sind der Nachweis eines frühzeitigen Schwundes der fibrillären Struktur und des Doppelbrechungs-

vermögens im Verlaufe des Umwandlungsprozesses. Auch ich habe, wie oben ausgeführt, an dem völlig ausgebildeten elektrischen Element festgestellt, dass der Fibrillenbau in den Lamellen bis auf Andeutungen völlig verschwunden ist, ein Resultat, welches in Übereinstimmung steht mit der Anschauung über den Zusammenhang zwischen fibrillärer Struktur und Kontraktilität, zu welcher Engelmann (19) und ich (20, 21) von ganz verschiedenen Angriffspunkten aus früher gelangt sind. In dem Verhalten der metabolen Muskelsubstanz im Rochenorgan sieht Engelmann ferner eine Stütze für die Annahme, dass nur die doppelbrechenden metabolen Glieder der Muskelfibrillen Sitz und Quelle der verkürzenden Kräfte des Muskels sind.

In Betreff der Frage nach dem Sitze der elektromotorischen Kräfte wagt Engelmann kaum Vermutungen. Durch den Nachweis spezifischer Strukturen im elektrischen Organ glaube ich nun, auch diesem Problem etwas näher getreten zu sein.

Wenn wir den oben beschriebenen Bau des elektrischen Elementes von Raja überblicken, so müssen drei Strukturbestandteile als wesentliche hervorgehoben werden:

1. das Nervenendnetz;
2. die zahllosen, mit dem Nervenendnetz in innigem Kontakt stehenden, den Membranhüllen des Netzes angehefteten elektrischen Stäbchen und
3. das feinfädige, mit kleinsten Körnchen in den Fäden durchsetzte, den ganzen Inhalt des elektrischen Elementes durchziehende Netzgerüst, welches sich bei Raja in der Rindensubstanz mehr verdichtet und in der Lamellensubstanz durch die zahlreichen Netzlamellen repräsentiert wird. In diesem zur Zwischensubstanz gewordenen feinsten Netzgerüst befinden sich Zellen mit grossem Kern und grossen Kernkörperchen.

Gegen dieses Gewebe hin sind die elektrischen Stäbchen gerichtet.

Genau dieselben Strukturen habe ich bei Torpedo aufgefunden und beschrieben (28, 29), nur mit dem Unterschiede, dass diese Strukturen bei dem Zitterrochen den Eindruck einer feineren Ausbildung und höheren Differenzierung machen. Das steht wiederum im Einklange mit der grösseren Leistungsfähigkeit und höheren physiologischen Differenzierung, welche das „stark elektrische“ Organ des Zitterrochens im Vergleich mit der wenig wirksamen Batterie des gewöhnlichen Rochen unzweifelhaft besitzt.

Auch bei Torpedo habe ich nachgewiesen:

1. Ein Nervenendnetz; nur schien mir hier die Netzbildung noch vollkommener zu sein. Jedenfalls ist das Nervenendnetz bei Torpedo weit regelmässiger und feiner, gewissermassen zierlicher und genauer ausgearbeitet.
2. Zahllose, ausschliesslich mit dem Nervenendnetze in innigem Kontakt stehende, einer dünnen Membran angeheftete, elektrische Stäbchen. Die Stäbchen sehen in das Innere des Elementes und sind gegen das Netzgerüst (siehe unter 3) gerichtet. Durch ihr ausschliessliches Vorkommen an den Nervenendigungen, durch die Ausbildung von Endkugeln und die Zusammenlagerung zu Stäbchenkombinationen bekunden sie, im Vergleich mit den einfachen Stiften bei Raja, eine höhere Differenzierung.
3. Ein feinfädiges, mit feinsten Körnchen in den Fäden durchsetztes und mit eingelagerten Zellen versehenes Netzgerüst, Gerüst und Zellen von genau demselben Aussehen, wie bei Raja. Nur ist, zum Unterschiede von Raja, bei Torpedo dieses Netzgerüst auf eine relativ schmale Schicht beschränkt, gewissermassen konzentriert, wie überhaupt der ganze Bau des Torpedo-Organs weit konzentrierter ist als bei Raja.

Bei Torpedo ist im Bau und der Anordnung der Elemente unvergleichlich mehr als bei Raja das Prinzip der Raumaus-

nutzung und Oberflächenvergrösserung durchgeführt; besonders die letztere scheint von grösster Bedeutung für die Leistungsfähigkeit der elektrischen Organe zu sein. Bei dem Zitterrochen sind daher die Elemente zu sehr dünnen, relativ grossen Blättern geworden, die in enormer Anzahl in regelmässigster Anordnung parallel dicht übereinander geschichtet sind. Auf dieser Konzentrierung und Oberflächenvergrösserung im Verein mit einer Verfeinerung der Struktur beruht die grössere Leistungsfähigkeit des Torpedo-Organs. Im Vergleich mit diesem ist die Form der Elemente bei Raja plump, ihre Anordnung wenig zweckmässig zu nennen: das Raja-Organ macht, man möchte fast sagen, den Eindruck eines unvollkommenen ersten Versuchs.

Von den drei gemeinsamen Strukturbestandteilen kommt das Nervenendnetz vielleicht nicht ausschliesslich dem elektrischen Organ zu, denn möglicherweise giebt es auch noch an anderen Stellen Terminalnetze der Nerven, wenn auch nicht in der Vollkommenheit und grossartigen Flächenentfaltung, wie im elektrischen Organ. Einzig und allein in dem letzteren kommen indessen die beiden anderen von mir beschriebenen Strukturen, die Stäbchen und das Netzgerüst, vor, so viel ich weiss, sind in keinem anderen tierischen Gewebe ähnliche Bildungen bis jetzt beobachtet worden. Ich habe daher schon in meiner Arbeit über Torpedo nicht Anstand genommen, beide als spezifisch „elektrische“ Strukturen zu bezeichnen.

Hierzu treten dann in der elektrischen Platte von Torpedo noch die unregelmässigen „Körner“ hinzu, welche bei Raja fehlen. An ihrer Stelle liegt bei letzterer die bei Torpedo nicht vorhandene Lamellenmasse der Innensubstanz.

Nach meiner Überzeugung ist diese Lamellensubstanz für die Physiologie des elektrischen Organs von gar keiner Bedeutung mehr. Das geht schon daraus hervor, dass sie den ausgebildeten elektrischen Elementen der stark elektrischen Fische (Gymnotus, Malopterurus und Torpedo) vollständig fehlt. Die

Lamellensubstanz bei Raja (und wohl auch die quergestreifte Substanz bei Mormyrus) stellt meiner Ansicht nach einen funktionslos gewordenen, gewissermassen nur noch mitgeschleppten Rest der kontraktilen Muskelmasse des Elektroblasten dar, es ist ein Rudiment, welches dem allmählichen Schwunde und Untergange geweiht ist. Die Muskelfibrillen haben ihre Kontraktilität verloren und damit auch die spezifischen Eigenschaften, welche sie zur Kontraktion befähigten. Sie verlieren früh ihre Doppelbrechung, hören auf Fibrillen zu sein und verschmelzen zu Lamellen, indem sie der Quere nach mit einander verwachsen.

Dass dem so ist, dafür spricht sowohl die sehr verschiedene Ausbildung der Lamellensubstanz bei den einzelnen Raja-Arten, wie von Ewart beschrieben wurde, als auch das Variieren der Lamellenstruktur, worauf ich oben aufmerksam gemacht habe.

Dass im Laufe der Ontogenie des elektrischen Elementes neue Lamellen unter Abkürzung des ursprünglichen Entwicklungsganges gebildet werden, wie Engelmann wahrscheinlich gemacht hat, spielt dabei keine Rolle.

Um so mehr Bedeutung scheint mir dagegen das in der lamellär degenerierenden Muskelmasse ursprünglich enthaltene Sarkoplasma zu haben, welches sich spezifisch umbildet zu den Lamellennetzen, sich in diesen konzentrierend. Überhaupt scheint mir das gesamte spezifische Netzgerüst ein direkter Abkömmling des Protoplasmas, resp. des Sarkoplasmas des Elektroblasten zu sein; dass sich die quergestreifte Fibrillenmasse, resp. die Lamellensubstanz direkt in elektrisches Gewebe umbildet, glaube ich nicht.

Denkt man sich nun in dem elektrischen Element von Raja die Lamellensubstanz immer mehr und mehr schwinden und schliesslich ganz zu Grunde gehen, so würden an ihrer Stelle die ausgebreiteten feinfädigen Netze übrig bleiben und frei werden. Diese Netze könnten sich dann noch mehr entfalten und reichlicher mit einander und mit dem gleichstrukturierten und gleichwertigen Netzgerüst der Rindensubstanz in Verbindung

treten, so dass schliesslich eine dicke, gleichmässige Schicht von spezifischer Gerüstsubstanz vorläge. Dann würde die elektrische Platte von Raja eine ganz auffallende Ähnlichkeit mit der von Gymnotus erhalten, in welcher auch das elektrische Gewebe in dicker Schicht vorhanden ist, während die Zellen auf die beiden Rindenzonen der Platte beschränkt sind.

Man sieht, in der Struktur der elektrischen Elemente ist von dem „schwächsten“ elektrischen Fisch, der Raja, bis zum stärksten, dem Gymnoten, nur ein kleiner Schritt.

Nach allem habe ich die Überzeugung, dass die von mir bei Torpedo und Raja beschriebenen Strukturen allen elektrischen Fischen zukommen und sich ebenso bei den Mormyriden, wie bei Malopterurus und Gymnotus werden nachweisen lassen.

Hierin werde ich schon durch Angaben von Babuchin und Sachs bestärkt, welche bei Malopterurus und Gymnotus eine zarte, niedrige Streifung erwähnen, von welcher mir nicht zweifelhaft ist, dass sie durch die „elektrischen Stäbchen“ bedingt wird.

Welche Rolle die beschriebenen Strukturen bei der Erzeugung der elektromotorischen Kraft spielen, ist vor der Hand unmöglich zu sagen. Nicht ausgeschlossen ist, dass hier auch noch feinste Bauverhältnisse in Betracht kommen, welche jenseits der Grenze mikroskopischer Wahrnehmung liegen. So viel scheint mir aber sicher, dass die Elektrizität in der von mir als „feinfädiges Netzgerüst“ bezeichneten Gewebsschicht erzeugt wird, hier ist, wie ich glaube, Sitz und Quelle der Elektrizitätsentwicklung zu suchen. Wahrscheinlich kommt auch den mit dem Nervenendnetze in so innigem Kontakt stehenden Stäbchen für den elektrischen Ausgleich eine wichtige physikalische Aufgabe zu.

