© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Wilh. Roux: Beitrag 6 zur Entwickelungs-Mechanik des Embryo.

Ueber die „morphologische" Polarisation von Eiern und Embryonen durch den elektrischen Strom, sowie über die Wirkung des elektrischen Stromes auf die Richtung der ersten Theilung des Eies.

Sitzungsberichte der kaiserl. Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathem.-naturw. Classe; Bd. C I, Abth. I, Jänner 1892. S. 26—255. 3 Tafeln.

Autoreferat.

Im Frühjahre 1891 machte ich Versuche an Eiern des braunen Grasfrosches (Rana fusca) und des grünen Wasserfrosches (Rana esculenta) mit dem Wechselstrom, der zur elektrischen Beleuchtung des k. k. anatomischen Institutes zu Innsbruck dient. Der verwendete transformirte Strom hat eine Spannung von 100 Volt. Darauf wurden auch Versuche mit einem Gleichstrom von 43 Volt angestellt.

Der Zweck der Versuche war, festzustellen, ob der elektrische Strom die Richtung der ersten Theilung des Eies zu beeinflussen vermag.

Die Beantwortung dieser Frage schien mir von Bedeutung, da wir mit ihrer Entscheidung im positiven oder

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

negativen Sinne eine Andeutung darüber erhielten, ob bei den morphologischen Vorgängen der indirecten, mitotischen Kerntheilung elektrische Wirkungsweisen einen wesentlichen Antheil haben oder nicht. Denn es ist klar, dass diese typischen Gestaltungen durch den elektrischen Strom alterirt werden müssen, sofern sie selber durch elektrische Kraftwirkungen vermittelt werden.

Ein sicheres negatives Ergebniss musste diese Eventualität als unzutreffend erweisen, ein positives zu weiteren Untersuchungen darüber auffordern, ob die beobachtete Wirkung des elektrischen Stromes eine directe Wirkung auf die mitotischen Theilungsvorgänge oder eine indirecte, etwa durch Einwirkung auf den Zellleib vermittelte ist, beides wichtige Eventualitäten.

Aus diesen Gründen hatte ich schon im Jahre 1885[1]) die gleiche Frage geprüft, aber ein negatives Ergebniss erhalten. Doch musste der mir damals zur Verfügung stehende Strom, ein Gleichstrom von drei Bunsen'schen Elementen viel zu schwach erscheinen, um eine sichere negative Folgerung zu gestatten. Zur Ableitung eines solchen Schlusses mussten Ströme von einer Stärke angewendet worden sein, die der deletär wirkenden Stromstärke benachbart war. Da zu vermuthen war, dass der Strom meiner jetzigen Anstalt die genügende Stärke haben werde, und da zudem bei den früheren Versuchen die in eine Glasröhre aspirirten Froscheier nur von einer aussen umgewundenen Spirale aus umströmt, nicht aber die Eier selber durchströmt worden waren, so nahm ich diese Versuche wieder auf und begann zunächst mit der noch nicht verwendeten Methode der directen Durchströmung.

---

[1]) Beiträge zur Entwickelungs-Mechanik des Embryo, Nr. 3: Ueber die Bestimmung der Hauptrichtungen des Froschembryo im Ei und über die erste Theilung des Froscheies. Breslauer ärztliche Zeitschr., 1885, Nr. 6 u. f., Separat-Abdruck. S. 38 u. f.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Sogleich bei dem ersten, behufs Orientirung über die etwa nöthige Versuchs-Anordnung angestellten Versuche trat ein evidentes Resultat der Einwirkung des Wechselstromes hervor.

An einem 2 cm breiten und 4 cm langen, der Länge nach durchströmten, wagrecht orientirten Bande von Froschlaich aus vor zwei Stunden befruchteten Eiern bemerkte ich bei einer nach zehn Minuten vorgenommenen Besichtigung schon an jedem Eie eine senkrecht stehende, das Ei halbirende Furche, welche an allen Eiern rechtwinkelig zur Stromrichtung orientirt war. Ich glaubte natürlich, die fragliche richtende Wirkung des Stromes auf die Eitheilung gefunden zu haben; nur wunderte mich, dass die erste Furche eine ganze halbe Stunde eher, als ich nach der Zimmertemperatur erwartet hatte, aufgetreten war. Als ich diese Furche jedoch mit der Loupe besichtigte, fiel mir sogleich auf, dass sie ein wenig weiter war, als normale Theilungsfurchen des Froscheies zu sein pflegen, und dass sie sich nach der Tiefe zu nicht verengte, nicht sich zu einem engen Spalt verjüngte.

Dies liess erkennen, dass hier eine ganz andere Erscheinung vorlag; und die nächsten sogleich vorgenommenen, etwas variirten Versuche bestätigten diesen Schluss.

Die neue Erscheinung erregte durch ihre typischen Gestaltungen mein Interesse derart, dass ich ihr eine zeitlang ausschliesslich nachging. Diese Sachlage war der Grund, dass ich in der Folge zwei in ihrem Wesen verschiedene, aber grösstentheils in der nöthigen Versuchs-Anordnung und dem Versuchsmateriale übereinstimmende Themata zugleich behandelt, und dass ich überhaupt eine Gruppe von Erscheinungen bearbeitet habe, die, wie sich bald herausstellte, mehr in das Gebiet der jetzigen Physiologie, als in das der Enwickelungs-Mechanik gehört.

Berichten wir zunächst von den Ergebnissen, welche sich auf das ursprüngliche Thema beziehen.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Wirkung des elektrischen Stromes auf die Richtung der ersten Theilung des Eies.

Es war meine Absicht, die Eier mit dem stärksten, nicht mehr deletär wirkenden Strom zu beeinflussen. Dadurch wurde möglich, endgiltig zu prüfen, ob der Wechselstrom eine Wirkung auf die Richtung der ersten Theilung des Eies ausübt, welche, wie ich[1]) und bald darauf Pflüger[2]) festgestellt haben, die Medianebene des Froschembryo darstellt, so dass sie also das Eimaterial qualitativ und quantitativ halbiren muss und daher meiner Meinung nach eher auf den Wechselstrom reagiren könnte, als auf den Gleichstrom, der sich mehr für die zweite, nach meinen Beobachtungen Kopf- und Schwanzwärts sondernde Theilung zu qualificiren schien. Damit war ich zum Ausgangsproblem der mitzutheilenden Versuche zurückgelangt. Dahin führte auch die unten erwähnte Beobachtung, dass an Eiern mit zwei sehr kleinen Polfeldern die erste Furche auffallend häufig in der mittleren Verbindungslinie beider Polfelder lag. Durch Aspiration von Eiern in enge Glasröhren (wodurch die Eier verlängert werden) und darauf folgende Durchströmung längs der Röhre hätte sich direct entscheiden lassen, ob diese Richtung der Furche als besondere Wirkung des Stromes oder bloss der Verkleinerung des Eies in eben dieser Richtung durch Wegfall der an den Polen befindlichen veränderten Substanz bedingt sei, denn Pflüger und ich haben experimentell nachgewiesen, dass die ersten Theilungen des Froscheies gewöhnlich in den kleinsten Richtungen des Zellleibes erfolgen.

---

[1]) W. Roux, Ueber die Zeit der Bestimmung der Hauptrichtungen des Froschembryo. Leipzig, 1883.

[2]) E. Pflüger, Ueber den Einfluss der Schwerkraft auf die Theilung der Zellen. Pflügers Arch. f. Physiologie, 1883, Bd. 31.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Da jedoch schon bei den ersten bezüglichen Versuchen an den Probeeiern Zeichen von der entwicklungsstörenden Wirkung der künstlich verzögerten Laichung aufgetreten waren, sah ich mich veranlasst, eine dieser beiden Fragen zu bevorzugen, um wenigstens noch eine Frage erledigen zu können, und wählte die erstere, umfassendere.

Ich schwächte den Wechselstrom von über 20 Ampère Stärke und 100 Volt Spannung in Ermanglung eines Rheostaten durch den Widerstand einer halbprocentigen Kochsalzlösung in einem Glasrohre von 81 cm. Länge und 7 mm. Durchmesser so stark ab, dass nach Aufsetzung der Elektroden nahe der Mitte der 7—9 cm. im Durchmesser haltenden, runden Schalen nur die den Elektroden nächsten Eier Polfelder (s. u.) bildeten. Mit diesem Wechselstrom wurden nun Eier in verschiedenen Phasen, nämlich während der Copulation der beiden Geschlechtskerne, während der Existenz des Furchungskernes und während der Theilung desselben durchströmt. Als die erste Theilungsfurche aufgetreten war, zeigte sich, dass die Richtungen dieser Furchen an den etwa 200—250 Eiern einer Schale keine Beziehung zu den Niveauflächen oder Kraftlinien erkennen liess. Darauf wiederholte ich dasselbe Experiment mit dem maximalen ertragenen Gleichstrom. Die Durchströmung begann 2 Stunden nach der Befruchtung und dauerte $1^1/_4$ Stunden bis zum Auftreten der ersten Furche. Der Strom war gerade so stark, dass die der Elektrode nächsten Eier noch kleine Polfelder bildeten. Die ersten Furchen waren jedoch wieder wie beim Wechselstrom vollkommen atypisch gerichtet, und liessen somit trotz $1^1/_4$ stündiger Wirkungsdauer in ihrer Richtung keine Beziehung zu den Kraftlinien des Stromfeldes erkennen. Damit ist dargethan, dass weder der Wechsel- noch der Gleichstrom auf die Richtung der ersten Theilung des Furchungskernes (s. Keimkernes) und des Eileibes eine directe bestimmende Wirkung auszuüben vermag.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Des Weiteren wiederholte ich den vor Jahren mit einem schwachen Gleichstrom erfolglos angestellten Versuch der Umströmung der Eier jetzt mit dem Wechselstrom. Es wurden frisch befruchtete Eier in eben noch so weite Glasröhren aspirit, dass sie keine Pressung in denselben erlitten, und darauf bei wagrechter Lage der Röhre mit dem zur Vermeidung zu hoher Erwärmung durch eine eingeschaltete Schale von schwacher Kochsalzlösung genügend abgeschwächten Wechselstrom stundenlang in dicht, aber bloss in einer Lage um die Röhre gewundenen Spiraltouren umströmt. Jedoch auch bei dieser Versuchsanordnung war keine richtende Wirkung des Stromes auf die erste Theilung des Eies, also keine Wirkung einer dynamischen Induction zu erkennen; die erste Furche der verschiedenen Eier stand weder durchweg quer zum Solenoid oder längs desselben oder wagrecht, sondern, wie sonst bei zwangloser Aufsetzung der Eier, allenthalben senkrecht, aber in den verschiedensten Richtungen.

Darauf stellte ich Versuche zur Ermittelung eventueller Einwirkung des Wechselstromes auf die Besamungsrichtung des Eies, sowie auf die Copulationsrichtung des Eikernes und Samenkernes an.

Um nicht etwa einen Einfluss des Wechselstromes bloss auf die Bewegung der Samenkörper innerhalb der Gallerthülle der Froscheier festzustellen, da das zuerst an der schwarzen Eirinde ankommende Samenthierchen das Froschei befruchet, sondern um den Einfluss des Stromes auf die Besamung des Eies zu ermitteln, wurden Eier des grünen Frosches erst zehn Minuten nach der Begiessung mit Samen (also zu einer Zeit, da die Samenkörper die Gallerthülle schon bald durchdrungen haben und an das Ei selber gelangen) mit dem durch Einschaltung der 81 cm. langen, mit $^1/_4$ procentiger Kochsalzlösung gefüllten Röhre geschwächten Strom in constanter Richtung durchströmt. Es konnte sich dabei herausstellen, dass etwa die Samenkörper leichter an den

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Polen oder an dem elektrischen Aequator des Eies eintreten, was daran zu erkennen gewesen sein würde, dass die später auftretende erste Theilungsebene des Eies durch diese Stelle hindurch ginge; denn in habe früher experimentell nachgewiesen[1]), dass bei zwanglos gehaltenen Froscheiern die erste Theilungsebene (welche zugleich das Ei halbirt und senkrecht steht) durch die Eintrittsstelle des Samenkörpers in das Ei hindurch geht. Die Durchströmung wurde fortgesetzt, bis die Eier sich nach 32 Minuten mit den hellgelben Hemisphären nach unten gedreht hatten, also bis zum ersten äusseren Zeichen der erfolgten Befruchtung. Als nach $2^1/_4$ Stunden die erste Theilung eintrat, standen jedoch die Theilungsebenen der Eier ohne jede constante Richtung zu den Stromlinien.

Unmittelbar nach der Stromunterbrechung in dieser Schale wurde mit demselben Strom eine andere Schale durchströmt, deren Eier sich soeben gedreht hatten. Es geschah, um zu prüfen, ob die Stromrichtung auf die Richtung der nun folgenden Vereinigung des Samenkernes und des Eierkernes wirke, welche Vereinigungsrichtung, wie ich loco cit. gezeigt habe, gleichfalls die Richtung der ersten Furche zu beeinflussen vermag. Nach $2^1/_4$ Stunden lang fortgesetzter Durchströmung trat die erste Theilung ein; aber die Richtungen dieser Theilungen liessen wieder keine Beziehungen zu den Stromrichtungen erkennen. Da ich schon dargethan hatte, dass der Wechselstrom nach stattgehabter Copulation dieser Kerne nicht richtend auf die erste Theilung des Keimkernes, sowie auf die des Zellleibes der Eier zu wirken vermag, so hätte eine jetzt hervorgetretene Constanz in der Stellung dieser ersten Theilungsrichtung zur Stromrichtung eine

---

[1]) W. Roux, Beiträge zur Entwickelungsmechanik des Embryo, Nr. 4. Die Bestimmung der Medianebene des Froschembryo durch die Copulation des Eikernes und des Spermakernes. Arch. f. mikroskop. Anatomie, Bd. 29, 1887.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Einwirkung des Stromes auf die Copulationsrichtung erschliessen lassen.