Mögen die mitgeteilten Thatsachen einmal geeignet sein, als verwertbare Bausteine zu einer wohl begründeten Theorie der Elektrizitätsentwicklung in den so merkwürdigen elektrischen Organen zu dienen!

Litteratur-Übersicht.

Das elektrische Organ der Raja-Arten wurde im Jahre 1844 von James Stark (2) entdeckt. Stark beschrieb Lage, Form und gröbere Zusammensetzung des Organs und schloss lediglich aus seinem anatomischen Bau, dass es sich um ein elektrisches Organ handeln müsse. Erwähnt wird schon, dass seine Ausbildung bei den Rochenarten verschieden ist.

Kurze Zeit darauf gab Goodsir (3) eine sehr unvollkommene und unrichtige Darstellung des mikroskopischen Baues des elektrischen Elementes von Raja.

Unabhängig von Stark fand zwei Jahre später Robin (4 und 5) das Organ auf und beschrieb es ausführlich in einer trefflichen Monographie, die mit ausgezeichneten Abbildungen versehen ist.

Robin untersuchte *R. clavata* L., *Raja rubus* L. und *Raja batis* L., bei welchen Arten nur geringfügige Unterschiede in der Lage des Organs und der Grösse der elektrischen Platten gefunden wurden; von diesen drei Arten besitzt *Raja clavata* die grössten elektrischen Elemente. Die etwas unregelmässige Form der „Disques“, ihre vordere glatte und hintere alveoläre Fläche, ferner die Verteilung der Nerven und Gefässe werden richtig beschrieben.

Robin unterscheidet an der elektrischen Scheibe (5, pag. 243):

- „1. Un tissu spécial, gélatiniforme, dont on ne retrouve l'analogue, que dans les appareils électriques des autres Poissons et peut par conséquent recevoir le nom de tissu électrique.
2. Du tissu connectif destiné à séparer les uns des autres les disques formés par le tissu précédent“.

In Betreff des „elektrischen Gewebes“ sagt der Autor (5, pag. 242):

„L'aspect extérieur du tissu spécial, que nous appellerons tissu électrique qui constitue les disques, est le même que celui de la substance qui constitue les disques de l'appareil des Torpilles, du Gymnote et du Silure. La structure intime de ce tissu est la suivante: Substance fondamentale amorphe, transparente, parsemée de granulations moléculaires très fines, et dans laquelle sont plongées çà et là des sphérules régulières de 0^{mm}, 005, constituées par un amas de granules très rapprochés. Chaque petite sphère est entourée d'une aréole circulaire large de 0^{mm}, 015 environ, formée de granulations moléculaires réunies en cercle, sansqu'il soit possible d'apercevoir une membrane, qui enveloppe le tout, soit qu'elle n'existe pas, soit qu'elle se confonde avec la masse amorphe fondamentale.“

Offenbar hat Robin schon die Kerne und Zellen der Rindensubstanz gesehen. Weniger Glück hatte er mit der lamellären Innensubstanz, über welche sich in der umfangreichen Arbeit nur eine kurze Bemerkung findet (5, pag. 255):

„Lorsqu'on fait arriver de l'eau ou de l'alcool en contact avec le tissu électrique, on voit la substance fondamentale se couvrir de stries ou plis régulièrement ondulés, très serrés; mais il est très facile de reconnaître que ce ne sont pas des fibres, mais seulement des stries.“

In Betreff der Herkunft der Nerven stellte Robin fest, dass sie lediglich von den Rückenmarksnerven geliefert werden, ohne jede Beteiligung des Nerven der Seitenlinie, wie Stark noch angenommen hatte.

5, pag. 278. „Les nerfs proviennent de la moelle épinière caudale. Un et quelquefois deux filets naissent de la racine antérieure avant son union à la racine postérieure; deux ou trois viennent du chiasma, qu'elles forment en se réunissant, et deux à quatre de la paire antérieure ou des deux paires qui font suite à ce chiasma.

Ces nerfs ne donnent pas de branches à d'autres organes; ils sont entièrement et exclusivement destinés à cet appareil.“

Gute Abbildungen erläutern ferner die wichtige Thatsache, dass die Nervenverästelungen nur an die glatte Vorderfläche der „disques“ herantreten, während die Gefässäste hinter der Scheibe liegen, niemals aber durch dieselbe hindurchgehen.

In Betreff der Nervenendigungen an der Platte verfiel Robin in denselben Irrtum, wie vor ihm Savi (1) bei seinen Untersuchungen über das elektrische Organ von Torpedo: er nahm bei Flächenansicht der Platte die Kreuzungen der Nervenfasern für direkte Verbindungen und liess die Nervenenden in ein weitmaschiges, an der Vorderfläche der Platte gelegenes Terminalnetz übergehen.

Die Entdeckung von Stark und Robin wurde bald durch eine Anzahl von Mitteilungen anderer Forscher bestätigt, die sich aber nur zum Teil der Deutung, welche ihre Entdecker dem Organ gegeben hatten, anschlossen.

In seiner Arbeit über die Entwicklung der Nerven des elektrischen Organs von Torpedo macht Ecker (7) in einer Anmerkung eine kurze Mitteilung über die Verzweigung der elektrischen Nerven bei Raja, lässt es aber zweifelhaft, ob die Nerven in freie Endigungen oder in Anastomosen übergehen.

Die lamelläre Schicht hat zuerst Stannius (8) richtig erkannt, welcher in seinem „Handbuch der Zootomie“ die „sehr genaue“ Beschreibung Robins bestätigt und über den Inhalt der vom Bindegewebe umschlossenen Kammern hinzufügt (l. c.

pag. 120): „Der Inhalt der Räume besteht aus einer gallertartigen durchscheinenden Grundmasse, welche besonders in der hinteren Hälfte des polygonalen Raumes ein unregelmässig gestaltetes, von grösseren und kleineren Hohlräumen vielfach durchbrochenes Maschenwerk darstellt. — An vielen Stellen der Grundmasse sieht man runde, kernhaltige Elementarzellen eingelagert; in der vorderen Hälfte jeder Kapsel des vordersten Teiles des Gebildes findet man ferner quergestreifte Muskelsubstanz, welche teils in sehr dünnen, zarten Blättern, bisweilen wie ein Anflug, die Alveolen überzieht, teils breitere Bündel bildet.“

In Betreff der Deutung des Organs widerspricht indessen Stannius Robin, indem er dasselbe nicht für elektrisch hält (l. c. pag. 121):

„Der Robinschen Deutung möchte ich nicht, oder höchstens sehr bedingt beistimmen. Meiner Ansicht nach verhält sich dies Organ zu dem Muskel, den es fortsetzt, ungefähr wie die Chorda dorsalis zur Wirbelsäule. Es ist die primordiale Anlage eines Schwanzmuskels, welche perennierend sich erhält. Als Fortsetzung des Muskels charakterisiert es sich, teils durch seine Kontinuität mit demselben, teils durch seine gleiche Anbeftungsweise mittelst fortlaufender Aponeurosen. Entscheidend ist jedoch für mich der Umstand, dass ich in dem vordersten, dem wirklichen Muskel zunächst gelegenen Teile quergestreifte Muskelemente in Gestalt von sehr zarten quergestreiften Blättern und selbst von Faserbündeln getroffen habe.“

So unvollständig wie diese Angaben auch sind, so ist doch anzuerkennen, dass Stannius der erste gewesen ist, welcher die Verwandtschaft zwischen dem Schwanzorgan von Raja und dem quergestreiften Muskel erkannt hat. Stannius hat damit lange vor Babuchin den genetischen Zusammenhang zwischen Muskelfasern und elektrischen Organen gewissermassen un-

bewusst geahnt, wenn er sich auch ihre Genese bei Raja genau im umgekehrten Sinne dachte.

Leydig (9 und 10) hat die Streifung der Innensubstanz etwas deutlicher gesehen und eingehender geschildert; er führt sie auch auf eine Schichtung zurück (9, pag. 318):

„Was aber die homogene Grundsubstanz, in der die Zellen eingebettet sind, sehr auffallend macht, ist eine äusserst regelmässige und dicht verlaufende lineäre Zeichnung, die nicht erst wie Robin meint, dann auftritt, wenn Wasser oder Alkohol mit der Kapsel zusammengebracht wird, sondern in ganz unbehelligtem Zustande vorhanden sich zeigt und zu den Grundeigentümlichkeiten der Kapsel gehört. Die Linien erinnern in ihrer Anordnung an den Verlauf der Leistchen, welche an der Volarfläche der Hände und Finger, sowie an der Plantarfläche der Füsse und Zehen in parallelen bogenförmig gekrümmten Richtungen verlaufen. Schon Robin erklärt, dass die Linien keine Fasern sind, sondern nur Streifen; mir schienen sie der Ausdruck von einer Schichtung der homogenen Grundsubstanz der Kapsel zu sein. Nach Zusatz von Kalilauge schwinden sie nicht, die ganze Masse wird durch dieses Reagens überhaupt nicht angegriffen, sondern quillt höchstens etwas auf und die eingestreuten Zellen werden deutlicher.“

Im übrigen ist die Schilderung, welche dieser Autor von dem Baue der elektrischen Platte des Rochens giebt, recht verworren und wenig zutreffend, ebenso wie seine bildliche Darstellung eines Durchschnittes (9, Fig. 1 auf Tafel XII), in welchem die Nerven fälschlich von hinten her an die Platte herantreten. Ferner reiht Leydig die geschichtete Substanz dem Hyalinknorpel an und sieht in dem Gewebe des Elementes nicht, wie Robin, eine ganz spezifische Substanz, sondern modifiziertes Bindegewebe. Infolgedessen stellt Leydig auch in Abrede, dass es sich hier um ein elektrisches Organ handele, vielmehr

rechnet er das fragliche Gebilde den Schleimkanälen der Fische zu.

Ebenso ist Remak (11) nicht geneigt, das Schwanzorgan für ein elektrisches zu halten, indem er im Anschluss an seine Mitteilungen über das elektrische Organ von Torpedo über Raja kurz folgendes sagt (l. c. pag. 471):

„Nach Beobachtungen und Präparaten, die ich im Jahre 1851 in Helgoland von Raja clavata gesammelt, muss ich die Beschreibung dieses Organs von Stannius für ungenau erklären. Die an der Innenfläche der buchtigen nervenreichen Kapselwand befindliche gallertige, von Kernen in regelmässigen Abständen durchsetzte, in Säuren und Alkalien aufquellende Schicht scheint mir zwar allerdings kontraktile Eigenschaften zu besitzen. Denn ist das Tier ganz abgestorben, so erscheint sie ganz homogen. Wird sie aber in frischem Zustande mit Alkohol, Sublimat, Chromsäure behandelt, so zeigt sie ein sehr zierliches Bild von wellenförmigen, konzentrischen Furchen, so dass die Fläche wie mit Chladnischen Klangfiguren bedeckt erscheint. Durch ihre Schärfe erinnern die Furchen wohl auch an die Querstreifen der Muskelfasern. Aber ein allmählicher Übergang dieser Substanz in quergestreifte Muskelfasern an der Spitze des Organs, wie Stannius beschreibt, lässt sich nicht nachweisen. Muskeln setzen sich allerdings an die Oberfläche des Organs an, und sobald sie sich verkürzen, werden sich die kolossalen Gefässbäusche in den Höhlen der Kapseln mit Blut füllen; sobald sie dagegen erschlaffen, kann die kontraktile Gallertschicht den Rücktritt des Blutes aus den Gefässen (vielleicht zum Rückenmark) befördern.“

Offenbar hat Remak das Schwanzorgan des Rochens auf Helgoland nur flüchtig untersuchen können, denn sonst wäre dem ausgezeichneten Beobachter nicht entgangen, dass die lamelläre Schichtung auch an dem „ganz abgestorbenen“ Tiere stets deutlich wahrnehmbar ist. Auch sind die Gefässverzwei-

gungen in den Kammern des Organs nicht so „kolossal“, wie schon die schönen Abbildungen Robins gezeigt hatten, so dass schon aus diesem Grunde die Vermutungen Remaks hinfällig werden.

Die erste eingehende histiologische Untersuchung des Organs und richtige Darstellung seines feineren Baues wurde im Jahre 1858 von v. Kölliker (12) geliefert, welcher mehrere Arten von Raja (*R. clavata*, *Schultzei*, *miraletus*, *undulata* und *Leviraja oxyrhynchus*) zergliederte.

v. Kölliker stellte zunächst die Verteilung des Inhalts innerhalb der vom Bindegewebe umschlossenen Kammern fest (l. c. pag. 13): „Innerhalb der von bindegewebigen Scheidewänden gebildeten Fächer oder Alveolen des Organes, deren Gesamtanordnung Robin sehr genau geschildert hat, liegen wesentlich zwei Bestandteile, welche dieselben ganz erfüllen und zwar an der vorderen Seite eines jeden Faches der von Robin beschriebene scheibenförmige Körper, nach hinten dagegen eine durchsichtige weiche Gallertmasse, die ich den Gallertkern nennen will. Die Scheiben, die ich die Schwammkörper heisse, nehmen ein Drittel oder die Hälfte einer jeden Alveole ein, haben eine vordere glatte und mehr oder weniger gewölbte und eine hintere vertiefte alveoläre oder schwammige Seite und sind in ihren gröberen Verhältnissen von Robin genau beschrieben worden. An der vorderen Seite derselben liegt, jedoch ohne mit ihnen irgend eine Verbindung einzugehen, die Ausbreitung der Nerven des Organs genau an, in Form einer mässig dicken hellen Platte, der Nervenplatte, die neben zahlreichen Nervenverzweigungen noch aus einer Grundlage von einem weicheren Bindegewebe besteht und, obschon sie mit dem vorderen Teile der Scheidewände eines jeden Faches vereint ist, doch leicht als ganzes sich ablöst und daher einer besonderen Bezeichnung bedarf, auch als drittes Element des Inhaltes der Fächer aufgestellt werden könnte. Fester als mit der Nervenplatte vorn sind die

Schwammkörper mit dem Gallertkern an ihrer hinteren Seite verbunden, indem derselbe an alle ihre Erhabenheiten und Vertiefungen sich anlegt. Diesem zufolge ist meine Beschreibung mit derjenigen von Robin ganz im Einklang, mit einziger Ausnahme dessen, dass Robin den Gallertkern nicht erwähnt und die Nervenplatte nicht als besonderes Gebilde von der Wand der Alveolen unterscheidet und daher der Meinung ist, dass die „Disques“ die Fächer ganz erfüllen.“

In Betreff der feineren Zusammensetzung der Scheibe selbst sagt der Autor l. c. pag. 16: „Das ganze Gewebe hat ein zartes, weiches Ansehen, das Robin treffend wiedergiebt und ist auch häufig an vielen Orten ohne Spur von Linien. Die Körnchen sind häufig und namentlich bei gewissen Gattungen alle äusserst fein und blass, so dass die Balken fein granuliert erscheinen, andere Male finden sich neben denselben auch eine verschiedene Zahl grösserer und kleinerer dunkler Fettkörnchen, die wie bei *Leviraja* selbst recht zahlreich vorhanden sein können, was dann dem Gewebe ein eigentümliches Ansehen giebt. Von Zellen sah ich nichts und muss ich die grösseren erwähnten Körper alle für bläschenförmige Kerne halten, welche, was ihre Lage anlangt, immer im Innern der Balken in ein- oder mehrfachen Reihen sich fanden. Am häufigsten waren diese Kerne in dem schwammigen Teile der Schwammkörper, wogegen dieselben in dem an die Nervenausbreitung stossenden Abschnitte derselben, der sich wie eine zusammenhängende dickere, die Blätter und Balken tragende Platte darstellte, seltener vorkamen, auch stellenweise ganz fehlten. In diesem Teile der Schwammkörper waren auch die wellenförmigen Streifen immer am zierlichsten und deutlichsten, so dass das Ansehen oft an Quer- oder Längsstreifen von Muskeln erinnerte. Das Muskelgewebe ist auch in der That das einzige, mit dem ich das Gewebe der Schwammkörper einigermaßen vergleichen möchte, wenn eine Vergleichung verlangt wird, und sind die schmälern Balken mit ihren Kernen,

den feineren und gröberen Körnchen und den Streifen, die jedoch immer longitudinale sind, in der That oft auffallend gewissen mehr homogenen Muskelfasern von Tieren ähnlich, doch versteht es sich von selbst, dass ich auf diese Ähnlichkeit kein grösseres Gewicht lege, so lange nicht Kontraktilität an den Schwammkörpern nachgewiesen ist.“

v. Kölliker erkannte mithin die hintere Rindenschicht und die gestreifte Innensubstanz, die auch in der übersichtlichen Abbildung Fig. 2 auf Tafel I, der ersten zutreffenden, deutlich, wenn auch zu scharf abgegrenzt sind. Dagegen blieb dem Autor die vordere Rindenschicht noch verborgen, die auch in der Figur nicht angedeutet ist. Ebenso entging ihm die Existenz der deutlich abgegrenzten Zellen, worüber noch besonders gesagt wird (l. c. pag. 17): „Der Entstehung nach betrachtet, haben wir hier offenbar ein Gewebe, das ursprünglich aus Zellen besteht, die dann aber so verschmelzen, dass die Zellkörper (vielleicht zugleich mit ausgeschiedener Intercellularsubstanz) in eine körnige gleichartige Masse übergehen, während die Kerne bleiben.“

Über die Endigung der Nerven konnte v. Kölliker zu keinem sicheren Ergebnis kommen, neigt sich aber der Ansicht zu, dass die feinsten Nervenzweige in ein Terminalnetz übergehen (l. c. pag. 19):

„Die ganze blasse Nervenverästelung nun strebt, indem ihre Elemente immer feiner werden, gegen die der glatten Fläche der Schwammkörper zugewendete Seite der Nervenplatte und endet schliesslich an der Oberfläche derselben in schwer zu bestimmender Weise. Weder Ecker noch Leydig sind über die eigentliche Endigungsweise ins Reine gekommen und auch ich finde, dass es hier viel schwieriger ist, sich ein bestimmtes Urteil zu bilden, als beim elektrischen Organe der Zitterrochen. So viel habe ich bestimmt ermittelt, dass die letzten Enden der Nervenfasern, die kaum mehr als 0,0005“ messen, gegen

die Oberfläche der Nervenplatte zu sich alle senkrecht stellen und bis an die äusserste Fläche derselben hinanreichen. In einigen Präparaten nun endeten dieselben hier, dicht am Schwammkörper, frei mit leichten knopfförmigen Anschwellungen, in anderen von frischen Tieren bildeten sie nach allem, was ich zu sehen vermochte, ein horizontal ausgebreitetes Netz, dessen Fasern und Maschen um ein ziemliches grösser waren, als im elektrischen Organe der Zitterrochen und scheinen demzufolge ähnliche Verhältnisse hier obzuwalten, wie bei den Torpedines; doch wage ich bei der Schwierigkeit des Gegenstandes, indem die dicke Nervenplatte der gewöhnlichen Rochen weder bei Flächen- noch bei Seitenansichten eine ganz klare Einsicht in ihre Verhältnisse gestattet, nicht, für die eine oder andere Anschauung mit Bestimmtheit mich zu entscheiden. Nur so viel ist sicher, dass auch hier eine äusserst reiche Nervenverästelung vorhanden ist, die derjenigen der Torpedines wenig nachsteht, sowie dass kein Nervenfädchen in den Schwammkörper selbst hineingeht.“

In betreff der physiologischen Bedeutung des Organs schliesst sich v. Kölliker der Auffassung Robins an.

Die Beschreibung v. Köllikers wurde in mancher Hinsicht wesentlich ergänzt durch die fast gleichzeitig erschienene Arbeit M. Schultzes (I3).