Während dieser langdauernden Durchströmung hatten bloss die den Elektroden nächsten Eier Polfeder, und zwar bloss von sehr geringem Umfange gebildet. Es erhellt also, dass die anderen, ferner stehenden Eier mit der stärksten noch ertragenen Stromdichte behandelt worden waren. Da damit aber keine richtende Wirkung auf die Besamungsrichtung und auf die Copulationsrichtung erzielt worden ist, so geht hervor, dass der Wechselstrom eine richtende Wirkung auf die Vorgänge der Besamung und der Copulation der Geschlechtskerne überhaupt nicht auszuüben vermag; und da die Durchströmung auf die Periode der Theilung des durch die Copulation gebildeten Keimkernes und des Zellleibes ausgedehnt worden war, so ist zugleich auch die Unwirksamkeit des Wechselstromes auf die Richtung dieser Vorgänge auf's Neue bestätigt worden.

Diesen negativen Befunden in Bezug auf eine richtende Einwirkung des elektrischen Stromes auf die Vorgänge der Befruchtung und ersten Theilung des Froscheies stehen nun reiche Ergebnisse in Bezug auf eine specifische anderweite Reactionsfähigkeit des Eies auf den elektrischen Strom gegenüber, zu deren vollständiger Mittheilung wir nun fortschreiben wollen, soweit sie den Frosch betreffen.

Die „morphologische" Polarisation von Froscheiern und -Embryonen durch den elektrischen Strom.

Die an die zuerst mitgetheilten sich anschliessenden Versuche ergaben im Wesentlichen folgende Resultate:

Beim Durchströmen eines geraden Bandes Froschlaich von 5 bis 9 cm. Länge, 2 bis 2·5 cm. Breite und einer einzigen Eilage Höhe, in Richtung der Länge des Bandes von 1·7 cm. breiten Platinelektroden aus, entsteht an jedem der vor ein bis drei Stunden befruchteten Eier innerhalb 15 bis 30 Secunden eine deutliche Scheidung der annähernd kugeligen Oberfläche in drei

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Felder, welche durch zwei einander parallele kreisförmige Grenzlinien gesondert sind, nämlich in zwei einander gegenüber liegende, den Elektroden zugewendete Polfelder mit veränderter Oberfläche und ein zwischen ihnen gelegenes äquatoriales Gürtelfeld ohne solche Veränderung. Diese Scheidung der Oberfläche erfolgt gewöhnlich zunächst durch Aufhellung im Bereiche des Polfeldes unter anfänglichem Entstehen einer punctirten oder netzartigen helleren Zeichnung; manchmal treten auch schon, ehe eine Verfärbung der Oberfläche erkennbar ist, auf der unteren, hellgrauen, oft fast weissen Hemisphäre des Eies die beiden Parallelkreise als schwärzliche Linien auf und bewirken so die erste sichtbare Scheidung in die drei Abschnitte. Bei weiterer Einwirkung des Stromes vertieft sich nach ein bis zwei Minuten die Stelle dieser beiden Parallelkreise zu je einer deutlichen, oben tieferen Ringfurche, und in derselben treten oben weisse Flecken, durch Austritt von Eisubstanz bedingt, auf. Längs der Mitte des Aequatorgürtels entsteht unter vollkommener Aufhellung seiner Ränder auf der helleren Unterseite des Eies nicht selten eine schwärzliche Linie mit oder ohne scharfe seitliche Grenzen, also eine Pigmentanhäufung. An der schwarzen, oberen Hemisphäre des Eies sieht man, wenn die Polfelder sich nicht genügend aufhellen, nur die beiden Ringfurchen.

Während somit im Einzelnen das Bild der Veränderungen, und zwar je nach der Dauer und Stärke des wirkenden Stromes, und wohl auch nach der Beschaffenheit der Eier selber, ein etwas verschiedenes ist, so ist das Wesentliche der Erscheinungen vollkommen constant, nämlich die Theilung der Eioberfläche in zwei den Elektroden zugewendete, sichtbar veränderte Polfelder und einen sie trennenden, nicht veränderten, oder nur schwach und in anderer Weise veränderten Aequatorgürtel; und zwar sind diese drei Felder bei der erwähnten Anordnung des Versuches durch zwei fast oder ganz parellele, continuirlich (ungezackt) ver-

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

laufende, rechtwinkelig zur Stromrichtung orientirte Ringlinien gegen einander abgegrenzt.

Der Abstand dieser beiden Grenzlinien von einander ist an Eiern, welche in der Nähe der Elektroden stehen, am geringsten und nimmt gegen die Mitte des Stromfeldes allmälig etwas zu. Ist der Strom durch Einschaltung grosser Widerstände geschwächt, so vergrössert sich der Abstand; arbeitete ich, wie gerade beim ersten Versuche, ohne solche Widerstände, so treten die sich erhebenden Ränder der beiden Polfelder oben einander so nahe, dass der von ihnen begrenzte, tiefer liegende Aequatorgürtel bloss als der schmale Grund einer einzigen Furche erscheint.

Ueber die Stellung der beiden Grenzlinien zu einander und zur Richtung der Kraftlinien des Stromes erfuhr ich Weiteres durch eine Aenderung der Versuchs-Anordnung, indem statt der Verwendung eines parallel contourirten Bandes von Froschlaich, die ganze runde Schale gleichmässig mit einer einzigen Lage von Froscheiern ausgefüllt und dies Material von zwei einander entgegengesetzten Stellen des Randes der Schale aus und unter Benutzung schmalerer Elektroden durchströmt wurde. Die Gesammtheit der beiden Linien von allen Eiern markirt alsdann typische Curven, die leichter zu erkennen sind, wenn man die Schale nach Beendigung des Versuches umdreht und die hellen unteren Hemisphären betrachtet, als bei Besichtigung der schwarzen Furchen auf der schwarzen oberen Eihälfte. Da die Froscheier durch ihre dicken Gallerthüllen von einander geschieden sind und nicht in den Curven entsprechenden Reihen liegen, so bilden die beiden Grenzlinien aller der etwa 200 Eier einer Schale keine continuirlich gezeichneten Curven, sondern man muss sich die Curven aus den vielen nebeneinanderliegenden Bruchstücken selber integriren; was aber bei Benutzung einer schwachen Loupe nicht schwer fällt. Das Bild, welches man so gewinnt, ist folgendes: Die Curven beginnen,

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

entsprechend dem zuerst mitgetheilten Versuche, alle rechtwinkelig zu der mittleren geraden Verbindungslinie der Elektroden und wenden sich dann, die nächste Elektrode im Bogen umziehend, unter allmäliger Vergrösserung ihres Abstandes gegen den Rand der Schale, um daselbst in rechtem Winkel zur Umrandung zu enden. Die Krümmung der Curven ist daher unmittelbar neben den Elektroden am stärksten und nimmt bis zu der in gerader Richtung verlaufenden mittelsten Linie allmälig ab. Beide Grenzlinien jedes Eies entsprechen dieser Schilderung; es sind also beide bloss gegen die nächste Elektrode concav; nur an den in der rechtwinkelig zur Stromrichtung orientirten Mittellinie der Schale liegenden Eiern ist jede von beiden Grenzlinien gegen eine andere Elektrode concav. Auch stehen nur an den durch diese Mittellinie halbirten Eiern und an den in der geraden Verbindungslinie der Elektroden sich befindenden Eiern die Grenzlinien symmetrisch zu einem Eimeridian, wenngleich dies der flüchtigen Betrachtung an vielen Stellen so scheinen mag. Bei genauer Betrachtung der für diese Unterscheidung charakteristischen Stellen an vollkommen normalen Eiern kann kein Zweifel bestehen, dass die Richtung dieser Linien ihrem Wesen nach nicht zu einer im Ei selber gelegenen Linie typisch bestimmt ist, sondern dass diese Bestimmung von aussen her, in je nach der zufälligen Lage der Eier zu den Elektroden und zur Gesammtform des elektrischen Feldes verschiedener Weise getroffen wird. Dessgleichen hängt auch der Abstand dieser Grenzlinien wesentlich von den genannten äusseren Umständen ab (mit der Einschränkung, dass bei grösseren Eiern sie vielleicht ceteris paribus weiter von einander entfernt sind, worüber ich in Ermangelung von Rieseneiern noch keine Beobachtungen machen konnte).

Ich halte die durch diese Grenzlinien markirten Flächen für Potentialniveauflächen, also für äquipotentiale Flächen des ganzen elektrischen Feldes.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

In der Ueberzeugung, dass meine Vorstellung von der Gestalt der äquipotentialen Flächen die zutreffende ist, habe ich die erwähnten Grenzlinien des durchströmten Froscheies weiterhin als Niveauringe bezeichnet; doch soll damit die Möglichkeit nicht ausgeschlossen sein, dass bei genauerem Vergleiche kleine typische Abweichungen obiger Niveauringe von den Niveaulinien zu ermitteln sein werden; Abweichungen, die aber dann wohl nur durch secundäre Momente bedingt sind und den Hauptcharakter unserer Niveauringe als äquipotentialer Linien nicht alteriren werden. Solche Abweichungen sprachen sich in typischer Weise darin aus, dass im Bereiche der oberen, dunklen Hemisphäre der Froscheier der Aequatorgürtel stets eine nach der Mitte zunehmende Verbreiterung darbot.

Auch war an manchen Eiern, an denen die Polfelder sehr grobkörnig gebildet worden waren, die Grenze letzterer nicht continuirlich gerichtet, sondern gezackt; und die Gesammtkrümmung der Grenzlinien entsprach dann auch nicht vollkommen dem Durchschnitt von Niveauflächen des elektrischen Feldes durch die Eioberflächen. Diese letzteren im Anfange der Versuche an den frischen Eiern nicht vorgekommenen Fälle halte ich indess für abnorm, für bedingt durch die bei künstlicher Verzögerung der Laichung auftretenden Veränderungen, welche auch schon viele Abweichungen vom normalen Furchungsschema veranlassen.

Noch charakteristischer als bei der letzterwähnten Versuchsanordnung, noch evidenter äquipotentialen Flächen entsprechend, werden die durch die Niveauringe gebildeten Curven, wenn man die Elektroden nicht an den Rand, sondern entfernt vom Rande der Schale und auf die Fläche der Froschlaichlage aufsetzt. An den Eiern, welche alsdann von oben aus durchströmt werden, liegen die beiden Niveauringe fast wagrecht, während sie an den wagrecht durchströmten entfernteren Eiern senkrecht stehen. Es ist vollkommen deutlich, dass die durch die beiden

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Niveauringe markirten Flächen rechtwinkelig zu den Kraftlinien stehen.

Ehe wir weiter schreiten, seien einige Termini erläutert, deren Gebrauch die fernere Darstellung verkürzen wird.

Unter den Polen eines von uns durchströmten Gebildes wird jederseits die der Elektrode dieser Seite nächste, also gegen die Elektrode vorspringende Stelle verstanden. Die Polseiten sind die gegen die Elektroden gewendeten Seiten eines Gebildes. Als Polmeridiane werden die über die Oberfläche des betreffenden Gebildes von Pol zu Pol gezogenen Linien minimaler Krümmung benannt. Das Polfeld bezeichnet den Pol und dessen Umgebung, wenn, respective soweit die Theile durch den Strom polar verändert worden sind. Polabschnitt sei der Abschnitt des durchströmten Objectes, der etwa durch eine Fläche minimaler Krümmung abgetrennt wird, welche durch die Grenzlinie oder, wenn sie vorhanden ist, durch die Grenzfurche des Polfeldes hindurch gelegt werden kann. Die beiden Flächen fassen zwischen sich die Aequatorscheibe. Wenn vom Aequator gesprochen wird, so ist immer der von den Polfeldern flankirte mittlere Theil der Oberfläche des durchströmten Gebildes, also genauer der „elektrische" Aequator gemeint; und unter der Breite des Aequators verstehen wir immer seine Ausdehnung in Richtung des Stromes. Da letzterer bei unserer wagrechten Anordnung der Elektroden zu einander, und bei der wagrechten Stellung unserer Schalen immer in wagrechter Richtung verläuft, so ist der Aequator, soweit er Niveauflächen-Richtung des ganzen Feldes hat, immer senkrecht orientirt.

Bei Anwendung des Gleichstroms wird das der Anode zugewendete Polfeld als positives oder anodisches, das der Kathode zugewendete als negatives oder kathodisches Polfeld der Kürze halber bezeichnet, ohne dass damit irgend etwas über die anodische oder

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

kathodische Natur dieser Polfelder angedeutet sein soll. Dasselbe gilt von der Bezeichnung der beiden Polseiten eines Gebildes.

Von dem elektrischen Aequator ist zu unterscheiden der Eiäquator, worunter man am Frosch- und Tritonei die, bei gewöhnlicher Einstellung des Eies wagrechte Grenzzone des oberen, pigmentirten: braunen oder schwarzen, mehr protoplasmatischen und daher specifisch leichteren Eiabschnittes gegen den unteren, hellen, mehr aus den specifisch schwereren Dotterkörnern gebildeten, bald grösseren, bald kleineren Eiabschnitt versteht. Diese beiden, gewöhnlich ungleich grossen Eiabschnitte werden als obere, braune oder dunkle, und untere, helle Hemisphäre bezeichnet. Unter Eiaxe versteht man die gerade Verbindungslinie der Mittelpunkte der Oberflächen beider Hemisphären.

Ferner seien noch einige Termini der ersten Entwicklungsstufen kurz erläutert. Das in eine grössere Zahl von abgerundeten und entsprechend nach aussen sich vorwölbenden Zellen zertheilte Ei führt wegen seiner Aehnlichkeit mit einer Maulbeere den Namen Morula. Es hat hat in seinem Innern eine kleine Höhle. Ist diese Höhle gross geworden, so heisst das Ei Keimblase s. Blastula; dabei sind zugleich die Zellen so klein, dass man sie mit unbewaffnetem Auge nicht mehr gut erkennt. Das nächste, gleichfalls noch kugelig gestaltete Stadium heisst Bauchlarve s. Gastrula und entsteht unter Bildung einer neuen, mit der Aussenwelt communicirenden Höhle im Innern: die Mündung dieser Höhle heisst der Urmund. Danach wird aussen eine lange Furche am Ei gebildet, die Medullarfurche, deren beide Ränder sich einander nähern, schliesslich vereinigen. Das so aus der inneren Wandung der Furche hervorgegangene Rohr ist das Medullarrohr, die Anlage des Centralnervensystems. Diese Entwickelungsstufe führt bereits den Namen Embryo. Derselbe ist nicht mehr kugelig, sondern länglich und an-

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

den Seiten abgeplattet; er besteht schon aus drei Keimblättern, dem äusseren oder Ectoblast, dessen das Medullarrohr bildender Theil als Medullarplatte bezeichnet wird, zweitens dem inneren oder Entoblast, welches die Auskleidung des Darmcanals und seiner Derivate bildet; und zwischen diesen beiden Blättern findet sich das mittlere Keimblatt oder das Mesoderm.