Zunächst entdeckte M. Schultze die vordere Rindenschicht, zählte sie aber nicht dem elektrischen Gewebe der Platte zu, sondern fasste sie als Nervenendigung auf. Hiervon abgesehen, ist die Schilderung, welche M. Schultze von dieser Schicht giebt, sehr genau und zutreffend. (l. c. pag. 203):

„Hat man die beschriebenen Nervenetze von der vorderen Fläche des Schwammkörpers abgelöst, so zeigt sich die letztere von der Fläche betrachtet fein granuliert und in ziemlich weiten Abständen mit blassen ovalen, einen deutlichen runden Kern führenden Zellen durchsetzt. Die Granulierung und die Zellen liegen nur in einer äusserst dünnen Schicht, welche die vordere

Fläche des in seinen folgenden Schichten ganz anders aussehenden Schwammkörpers überzieht und auch wieder für sich ablösbar ist.“

Der Autor tritt damit der Auffassung Leydig's bei, welcher an dem Gewebe der Platte eine Intercellularsubstanz und in dieselbe eingebettete kernhaltige Zellen unterschieden hat, eine Auffassung, deren Richtigkeit sich auch aus meinen Untersuchungen ergeben hat. Dasselbe wies M. Schultze auch für den „hinteren löcherigen Teil des Schwammkörpers“ und die „von zahllosen mäandrisch verschlungenen Liniensystemen durchzogene“ Schicht nach; nur sind in letzterer die eingesprengten Zellen an sich seltener und oft schwer zu erkennen. Fig. 3 auf Tafel IX zeigt die zahlreichen Zellen in den Balken der hinteren Rindenschicht und die spärlichen Elemente der mäandrischen Lage. In Betreff der Zellen, denen allerdings noch eine Membran zugeschrieben wird, ist bemerkt (l. c. pag. 211), dass sie in der vorderen und hinteren Partie des Schwammkörpers völlig übereinstimmen. (l. c. pag. 205): „Die Zellen sind oval, mit grossem runden Kern versehen, mit im frischen Zustande deutlicher Membran, und entweder ganz homogenem Inhalte oder mit Körnchen zum Teil ausgefüllt, welche öfter ein starkes Lichtbrechungsvermögen, wie Fetttropfchen besitzen.“

Vortrefflich ist ferner auch die Schilderung, welche M. Schultze von der lamellären Schicht entwirft (l. c. pag. 209): „Die elektrische Platte von Raja besitzt aber eine Eigentümlichkeit, welche den entsprechenden Gebilden anderer elektrischer Fische abgeht. Es ist die eigentümliche mäandrische Linienzeichnung. Die mäandrischen Liniensysteme des vorderen Teiles des Schwammkörpers lassen sich am besten im ganz frischen Zustande des Organes untersuchen, sie erhalten sich aber auch nach der Behandlung mit Chromsäure, doppeltchromsaurem Kali, Sublimat, Alkohol, Holzessig, Goadbyscher Flüssigkeit, in denen allen der Schwammkörper, vorausgesetzt, dass die Flüssigkeiten nicht zu verdünnt angewandt wurden und nur kleinere Stücke

des Organes enthielten, Monate lang seine Struktur unverändert zeigt. Wie sich durch längeres Kochen in Wasser dieser Teil des Schwammkörpers in Lamellen spalten liess, so beobachtet man ein Gleiches nach längerer Maceration in dünneren Lösungen der oben angeführten konservierenden Flüssigkeiten. Die isolierten Lamellen zeigen auf der Fläche oft eine äusserst feine netzförmige Zeichnung, deren Ursache mir unbekannt geblieben ist. Sie erinnert an die feinsten Nervennetze der vorderen Fläche des Schwammkörpers. Die Untersuchung des Verlaufes dieser Lamellen ist sehr schwer. Ein Teil derselben streicht oft der genannten Fläche des Schwammkörpers parallel, andere erheben sich in einer Richtung senkrecht auf diese und biegen bald wieder bogenförmig um. Es sind immer Gruppen von Lamellen, welche eine Strecke denselben Verlauf einhalten, dann aber oft nach verschiedenen Richtungen auseinander weichen, indem sich neue zwischen dieselben einschieben. So entsteht auf Längsschnitten eine Zeichnung, die an jeder anderen Stelle des Schwammkörpers wieder anders gefunden wird. Im frischen Zustande sah ich die Linien nicht bis in die Balken des löcherigen Theiles des Schwammkörpers hineinreichen. Doch scheinen sich verschiedene Species von *Raja* in diesem Punkte verschieden zu verhalten. Sie hörten bei *Raja clavata* immer ganz allmählich sich verlierend in der feinkörnigen Intercellularsubstanz auf. Durch Behandlung mit Liquor conservativus oder Sublimatlösung nimmt jedoch ein Teil dieser feinkörnigen Substanz auch noch ein gestricheltes Ansehen an, so dass jetzt die Liniensysteme sich weiter nach hinten erstrecken, als im frischen Zustande sichtbar war.“

In Fig. 3 der zugehörigen Tafel IX wird die Anordnung der Lamellen treffend illustriert. In dieser Abbildung ist auch sehr schön die Zusammensetzung der elektrischen Platte aus den drei Schichten und deren inniger Zusammenhang zu sehen; allerdings wird noch nirgends erwähnt, dass die vordere und deren

hintere „granulierte“ Schicht am Rande der Platte in einander übergehen.

Aus dem Angeführten geht hervor, dass M. Schultze die Zusammensetzung der elektrischen Platte bis in ihre Einzelheiten richtig erkannt und so eingehend geschildert hat, dass von allen späteren Untersuchern nichts wesentlich Neues hinzugefügt werden konnte.

Weniger gilt dies für die Anschauungen, welche M. Schultze von der Endigung der Nerven entwickelt hat. Der Autor glaubte, ganz in der Nähe der Vorderfläche der Platte zwei von einander unabhängige Nervenetze gesehen zu haben; das zweite feinere, der Platte unmittelbar anliegende, soll direkt übergehen in die vordere, zellenhaltige, granulierte Substanz (vordere Rindenschicht nach meiner Bezeichnung). Da diese letztere nun mit den beiden anderen Lagen innig zusammenhängt, sieht M. Schultze die ganze elektrische Platte für eine einzige grosse Nervenendigung an.

In betreff des ersten von ihm beschriebenen Nervenetzes ist der Autor, infolge der Schwierigkeit der Untersuchung am frischen Objekt, in denselben Irrtum verfallen, wie vor ihm schon Robin, indem er die Kreuzungen der dicht an einander vorbei streichenden Nervenfasern für wirkliche gegenseitige Verbindungen nahm. Das von M. Schultze beschriebene gröbere Nervenetz, welches im Niveau der kernhaltigen Zone der Nervenverästelungen liegen soll und in Fig. 4 auf Tafel IX mit d bezeichnet ist, existiert also nicht. Es bleibt mithin nur noch das zweite eigentliche Terminalnetz übrig und ist es unzweifelhaft, dass M. Schultze, ebenso wie v. Kölliker, die von mir oben näher beschriebene Netzzeichnung schon gesehen hat. Allerdings deckt sich die von ihm in Fig. 4 auf Tafel IX bei e gegebene bildliche Darstellung nicht mit meiner Schilderung, da das Netz viel zu regelmässig gezeichnet ist, in-

dessen macht die Fig. 4 nach dem eigenen Zugeständnis des Autors keinen Anspruch auf Genauigkeit.

M. Schultze nimmt nun an, dass das Terminalnetz in die vordere granulirte Substanz direkt übergeht und die letztere eine Fortsetzung der Nervenmasse darstellt. Da nun die granulirte Substanz mit dem übrigen Gewebe des „Schwammkörpers“ direkt zusammenhängt, sieht M. Schultze die ganze elektrische Platte als eine grosse „flächenhaft ausgebreitete Nervensubstanz, hervorgegangen aus einer Verschmelzung sämtlicher Nervenenden“ an, während er andererseits, in Übereinstimmung mit Robin, das Gewebe als ein spezifisches, elektrisches betrachtet. (l. c. pag. 212): „Die Ansicht, welche demnach über die Struktur des Schwammkörpers gewonnen ist, ist die, dass die Intercellularsubstanz des Schwammkörpers eine direkte Fortsetzung der Nerven sei, welche vor ihrem Übergange in erstere in Form feinsten Netze auftreten, die sich dann unter Wegfall der Maschen zu einer soliden Masse umwandeln. Diese solide Nervenmasse ist theils in Plättchen spaltbar als Wiederholung der schon in den Netzen ausgesprochenen Tendenz zur Plättchenbildung, theils feinkörnig solide. Welche Bedeutung die in die Intercellularsubstanz eingebetteten Zellen haben, bleibt dabei vor der Hand ganz dunkel.“

Aus dem Text und der Figur wird nicht klar, wie M. Schultze sich den Übergang des Terminalnetzes in die granulirte Substanz gedacht hat. Denn wenn sämtliche Nerven in ein geschlossenes Endnetz übergehen, so haben sie damit ihr Ende erreicht, wenn nicht nachgewiesen wird, dass von dem Netz wiederum weitere Fortsetzungen, etwa in Gestalt von Fäserchen, ausgehen. Dieser Nachweis wird aber nicht erbracht. v. Kölliker war daher der Wahrheit sehr viel näher gekommen, indem er betonte, dass die Nerven niemals in die Plattensubstanz eindringen.

Die eigenartige Auffassung M. Schultzes von der elektrischen Platte wurde durch die fundamentale Entdeckung Babuchins (15, 16, 17, 18) widerlegt, welcher nachwies, dass die elektrischen

Elemente bei Torpedo, Mormyrus und Raja aus sich umwandelnden quergestreiften Muskelfasern hervorgehen.

Bei der Untersuchung des Entwicklungsprozesses der elektrischen Platten bei Raja-Embryonen fand der russische Forscher, dass an Stelle derselben sich in einem gewissen Stadium kurze und dicke quergestreifte Muskelfasern befinden, welche in derselben Ordnung gelagert sind, wie die späteren elektrischen Kästchen. Wie Babuchin bei ganz jungen Rochen gesehen haben will, besitzen diese Muskelfasern anfangs noch Kontraktibilität, sie antworten auf galvanische Reizung durch Zusammenziehung. Später bei fortschreitender Entwicklung verlieren sie diese Fähigkeit. (16, pag. 547): „Mit der Zeit metamorphosieren die Fasern in der Art, dass ihre vorderen Enden anschwellen, die hier befindlichen Kerne sich vermehren und so die cylindrischen Muskelfasern sich in birnförmige, geschweifte Körper umwandeln, die Streifung jedoch beibehaltend. Später atrophieren die Schweife. Ein Teil des birnförmigen Körpers und zwar die einfachbrechende Substanz oder mit anderen Worten, der Rest vom Protoplasma wandelt sich zum Balkenwerk um, während die doppeltbrechende Substanz mit der dazwischen liegenden einfachbrechenden Substanz in sehr verwickelter Weise gegen einander verschoben wird und später als mäandrisch gestreifter Teil des Kästchens übrig bleibt. Damit hoffe ich, bewiesen zu haben, dass die elektrischen Organe mit den Muskeln nicht nur analog, sondern identisch sind. Die Endverzweigung der Nervenfasern hat dieselbe Bedeutung wie die motorischen Endplatten. Die Kästchen u. s. w. sind metamorphosierte, verkümmerte Muskelfasern, keineswegs aber ausgebreitete Achsencylinder, wie es von vielen angenommen wird.“

Die positive Angabe von Babuchin (l. c. pag. 547), dass die mäandrisch-gestreifte Substanz bei Raja „im polarisierten Lichte dieselben Erscheinungen darbietet, welche von Brücke an Muskelfasern beobachtet worden sind“, ist durch die genauen Untersuchungen von Engelmann (30) kürzlich widerlegt worden.

Die definitive gewebliche Zusammensetzung des elektrischen Elementes von Raja ist von M. Schultze richtiger erkannt worden, als von Babuchin.