Für gewöhnlich wurde mit dem Wechselstrom gearbeitet; daher ist immer da, wo einfach von Strom die Rede ist, der Wechselstrom gemeint. Da die Herrichtung einer Bunsen'schen Batterie natürlich besondere Umstände und Kosten verursachte, so wurden mit dem Gleichstrom nur wenige Versuche gemacht. Erst später gelang es mir, eine Einrichtung zu treffen, um aus dem mir zur steten Verfügung stehenden Wechselstrom einen Gleichstrom zu gewinnen; was eine grosse Bequemlichkeit darstellt. Indess besitzt der Apparat noch Mängel, deren Beseitigung zunächst anzustreben ist. Die Durchströmung fand, wenn nicht anders vermerkt, in runden Glasschalen und in Wasserleitungswasser statt. Das Instrumentarium bestand in Platinelektroden, einem Stromschalter, einem etwas träg reagirenden Federbart-Galvanoskop, welches nur grobe Schätzungen der Stromstärken von $^1/_{10}$ Ampère und darüber gestattete, so dass es bei den grossen Widerständen meiner Objecte meist nicht reagirte, und einem Ampèremeter mit Theilung von 1—12 Ampères. Letztere beiden Instrumente, sowie die Bunsen'schen Elemente verdanke ich der Güte des Herrn Collegen Wassmuth, des interimistischen Vorstandes des k. k. physikalischen Institutes der Universität. Leider erst gegen den Schluss der Untersuchungen liess ich mich herbei, ein Horizontal-Galvanometer von Reiniger, Gebbert und Schall in Erlangen, welches von $^1/_{10}$—5 Milliampère getheilt ist, sowie oblonge Glasschalen anzuschaffen, womit dann manche, neuen Aufschluss gewährende Versuche ermöglicht wurden.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Die weiterhin am Froschei gewonnenen mannigfachen Resultate seien nun in übersichtlicher Reihenfolge dargestellt und zunächst mit dem Verhalten gegen den **Wechselstrom** begonnen.

Auch unreife, noch im Eierstock befindliche Froscheier bilden bei sehr starker Versuchs-Anordnung den geschilderten entsprechende Veränderungen aber nur schwach und zum Theil schwer sichtbar aus.

An dotterkörnerhaltigen Eierstockeiern von Rana fusca, welche mehrere Stunden in Wasser gelegen hatten, entstanden unter nur sehr geringer Verfärbung der Polfelder zwei deutliche Nieveauringfurchen, welche wie mit einer Nadel eingeritzt erschienen Bei den Eiern von erst der halben Grössse reifer Eier, war der von diesen Niveaufurchen begrenzte Aequatorgürtel nicht nur relativ, sondern auch absolut breiter, als bei den daneben befindlichen fast reifen, grösseren Eiern.

Danach gelang es mir auch an frischen Eierstöcken, welche nicht in Wasser gelegen hatten, aber in Wasser durchströmt wurden, die Niveaufurchen nach der Durchströmung an den Eiern wahrzunehmen; doch sind sie infolge des Mangels jeder Verfärbung schwer zu sehen.

Auch für die Eierstockseier von Rana esculenta bestätigte sich, dass der Aequator um so grösser ist, je kleiner die Eier sind. Während z. B. ein Ei von 1·7 mm. Durchmesser bei 10 Minuten langer Durchströmung einen Aequator von bloss 0·16 mm., also von 9% hat, ist ceteris paribus der Aequator eines Eies von 0·37 mm., 0·24 mm., also 64% breit. Dies verschiedene Verhalten rein protoplasmatischer und andererseits dotterkörnerhaltiger Eier entspricht der an reifen Eiern gemachten Beobachtung, dass der Aequator im Bereiche der oberen *braunen Hemisphäre deutlich breiter ist, als im unteren*, vorzugsweise aus Nahrungsdotter bestehenden Theile, sowie dass bei abnormer Stellung des Eies mit der braunen Hemisphäre statt nach oben, seitlich gegen eine Elektrode

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

hin, das braune Polfeld viel kleiner wird als das helle. An den noch durchscheinenden, also noch nicht nahrungsdotterhaltigen Eiern bis herab zu einem Durchmesser von z. B. 0·29 mm. sind die, letzteren Falles bloss 0·04 mm. breiten, Polfeder durch Trübung des Protoplasmas und scharfe, ebene, parallele Abgrenzung der Trübung gegen den 0·21 mm. breiten Aequator vollkommen deutlich. An noch kleineren Eiern (die kleinsten maassen 0·12 mm.) konnte ich auch mit Zeiss Objectiv A keine Polarisation erkennen. Jedoch auch grössere Eier, welche so trocken lagen, dass sie nicht von ein Wenig Gewebesaft umgeben waren, liessen gleichfalls keine Reaction erkennen.

Zerreibt man fast zur Ablösung reife Eierstockseier in halbprocentiger Kochsalzlösung, und durchströmt von der Masse einzelne Tropfen im Wasser, so ist keine Veränderung, also auch keine Polarisation erkennbar. Dasselbe ist der Fall, wenn man die Masse, um sie zu formen, mit eingedickter Lösung von Gummi arabicum versetzt hat.

Unbefruchtete aber reife, der Gebärmutter entnommene, in Wasser gequollene Eier reagiren in ähnlicher Weise auf den Wechselstrom. Auch hier entstehen zwei Niveauringe an jedem Ei; die Polfelder werden hell und netzförmig gezeichnet. Doch sind in der Beschaffenheit der Oberfläche kleine Unterschiede vorhanden und die Reaction geht viel langsamer vor sich, als an befruchteten Eiern.

Wenn der geschlossene Uterus mit seinen eingeschlossenen, also trockenen Eiern direct durchströmt worden war, konnte ich keine Bildung von Polfeldern wahrnehmen, auch nicht, wenn die Eier nach der Durchströmung in Wasser gelegt worden waren. Bei Lagerung von Eiballen zwischen zwei Stücke gequollenen Laiches wurden dagegen durch Punktirung auf der hellen Hälfte des Eies zwei Polfelder markirt, die einen mit helleren Rändern versehenen Aequatorgürtel begrenzten. Wurden die trockenen Uteruseier jedoch einzeln zwischen die

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

gequollene, aber durch Fliesspapier abgetrocknete Gallerthülle anderer Eier gelegt, so zeigten sich beim Durchströmen schon nach vier Minuten deutliche Niveauringe. Während dieser Zeit aber waren die Gallerthüllen der trockenen Eier schon deutlich erkennbar gequollen. Also ein gewisses Minimum an Wasser ist für die beschriebene Reaction nöthig.

Unbefruchtete Eier, welche aus dem Uterus in vier- und mehrprocentige Kochsalzlösung gelegt worden waren, und eine Stunde darin verweilt hatten, gaben selbst bei sieben Minuten dauernder Durchströmung nicht die specifische Reaction; gleiche Eier in 2% Lösung liessen erst spät zwei den Niveauringen entsprechende Reihen von Punkten wahrnehmen; auch sogleich in 1% Kochsalzlösung übertragene Eier reagiren noch träg. Eier, welche 1¼ Stunde in 4% Kochsalzlösung verweilt hatten, darauf in Wasser übertragen worden waren und nach 1 bis 15 Stunden fünf Minuten lang durchströmt wurden, zeigten keine Reaction.

Dagegen bildeten Eier mit in Wasser gequollenen Hüllen, wenn sie in gesättigte Kochsalzlösung oder dergleichen Borsäure-, Boraxlösung versetzt und sogleich darin durchströmt wurden, schön die Polfelder und Niveauringe.

Was nun die befruchteten, also zugleich auch gut befeuchteten Eier angeht, so sind diese viel empfindlicher als unbefruchtete.

Doch war bei sehr geschwächtem Strom (durch Einschalten einer Wassersäule von 129 cm. Länge und 7 mm. Durchmesser) nach 5 Minuten keine Wirkung erkennbar; selbst bei Ersetzung des Wassers durch ¼% Kochsalzlösung war nach elf Minuten unten bloss ein leicht gedunkelter Aequatorgürtel mit helleren Rändern, oben keine Aenderung zu sehen. Nach Verkürzung dieser Röhre auf 81 cm. dagegen entstanden minimale, bei Rana fusca nur aus einem oder wenigen Flecken, bei Rana

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

esculenta deutlich aus kleinen Extraovaten[1]) bestehende Polfelder, und zwar nur an den in der Nähe der Elektroden befindlichen Eiern; manchmal fand sich nach der näheren Elektrode zu ein etwas grösseres, nach der entfernteren Elektrode ein kleineres Polfeld oder auf letzterer Seite gar keines.

Bei der gewöhnlich verwendeten, reichlich starken Anordnung dagegen bieten sich beide Polfelder jedes Eies beim Wechselstrom für die einfache Besichtigung gleich gross dar. Nicht selten jedoch glaubt man an einem Eie, bei Besichtigung der noch in ihrer Hülle und in der Glasschale befindlichen Eier mit der Loupe, deutlich eine Grössendifferenz der Polfelder wahrzunehmen; nach der Ausschälung jedoch ist meist kein oder nur ein geringer Grössenunterschied vorhanden, der auf Ungleichmässigkeiten in der Substanz der Hälften des betreffenden Eies beruhen muss, wenn, wie gewöhnlich bei gleichmässiger Anordnung der Eier, die Eier der Umgebung solche Unterschiede nicht darbieten.

Bei nicht gleichmässiger Vertheilung der Eier in der Schale, beim Vorhandensein von Lücken oder Brücken im Eistratum wird die Breite der Aequatorgürtel neben einander liegender Eier manchmal erheblich verschieden, und die oft stark divergirenden Richtungen der beiden den Aequator begrenzenden Niveauringe entsprechen natürlich nicht mehr den Richtungen der Niveaulinien eines homogenen, die ganze Glasschale einnehmenden elektrischen Feldes.

Kurz dauernde Einwirkung des Stromes auf befruchtete Eier bildet bloss die Polfelder ohne Niveauringe aus. Selbst bei wenig längerer Durchströmung

---

[1]) Mit diesem Namen habe ich die aus dem Ei unter Durchbrechung der Eirinde ausgetretene Substanz belegt. Vergl. Beitrag I zur Entwickelungs-Mechanik des Embryo. Zeitschr. für Biologie, Bd. XXI, N. F. III, 1885.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

kommt es vor, dass erst nach der Unterbrechung des Stromes die besondere Färbung und manchmal doppelte Contourirung der Niveauringe entsteht.

Bei längerer Dauer der Einwirkung eines starken Stromes dagegen steigern sich die Veränderungen eine Zeit lang; es treten grössere Flecken auf und selbst auf der oberen schwarzen Hemisphäre entstehen grosse, weisse Flecken (Extraovate), die von den Niveaulinien sich auf das Gebiet des Aequatorgürtels überlagern können.

Die Grösse der Polfelder hängt auch an reifen, befruchteten und unbefruchteten Eiern ceteris paribus von der Qualität der Eisubstanz ab; dies macht sich am Ende der Laichperiode, wo die Eier schon etwas gelitten haben, besonders bemerkbar; indem in denselben Niveauflächen neben einander liegende Eier gleicher Grösse erhebliche, unregelmässige Ungleichheiten in der Breite des Aequatorgürtels darbieten. Diese Verschiedenheiten waren am Ende der Laichperiode von Rana fusca so gross, dass sie den Versuch, die Wirkung der Grösse der Eier auf die Grösse der Polfelder festzustellen, erfolglos machten, indem an durch einander gesäten Eiern verschiedener (aber bloss zwischen 1·8 bis 2·5 mm. wechselnder) Grösse keine constante Verschiedenheit sich feststellen liess.

Die Eier von Rana esculenta sind mir von früher her als die weit empfindlicheren bekannt; und dementsprechend traten auch unter den vorliegenden Verhältnissen einige Reactionen stärker auf. Ausserdem gestattet die hellbraune Färbung eine genauere Beobachtung der Veränderungen der oberen Hemisphäre, als sie bei den schwarzen Eiern der anderen Species möglich war: Zunächst zeigte sich, dass nur bei kurzdauernder Durchströmung im Bereiche der braunen Hemisphäre der Aequator breiter ist und bis zum Beginne der unteren hellgelben Hemisphäre stetig an Breite abnimmt, um auf dieser letzteren dann gleich schmal zu bleiben. Bei längerem Durchströmen dagegen wird er oben schmaler, oft so

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

schmal, dass bloss eine Furche übrig bleibt. Diese nachträgliche Veränderung ist bei Rana esculenta durch die Ueberwölbung der Polabschnitte über den Aequator und durch das Aufsteigen aus ihnen ausgetretener Substanz bedingt. Auf der unteren Hemisphäre sind oft ganz deutliche weisse Niveaulinien oder schon Niveaufurchen vorhanden, ehe die Polfelder selber merklich weisser geworden sind; die Niveaulinien sind also Stellen erster, stärkster Veränderung. Der Aequator ist auf der unteren Hemisphäre oft weisser als die schwach gelblich gebliebenen Polfelder. Auch oben wird der Aequator oft heller durch Wegwanderung des braunen Pigmentes von den Rändern, so dass es bloss in der Mitte des Aequators noch als ein brauner Streif vorhanden ist, während unten der anfangs noch in der Mitte des Aequators verbliebene gelbliche Streifen bald unter zunehmender Verschmälerung verschwindet.

Bei sehr schwachem Strom dagegen bilden die ungetheilten Eier nur ein oder mehrere Extraovattröpfchen an den beiden Polen des Eies. Sind mehrere Extraovate entstanden, so liegen sie manchmal in einer wagrechten Linie, nahe am Aequator, manchmal auch in einer senkrechten Linie, manchmal in unregelmässiger Anordnung um den Pol; ein Verhalten, welches also auf verschiedene örtliche Disposition der Eier zur Bildung der Extraovate, resp. zur Durchbrechung der Eirinde hinweist.

Nach stundenlanger Einwirkung eines überaus schwachen Stromes zeigten die mit kleinen Polfeldern versehenen Eier des runden Stromfeldes zugleich ein interessantes Verhalten ihres Aequators. Der fast die ganze Eioberfläche einnehmende Aequator war hell geworden und in der Richtung von Polmeridianen braun gestreift. Die so veränderten Eier hatten die erste Furche nicht gebildet.