Die Entdeckung von Babuchin wurde weiter fortgeführt und ergänzt durch Ewart, welcher in vier Abhandlungen (23, 24, 25, 26) in ausführlicher, wenn auch etwas umständlicher Weise die Entwicklung und feinere Anatomie des Schwanzorgans zahlreicher Rochenarten beschrieben und durch eine Reihe vorzüglicher Abbildungen erläutert hat.

Ewart untersuchte zunächst die Entwicklung unseres Organs bei Raja batis (23). Ursprünglich befindet sich in den Embryonen an Stelle des elektrischen Organs quergestreiftes, funktionsfähiges Muskelgewebe, welches durch Myocommata in Muskelkegel abgeteilt ist. Die ersten Andeutungen des elektrischen Organs wurden in Embryonen von 6—7 cm Länge gefunden. Zuerst werden die Muskelfasern bestimmter Myomeren in der Region des Schwanzes keulenförmig (clubshaped), indem sich ihr vorderes Ende verdickt. Die Keulen wachsen beträchtlich in die Länge, zeigen anfangs ein abgerundetes, verdicktes Vorderende, welches aber bald durch Einsenkung der vorderen Fläche eine unbestimmte Napfform (indistinct cupform) annimmt. Hieraus geht dann durch Abflachung und Verbreiterung die definitive Gestalt der elektrischen Platte (electric disc) hervor, während der hintere Teil der ursprünglichen Muskelfaser als zarter, oft bandartiger, bisweilen noch mit Querstreifung versehener stengel-förmiger Fortsatz bestehen bleibt oder überhaupt ganz zu Grunde geht. Bei Verbreiterung der wachsenden Scheibe verlassen die durch Vermehrung zahlreich gewordenen Muskelkerne die mittlere streifige Lage und häufen sich an der vorderen und hinteren Fläche der Scheibe an, hier eingebettet in eine gemeinsame Protoplasmamasse. Durch Auswachsen der letzteren an der Hinterfläche und sekundäre netzförmige Verbindung entsteht dann das Balkenwerk der hinteren Lage.

Diese Umwandlung geht nur langsam vor sich und findet nicht überall gleichzeitig statt. Zuerst tritt die Metamorphose im mittleren Teil der Organanlage auf und schreitet von hier nach vorne und hinten vor. Die Entwicklung des Organs ist abgeschlossen, wenn der Roche eine Länge von 12 cm erlangt hat, kurz bevor er die Eikapsel verlässt. Die weiteren Veränderungen bestehen in einer Grössenzunahme der einzelnen Teile des Organs, ohne dass neue Elemente durch Umwandlung von Muskelfasern hinzukämen.

An dem ausgebildeten Organ von *Raja batis* unterscheidet Ewart drei Schichten, welche, von vorne nach hinten aufgezählt, als „electric layer“, „striated layer“ und „alveolar layer“ bezeichnet werden; auch bei den anderen Rochenarten sind sie vorhanden, wenn auch in verschiedener Ausbildung. Diese Lagen entsprechen den von mir unterschiedenen drei Schichten; nur rechnet Ewart zu dem „electric layer“ auch die Nervenendverästelung, welche von ihm, wie schon früher von Babuchin, als ausgewachsene modifizierte, motorische Endplatte aufgefasst wird.

Das wichtigste und wesentlich neue Ergebnis der wertvollen Untersuchungen von Ewart ist der Nachweis, dass Form und Struktur der definitiv ausgebildeten elektrischen Elemente bei den einzelnen Raja-Arten mannigfachen Modifikationen unterworfen sind, dass alle diese Modifikationen aber in einem bestimmten genetischen Zusammenhange insofern stehen, als sie verschiedenen Entwicklungsstufen des Organs entsprechen. Auch die Grösse des ganzen Organs mit Bezug auf die Körpergrösse des ganzen Tieres ist nach der Art verschieden; relativ das grösste Organ wurde bei *Raja batis*, *alba* und *R. macrorhynchus* gefunden.

Nach Ewarts Entdeckung tritt die definitive Form des elektrischen Elementes in dem Genus *Raja* in zwei Variationen auf, der Scheibenform (disc shaped) und der Napfform (cup-shaped).

Am häufigsten ist die Scheibenform, sie wurde bei bei weitem den meisten Rochenarten gefunden (*Raja batis* L., *macrorhynchus* Raff., *R. alba* Lac., *R. oxyrhynchus* L., *R. clavata* L., *R. maculata* Donovan., *R. microcellata* Mont.).

Bei allen diesen Arten stimmt die Struktur, der Grad der Ausbildung und die Anordnung der Scheiben vollständig überein.

Die Napfform dagegen wurde nur bei im ganzen vier Rochenarten (*Raja radiata* Donovan., *R. circularis* Couch., *R. fullonica* L. und *R. eglanteria*) beobachtet und bei den drei ersteren Arten näher untersucht. Sie stellt entschieden die niedere Entwicklungsstufe der elektrischen Elemente von *Raja* dar, da sie, wie oben erwähnt, auch in der Ontogenie der Scheibenform (bei *Raja batis*) als vorübergehendes, wenn auch wenig charakteristisch ausgeprägtes Stadium auftritt.

Ewart fand nun, dass die definitiven Napfformen der drei genannten, von ihm näher untersuchten Arten drei wichtige zusammenhängende Entwicklungsetappen in der Entwicklung der scheibenförmigen Elemente aus quergestreiften Muskelfasern repräsentieren.

Die primitivste Form wurde bei *R. radiata* (25) gefunden, welche Art auch sonst primitive Charaktere aufweist. Die Elemente sind hier kleine, flache Näpfe mit langem, breitem, relativ grossem, hinten sitzendem Stengel-Fortsatz. Der Napf wird fast ganz gebildet von einer kompakten Masse sehr charakteristisch quergestreifter Muskelsubstanz, die in ihrem Innern noch zahlreiche Muskelkerne birgt; die Querstreifung geht kontinuierlich auch auf den Stengel über. Dieses Muskellager wird umgeben von einer sehr dünnen, kernhaltigen Schicht, die hinten völlig glatt ist. Vorne treten an die konkave Napffläche zahlreiche Nerven heran. Das ganze Gebilde besitzt noch so sehr Muskelcharakter, dass man geneigt sein könnte, es auch für noch kontraktile zu halten. Auch sind Bindegewebskammern noch nicht

zur Differenzierung gekommen. Offenbar stellt das Organ von *R. radiata* die primitivste Form von allen elektrischen Organen überhaupt dar. Damit steht auch sein spätes Auftreten im Einklang. Während bei *R. batis* das elektrische Organ in frisch ausgeschlüpften Jungen schon vollständig entwickelt ist, beginnt seine Ausbildung bei *R. radiata* erst lange nach dem Auschlüpfen.

Ein weiteres Entwicklungsstadium stellen die Elemente von *R. circularis* (24) dar. Die Näpfe sind hier wohl entwickelt, mit tiefer Höhlung und relativ kleinem, zartem Stengelfortsatz. Statt der dicken quergestreiften Muskelmasse in den Näpfen von *R. radiata*, findet sich hier ein weit dünneres Mittellager von gebogenen Lamellen mit noch zahlreichen Kernen. Die äussere Schicht ist dicker, reicher an Kernen und an der hinteren Fläche des Napfes, bis auf kurze, kleine Erhebungen besonders in der Nähe der Stengelbasis, fast noch ganz glatt.

Bei *R. fullonica* sind diese Fortsätze der Hinterfläche grösser und unregelmässiger geworden und haben sekundäre, mit Kernen versehene Fortsätze getrieben, so dass die Hinterfläche des Napfes ein unregelmässig zottiges Aussehen besitzt. Der Stengelfortsatz ist noch mehr zurückgebildet. Von dieser Napfform bei *R. fullonica* bis zu der Scheibenform bei *R. batis* ist nur ein kleiner Schritt. Stellt man sich vor, dass die hinteren Fortsätze der Rindenschicht sich netzförmig verbinden, die Kerne aus dem Lamellenlager verschwinden und der Napf sich glättet und ausbreitet, so erhält man den „disc“ von *Raja batis*. Das Organ von *R. batis* (und *R. clavata*) stellt mithin die höchste Entwicklungsstufe des Rochenorganes dar. Auf Tafel 30 seiner letzten Abhandlung (26) hat Ewart die verschiedenen Formen der Elemente in übersichtlicher Weise zum Vergleich zusammengestellt.

Während der Schwerpunkt der Untersuchung des englischen Forschers in der Darstellung der ontogenetischen und phylo-

genetischen Entwicklung des Rochenorganes liegt, sind seine histiologischen Angaben kaum geeignet, die Mitteilungen seiner Vorgänger, besonders v. Köllikers und M. Schultzes, zu erweitern. Am eingehendsten wurde der Bau der Elemente von Raja batis (23 und 26) untersucht, an welchem die oben genannten drei Schichten unterschieden wurden. Das Verhältnis dieser drei Schichten zu einander hat Ewart richtig erkannt, indem er feststellte, dass die Lamellenschicht („striated layer“) rings umgeben wird von einer kernhaltigen Schicht; der vordere (electric layer) und hintere (alveolar layer) Teil dieser Schicht stossen am Rande der Scheibe zusammen und gehen hier kontinuierlich in einander über, wie auch schon Sanderson und Gotsch früher abgebildet hatten.

Von dem „electric layer“ heisst es (26, pag. 397): „The electric layer may be described as consisting of two laminae, an anterior (the nervous) in which the nerve fibres seem to terminate, and a posterior (the nuclear) which contains numerous nuclei. The nervous lamina, which consists of fine granular protoplasm, is best understood when considered along with the nerves which reach it.“

Sodann beschreibt Ewart zutreffend den Verlauf der Plattenerven, ihre reiche dichotomische Verzweigung und betont, dass keine Netzverbindungen dieser Äste vorkommen. Auch die grossen Kerne der marklosen Nerven werden erwähnt.

In Betreff der Nervenendigungen ist Ewart indessen ein merkwürdiges Versehen passiert, wenn er sich auch über diesen Punkt nicht bestimmt äussert: (26, pag. 398 und 399): „How the nerve fibres actually terminate has not been definitely settled. I have devoted much time endeavouring to find out what becomes of the terminal twigs when they reach the disc, without any very satisfactory result. The terminal branches are so numerous that even in thin sections but little can be made out.

In many preparations each nerve seems to terminate in a loop, while in others the terminal branches seem to form a network."

„What becomes of the axis cylinder, I have been unable to make out. Whether the axis cylinders terminate abruptly in minute swellings, or form a network so delicate that it escapes detections, I am not in a position to say. There seems no doubt, however, that the terminal twigs of the nerves form immediately in front of the electric layer a nearly regular series of loops. These loops, which are very characteristic, stand at nearly right angles to the surface of the disc; as the terminal twigs reach the nervous lamina, the protoplasm is, as it were, heaped up around the axes cylinders thus forming an almost continuous series of minute cones.