Die daran sich anreihenden Eier in der Mitte des Stromfeldes hatten bloss punktförmige Polfelder gebildet

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

und besassen im Aequator die erste Furche, welche in der Mehrzahl der Fälle (an 20 von 30 Eiern) die Polfelder quer verband. Bei den übrigen Eiern aber, welche keine äussere Veränderung durch den Strom erkennen liessen, standen die ersten Furchen in beliebigen Richtungen durcheinander.

Wenn man die erste Durchströmung nur während des Minimums der zur Bildung der Niveaulinien auf der Unterseite nöthigen Zeit oder Weniges darüber dauern lässt und darauf die Stromrichtung ändert, entstehen zu den schon vorhandenen dieser Richtung entsprechende, neue Niveaulinien und Polfelder. Durchströmt man zuerst mit schwachem Strom bis zur Bildung der Niveaulinien, darauf mit starkem Strom in der gleichen Richtung wie früher, so wird der breite Aequator verschmälert, indem zugleich zwei weisse Bänder auf Kosten des früheren Aequators entstehen. Verwendet man zuerst den starken und danach den schwachen Strom in zur früheren gekreuzter Richtung, so kann man bei geeignetem Verhältniss in der Zeitdauer beider Wirkungen noch einen zweiten Effect hervorbringen.

Wird dagegen die wagrechtstehende Schale mit den Eiern während der Durchströmung continuirlich gegen die am Rand eintauchenden feststehenden Elektroden gedreht, so entsteht statt der beiden Polfelder ein Polgürtel und statt des Aequatorgürtels ein oberes und ein unteres rundes Aequatorfeld. Werden die Eier während der Durchströmung auch noch aus der wagrechten Ebene gebracht, z. B. in einer hohen, mit Wasser gefüllten Schale zwischen den Elektroden nach allen Richtungen in ihrer Lage verändert, so tritt keine Sonderung in abgegrenzte Felder mehr auf.

Wenn man Eier, die schon längere Zeit durchströmt worden sind, nachträglich in anderer Richtung z. B. rechtwinkelig zur früheren Richtung durchströmt, so findet keine neue, dieser Stromrichtung entsprechende

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Ringbildung, überhaupt keine äusserlich erkennbare Aenderung des zuerst erzeugten Bildes statt.

Schwimmen die Eier in einer Flüssigkeit von geeignet hohem specifischen Gewicht (Wasserglas oder Lösung von Gummi arabicum), so behalten dieselben während der Durchströmung ihre vorher eingenommene zufällige Anordnung bei und drehen sich auch nicht um eine Axe; dessgleichen tritt auch nach der Bildung der Polfelder während der weiteren Durchströmung, sowie nach dem Aufhören derselben eine Aenderung der Anordnung ohne äusseres Zuthun nicht ein. Werden die mit Polfeldern versehenen schwimmenden Eier gegeneinander verschoben, oder um ihre verticalen Axen verdreht, so behalten sie diese ihnen gegebene Anordnung bei, auch wenn aufs Neue ein Strom durch die Schale geleitet wird.

Längere Zeit nach der Durchströmung der Eier finden noch mannigfache Veränderungen in den Eiern statt, die als Folgen der Durchströmung aufzufassen sind. So zersetzte sich zum Beispiel die Substanz der Aequatorscheiben unter Vacuolisirung und Fleckenbildung in einer Weise, wie sie auch sonst, aber nur an älteren Eiern vorkommt; bei noch jungen Eiern fand sie sich bloss an den mit Polfeldern versehenen Eiern, während andere Eier derselben Schale, die am Rande der Schale standen und keine Polfelder gebildet hatten, drei Tage lang ihr normales Aussehen behielten. Die Polfelder selber dagegen erscheinen weniger veränderlich; im Bereiche der geraden Kraftlinie sind sie nach der Behandlung der Eier mit starkem Strome ganz unveränderlich, also wohl todt; während an den breiten Aequatorgürteln in derselben Schale seitlich stehender Eier sogar noch die erste Furchung auftrat. Die Aequatorscheiben stellen also die am wenigsten veränderte Substanz dar.

Einmal hatte ich ein seltenes, theoretisch besonders wichtiges Verhalten zu beobachten Gelegenheit. Unter den Eiern eines Weibchens fanden sich zwei Eier, welche

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

durch eine gemeinsame äussere Gallerthülle mit einander vereinigt waren, der Art, dass sie gegen einander abgeplattet und nur durch eine Gallertlage von ein Drittel des Eidurchmessers von einander getrennt waren. Ich durchströmte dieselben, um das Specifische dieses Falles möglichst zu verwerthen, in Richtung ihrer Verbindungslinie und erhielt an jedem Ei ein grosses, je die halbe Eioberfläche einnehmendes, äusseres und ein kleineres, dem des anderen Eies zugewendetes, inneres Polfeld; letztere beiden nahmen ausser der Abplattungsfläche nur noch einen schmalen Saum der angrenzenden, gewölbten Fläche ein. Beide Polfelder jedes Eies waren durch einen parallel contourirten Aequator von einander getrennt. Derselbe Frosch bot noch zwei mit einander, aber weniger nahe, durch ihre Gallerthüllen vereinigte Eier dar, so dass dieselben sich nicht an einander abplatteten. Beim Durchströmen auch dieser in der Verbindungsrichtung entstanden wieder zwei äussere grössere, und zwei gegen einander gewendete, kleinere Polfelder; doch waren hier, bei grösserem Abstande der beiden Eier, die Breitenunterschiede der inneren und äusseren Polfelder nicht so erheblich, als bei den ersteren, einander näheren Eiern.

Die Polfeldergrenzen verlieren ihre den Niveauflächen des umgebenden homogenen elektrischen Feldes entsprechende Richtung, wenn die runde Gestalt der Eier erheblich abgeändert wird. Sind z. B. die Eier während der Durchströmung zwischen parallele ebene Glasplatten gepresst und dadurch abgeplattet, so ist der Aequator zwar an den Rändern noch parallel contourirt, an den abgeplatteten Flächen dagegen stark, fast zu einer runden Scheibe verbreitet, und die Polfelder sind demnach etwa viertelmondförmig. Werden die Eier in enge Glasröhren aspirirt und dadurch mannigfach deformirt, so erhalten keilförmig gestaltete, etwas schief zur Röhre stehende Eier beim Durchströmen einen keilförmigen

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Aequator; ovale schiefstehende Eier bilden einen stark schief zur Hauptrichtung des Stromes stehenden, aber noch parallel contourirten Aequator.

Bei der Beurtheilung dieses neuen Verhaltens ist jedoch daran zu denken, dass zwei Componenten zugleich geändert worden sind, ausser der Gestalt des Eies auch die Gestalt des sie umgebenden elektrischen Feldes. Wir haben später die besonderen Wirkungen jeder dieser beiden Componenten getrennt zu beurtheilen Gelegenheit genommen.

Zwischen parallele ebene Glasplatten gepresste Gastrulae können, trotz gleich grosser Abplattung als an den eben erwähnten Eiern, gleichwohl noch einen parallel geradlinig contourirten Aequator bilden; wobei man sich wohl daran zu erinnern hat, dass die Gastrulae gewöhnlich eine dicker gequollene Gallerthülle besitzen als die noch ungetheilten Eier. Doch kommt an solchen Gastrulae auch die erwähnte centrale Verbreiterung des Aequators vor, stark ausgesprochen jedoch bloss, wenn die Gastrula beim Pressen aufgeplatzt ist und danach ihre beiden durch Pressung entstandenen Flächen eingesunken sind, wie die Seiten eines rothen Blutkörperchens.

Die Extraovate ungetheilter oder erst einige Mal getheilter, angestochener oder geprester Eier sind immer nackt, das heisst nicht mit der typischen elastischen Eirinde überzogen. Trotz aller Sorgfalt in der Beobachtung ist es mir nicht gelungen, eine Bildung von Polfeldern an dieser frisch ausgetretenen Eisubstanz wahrzunehmen. An Extraovaten gepresster Gastrulae dagegen konnte ich wiederholt sehen, dass sie ein Polfeld oder bei geeigneter Lage zwei durch einen unveränderten Aequator getrennte, gleich denen der Gastrula selber grau verfärbte Polfelder bildeten. Das Extraovat steht in diesen Fällen mit der Gastrula noch im Zusammenhang und bildet nur dann zwei Polfelder und einen eigenen Aequator, welcher stets mit dem der Gastrula zusammenhängt, wenn

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

das Extraovat seitlich vom Stammtheil, also in denselben Niveauflächen, mit ihm gelegen ist. Ist dagegen das Extraovat, vom Stammtheil aus gerechnet, schief zur Stromrichtung gelegen oder gar einer Elektrode zugewendet, so bildet es bloss ein einziges, dem des Stammtheiles zugehöriges Polfeld. Das Gemeinsame aller, sichtbare Polfelder bildenden Extraovate aber ist, dass sie noch einen Epithelüberzug von der Gastrula besitzen; und nur soweit dieser vorhanden war, fand erkennbare Reaction statt. Dies scheint anzudeuten, dass nackte Extraovate desshalb nicht reagiren, weil ihnen ein reactionsfähiger Ueberzug fehlt. Indess habe ich an Eiern, welche in enge Glasröhren aspirirt und dabei aufgeplatzt waren unter Entleerung des grössten Theiles ihres Inhaltes, trotz des Vorhandenseins der längsgefalteten Eirinde am mittleren Theile, welche jede Veränderung gut hätte wahrnehmen lassen, beim Durchströmen keine polaren Veränderungen beobachten können.

Da bei der polarisirenden Wirkung des Stromes voraussichtlich die Differenz des Leitungsvermögens der organischen Körper und des Menstruums von erheblicher Bedeutung ist, so variirte ich letzteres, indem ich es mehr der Leitungsfähigkeit der Eier zu nähern suchte. Ich verwandte zunächst, gesättigte Lösungen von Kochsalz, von Borsäure und von Borax; in all diesen Lösungen ging an vorher in Wasser gelegenen, noch in ihrer Gallerthülle befindlichen Froscheiern die Bildung der Polfelder vor sich. Da aus ihrer Gallerthülle ausgeschlüpfte Embryonen beim Einlegen in Wasserglas oder in auch nur 5% Kochsalzlösung auch ohne Durchströmung sofort universelle Framboisia minor ausbilden, so sind sie zur Prüfung der Wirkung des Stromes bei diesem Menstruum nicht zu gebrauchen.

Die gesättigte Kochsalzlösung hat von den angewandten Lösungen das beste Leitungsvermögen. Aber es war daran zu denken, dass die an verschiedenen

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Salzen so reichen Eier vielleicht noch besser leiten; daher versuchte ich 30% Schwefelsäure, die ein dreimal besseres Leitungsvermögen als gesättigte Kochsalzlösung und überhaupt das beste Leitungsvermögen von allen wässerigen Flüssigkeiten hat. Wenn die Schwefelsäure erheblich besser leitet als die Eier, dann durfte meiner Meinung nach keine Polarisation an ihnen entstehen. Beim Versuch ergab sich zunächst, dass die Schwefelsäure, ein starkes Gift für das Ei, schon nach 30 Secunden die 2—3 mm. dicke gequollene Gallerthülle durchsetzt. Daher verstärkte ich die Versuchs-Anordnung ad maximum, so dass an Eiern, welche in Wasser durchströmt wurden, schon nach 5 Secunden die Polfelder zu sehen waren. Danach liessen befruchtete Eier von Rana fusca, 20 Secunden lang in 30 vol. procentiger Schwefelsäure durchströmt, keine sicher feststellbare Polarisation erkennen, obschon sie bei gleich darauf vorgenommener Durchströmung in Wasser innerhalb kürzerer Zeit schön ausgeprägte Polfelder, aber nur mehr von einer für diese starke Anordnung auffallenden Kleinheit entwickelten. Wenn ein in 30 vol. procentiger Schwefelsäure schwimmendes Ei mit seiner Gallerthülle direct die Elektrode berührt, so scheint eine Spur der Polfelderbildung an ihm stattzufinden.

Auch bei eine Minute dauernder Durchströmung in 30, ebenso wie noch in 5 vol. procentiger Schwefelsäurelösung entsteht keine deutlich sichtbare Polarisation. In 4 vol. procentiger Schwefelsäure scheint schon eine schwache Polfelderbildung aufzutreten.

In 2 vol. procentiger Schwefelsäurelösung werden dagegen nach längerer Durchströmung deutliche, grobgefleckte, aber im Verhältniss zu der angewandten Stromstärke nur sehr kleine Polfelder gebildet.

Es war nicht zu beurtheilen, ob die Polfelder so klein sind, weil nur so wenig Stromfäden aus dem Menstruum in das Ei treten, oder weil die Eier durch die Schwefelsäure gelitten haben.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

In bloss 1 vol. procentiger Lösung entstehen die Polfelder noch langsam; die wieder vorhandene grobe, weisse Fleckung breitet sich sehr allmälig von den den Elektroden zugewendetsten Theilen der Eier aus, und die am Rande des Polfeldes befindlichen Flecke verlängern sich in zum Pole radiärer Richtung und bilden so einen typischen Kranz. Am Aequator zieht sich wieder das Pigment von den Rändern gegen die Mitte zurück. Die Polfelder entwickeln sich aber seitlich am Eie meist nicht mehr bis zu der den Niveaulinien entsprechenden Ausdehnung und stellen somit zwei um die Pole selber centrirte Kappen des Eies dar; ein Verhalten, welches ich wieder, wie schon früher an durch verzögerte Laichung geschädigten Eiern, für eine abnorme Reactionshemmung halte. In $^1/_2$ vol. procentiger Schwefelsäure zeigt sich wesentlich das gleiche Verhalten.

In Dielectricis, wie geschmolzene Carbolsäure, Olivenöl eingebettete Froscheier reagiren nicht, auch bei grösster Nähe der Elektroden, so dass also eine Wirkung statischer Induction nicht erkennbar ist; ebenso wie auch, nach dem weiter vorn Mitgetheilten, an den im Solenoid liegenden Eiern keine Wirkung einer dynamischen Induction zu bemerken war. Wurden dieselben Eier unmittelbar darauf in Wasser durchströmt, so reagirten sie.

Mit Hilfe des oben erwähnten Federbart-Galvanoskopes prüfte ich die Vermuthung, dass die beobachtete Polarisation unter Freibleiben eines Aequators vielleicht zum Theil auf einem besseren Leitungsvermögen des salzreichen Eies als das der Medien, innerhalb deren die Polarisation gelang, beruhe. Obgleich mit diesem trägen und nicht mit einer Scala ausgestatteten Instrument nur grobe Schätzungen möglich waren, und ich keine unpolarisirbaren Elektroden zugerüstet, sondern nur die Platinelektroden angewandt hatte, schien doch als sicher sich zu ergeben, dass frisch bereitetes Ragout fin von zur Ablösung reifen Eierstockseiern, sowie von jungen Embryonen

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

noch nicht einmal so gut leitet, als halbprocentige Kochsalzlösung. Da wir nun in fünfprocentiger und in concentrirter Kochsalzlösung, sowie in zweiprocentiger Schwefelsäure die Polfeldbildung haben vor sich gehen sehen, so hat sich obige Vermuthung anscheinend nicht bestätigt. Doch ist daran zu denken, dass nicht die Eier selber in diesen Lösungen lagen, sondern bloss ihre Gallerthüllen, und dass innerhalb der 1—1·5 mm. dicken, mit Wasser getränkten, und daher wohl schlechter als das Ei leitenden Hülle die Stromfäden noch eine erhebliche Umordnung erfahren konnten; und dass vor der Durchströmung nicht in Wasser, sondern bloss in einprocentiger Kochsalzlösung gelegene Eier nur schwach reagirten, wobei aber zugleich die Möglichkeit einer schädigenden Nebenwirkung vorliegt, weil in vierprocentiger Salzlösung gelegene Eier auch nach dem längeren Liegen in Wasser nicht mehr reagirten. Neue Versuche müssen also mit halbprocentiger Kochsalzlösung durchgeführt werden. Leider lässt sich, was im einen Frühjahr versäumt ist, bei diesen, an die Laichperiode gebundenen Versuchen erst im nächsten Frühjahre nachholen, welches ich aber anderen Versuchen zu widmen gedenke.

Werden Eier in einen Ring von 2·0 mm. dickem Bleidraht oder in eine aus solchem Bleidraht gebildete und rechtwinkelig zum Strom gestellte Gabel gelegt, so bilden sie beim Durchströmen nur kleine, bloss schwach höckerige, wenig scharf begrenzte Polfelder, wenn das Wasser den Draht überschwemmt; steht das Wasser nicht so hoch, so bilden die Eier keine Polfelder. Wurde dagegen an der Gabel das Verbindungsstück durchschnitten, so bildeten die zwischen den Drähten liegenden Eier bei transversaler Stellung der Drähte natürlich fast ebenso grosse und durch Niveaufurchen begrenzte Polfelder, als frei im Elektrolyten liegende Eier. In einer längs des Stromes liegenden, nicht überschwemmten, engen Metallgabel bildeten bloss

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

die beiden ersten der Oeffnung der Gabel folgenden Eier Polfelder.

Diese Ergebnisse sind unmittelbar verständlich, ebenso wie die folgenden, mit Einlegung von nicht überschwemmten Glasbälkchen in das elektrolytische Feld: Von Eiern, welche zwischen zwei einander nahen, rechtwinkelig zum Strom orientirten Glasbälkchen liegen, bilden bloss die den Enden der Glasbälkchen nächstliegenden die Polfelder, und zwar kleinere, weniger veränderte als die freien Eier. An den Eiern in der Mitte dagegen entstehen keine Polfelder. Bildet man aus den Glasbälkchen einen spitzen Winkel, so kann man gleichfalls nach der Grösse der Polfelder an den eingelagerten Eiern die Abschwächung des Stromes an den betreffenden Stellen, sowie aus der Richtung der Aequatorränder die abgelenkte Richtung der Stromfäden erkennen. Wird bloss eine Glasleiste rechtwinkelig zu den Kraftlinien in das Stromfeld gelegt, so bilden wiederum die ihr anliegenden Eier zwei Polfelder, aber diejenigen an der Mitte der Leiste entwickeln solche nur von geringerer Ausdehnung und geringerem Grade der Veränderung, als die an den Enden gelegenen.

Verhalten in Zellen zerlegter Froscheier.

Eine neue Erscheinung bieten in zwei oder mehr Zellen zerlegte Eier bei der Durchströmung dar.

Geschieht die Durchstömung mit dem Wechselstrom nach der Anlage oder Vollendung der ersten Furche, also während der ersten Theilung des Eies, so findet gleichwohl die Scheidung in die beiden Polfelder und den Aequatorgürtel statt. Doch ist das Bild nur dann dem früheren, am noch ungetheilten Eie gewonnenen, wesentlich gleich, wenn die erste Furche zufällig ganz oder annähernd rechtwinkelig oder ganz parallel zu den Niveauflächen steht. Weicht die erste Furche dagegen etwa 10—45° von der

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Richtung der gedachten Niveauflächen des ganzes Eies ab, dann erfährt der jeder von beiden Zellen zukommende Antheil am Aequatorgürtel eine deutliche Verwerfung gegen das Aequatorstück der anderen Zelle; auch sind die der Furche anliegenden Theile des Aequators stark von der Richtung der Niveaulinien des homogen gedachten elektrischen Feldes abgelenkt.

Bei genauerer Betrachtung und Erwägung dieses Verhaltens erkannte ich, dass darin eine Specialpolarisation der einzelnen Zellen sich ausspricht.

Ich nahm daher Gelegenheit, dieses fundamentale Verhalten des Weiteren kennen zu lernen.

An dem in zwei und mehr Zellen getheilten Ei, ebenso wie an der Morula und noch an der schon in kleine Zellen zerlegten Blastula beobachtete ich, dass jede Zelle der Eioberfläche für sich polarisirt wird; dies geschieht derart, dass die bloss an den Polseiten des Eies liegenden Zellen je ein von aussen sichtbares Polfeld erhalten, welches dem Pole dieser Seite des Eies zugewendet ist, während der Aequator den distal vom Pol gelegenen Theil der freien Oberfläche der Zelle einnimmt. Die Polfelder neben einander liegender Zellen formiren somit concentrische Ringe um den Pol, welche Ring aber durch die unregelmässige Lagerung der Zellen sich aus lauter Bruchstücken zusammensetzen. Die im Polmittelpunkte gelegene Zelle hat ihr Polfeld in der Mitte der Zelle, ihren Aequator ringsum und unterscheidet sich damit von den anderen Zellen. Die Zellen, welche in der Mitte zwischen beiden Polen, also am elektrischen Aequator des Eies liegen, oder den Aequator von aussen her noch erreichen und zugleich, wie es nach den ersten Theilungen und noch bei der Morula der Fall ist, so stark sich verwölben, dass sie von beiden Elektroden aus, durch direct aus dem Elektrolyten stammende Stromfäden, unter keiner oder nur geringer Ablenkung derselben von ihrer Bahn im Elektrolyten getroffen werden können, bilden bei

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

genügend starkem Strom gegen jede Elektrode hin ein Polfeld aus, zwischen welchen beiden der Zelläquator gelegen ist. Dies geht so weit, dass auch neben der äquatorialen Mittelebene, z. B. auf der linken Hälfte des Eies, also gegen die linke Elektrode liegende Zellen, wenn die neben ihnen liegenden Zellen gerade eine Lücke lassen, durch welche Stromfäden von der rechten Elektrode die erstere Zelle treffen können, diese Zelle dann ausser ihrem grossen linken, noch ein deutliches, wenn auch entsprechend kleineres, rechtes Polfeld ausbildet. Aber auch anders gelagerte, zweite, kleine Zellpolfelder, welche offenbar eine etwas andere genetische Bedeutung haben, kommen vor. An erst in zwei, vier oder acht Zellen getheilten Eiern sieht man bei so kräftiger äusserer Rundung dieser Zellen, dass zwichen ihnen gut geöffnete Furchen entstehen an der Begrenzung der annähernd oder ganz quer zum Strom orientirten Furchen der Aequatorgegend, sowohl in der Tiefe derselben, wie auch gegen ihre Oeffnung hin aufsteigend, die typische Polfeldveränderung an den die Furche begrenzenden Zellwänden. Manchmal schien die Veränderung bloss an den mehr oberflächlichen Theilen der Furchenwandung vorhanden zu sein und in der Tiefe zu fehlen; was indess sehr schwer zu sehen ist. Im Gegensatz zu dieser Polfeldbildung in der Tiefe von quer zum Strom orientierten Furchen steht ein (gleichfalls bei Durchströmung in Wasser) beobachtes Ausbleiben der Veränderung an ganz gleich gerichteten, aber mehr auf der Polseite des Eies gelegenen Furchen. Es war dabei deutlich zu erkennen, dass das Polfeld sich bloss auf den direct von der nächsen Elektrode aus bestrahlten Theil der Zelloberfläche ausdehnte und nicht auf die Wandungen der hinter dieser Zelle liegenden Furche übergriff. Um dieses auffällige Verhalten zu verstehen, werden noch weitere Beobachtungen über die speciellen Bedingungen seines Vorkommens zu machen sein. Nach anderer Richtung in einem Gegensatz zu der in der Ausbildung von Polfeldern sich bekundenden

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Wirkung der scheinbar directen Bestrahlung der Zelloberfläche steht die mitgetheilte Thatsache, dass an dem schon in kleinere Zellen zerlegten Ei nicht die ganze, den Stromfäden entgegenstehende Fläche der Zelle, sondern immer bloss der polwärts gelegene Theil dieser Fläche verändert wird, während der distal davon liegende Theil, der immer noch unter einem mehr dem rechten sich nähernden Winkel gegen die Stromfäden des umgebenden Feldes gerichtet ist, als ein Theil des Polfeldes der nächst distalen Zellen, unverändert bleibt und so den Zelläquator darstellt.

Die Niveaulinien der einzelnen Zellen platzen bei weiter fortgesetzter Durchströmung rasch auf und stellen so weisse Linien dar, die ich zuerst auf aufgeplatzte Furchen zwischen den Zellen bezog. Diese Täuschung ward dadurch hervorgerufen, dass sich die Zellpolfelder wie die Polfelder des ganzen, ungetheilten Eies gegen ihren Aequator etwas erheben und so durch eine Furche abgrenzen. Dabei ändert sich auch etwas die Gestalt der Zellen und Polfelder durch Abplattung der Zellen und durch Schluss der Furchen zwischen letzteren, so dass man in diesem Stadium sehr leicht die Polfelder zur polwärts, statt zur distal vom Eipol gelegenen Zelle rechnet; diese Täuschung ist oft eine so vollkommene, dass nur die genaue Verfolgung des ganzen Processes von seinem Beginn an vor derselben bewahren kann.

Die Zellpolfelder werden im Bereiche der oberen, braunen Hemisphäre des Eies von Rana esculenta graubraun, im Bereiche der gelblichen, unteren Hemisphäre weisslich. Die Grösse dieser Polfelder nimmt vom Eipol gegen den elektrischen Aequator des ganzen Eies ab. Die Polfeldbildung beginnt bei mittelstarkem Strom am elektrischen Pol des Eies und breitet sich von da aus ausserordentlich rasch auf die distal gelegenen Zellen und weiterhin langsamer auf jeder einzelnen Zelle in distaler Richtung aus.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Ist das Ei noch nicht feingetheilt, so bekommt wie erwähnt jede Zelle des ganzen Gebildes ihr Polfeld und ihren Aequator. Ein eigentlicher elektrischer Gesammtäquator des Eies besteht dabei also nicht, er umfasst bloss die von beiden Polseiten gegen einander stehenden Zelläquatoren der Zellen dieser Gegend; dem entsprechend ist er auch nicht durch eine fortlaufende Linie jederseits contourirt, sondern je nach der Lage der ihn bildenden Zellenäquatoren bald etwas breiter, bald etwas schmaler. Bei der weiter fortgeschrittenen Zertheilung in die kleineren und weniger vorspringenden Zellen der älteren Blastula und der Gastrula dagen bleibt ein Gürtel von den Polen am weitesten abgelegener Zellen anscheinend unpolarisirt; und wir erhalten damit einen Gesammtäquator, der aber bei genauem Zusehen wieder ungleich breit ist, da er durch Specialpolfelder der anstossenden Zellen begrenzt wird; je kleiner diese Zellen sind, um so weniger treten natürlich diese Ungleichheiten hervor. An älteren Gastrulae bleibt auch bei stärkster Anordnung meines Stromes immer ein Eiäquator von wenigstens $^1/_{11}$ Eidurchmesser oder 3—4 Zellen Breite ohne äusserlich sichtbare Polfelder der Zellen. Zugleich waren an alten Gastrulae die Zellen der Polseiten anscheinend auf ihrer ganzen freien Oberfläche hellgrau verändert.

Die durch den Strom ausgelösten Veränderungen des Eies setzen sich noch eine Zeit lang nach der Einwirkung des Stromes fort. Wenn man nach bloss 2—3 Secunden dauernder Einwirkung eines Stromes von geeigneter Stärke auf ein noch ungetheiltes oder schon mehrfach getheiltes Ei unterbrochen hat, kommt es sogar vor, dass zur Zeit der Unterbrechung noch keine Veränderung am Ei zu sehen ist, sondern dass die Veränderung erst danach beginnt. Wurde unterbrochen, als schon die Polfeldbildung einsetzte, so kann man beobachten, dass erst nach der Stromunterbrechung die Veränderung, etwas polwärts vom Rande des Gesammtpolfeldes, so heftig wird, dass daselbst

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

an der oberen Eihälfte unter starkem Aufplatzen und entsprechender Entleerung der Zellen dieser Zone eine durchgehende Niveaufurche entsteht. Wurde dagegen längere Zeit, 20"—40" durchströmt, so entsteht diese Niveaufurche in grösserem Abstande vom Pol. Bei Unterbrechung des Stromes localisirt sie sich an ihrem jeweiligen Ort. Bei erneuter Durchströmung kann sie nach der dadurch bedingten Ausbreitung der Polfeldbildung gegen den Aequator gleichfalls avanciren: oder es entsteht ohne Verschwinden der ersten durch Stromunterbrechung localisirten Niveaufurche, bei erneutem Durchströmen äquatorwärts jederseits eine neue, alsdann weniger tiefe Furche, oder bloss ein pigmentirter Ring. (N. B. nur im Bereiche der oberen, braunen Hemisphäre wird die Veränderung so intensiv; es entsteht also jederseits bloss ein Halbring).