In oblique and sometimes in horizontal sections of the discs the anterior surface of the electric layer presents a pitted appearance, the margins of the pits suggesting a delicate network. These shallow depressions which lie between the terminal nerve-fibres may result from the heaping up of the protoplasm of the nervous lamina around the limbs of the terminal nerve-loops. In conclusion, I need only add that every part of the electric layer is equally rich in nerves—everywhere all over the surface the extremely delicate terminal loops are equally abundant. There is no other organ, as far as I am aware, in which it is so easy to demonstrate the presence of a countless number of nerve-fibres terminating in a thin layer of protoplasm."

Auf Tafel 28 in Fig. 14 und 14a der letzten Abhandlung (26) und auf Tafel 68 in Fig. 5 der zweiten Arbeit (24) sind diese vermeintlichen „loops“ dargestellt. Man sieht in diesen Figuren, dass die letzten Nervenzweige hier übergehen in eine einfache der vorderen „granulierten“ Schicht dicht anliegende Reihe etwas unregelmässig geformter Ringe oder Ösen, deren jede eine kleine Öffnung begrenzt. Die Ringe sind senkrecht zur Oberfläche der „granulierten“ Lage gestellt. Das wäre so-

mit eine neue, ganz eigenartige Form von Nervenendigungen. Ein Vergleich mit meinen Abbildungen zeigt aber sofort, dass diese „loops“ von Ewart nichts weiter sind, als die Durchschnitte der Streifen des Nervenendnetzes. Ewart hat eben die scharf hervortretenden Hüllen dieser Durchschnitte für die direkten Fortsetzungen der Nerven selbst genommen und lässt in seinen Zeichnungen die Nervenenden daher irrtümlich direkt in diese Hüllen übergehen. Die „continuous series of minute cones“ wird auf dem senkrechten Durchschnitt dadurch bedingt, dass, wie ich gezeigt habe, zwischen den in die vordere Rindenschicht sich eindrückenden Nervenetzszügen die Substanz der Rindenschicht ein wenig hervorquillt. Das, was Ewart als Öffnungen seiner „loops“ zeichnet, ist dagegen der von der Hülle umschlossene Inhalt der Balkenzüge des Nervenendnetzes, die eigentliche Fortsetzung der Achsencylinder. Die Körncheneinlagerungen sind Ewart entgangen. Übrigens sind die Zeichnungen, soweit sie die Nervenverzweigungen betreffen, ziemlich schematisch, auch scheint Ewart recht dicke Schnitte untersucht zu haben. In einer Skizze seiner ersten Abhandlung (23) (Fig. 10 auf Taf. 67) kommt der Autor hinsichtlich der Nervenendigungen der Wahrheit wesentlich näher, da hier (in g) eine Reihe von wirklichen Querschnitten (anstatt der „loops“) gezeichnet ist; indessen wusste Ewart nichts rechtes damit anzufangen und hat in der Erklärung der Figur (l. c. pag. 409) ein Fragezeichen dabei gesetzt.

In Betreff der Deutung der „nuclear lamina“, des „electric layer“ und des „alveolar layer“ hatte M. Schultze schon eine richtigere Auffassung, indem er beide als aus einer spezifischen Grundsubstanz mit eingelagerten zelligen Elementen bestehend deutete. Ewart sagt darüber (26, pag. 399): „The nuclear lamina of the electric layer consists of a layer of granular protoplasm, in which numerous large oval nuclei are imbedded at nearly regular intervals. The protoplasm immediately around

the nuclei seems to be nongranular, for it is left unstained in gold chloride and other preparations.“

Und über das „alveolar layer“ (26, pag. 400): „The alveolar layer being continuous with the electric layer, and, like it, developed in intimate relation to the sarcolemma, will be described before the striated layer. It is at first represented by a thin nucleated layer of protoplasm which covers the posterior surface of the developing discs and surrounds the base of its stem. After a time a remarkable change sets in. — prong-like projections of the nucleated protoplasm grow backwards, with the result that the posterior surface of the disc appears to be studded with numerous villi. From these primary outgrowths secondary projections spring, and unite with each other to form a complex irregular network, the spaces of which open freely posteriorly. As the trabeculae develop, the nuclei increase in size, and eventually closely resemble the nuclei of the electric layer, many of them being surrounded by a broad zone of translucent protoplasm.“

In den Abbildungen sieht diese „Zone von durchsichtigem Protoplasma“ mehr aus als ein durch Retraktion der Zwischensubstanz entstandener Spaltraum; denn in Wirklichkeit ist das Protoplasma der Zellen (vgl. meine Abbildungen) reichlicher, stark granuliert und von der Zwischensubstanz gerade durch die Körnelung deutlich abgegrenzt. Die Goldpräparate scheinen Ewart nicht gelungen zu sein.

Die Entstehung der vorderen und hinteren Rindenschicht denkt sich Ewart „in intimate relation to the sarcolemma“, wie an verschiedenen Stellen seiner Abhandlungen hervorgehoben wird. Jedenfalls hat aber das Sarkolemm hiermit nichts zu thun. Auch scheint das eigentliche Sarkolemm, welches sich im ganzen Umfange der elektrischen Platte noch nachweisen lässt und, wie ich gezeigt habe, so leicht zur Ablösung kommt, Ewart völlig entgangen zu sein.

Eine bedeutsame Struktureigentümlichkeit des „electric layer“ hat Ewart indessen schon wahrgenommen (24, 26) nämlich eine Streifung der vorderen Lage dieser Schicht. Doch wurde diese Beobachtung nur bei *Raja circularis* gemacht, bei *Raja batis* konnte nichts davon gesehen werden; auch legte Ewart diesem Befunde wenig Bedeutung bei (26, pag. 399): „It may here be mentioned that in the case of *R. circularis*, the nuclear lamina is in some respects more highly differentiated than in *R. batis*. It presents a striated appearance and thus resembles the corresponding lamina in the Torpedo, which is especially characterised by the „palisade“ of Remak -- the „nerve hairs“ of Ranvier. The striation of the nervous lamina is probably of little significance, but the fact that in one of the Skates (*R. circularis*) there is a palisade-like arrangement, helps to show that while a complete electric element in the Skate differs greatly from a complete element in the Torpedo, the essential parts are practically identical.“

Auf Taf. 28 in Fig. 14 und 14a ist diese „striation“ dargestellt als unbestimmte, in dem granulierten Lager sich allmählich verlierende Streifung. Ohne Zweifel wird dieses gestreifte Aussehen bedingt durch die von mir oben beschriebenen elektrischen Stäbchen. Man sieht, Ewart war nahe daran, die elektrischen Stäbchen bei *Raja* zu entdecken.

Schliesslich darf ich eine andere Beobachtung nicht unerwähnt lassen, die Ewart an dem „alveolar layer“ gemacht hat. In Fig. 5 auf Tafel 68 (24) und in Fig. 14 auf Taf. 28 (26) ist in dem hintersten Abschnitt dieser Schicht die feine Streifung wenigstens andeutungsweise abgebildet, auf welche ich oben aufmerksam gemacht und von welcher ich nachgewiesen habe, dass sie durch feine Fäden bedingt wird, welche mit dem Sarkolemm in so eigentümliche Beziehung treten. Im Text wird diese Streifung, die, wie es scheint, auch nur bei *R. circularis* zur Beobachtung kam, nur ganz oberflächlich erwähnt (24, pag. 414):

„The alveolar layer consists of a thick layer of protoplasm, containing large nuclei, each surrounded by a halo of clear protoplasm. The anterior portion of this cortical layer has, in some preparations, a granular appearance, while the outer is finely striated; but whether the striations have any special significance I cannot say“.

Der Vollständigkeit wegen sei des weiteren eine Arbeit von Muskens (27) erwähnt, in welcher die Entwicklung und der Bau des elektrischen Organs von *Raja clavata* behandelt wird. Die Abbildung Fig. 4a auf Tafel I ist sehr zu tadeln, weil die Nerven so dargestellt sind, als träten sie in grosser Zahl in die lamelläre Schicht ein, was von fast allen früheren Beobachtern mit Recht in Abrede gestellt ist. Im Text wird allerdings nur von einem „feinsten Nervenetz, das ohne weiteres mit der nach vorne gewendeten Schicht des elektrischen Kästchens verschmilzt“, gesprochen, ohne dass dafür ein Beweis geliefert wird. Dass man bei *R. clavata* nie einen Kern in der mäandrischen Schicht findet, muss ich bestreiten. Die Organisation der Elemente von *Raja miraletus* wurde ebenso wie bei *R. clavata* gefunden.

Um so bedeutungsvoller sind die wichtigen Untersuchungen von Th. W. Engelmann (30), welcher sich zur Aufgabe machte, die Umwandlungen festzustellen, welche sich bei der Metamorphose der quergestreiften Muskelsubstanz in die Lamellen des elektrischen Organs an den letzteren vollziehen. Die sehr interessanten Ergebnisse dieser Untersuchungen habe ich im Texte meiner Arbeit schon eingehend berücksichtigt; ich möchte hier nur noch die eine Thatsache, welche von Engelmann festgestellt wurde, hervorheben, dass nämlich bei dem Funktionswechsel die metabole Schicht ihr Doppelbrechungsvermögen verliert und dass dieser Schwund schon eintritt, ehe überhaupt die Umwandlung der Faser in die Anlage eines elektrischen Kästchens sich auf irgend eine andere Weise anmeldet,

also auch ehe das proximale Ende der quergestreiften Faser sich keulenförmig zu verdicken beginnt.

Während, wie aus der obigen Litteratur-Übersicht erhellt, das Schwanzorgan von Raja vom anatomischen Gesichtspunkte aus mehrfach untersucht worden ist, wurde die Physiologie des Organs lange Zeit vernachlässigt. Diese Lücke war um so fühlbarer, als die elektrische Natur des fraglichen Organs, trotz aller anatomischen Untersuchungen, durchaus noch nicht sicher gestellt war. Da man bei Berührung des Tieres nicht die geringste elektrische Wirkung fühlt, konnte diese Frage nur mit Hilfe physikalischer Untersuchungsmethoden entschieden werden.

Matteucci (6) leugnete alsbald nach dem Erscheinen der ersten Arbeiten über den Bau des Rochenorgans die elektrische Funktion desselben auf Grund seiner Experimente.

Im Jahre 1865 nahm Robin (14) seine Untersuchungen von physiologischem Gesichtspunkte wieder auf und suchte auch experimentell die elektrische Natur des von ihm zuerst genau beschriebenen Organs darzuthun. Robin kam zu positiven Resultaten und stellte schon den Satz auf, dass der Strom im Moment des Schlages vom Kopf zum Schwanzende gerichtet ist.