Wartet man einige Minuten nach einer kurzen, 10"—20" dauernden kräftigen Durchströmung einer Morula oder jungen Blastula, so sieht man die Zellen sich meist stark abplatten und die früher offenen Furchen zwischen ihnen sich entsprechend schliessen. Durchströmt man dieses so zur Kugel abgeplattete Gebilde nochmals, so entstehen jetzt unter polarer Veränderung der bisherigen Zellaquatoren auf den Polseiten des Eies, wie an einem ungetheilten Ei zwei grosse einheitliche General-Polfelder, und zwischen ihnen bleibt ein einheitlicher, durch durchgehende parallele ungebrochene Contouren begrenzter schmaler Aequator, dessen Ränder einander näher liegen, als die erwähnten früheren durch starkes Aufplatzen entstandenen beiden Furchen. Bei der Morula liegt natürlich im Bereich dieses Generaläquators ein Theil der oben erwähnten kleinen Zellpolfelder; diese aber werden jetzt undeutlich oder von den Zellen abgestossen. Manchmal ist der so nachträglich entstandene Generaläquator in seinen Grenzlinien doch nicht ganz ungebrochen und nicht ganz parallel contourirt, und bei einem erst in vier

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Zellen getheilten Ei ist er schmäler als der frühere Specialäquator einer einzigen Zelle.

Natürlich entsteht auch bei ununterbrochen fortgesetzter Durchströmung mit der Zeit dasselbe Bild; auch hiebei platten sich die Zellen allmählig ab und die Specialpolfelder der einzelnen Zellen werden allmählig grösser bis zum Verschwinden des Zellenäquators an den im Bereich der Generalpolfelder gelegenen Zellen.

Wenn auch die Rundung der Furchungszellen für die Bildung der kleinen zweiten Specialpolfelder von Bedeutung erscheint, indem dadurch Gelegenheit zur Bestrahlung von der zweiten Seite her gegeben wird, so kann die Rundung doch nicht als die Ursache der Specialpolarisation der einzelnen, die Morula und Blastula zusammensetzenden Zellen angesehen werden; denn dieselbe Einzelpolarisation findet auch an der hellen, unteren Hemisphäre statt, wo die Zellen nur durch minimale Furchen geschieden sind, und mit ihrer freien Oberfläche im Niveau der Gesammtkrümmung des Eies liegen. Auch tritt im Bereich der oberen Hemisphäre die Specialpolarisation der Zellen auf, wenn man durch Abkühlung im Eisschrank die Lebensenergie der Zellen vorübergehend derart herabgedrückt hat, dass sich die oberen Zellen gleichfalls abgeplattet haben.

Von Eiern ferner, welche ohne auf Eis gestanden zu haben, also aus innerer Ursache die durch die dritte, vierte oder fünfte Theilung gebildeten Furchungszellen von selber wieder abgeplattet hatten, bildete ein Theil beim Durchströmen sofort zwei allgemeine Polfelder und zwei durchgehende Niveaulinien für das ganze Ei, indem die im ersten Momente entstandenen kleinen Specialpolfelder der einzelnen Zellen sich sofort über die ganze Aussenfläche der betreffenden Zellen ausdehnten; dies Verhalten ist wohl zugleich ein Beweis, dass nicht die die Zellen im Innern des Eies trennenden Zellmenbranen oder die Kittsubstanz zwischen ihnen die Ursache der elektrischen Sonderung

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

sind. Da zudem einige dieser abgeplatteten Eier ihre Zellpolfelder behielten, so folgt daraus wiederum, dass einerseits nicht die Abplattung an sich bei den anderen Eiern die Ursache der totalen Veränderung der Zellen durch den Strom war, ebenso wie auch, dass die vorspringende Wölbung der normalen Zellen nicht die Ursache der Specialpolfelderbildung ist.

Um die Richtigkeit dieser letzteren Anschauung des Weiteren darzuthun, suchte ich das Ei schwach zu vergiften, und so in seiner Lebensenergie zu schwächen, womöglich ohne die Gestalt der Zellen zu verändern: Wenn man Eier mit wohlgerundeten Zellen durch kurz dauerndes Einlegen in $^1/_{20}$ gesättigte Carbolsäurelösung schwach vergiftet, so behalten sie ihre runde Zellgestalt, gleichwohl aber dehnen sich bei der Durchströmung die im ersten Momente entstandenen Specialpolfelder sofort weiter über die ganze direct bestrahlte Zelloberfläche aus, und es entsteht so ganz rasch jederseits ein einheitliches, aber im Bereiche der oberen Hemisphäre aus gerundet vorspringenden Zellen bestehendes Polfeld, und zwischen beiden liegt der von zwei durchgehenden, parallelen Grenzlinien begrenzte Generaläquator. Die Polfelder greifen sogar etwas über die Zellkanten gegen die Furchen hinüber.

Diese Beobachtungen beweisen wohl, dass die Specialpolarisation der einzelnen, die Morula und Blastula zusammensetzenden Furchungszellen an eine besondere, mit der Abnahme der Vitalität derselben schwindende Eigenschaft geknüpft ist. Ueber die Natur dieser Eigenschaft wurde später Weiteres ermittelt.

Ein wenig längere Zeit mit der Carbollösung behandelte Eier reagiren nicht mehr auf den Strom, entwickeln sich aber auch nicht weiter und erhalten sich viele Tage lang unverändert, während lebende, sich nicht weiter entwickelnde Eier sich in wenigen Tagen zersetzen.

Auch abnormer Weise schon vor der Zeit der ersten Eitheilung (vielleicht durch das Eindringen mehrerer

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Samenthierchen) an ihrer oberen Hälfte in viele Stücke zerschnürte Eier bildeten beim Durchströmen Specialpolfelder an den einzelnen, durch Furchen von der Umgebung abgesonderten Stücken des Zellleibes. Einige Eier aber entwickelten trotz dieser kugeligen Gliederung wieder sofort die allgemeinen Polfelder.

Verhalten der Embryonen.

Die während der vorstehend mitgetheilten Versuche entwickelten Embryonen von Rana fusca gaben Gelegenheit, auch an weiteren Entwicklungsstufen die Wirkung des Wechselstromes zu studiren. Es zeigte sich, dass an noch in ihrer Gallerthülle befindlichen Froschembryonen, sei es mit noch offenem oder mit schon geschlossenem Medullarrohr, ja auch sogar an schon seit einigen Tagen ausgeschlüpften freien Embryonen der Wechselstrom scharf abgegrenzte Polfelder hervorbringt, die durch einen anscheinend unveränderten Aequatorgürtel getrennt sind. Doch bleibt bei schon ausgeschlüpften Embryonen manchmal die scharfe Begrenzung der Polfelder gegen das Aequatorfeld aus. Im Bereiche der Polfelder tritt leichte graue Verfärbung auf, die anscheinend auf Rundung der Epithelzellen, besonders der farblosen, und auf allmäligem Abfall derselben beruht: eine dem Tode des Embryo vorausgehende Veränderung, die auch sonst vorkommt und von mir[1]) als Framboisia embryonalis finalis minor bezeichnet worden ist. Diese Veränderung setzt sich auch nach dem Aufhören der Durchströmung noch fort unter Verschärfung der Abgrenzungslinien der Polfelder gegen den unveränderten Aequatorgürtel. Hat man bei starker Anordnung zu lange durchströmt, so greift die Framboisia minor, wie sonst beim Absterben, rasch auf den ganzen Embryo über, und man übersieht alsdann leicht die zuerst

---

[1]) Vergl. W. Roux, Beiträge zur Entwicklungs-Mechanik des Embryo. Nr. I, Zeitschr. für Biologie, Bd. XXI, N. F. III, 1885.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

vorhanden gewesene polare Localisation der Veränderung. Werden jüngst ausgeschlüpfte oder durch Scheerenschnitt etwas vor der Zeit zur Welt gebrachte Embrynen in dicke Lösung von Gummi arabicum gethan und durchströmt, so sieht man an den den Elektroden nächsten Stellen die Zellen sich runden, aber nur wenige abfallen; eine deutliche Grenze der veränderten Theile gegen ein unverändertes mittleres Feld ist jedoch nicht wahrnehmbar, obgleich gleichalterige Embryonen derselben Abkunft, zur Probe in Wasser durchströmt, ein scharf begrenztes Aequatorfeld darbieten. In Wasserglas gelegte Embryonen bilden auch ohne Durchströmung sofort starke universelle Framboisie. Ist das (sehr gut leitende) Wasserglas aber beim Einlegen des Embryo schon durchströmt, so ist die als dann auch in längerer Zeit eintretende Epithelablösung nur gering, so dass zu schliessen ist, die Epithelzellen werden jetzt meist sofort getödtet, ehe sie noch Zeit hatten, sich in sich selber zusammenzuziehen. Die bei der Framboisia minor von den Embryonen abgefallenen Epithelzellen werden gewöhnlich durch typische Strömungen an zwei Stellen der Umgebung des Embryo angehäuft, nämlich in der Umgebung der Schwanzspitze und in der Umgebung der beiden, dicht bei einander befindlichen Haftnäpfe.

Die Breite des Aequatorgürtel der Embryonen wächst ceteris paribus mit der in Richtung des Stromes gemessenen Länge des Embryo, (also mit l. cos. α, wenn α den Winkel zwischen Stromrichtung und Embryo bezeichnet); dieses Wachsthum ist aber keineswegs proportional dieser Länge; das geht auch schon daraus hervor, dass der Aequator meist parallel contourirt ist, obgleich die Embryonen an beiden Seiten convex sind. Der Aequator steht also nicht etwa in einem bestimmten Verhältniss zu der von jedem Stromfaden durchsetzten intraembryonalen Länge, sondern mehr zu Verhältnissen der äusseren Configuration.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Die Breite des Aequatorgürtels der Embryonen nimmt ferner mit der Abnahme der Stromstärke zu. Bei schwächerem Strom werden also ceteris paribus die Polfelder kleiner, während der Aequatorgürtel entsprechend an Breite gewinnt, so dass schliesslich bloss noch die beiden äussersten, den Elektroden zugewandten Enden die Framboisie darbieten. Bei weiterer Stromschwächung ist dann keine morphologische Wirkung mehr wahrnehmbar, sondern es finden an schon genügend weit entwickelten Embryonen bloss Zuckungen statt. Dieses dem früher über die Eier Mitgetheilten entsprechende Verhalten der Embryonen bekundet also wiederum, dass nur Ströme von gewisser Stärke die geschilderte morphologische Polarisation der durchströmten bezüglichen organischen Körper hervorbringen, während schwächere Ströme ohne eine solche deletäre Polarisation zu bewirken diese Körper durchfliessen. Die Breite des Aequatorgürtels ist aber ausserdem auch erheblich von der Gestalt des Embryo abhängig.

Für die Lage des Aequatorbandes am Embryo zeigt sich unter Anderem von Bedeutung, dass das mit einer Spitze gegen die nächste Elektrode gerichtete, caudale Polfel in Richtung des Stromes länger ist, als das eine stumpfere Form der Elektrode zuwendende andere, cephale Polfeld. Die Wirkung dieser Componente ist sehr bedeutend.

Die Intensität der im Bereiche der Polfelder stattfindenden Veränderungen ist ausser durch die Intensität des Stromes und die Dauer seiner Einwirkung wesentlich wiederum durch die Gestalt, sowie durch die Richtung der Flächen zu den Stromfäden bestimmt. Gegen die Elektrode gewendete Spitzen werden eher und stärker verändert als stumpfere Flächen.

Wenn man sich die Richtung der Stromfäden von einer Elektrode aus vorstellt, so sieht man, dass die dieser Elektrode zugewendeten Flächen des nach ihr hin gelegenen Stückes des Embryo, welche also direct von den aus der

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Flüssigkeit in den Embryo eintretenden Stromfäden getroffen werden, eine stärkere Veränderung erfahren, als die hinter Vorsprüngen des Embryo gelegenen, demselben Polfeld zugehörigen Oberflächen. Dieser „Stromschatten" beweist zugleich, dass die im Bereiche der Polfelder beobachteten Veränderungen durch den Ein- resp. Austritt der Stromfäden veranlasst werden. Der Stromschatten ist sehr ausgesprochen; aber die räumliche Ausdehnung seines Gebietes entspricht nicht dem Schatten, den die zuerst von den Stromfäden des Elektrolyten getroffenen Flächen in Richtung dieser Fäden werfen würden; sondern das der geringeren Veränderung nach als im Stromschatten befindlich zu erkennende Gebiet ist kleiner, was auf den Eintritt seitlicher Stromfäden, also auf Ablenkung derselben von ihrer eigentlichen Richtung im homogenen Felde hinweist.

Auch bis zur Berührung zusammengedrängte und quer oder schräg zur Richtung der Berührungsflächen durchströmte Embryonen werfen auf einander einen Stromschatten.

Die Richtung des Aequatorgürtel, respective seiner beiden Grenzlinien weicht bei den complicirter gestalteten Embryonen sehr erheblich von den Niveaulinien des umgebenden homogenen elektrischen Feldes ab; diese Abweichungen sind bei jungen, noch schwanzlosen, aber cephal und caudal verdickten, sowie an schon mit dem Schwanzstummel versehenen, aber infolge Raummangels in der Gallerthülle seitwärts gebogenen Embryonen erheblicher, als bei etwas älteren, freien, schon gestreckten und ausser den Kiemen keine grösseren Verwölbungen besitzenden Embryonen. Letztere lassen bei Stellung in Richtung der Stromlinien oder der Niveauflächen wieder deutlich die Annäherung der Aequatorränder an die bei kugeligen Gebilden (Eiern, Morulae, Blastulae) gewonnenen Potentialniveaucurven erkennen; bei diesen Stellungen gewinnt man auch an den complicirter

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

gestalteten jüngeren Embryonen noch bezüglich gerichtete Aequatorgürtel; aber die Abweichungen sind doch schon erheblicher.

Bei schiefer Lage der Embryonen zu den Kraftlinien erhält das Aequatorband mannigfach gebogenen Verlauf. Es können ferner an den in der Mitte eingeschnürten Embryonen zwei wohl contourirte Aequatorbänder auftreten. Auch Stücke von lebend zerschnittenen Embryonen zeigen eine den mitgetheilten Regeln annähernd entsprechende Polarisirung und in den Polfeldern die Framboisia minor; aber wenn die Schnittfläche der Elektrode zugewendet ist, wird von der Seitenfläche fast bloss der anstossende Epithelrand verändert. Dessgleichen bieten unvollkommen zertheilte Embryonen ausserordentlich mannigfach gestaltete Polfelder dar. Das Genauere dieser Verhältnisse kann nur an der Hand von Abbildungen mitgetheilt werden und verdient vorher noch weitere Beobachtung. Wesentlich ist noch, dass an Embryonen mit umgebogenem Schwanze die Umbiegungsstelle in ihrem, auf den mittleren Stromfaden bezogen, lateralen Theil kein Aequatoralband enthält, was wiederum wohl durch Ablenkung der Stromfäden bedingt ist.

Auch Gastrulae und junge Embryonen von Rana esculenta ergeben bei genügend starkem Strom grau verfärbte Polfelder mit scharfem, deutlichen Grenzcontour, der einen schmalen unverfärbten Aequator einschliesst. Auch dem Ausschlüpfen nahe, sowie erst vor Kurzem ausgeschlüpfte Embryonen, welche beide schon ein geschlossenes Medullarrohr haben, bilden scharf gegen den unveränderten Aequator begrenzte Polfelder; nur muss man, um sie deutlich zu sehen, nach 3—4 Minuten dauernder Durchströmung noch eine halbe bis eine Stunde warten.

Wir wissen noch nicht, ob respective wie weit diesen äusseren Veränderungen der Embryonen innere entsprechen, wenn schon an durchscheinenden Gebilden, wie den kleinen Eierstockseiern des Frosches, sowie an dem Froschherzen

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

und anderen später zu erwähnenden Organen die inneren Theile des Polabschnittes, bei Besichtigung auch ohne vorausgegangene Microtomirung verändert zu sein scheinen. Aus dem Verhalten der Embryonen geht aber deutlich hervor, dass sich die Gesammtreaction eines Embryo nicht aus der Veränderung der in Richtung der Stromfäden des homogen gedachten elektrischen Feldes liegenden, einzelnen, etwa für sich selbst veränderten Substanzfäden integrirt, sondern dass jeder einzelne Embryo, wie auch nach den Beobachtungen an Rana fusca jedes abgeschnittene, für sich im Menstruum liegende, lebende Stück eines solchen, als Ganzes beeinflusst wird. Denn die Reaction erfolgt in einer Weise, dass die in den Richtungen der Stromlinien des homogenen Mediums gelegenen Substanzfäden des Embryo sehr verschieden, z. B. an beiden Enden oder bloss an einem Ende oder gar nicht verändert werden würden. Schon deshalb ist nicht anzunehmen, dass die juxta- und intraembryonalen Stromfadenstücke in ihren Richtungen denen eines homogenen Feldes derselben Stelle entsprechen, worüber später Weiteres ermittelt worden ist.

Selbst über vier Wochen alte Kaulquappen von Rana fusca liessen noch Spuren von unserer Polarisation erkennen. Wenn man eine solche Quappe von 10 mm. Rumpf- und 18 mm. Schwanzlänge der Länge nach, eine andere dagegen in Querrichtung etwa 16 Minuten durchströmt hat, so löst sich nach 1 bis 2 Stunden an ersterer das Epithel bloss am Kopf und Schwanz, an letzterer bloss an rechter und linker Seite beim vorsichtigen Bepinseln ab, während es im Bereiche der Mittelstücke, also des Aequators noch fest haftet.

Um die feineren Vorgänge der Polfeldbildung an Embryonen zu studiren, wurden Froschlarvenschwänze in dorsiventraler Richtung unter gleichzeitiger mikroskopischer Beobachtung mit Zeiss Objectiv C und D 15 Minuten lang durchströmt. Doch waren die Larven

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

leider schon erheblich älter, als diejenigen, welche noch scharf umgrenzte Polfelder ergaben. Die vielfach verästelten Pigmentzellen zogen sich auf ihre Hauptbalken zusammen; viele periphere Aeste wurden dabei isolirt und contrahirten sich zur Kugel. Während in den nicht durchströmten Epithelzellen des Probeembryo der Kern kaum zu sehen war, bekamen während und nach der Durchströmung die Kerne je eine dicke glänzende Membran und im Innern entstanden viele glänzende Fäden; dann verloren die Kerne ihre Grenzen und an Stelle der glänzenden Fäden entstanden grössere und kleinere glänzende Körner; die grösseren Körner verschwanden darauf, die kleineren Körner vertheilten sich in der Kernhöhle. Die Zellen fielen vom Schwanze ab, behielten dabei aber ihre eckige Gestalt; dieser Zellabfall fand etwa $^3/_4$ Stunden nach dem Beginn der Durchströmung an der Stelle stärkster Stromwirkung statt. Framboisia minor, d. h. Rundung der einzelnen Epithelzellen unter Lösung des Verbandes mit den Nachbarepithelien trat in diesem vorgeschrittenen Stadium der Entwicklung nur an einzelnen Stellen schwächerer Stromwirkung und erst nach 1—1 $^1/_4$ Stunden auf. Um diese Zeit ist in vielen Epithelzellen der Kern ganz geschwunden. Zu bemerken ist, dass auch an einem zum Vergleiche abgeschnittenen, nicht durchströmten Schwanze einer gleichalterigen Quappe die Kerne aber erst viel später dicke Membranen gebildet hatten, dass an manchen Stellen zwischen den Zellen über Nacht viel Intercellularsubstanz abgeschieden wurde, und dass auch an diesen Zellen die Kerne nicht mehr erkennbar waren. Diese nicht polaren structurellen Reactionen embryonaler Zellen auf den elektrischen Strom und ohne solchen, bloss nach der Abtrennung vom Körper, werden von mir an geeigneteren Objecten genauer ermittelt und danach einer eingehenderen Mittheilung unterzogen werden.

Dauer und Zerstörung der Reactionsfähigkeit.

Die Fähigkeit der Eier, in der beschriebenen Weise auf den Strom zu reagiren, erhält sich selbst

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

an den aus dem Körper entnommenen Eiern ziemlich lange. So boten in Wasser versetzte, unbefruchtete Eier sie noch nach $1^1|_2$ Tagen dar. Und Eier von vor drei bis vier Tagen getödteten und mit eröffnetem Leibe gelegenen Weibchen, deren Eier zum Theil an die Uteruswandung angetrocknet waren, bildeten noch die Niveauringe, obgleich die zur Probe besamten, aber nicht durchströmten Eier sich nicht furchten, also nicht mehr entwickelungsfähig waren.

Vier Tage lang in Wasser gestandene, unbefruchtete, schon hochgradig zersetzte vacuolisirte Eier, bei welchen schon Oel sich ausgeschieden und oben angesammelt hatte, bildeten noch schöne Niveauringe, innerhalb deren die Eirinde auch aufplatzte und Eiinhalt austreten liess. Diese noch reagirenden Eier hatten aber noch den normalen, schwach gelblichen und schwach durchscheinenden Ton der Eirinde; während bloss drei Tage alte, auf Eis gestandene gleichfalls unbefruchtete Eier, die ihren gelblichen transparenten Ton verloren hatten, und daher oben opakbraun oder grauweiss, unten opakweisslich waren, nicht mehr reagirten; dasselbe war der Fall bei vollkommen unverfärbten aber durch Carboldämpfe vergifteten Eiern. An oben zersetzten und daselbst nicht mehr deutlich reagirenden Eiern kommt es vor, dass sich auf der unteren Hemisphäre noch deutliche Niveaufurchen bilden; die Reaction ist also ein localer, nicht ein vom ganzen Ei vermittelter Vorgang.

Dagegen verlieren die Eier von Rana fusca durch 4 Minuten langes Einlegen in Wasser von 45—46° das Vermögen auf den Strom zu reagiren; ein Zeichen, dass gleichwohl diese Reaction an Lebenseigenschaften der Eier gebunden ist.

Eier von Rana esculenta zeigen ein entsprechendes Verhalten gegen die Wärme; zugleich wurden noch einige weitere Beobachtungen gemacht. Noch ungefurchte Eier reagiren nach kurzem Einlegen in Wasser von 39°, 40°—45° C noch stärker und rascher als nicht erwärmte;

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Abkühlung durch Eis verzögert und schwächt die Reaction auf den Strom. Durch bloss 3 Minuten langes Erwärmen der noch ungefurchten Eier in Wasser von 47—48° C wurde die Reaction träge, die Polfelder wurden nur wenig verfärbt und etwas kleiner als sonst, der Aequator ward also entsprechend breiter, und die Niveaufurchen waren bloss wie leicht eingeritzt. Nach ebenso langer Erwärmung in Wasser von 48—49° blieb die Reaction auf den Strom aus. Dasselbe geschah auch schon nach 5 Min. langem Einlegen der Eier in Wasser von 46° C.

Morulae welche durch 2 Minuten langes Einlegen in Wasser von 40, 46 oder sogar 48° C erwärmt worden sind, reagiren sehr rasch, bilden sofort die Specialpolfelder, und an der Grenze derselben treten an den oberen Zellen kleine Tropfen Dotters durch die Eirinde. Nach $2^1/_4$ Min. langem Liegen in Wasser von 49° C wachsen beim Durchströmen die Specialpolfelder sofort über die ganze Aussenfläche der Zelle aus, und es entstehen die beiden Generalpolfelder mit den beiden durchgehenden Niveaulinien als Grenzen. Etwas polwärts von diesen Linien war die Veränderung, die Verfärbung am stärksten, nahm dann polwärts etwas ab, um am Pole selber wieder stärker zu sein. $2^1/_2$ Minuten in Wasser von 49° C. verbliebene Eier behalten normale Gestalt und Farbe, reagiren aber nicht mehr.

Befruchtete, mehrere Tage alte Eier, welche durch Carbolsäuredämpfe schwach vergiftet worden waren, und sich desshalb nicht entwickelt hatten, zeigten nach der Behandlnng mit einem starken Strom einen ebenso schmalen Aequator, als normale Eier; aber die Polfelder waren nur wenig verfärbt, hatten keine Extraovate gebildet, und an Stelle der Niveaufurchen waren bloss pigmentirte Niveaulinien entstanden. Dieselbe Abschwächung der Reaction bei normaler Ausdehnung derselben findet auch an frisch mit Carbolsäure vergifteten, noch ungefurchten Eiern statt; und an beiden Arten von Eiern

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

vollzog sich nach der Durchströmung allmählig eine erhebliche Verbreiterung und Aufhellung des Aequators. Nachdem solche Eier 12 Tage gestanden hatten, war der Aequator stark gewölbt und die Rinde des Aequators besser erhalten als die Rinde im Bereiche der Polfelder, welche oben zersetzt und macerirt war.

Verhalten gegen den Gleichstrom.

Die Kunstmühlenbesitzer Herren Gebrüder Rauch in Mühlau gestatteten mir am 8. April freundlichst die Benützung des mit der kleineren ihrer Dynamomaschinen unter einer Tourenzahl von 1200 per Minute erzeugten Gleichstromes von 43 Volt Spannung; ich wandte von demselben nur eine schwache Stromschleife auf Eier von Rana fusca an. Um möglichst verschiedene Stromdichten zugleich zu prüfen, setzte ich die Elektroden einander nahe im Binnenraume des runden Stromfeldes auf.

Bei diesem Strom zeigte sich eine Verschiedenheit der von beiden Elektroden ausgehenden Wirkungen zunächst schon an der Gallerthülle. Während beim Wechselstrom die Gallerthülle unverändert blieb, entstand hier um die durch stärkere Gasentwickelung ausgezeichnete, also negative Elektrode zunächst eine Aufhellung der Gallerthüllen, der später beim Kochen eine opakweisse Trübung folgte; in der Umgebung der Anode dagegen entstand ein bläulich hyaliner Schimmer in der zugewendeten Substanz der Gallerthüllen, der sich nach dem Kochen noch erhielt.

An reifen unbefruchteten Eiern von Rana fusca entwickelte sich in weiter, die Mittellinie des elektrischen Feldes überschreitender Umgebung der Anode an den Eiern bloss ein grosses grau verfärbtes, der Anode zugewendetes und demnach als anodisches oder positives zu bezeichnendes Polfeld mit einer deutlichen Niveauringfurche als Grenze. An den weiter gegen die Kathode hin gelegenen Eiern trat danach eine kathodenwärts

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

liegende Niveauringlinie hinzu als einzige Marke der Scheidung auf dieser Seite des Eies; und bloss die der Kathode nächsten zwei Reihen Eier hatten ein verfärbtes aber grosses, kathodisch gelegenes Polfeld unter Fehlen eines anodischen. Die seitlich im Stromfeld liegenden Eier boten vielfach zwei schwach verfärbte Polfelder und zwischen ihnen einen unverfärbten Aequatorgürtel dar; aber an manchen Eiern fand sich nur anodenwärts ein verfärbtes Polfeld, kathodenwärts dagegen wieder bloss eine Niveauringlinie. Die Richtungen, Krümmungen und Abstände der Niveauringe entsprachen wieder durchaus der ihnen gegebenen Bezeichnung.

An befruchteten, zwischen den Elektroden gelegenen Eiern zeigten sich nach kurz dauernder Durchströmung zwei Niveauringe von deutlicher Schärfe; das anodische Polfeld war gross und nur wenig verfärbt; das kathodische zeigte sich an manchen Eiern etwas verfärbt, an anderen gleich dem Aequatorgürtel unverfärbt, und war in der Stromrichtung verlängert und in verticale Längsfalten gebogen. Im seitlichen Theile des Stromgebietes war im Bereiche des Aequatorgürtels der Eier nach einigen Stunden vielfache Zersetzung, wie oben beim Wechselstrom beschrieben, wahrnehmbar. Weiter seitlich und nach hinten von den Elektroden waren die Eier unverändert und theilten sich später normal. Am Uebergang zwischen beiden letztgenannten Abschnitten fanden sich Eier mit zwei sehr kleinen verfärbten Polfeldern; an diesen Eiern bildete sich später im breiten Aequatorgürtel die typische erste Furche und stand auffallend häufig in Richtung der mittleren Verbindungslinie beider Pole.

Es ergab sich also ein deutliches Ueberwiegen der Wirkung dieses Gleichstromes auf der anodischen Seite der Eier, im Uebrigen aber doch eine doppelseitige, wenn auch schwächere Wirkung als beim Wechselstrom.