Aber erst in neuerer Zeit, im Jahre 1888, wurde über allen Zweifel erhaben durch die sorgfältigen Untersuchungen von Sanderson und Gotsch (22) festgestellt, dass der gewöhnliche Roche, wenn auch nur schwache, so aber doch mit feinen Instrumenten sehr deutlich wahrnehmbare Schläge austeilen kann, mithin den elektrischen Fischen zugezählt werden muss. Die beiden Forscher schätzen die elektromotorische Kraft, welche einem Kubikcentimeter des Organs von Raja entspricht, auf $\frac{1}{2}$ Volt; bei Torpedo beträgt sie wahrscheinlich zehnmal so viel. Bei jedem Schlage wird die vordere Fläche der Platten, also die Gegend der Nervenendausbreitung, negativ, die hintere positiv.

Nachschrift.

Nachdem meine Untersuchungen schon längst abgeschlossen waren, ist kürzlich über „das Schwanzorgan von Raja“ von Iwanzoff (31) eine umfangreiche Arbeit erschienen, deren Resultate allerdings in umgekehrtem Verhältniss zu ihrem Umfang stehen. Auch die zahlreichen, ziemlich roh ausgeführten Abbildungen der drei Tafeln fügen, ebensowenig wie der Text, dem schon längst Bekanntem nichts Neues hinzu, ausser der Darstellung des abgelösten Sarkolemm und einem richtigen Querschnittsbild der Nervenendigungen mit eingelagerten tingiblen Körnchen. Nach den Abbildungen zu urteilen, muss der Konservierungszustand des Materials, welches Iwanzoff benutzt hat, ein sehr schlechter gewesen sein. Daher kann auch nicht verwundern, dass Iwanzoff weder von der Strichelung der vorderen Rindensubstanz, noch von der Streifung der hinteren etwas gesehen hat, geschweige denn von den elektrischen Stäbchen. Auch der Protoplasmahof um die Kerne der Rindensubstanz ist ihm entgangen. Ebenso hat er die feinen Fäden, die sich zwischen dem blasenartig abgehobenen Sarkolemm und der Rinde ausspannen, nicht wahrgenommen, obwohl er die Abhebungen in vielen Schnitten abbildet — von Allem anderen abgesehen.

Litteratur-Verzeichnis.

1. Paul Savi, Études anatomiques sur le système nerveux et sur l'organe électrique de la Torpille. Als Anhang in dem Werke von Matteucci. Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux. Paris 1844.
2. James Stark, On the Existence of an Electrical Apparatus in the Flapper-Skate and other Rays. Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Sixty-second Session, Monday 2. December 1844. Vol. II, Nr. 25, pag. 1. The Annals and Magazine of natural History. Vol. XV, 1845, pag. 121.
3. Goodsir, The Annals and Magazine of natural History, Vol. XV, 1845, pag. 122.
4. Ch. Robin, Recherches sur un organe particulier qui se trouve sur les poissons du genre des Raies (Raja Cuv.) Compt. rend. d. séanc. d. l'Acad. d. Sciences, Paris, 18. Mai 1846, Bd. 22.
5. Derselbe, Sur un appareil qui se trouve sur les poissons du genre des Raies (Raja Cuv.) et qui présente les caractères anatomiques des organes électriques. Annales des sciences naturelles. III. série. Zoologie. Tome VII, Paris 1847, pag. 193, Pl. 3 et 4.
6. Matteucci, Mémoire sur le magnétisme développé par le courant électrique et sur un organe particulier de la Raie. Compt. rend. d. séanc. de l'Acad. d. sciences, Paris, 22. Févr. 1847, pag. 301, Tome 24.
7. A. Ecker, Einige Beobachtungen über die Entwicklung der Nerven des elektrischen Organs von Torpedo Galvanii. Zeitschrift für wissenschaftl. Zoologie, Bd. 1849, pag. 41, Anmerk.
8. H. Stannius, Handbuch der Anatomie der Wirbeltiere. II. Aufl. Berlin 1854, pag. 120–121.
9. Leydig, Kleinere Mitteilungen zur tierischen Gewebelehre. Archiv für Anatomie, Physiologie u. wissenschaft. Medicin, Jahrg. 1854, pag. 314.
10. Derselbe, Lehrbuch der Histologie des Menschen und der Tiere. 1857, pag. 207.
11. R. Remak, Über die Enden der Nerven im elektrischen Organ der Zitterrochen. Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaft. Medicin, Jahrgang 1856, pag. 471.

12. A. Kölliker, Untersuchungen zur vergleichenden Gewebelehre, angestellt in Nizza im Herbst 1856. II. Über das Schwanzorgan des gewöhnlichen Rochen. Verhandl. der physikalisch-medicin. Gesellsch. in Würzburg, VIII. Bd. 1858.
13. M. Schultze, Zur Kenntniss des den elektrischen Organen verwandten Schwanzorgans von *Raja clavata*. Archiv für Anatomie, Physiologie und wissensch. Medicin, Jahrg. 1858, pag. 193.
14. Ch. Robin, Mémoire sur la démonstration expérimentale de la production d'électricité par un appareil propre aux poissons du genre des Raies. Journal de l'anatomie et de la physiologie 1865, pag. 506 et 577.
15. Babuchin, Entwicklung der elektrischen Organe und Bedeutung der motorischen Endplatten. Vorläufige Mitteil. Centralblatt für die medic. Wissensch. 1870, Nr. 16, pag. 241; Nr. 17, pag. 257.
16. Derselbe, Über die Bedeutung und Entwicklung der pseudoelektrischen Organe. Ebenda. 1872, Nr. 35, pag. 545.
17. Derselbe, Nachträgliche Bemerkungen und Berichtigungen zu meinen Mitteilungen über den Bau und die Entwicklung der elektrischen Organe. Ebenda, 1875, pag. 624.
18. Derselbe, Übersicht der neuen Untersuchungen über Entwicklung, Bau und physiologische Verhältnisse der elektrischen und pseudoelektrischen Organe. Archiv für Anatomie, Physiologie und wissensch. Medicin. Jahrgang 1876, pag. 500.
19. Th. W. Engelmann, Über den faserigen Bau der kontraktile Substanzen, mit besonderer Berücksichtigung der glatten und doppelt schräg gestreiften Muskelfasern. Archiv für die gesamte Physiologie, Bd. 25, 1881, pag. 538.
20. E. Ballowitz, Fibrilläre Struktur und Contraktilität. Archiv für die gesamte Physiologie, Bd. 46, 1889.
21. Derselbe, Über Verbreitung und Bedeutung feinfaseriger Strukturen in den Geweben und Gewebeelementen des tierischen Körpers. Biolog. Centralblatt, Bd. IX, 1889.
22. Burdon Sanderson and F. Gotsch, On the Electrical Organ of the Skate. The Journal of Physiology, Vol. IX, 1888, pag. 137. Vol. X, 1889, pag. 259.
23. Ewart, The Electrical Organ of the Skate. On the Development of the Electrical Organ of *Raja batis*. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. 179, 1889, pag. 399, Pl. 66, 67.
24. Derselbe, On the Structure of the Electrical Organ of *Raja circularis*. Ebendort, pag. 410, Pl. 68.
25. Derselbe, The Electrical Organ of the Skate. The Electrical Organ of *Raja radiata*. Ebendort, pag. 539, Pl. 79, 80.
26. Derselbe, The Electrical Organ of the Skate. Observations on the Structure, Relations, Progressive Development and Growth of the Electrical Organ of the Skate. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. 183, 1893, pag. 389, Pl. 26—30.

27. J. J. Muskens, Zur Kenntnis der elektrischen Organe. Tijdschrift der Nederlandsche Dierkundige Vereeniging. 2. Serie. Deel IV, 1893—94, pag. 1, Tafel I.
 28. E. Ballowitz, Über den Bau des elektrischen Organs von Torpedo mit besonderer Berücksichtigung der Nervenendigungen in demselben. Archiv für mikrosk. Anatomie, Bd. 42, 1893, pag. 459, Tafel 29—31.
 29. Derselbe, Über das Vorkommen echter peripherer Nervenendnetze. Anatomischer Anzeiger, Bd. IX, 1893, pag. 165.
 30. Th. W. Engelmann, Die Blätterschicht der elektrischen Organe von Raja in ihren genetischen Beziehungen zur quergestreiften Muskelsubstanz. Archiv für die gesamte Physiologie, Bd. 57, 1894, pag. 149.
 31. Jwanzoff, Das Schwanzorgan von Raja. Bulletin de la société impériale des naturalistes de Moscou, 1895, pag. 53.
-

Tafelerklärung.

Sämtliche Abbildungen beziehen sich auf *Raja clavata* L. Wo nichts besonderes bemerkt ist, sind die Figuren bei Öl-Immersion (Winkels homogene Immersion $\frac{1}{24}$, Oc. 3, Zeiss apochrom. homog. Immers. 3,0 mm, Apert 1,40, Oc. 12) gezeichnet.

Tafel XIX/XX.

Fig. 1. Vertikaler Durchschnitt senkrecht zu den Flächen der Platte durch den Inhalt einer Bindegewebskammer. Bei G vorderes, bei G₁ hinteres Gallertgewebe; P elektrisches Element oder elektrische Platte; VR vordere, HR hintere Rindenschicht, I lamelläre Innensubstanz. Sublimat, Hämatoxylin nach Heidenhain, Eosin. Zeiss Obj. A, Oc. 4.

Fig. 2. Ein Stück eines vertikalen Durchschnittes senkrecht zur Oberfläche durch ein elektrisches Element bei stärkerer Vergrößerung. G₁ hintere Gallertsubstanz. VR vordere, HR hintere Rindenschicht, letztere mit den netzförmig verbundenen Fortsätzen; I lamelläre Innensubstanz; bei I₁, I₂, und I₃, Lamellenzüge der Innensubstanz innerhalb der Fortsätze der hinteren Rindenschicht. Bei N die feineren Nervenverästelungen mit grossen, unregelmässigen Kernen. Bei NE die in einer Reihe gelegenen Durchschnitte der Nervenendigungen. S, S, S unregelmässig abgelöstes Elektrolemm der Hinterfläche. Chromosmiumessigsäure, schwache Färbung mit Gentianaviolett, Untersuchung in Wasser. Zeiss Obj. D, Oc. 3, ausgezogener Tubus.

Fig. 3. Schnitt senkrecht zur Oberfläche durch die vordere Rindensubstanz (VR). Bei I sind noch einige Lamellen der Innensubstanz (I) mitgetroffen, von denen die untere links von der Fläche sichtbar wird (Punktierung des Flächenbildes). In der Rindensubstanz 3 Zellen mit abgeplattetem grossen Kern und deutlichem Kernkörperchen. Bei S vorderes Elektrolemm in Verbindung mit den Durchschnitten durch die Nervenendigungen (NE); in letzteren intensiv gefärbte Körnchen. Bei St Zone der elektrischen Stäbchen. Sublimat, Hämatoxylin, Wasser.

Fig. 4. Ebenso; Lamellen der Innensubstanz nicht mitgezeichnet. In der vorderen Rindenschicht 4 Zellen mit Kern. Bei St Zone der elektrischen Stäbchen. Sublimat, Säurefuchsin, Wasser.

Fig. 5. Wie Fig. 3. Die dunklen Lamellenenden stecken zum Teil in der vorderen Rindenschicht, in welcher nur eine Zelle mit einem etwas verunstalteten Kerne getroffen ist. Von den Stäbchen ist nichts mehr zu erkennen. Goldchlorid, Kali aceticum.

Tafel XXI/XXII.

Fig. 6. Netzgerüst der vorderen Rindensubstanz bei schwacher Vergrößerung von der Fläche gesehen, aus einem Golgi-Präparate. Die für die Einlagerung der Zellen bestimmten Lücken hell, Zwischensubstanz dunkel. Zeiss Obj. A, Oc. 3.

Fig. 7. Vordere Rindensubstanz von der Fläche gesehen, aus einem Zupfpräparat von mit Goldchlorid behandeltem Material, bei derselben Vergrößerung wie die vorhergehende Figur. Zwischensubstanz hell, Zellen dunkel. Zeiss Obj. A, Oc. 3.

Fig. 8. Isolierte Zellen der vorderen Rindensubstanz aus einem Zupfpräparat von mit Goldchlorid behandeltem Material.

Fig. 9 und 10. Zwei Stücke des Netzgerüsts der vorderen Rindensubstanz bei starker Vergrößerung von der Fläche gesehen, aus Golgi-Präparaten. Nur in Fig. 10 sind in 3 durch die Zellen ausgesparte helle Lücken die Zellkerne eingetragen.

Fig. 11—14. Durchschnitte durch Lamellen der Innensubstanz senkrecht zu ihrer Oberfläche. Fig. 11 und 12 Chromosmiumessigsäure, Anilinfarben, Wasser. Fig. 13 und 14 Goldchlorid, Kali aceticum. Buchstabenbezeichnung nach Rollett. Z Zwischenscheibe, N Nebenscheibe, E einfach brechende Substanz zwischen Z und N, M Mittelscheibe.

Fig. 15 und 16. Flächenansicht des mit den Stäbchen besetzten Nervenendnetzes bei hoher (Fig. 15) und bei tiefer (Fig. 16) Einstellung. Bei hoher Einstellung sieht man die am Rande der Nervenendigung kammförmig vorragenden Stäbchen, bei tiefer Einstellung (Fig. 16) die durch die Stäbchen bedingte elektrische Punktierung der Nervenendigungen. Bei N tritt ein Nervenendzweig in das Endnetz über.

Tafel XXIII und Tafel XXIV/XXV.

Fig. 17—19. Flächenansichten des „Stäbchennetzes“ (siehe Text) in Golgi-Präparaten, Fig. 17 bei stärkster Vergrößerung (Winkels homogene Immersion $\frac{1}{24}$, Ocul 5, ausgezogener Tubus), Fig. 18 bei etwas schwächerer und Fig. 19 bei noch schwächerer Vergrößerung (Zeiss apochr. 8,0 mm, Apert 0,65, Oc. 12).

In Fig. 17 liegt das Netz so, dass seine mit den Stäbchen besetzte Hinterfläche nach oben gegen das Deckgläschen gerichtet ist. Die an der Vorderfläche der Platte gelegenen Nerven (N, N, N) müssen also im Präparate von unten her an das Netz herantreten. An den Eintrittsstellen der letzten Nerven zweige sind die Netzbalken auf kurze Strecken geschwärzt (siehe den Text). Es sind übrigens nicht alle herantretenden Nerven gezeichnet, um die Zeichnung nicht zu unübersichtlich zu machen. An manchen Stellen, z. B. bei O,

kommt in Folge geringer Faltungen der Plattenfläche der (im Präparat nach unten gekehrte) in der Platte nach vorne sehende, stäbchenfreie Teil des „Stäbchennetzes“ zu Gesicht.

In Fig. 18 sieht das Netz mit seiner stäbchenfreien, vorderen Fläche nach oben gegen das Deckglas, während die Stäbchen der Hinterfläche nach unten gerichtet sind. Die Ecke oben rechts ist bei oberflächlicher Einstellung gezeichnet: von den Stäbchen ist noch nichts zu sehen. Alles andere ist bei tiefer Einstellung gezeichnet: die Stäbchen sind deutlich, die randständigen blicken oft am Rande der Netzzüge hervor, die übrigen erscheinen als dunkle Punkte. Im unteren Theil des Präparates ist die Imprägnation des Netzes nur bruchstückweise erfolgt. Aus der Tiefe schimmert die (im Präparat dicht unter dem „Stäbchennetz“ gelegene) mit den Zelllöchern versehene Gerüstmembran der vorderen Rindensubstanz (vergl. damit Figur 9 und 10 auf Tafel XXI/XXII) hervor, gegen welche die Stäbchen gerichtet sind. Die Netzzüge gehen über die Zelllöcher hinweg.

Fig. 19. Das Netz liegt genau so orientiert wie in Fig. 18. Bei der schwächeren Vergrößerung dieser Figur erscheinen die am Rande vorstehenden, mehr schräge gerichteten Stäbchen stiftartig, während die übrigen auf der Netzausbreitung ein sehr deutliches Bild der „elektrischen Punktierung“ hervorrufen. (Vgl. Fig 15 und 16 auf Tafel XXI/XXII.) Die zahlreichen zu dem Netz gehörigen Nerven dieses Präparates sind mitsamt ihren dunkel gefärbten Eintrittsstellen in der Zeichnung fortgelassen, um das Bild nicht unübersichtlich zu machen.

Tafel XXVI/XXVII.

Fig. 20—22. Aus Zupfpräparaten von mit Osmiumsäure fixiertem Material bei Untersuchung in Wasser. Scharf eingestellte Stücke des Nervenendnetzes bei Flächenansicht. Bei N, N, N Eintrittsstellen von Nervenendzweigen. Man erkennt deutliche Netzmaschen.

Fig. 23. Aus einem etwas dickeren Schnitt, der senkrecht zur Plattenoberfläche gerichtet ist, Golgi-Präparat. Man sieht die äusserst zahlreichen, der Vorderfläche der Platte zustrebenden, dichotomisch sich teilenden, sich oft überkreuzenden Nervenäste mit den z. T. inkrustierten Nervenendigungen. Schwache Vergrößerung (Zeiss A, Oc. 3).

Fig. 24—27. Die (von mir im Text beschriebene erste Form der) Nervenendigungen mit zutretenden Nerven (N, N, N). (Vgl. Fig 17, auf Taf. XXIII). Golgi-Präparat. In Fig. 24 und 27 unzweifelhafte Netzmaschen.

Fig. 28. Aus einem Schnitt senkrecht zur Oberfläche der Platte, der durch das „Stäbchennetz“ gegangen ist. Man sieht die in einer Reihe gelegenen Durchschnitte der Netzstreifen; die vordere (in der Zeichnung obere) Fläche der Hülle ist frei von Stäbchen, nur die hintere (in der Zeichnung untere) Fläche trägt den Stäbchenbesatz. An 3 Stellen gehen Nervenendäste (N) in das Netz über, diese Durchschnitte sind dunkel gefärbt. (Vgl. Fig. 3 und 4 auf Taf. XIX/XX und Fig. 17 auf Taf. XXIII Golgi-Präparat.

Fig. 29. Schnitt durch die netzig verbundenen Fortsätze der hinteren Rindenschicht (H R, H R), parallel der Hinterfläche der elektrischen Platte. Die

Substanz der hinteren Rindenschicht ist dunkel gefärbt, in ihr grenzen sich die mit grossem Kern versehenen Zellen deutlich ab. (Vgl. Fig. 2 auf Taf. XIX/XX, HR). (Lamellensubstanz der Innenschicht war an dieser Stelle in den Fortsätzen nicht vorhanden.) G₁ hinteres Gallertgewebe mit Gallertfibrillen und grossen verzweigten Zellen. Das Elektrolemm (S) hat sich fast überall von der Rindensubstanz abgelöst (vgl. auch Fig. 2, S); zwischen S und der Rindensubstanz sind die zahllosen Fixationsfädchen sichtbar. Goldpräparat. Zeiss Apochr. 8,0 mm, Apert 0,65, Oc. 12.

Tafel XXVIII/XXIX.

Sämtliche Figuren nach Golgi-Präparaten, zur Demonstration der in der Lamellensubstanz befindlichen, mit dem Netzgerüst der Rindensubstanz innig verbundenen Fächennetze.

Fig. 30. Etwas dickerer Schnitt durch die lamelläre Innensubstanz parallel den Plattenflächen. Gewirre der übereinander und durcheinander liegenden Fächennetze. Winkel Obj. 8, Oc. 3.

Fig. 31—35. Fächennetze bei stärkster Vergrösserung isoliert dargestellt.

Fig. 31 und 32 Fächennetze von der Fläche.

Fig. 33 zeigt die lamelläre Anordnung der Fächennetze. Die Lamellen sind oben senkrecht zu ihrer Oberfläche getroffen, infolge dessen erscheinen hier die Netze als einfache Reihen von punktförmigen Durchschnitten der Fädchen. Bei der oft zu beobachtenden unregelmässigen Biegung der Lamellen gehen die senkrechten Durchschnitte nach unten hin allmählich in Flächenschnitte der Lamellen über, so dass man Schritt für Schritt immer grössere Flächenansichten der feinfädigen Netze erhält.

Fig. 34. Zeigt ähnliches wie Fig. 33. Die dunklen Lamellen grenzen sich noch einigermaßen deutlich von den hellen ab. Auf dem senkrechten Durchchnitt sieht man den Durchchnitt je eines Stäbchennetzes in der Mitte je einer hellen Lamelle gelegen (entsprechend der Lage von M in Fig. 12 und 14 auf Tafel XXI/XXII).

Fig. 35. Etwas dickerer Schnitt senkrecht zur Vorderfläche der Platte. VR Netzgerüst der vorderen Rindenschicht mit Zelllücken. Man sieht den innigen Zusammenhang der Fächennetze mit dem Netzgerüst der Rindensubstanz; links wird die lamelläre Schichtung der Fächennetze deutlich. (Vgl. den Text.)