Späterhin war Herr College Wassmuth, als interimistischer Leiter des hiesigen k. k. physikalischen Institutes

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

so freundlich, mir 15 Bunsen'sche Elemente von 20 cm. Höhe zu leihen. Der mit diesen Elementen erzeugte Gleichstrom wurde auf die viel empfindlicheren Eier von Rana esculenta angewandt und liess bei Nebeneinanderschaltung, wie erwartet, auch bei starker Versuchs-Anordnung (kleine Schale, Abstand der Elektroden von bloss 1·6 cm.) innerhalb drei Minuten eine Wirkung weder auf die Gallerthüllen noch auf die Eier erkennen. Daher wurde weiterhin nur noch mit hintereinander geschalteten Elementen experimentirt unter Gewinnung folgender Ergebnisse:

Die Wirkung dieses Stromes auf die Gallerthüllen und auf die befruchteten Eier entspricht wesentlich der früher mitgetheilten Wirkung des mit der Gleichstrom-Dynamomaschine erzeugten Stromes.

Noch durchscheinende Eierstockseier bilden ein weisslich trübes, anodisches und ein helles, wässerig durchscheinendes kathodisches Polfeld; letzteres wird allmälig etwas länglich und kann schliesslich aufplatzen, so dass sich der Eiinhalt in die umgebende Flüssigkeit entleert. Oft sieht man durch das trübe anodische Polfeld das grosse, klar gebliebene Keimbläschen schon bei Loupenbetrachtung durchscheinen. An gleichen Eiern, welche nicht von etwas Wasser oder Gewebesaft umspült waren, konnte ich (N. B. bei Aufsetzung der Elektroden auf ein Stück des Eierstockes, und bei Anwendung von bloss 8 Bunsen) gleich wie beim Wechselstrom keine deutliche Veränderung wahrnehmen. Ebenso bilden dotterkörnerhaltige, grössere Eierstockeier bei Anwesenheit von Flüssigkeit deutliche Polfelder, zuerst ein scharf begrenztes rauh werdendes, anodisches, darauf ein weniger deutliches, aber an, der Kathode nahen Eiern aufplatzendes kathodisches Polfeld. Die bekannte kataphorische Wirkung des Gleichstromes auf der Kathodenseite ist also hier eine sehr starke.

Unbefruchtete, reife Eier bilden zunächst ein grosses, leicht graubraun verfärbtes, positives, darauf ein

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

kleineres, aber in der Nähe der Kathode an Grösse zunehmendes negatives Polfeld. Die positive Niveaulinie ist gewöhnlich weiss und der anstossende Aequatorrand um so dunkler; manchmal ist jedoch auch eine schwarze anodische Niveaufurche vorhanden. Das anodische Polfeld kann aber auch rosettenartig ausgebogen sein. Das kathodische Polfeld ist mit weissen runden Flecken versehen und kann einer scharfen Grenze entbehren. Nach der Ausschälung und Härtung sah ich am Aequator und kathodischen Theile des Eies von dem einen auf den andern Theil übertretend, durch seichte Furchen getrennte Längswülste, von denen die beiden obersten in Richtung des Stromes, die mehr seitlichen aber etwas nach der Seite concav verliefen, beiderseits aber symetrisch zu einander geordnet waren. Manchmal hat das kathodische Polfeld eine deutliche Grenze und ist auch eine besondere negative Niveaulinie vorhanden. Die Summe der Niveaulinien bildet bei gleichmässiger Zusammenlagerung der Eier in der Schale wiederum deutliche Potentialniveauflächen des ganzen Feldes.

Ausgedehntere Beobachtungen wurden an befruchteten Eiern gemacht. Zuerst entstehen wieder die gegen die Anode hin gewendeten anodischen oder positiven Polfelder. Von oben gesehen, wird der Bereich dieses Feldes am noch ungetheilten Eie auf einmal leicht graulich, trüb, darauf sogleich hellbraun, und grenzt sich oben durch eine deutliche Furche ab; darauf steigt ein gewöhnlich zungenförmiger Strom der hellbraunen Substanz auf und breitet sich oben bohnenförmig aus, verschwindet aber einige Zeit nach der Stromunterbrechung oder beim sofortigen, behufs Fixation vorgenommenen Kochen in den meisten Fällen, wohl durch Vertheilen der ausgetretenen Substanz im Eiwasser, wieder. Die Besichtigung der aus der Hülle ausgeschälten Eier zeigt das positive Polfeld unten mit hellen Flecken bedeckt, die durch ein eckigmaschiges Netz schwarzbrauner Linien getrennt sind. Dieses anodische Polfeld stellt in seiner Gestalt einen

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Kugelabschnitt dar und setzt sich durch seinen oberen, vorspringenden Rand von dem übrigen, oft in Richtung des Stromes deutlich verlängerten, mit einigen leichten Längsfurchen und entsprechenden Wülsten versehenen Theil des Eies ab. An letzterem Theil findet sich, dem positiven entgegengesetzt, das oft kleinere, kathodische Polfeld, Dasselbe entsteht später als das positive und ist durch noch rundliche helle Fleckchen, die kleiner sind als die zuletzt eckigen Flecken des anodischen Feldes, charakterisirt; es hat meist keine deutliche Grenze; selten ist unten am Eie als Grenze eine dunkle Linie oder eine Reihe von Flecken vorhanden. Die Veränderungen sind viel geringer als am positiven Felde. Zwischen beiden Polfeldern liegt der in seiner Farbe meist unveränderte Aequatorgürtel. Das Ei ist oben manchmal abgeplattet.

Bei Besichtigung mit schwacher Vergrösserung beobachtete ich im Bereiche der Polfelder an der oberen Hemisphäre einen Durchtritt feinen, weissen Dotters durch die ganze Fläche der betreffenden Eirinde nach aussen, wodurch also die graue Verfärbung des Polfeldes zum Theil bedingt ist.

An durch Eis gekühlten Eiern entstand erst zwei Minuten nach dem Auftreten des anodischen Feldes auf der kathodischen Eihälfte eine braun pigmentirte Niveaulinie, oder bei anderen Eiern eine anfangs kleines, dann fast zur Grösse des positiven anwachsendes wenig verfärbtes Polfeld. Die positive Eihälfte behielt ihre Wölbung, die negative wurde wieder in Richtung des Stromes etwas verlängert und gefaltet.

Bei geringem Elektrodenabstand, also bei starker Anordnung, breitet sich die anodische Polfeldbildung nicht erkennbar successive vom elektrischen Pol des Eies aus, sondern tritt anscheinend gleichzeitig in einem grossen Polfelde auf; und die Veränderung ist sogleich in der Nähe der Niveaulinie am stärksten, so dass z. B. an der Morula in der Nähe der Niveaulinie die Zellen

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

ganz weiss oder ganz aufgerissen sind, während am Pole ihre braune Farbe nur schwach grau verfärbt ist.

Bei schwachem Strom entsteht auf der negativen Seite des Eies überhaupt kein Polfeld. Bei starker Anordnung nimmt die Grösse der Polfelder deutlich in der Nähe der Elektroden trotz gleichen Querschnittes der oblongen Strombahn zu, und die unmittelbar neben der Kathode stehenden Eier werden in ihrer dieser zugewendeten Hälfte geradezu zerrissen; während die neben der Anode befindlichen Eier stark veränderte Polfelder von der typischen Form des positiven Polfeldes bekommen.

Wird bloss kurze Zeit (30 Secunden) durchströmt und darauf die Stromrichtung umgekehrt, so erhält man beiderseits Veränderungen von der Beschaffenheit eines positiven Polfeldes, und das Ei bietet das Aussehen eines mit dem Wechselstrom behandelten Eies dar. Wird erst später die Stromrichtung gewechselt, wenn schon die negative Niveaulinie vorhanden ist, so kann man bei geeigneter Dauer der zweiten umgekehrten Durchströmung Eier mit jederseits zwei Niveaulinien erhalten, von denen die beiden vom Aequator entfernteren den Kathoden entsprechen; ein Bild, welches ich auch einige Male bei besonderer Versuchs-Anordnung unter Anwendung des Wechselstromes erhalten habe.

In der ersten oder zweiten Furchung begriffene, ebenso wie schon bis zur Morulastufe weiter getheilte Eier von Rana esculenta bildeten innerhalb 20—30 Secunden vom positiven Pole des Eies aus sich ausbreitende Polfelder an den einzelnen Zellen, aber bloss an den Zellen der Anodenseite des Eies. Das Zellpolfeld liegt wieder polwärts, der Zelläquator distal davon. Springt von der kathodischen Eihälfte eine (also dem Aequator nahe) Zelle so stark vor, dass sie noch von der Anode aus durch die Flüssigkeit hindurch direct bestrahlt werden kann, dann bildet diese Zelle gleichfalls ein entsprechendes, kleines, positives Polfeld.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Auch Gastrulae mit halboffenem Urmund wurden durchströmt; sie bildeten zunächst ein leicht grau verfärbtes positives, dann ein ebenso beschaffenes negatives Polfeld. Wenn bereits die Medullarplatte an der Gastrula vorhanden ist, so durchsetzt der Aequatorgürtel mit seinen, Niveauringe darstellenden Grenzen diese Anlage des Centralnervensystemes ohne jede Unterbrechung oder Richtungsänderung. Durch besondere Veränderungen ausgezeichnete Niveauringe oder gar Niveaufurchen entstehen gleichfalls nicht im Bereiche der Anlage des Centralnervensystemes.

Noch in der Gallerthülle befindliche Embryonen mit so eben geschlossenem Medullarrohr zeigten dieselben Veränderungen, aber intensiver, mit stärkerem Epithelabfall. Das positive Polfeld wurde zuerst weisslich, das negative schien wieder grösser. Schon ausgeschlüpfte, sogar mit Kiemenfäden versehene Embryonen bekamen unter Wirkung des Gleichstroms die beim Wechselstrom ausführlich nach Ausdehnung, Lage und Richtung erörterten Erscheinungen der Framboisia minor im Bereiche der Polfelder.

In der Originalarbeit sind die Ergebnisse der an den Froscheiern und -Embryonen angestellten Versuche in derReihenfolge ihrer Ermittelung, in der sie auch der kais. Akademie der Wissenschaften zu Wien eingereicht wurden, aufgeführt; ein Umstand der die Uebersicht über dieselben erschwert. Ich habe diese Ergebnisse daher in dem vorstehenden Bericht vollständig aber in geordneter, übersichtlicherer Folge reproducirt.

Die Originalarbeit enthält nun des Weiteren Mittheilungen über entsprechend localisirte Reactionen der Eier und Embryonen von Fischen, Reptilien, Vögeln und Säugern; wobei zugleich mancherlei besondere Verhältnisse zumal in der Art der Reactionen sich gezeigt haben. Besonders inte-

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

ressant war das Verhalten der inneren Organe der Eidechsen- und Hühnerembryonen, zumal des Centralnervensystems. An den Morulae und Gastrulae vom Triton konnte auch das Verhalten innerer und isolirter Zellen studirt werden.

An den Organen erwachsener Thiere waren entsprechende Wirkungen des elektrischen Stromes nicht oder nur in Spuren erkennbar. Bloss die Gallenblasen der Wirbelthiere und das Froschherz zeigten vollkommen gleich localisirte, aber natürlich andersartige Reactionen.

Nach Abschluss der Arbeit angestellte weitere Versuche an Hühnerembryonen und Froscheiern haben ergeben, dass auch die durch Einschaltung zweier grosser Leydner Flaschen verstärkten Schläge der mit einer Influenzmaschine erzeugten hochgespannten Elektricität bei geeigneter Versuchs-Anordnung entsprechende Wirkungen hervorzubringen vermögen, wie sie oben von dem copialen niedrig gespannten elektrischen Strom mitgetheilt worden sind. Dadurch treten die Versuche mit denen A. Rollet's über die Wirkung solcher Schläge auf das Blut in nähere Beziehung.

Die vorstehend mitgetheilten Beobachtungen schliessen sich trotz mannigfacher neuer Züge eng an die Entdeckung W. Kühnes[1]) an, dass die Protisten durch den elektrischen (constanten wie inducirten) Strom polar erregt und eventuell auf der Polseite zerstört werden. Weitere sehr eingehende Untersuchungen über dieses Verhalten der Protisten sind dann neuerdings von Max Verworn[2]) angestellt worden.

---

[1]) W. Kühne, Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität, Leipzig 1864.

[2]) M. Verworn, Die polare Erregung der Protisten durch den galvanischen Strom. Pflüger's Archiv f. Physiologie, Bd. 45 und 46.

© Naturwiss.-med. Ver. Innsbruck; download unter www.biologiezentrum.at

Schliesslich wurde auch bei einem erwachsenen Cölenteraten (Hydra) ein entsprechendes Verhalten von mir beobachtet.

Für diese schon äusserlich vorhandenen, polar localisirten, sichtbaren structurellen Veränderungen von Organismen durch den elektrischen Strom habe ich die Bezeichnung „morphologische" Polarisation gewählt, um sie von der unsichtbaren innereren Polarisation Peltier's, welche im ganzen Bereiche der durchflossenen Strecke organisirter Gebilde stattfindet, zu unterscheiden.

Es ist gewiss von phylogenetischem Interesse, dass die Eier und Embryonen der Wirbelthiere ein Verhalten darbieten, wie es bei Protisten und einem Cölenteraten dauernd gefunden wurde, während es bei den Wirbelthieren mit dem Fortschreiten der individuellen Entwickelung allmählig aufhört.

In der zweiten Hälfte der Arbeit wird es mit Erfolg unternommen, durch Versuche an flüssigen, halbflüssigen und festen anorganischen Körpern die ursächlichen Verhältnisse der an den lebenden Objecten beobachteten mannigfaltigen Localisationen der Reactionen zu ermitteln. Daran schliessen sich Versuche, welche über die Ursache des oben geschilderten zweifachen Verhaltens des in mehrere Zellen gelegten Eies (der Morula), nämlich der Specialpolarisation der Zellen und der Generalpolarisation des ganzen Eies einigen Aufschluss geben.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck

Jahr/Year: 1892

Band/Volume: 20

Autor(en)/Author(s): Roux Wilhelm

Artikel/Article: Beitrag 6 zur Entwicklungs-Mechanik des Embryo. Ueber die "morphologische" Polarisation von Eiern und Embryonen durch den elektrischen Strom, sowie über die Wirkung des elektrischen Stromes auf die Richtung der ersten Theilung des Eies. 3-57