

Über die bedingte Unabhängigkeit der Entwicklung des polar differenzirten Eies von der Schwerkraft.

Von

Dr. phil. et med. L. Kathariner,

Freiburg (Schweiz).

Mit 1 Figur im Text.

Eingegangen am 31. Mai 1901.

PFLÜGER veröffentlichte in den Jahren 1883 und 1884 (1, 2, 3) Beobachtungen, aus denen sich das Vorhandensein bestimmter Beziehungen zwischen der Lage der ersten Furchungsebenen am Ei des Frosches zur Richtung der Schwerkraft ergaben. Daraus, dass der Urmund dicht unterhalb des jeweilig horizontalen Äquators liegt und durch die vertikale Medianebene halbirt wird, schloss PFLÜGER ferner auf ein Princip, »demzufolge die Schwerkraft einen maßgebenden Einfluss auf die Lage der Organe im Ei ausübt«. Bei genauerer Überlegung beweisen eigentlich schon die Versuche PFLÜGER's, dass der Verlauf der Theilung des polar differenzirten Eies durch die ihm angeborene Anordnung seines verschiedenartigen Inhaltes geregelt wird, dass seine Entwicklung ein Process der Selbstdifferenzirung ist, der allerdings in Anpassung an die Schwerkraft als an eine gegebene Bedingung verläuft und durch Störung dieser Anpassung in andere Bahnen geleitet, bezw. unterbrochen werden kann.

Für eine ursächliche Beziehung der Gravitation zur Entwicklung oder für ihre Bedeutung als einer *conditio sine qua non* folgt dagegen aus PFLÜGER's Versuchen nichts, wie er denn auch die Frage, ob eine Zelle noch nach Elimination der Schwerkraft sich zu theilen vermöge, offen lässt.

Die Lösung derselben wurde von ROUX (4) in Angriff genommen. Roux ließ in ihren Hüllen bewegliche Froscheier auf einem

Klinostaten um eine horizontale Achse rotiren und zwar mit so geringer Umdrehungsgeschwindigkeit, dass die Centrifugalwirkung keinen richtenden Einfluss ausüben konnte, andererseits aber auch der richtende Einfluss der Schwerkraft aufgehoben war. Aus dem trotzdem normalen Verlauf der Entwicklung schloss ROUX, dass die Schwerkraft für sie nicht nöthig sei.

O. SCHULTZE wandte sich erstmalig 1894 (9, 10) gegen diese Auffassung und vertritt seitdem in einer Reihe von Veröffentlichungen, die entsprechende Entgegnungen ROUX's zur Folge hatten, die Nothwendigkeit der richtenden Wirkung der Schwerkraft für die normale Entwicklung des thierischen Eies.

Auf die von RAUBER (5) und SCHULTZE in dieser Richtung verwertheten Beobachtungen an Eiern, die in abnormer Lage fixirt waren, einzugehen, erübrigt sich desshalb, weil bei den betreffenden Versuchen nicht die Ausschaltung der Schwerkraft, sondern eine abnorme Einwirkung derselben auf das Ei als Faktor in Frage kommt, durch welchen der Eiinhalt mehr oder weniger durch einander gemischt wurde, wie dies schon BORN (8) beobachtet hatte. Dass abnorme Entwicklung bezw. Entwicklungsstillstand die Folge war, ist so wenig verwunderlich, als wenn auf andere mechanische Weise, z. B. Durcheinanderrühren des Inhalts mittels eines Glasfadens die normale Struktur des Eies gestört würde, und sich ähnliche Folgen zeigten. Nicht die Nothwendigkeit normaler Schwerkraftwirkung, sondern die Nothwendigkeit der »Normalität« der Schwerkraftwirkung kann so bewiesen werden. Aus der schädlichen Wirkung eines unrichtig dosirten Arzneimittels folgt nicht die Unentbehrlichkeit des richtig dosirten Medikaments, sondern die Nothwendigkeit seiner richtigen Dosirung.

Der seiner Zeit von SCHULTZE (10) angezogene Vergleich: Wenn ich einem Frosch ungünstige Nahrung gebe und er geht zu Grunde, muss ich den Schluss ziehen, dass die richtige Nahrung für ihn nöthig ist, stimmt desshalb nicht, weil es von vorn herein feststeht, dass Nahrung überhaupt für das Leben des Frosches unentbehrlich ist.

Wenn man dagegen aus den schädlichen Folgen abnormaler Schwerkraftwirkung auf die Nothwendigkeit normaler Schwerkraft schließen will, muss man voraussetzen, dass die Schwerkraft überhaupt für das Froschei zur Entwicklung nöthig ist, eine Voraussetzung, die ja gerade erst bewiesen werden soll. Dem Sinne nach derselbe Einwand wurde SCHULTZE schon von ROUX auf der Straßburger Anatomenversammlung und später wiederholt, ebenso in der

physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Würzburg 1894 von FICK und BOVERI gemacht. Wenn SCHULTZE später (12) »um die Kritiker zu befriedigen« bereit ist, zu seiner Behauptung von der Nothwendigkeit der normalen Schwerkraftwirkung den Zusatz anzuerkennen, »so lange die Schwerkraft wirkt«, so giebt er damit in Wirklichkeit auf, was er bis dahin behauptet hatte und noch später wiederholt behauptet (17, 19), nämlich, dass der normale Schwerkrafteinfluss an sich für das Ei zu seiner Entwicklung nöthig ist.

Es lässt sich dies nur aus der ausgesprochenen Ansicht SCHULTZE's (19) erklären, dass das Ei nie, auch nicht im Experiment dem Einfluss der Schwerkraft entzogen werden könne. Unter dieser Voraussetzung wäre zwar die Entbehrlichkeit der Schwerkraftwirkung nicht zu beweisen, aber auch ihre Nothwendigkeit wäre dadurch noch nicht bewiesen.

Unverständlich ist es mir, wie O. HERTWIG (15) die Abhängigkeit der symmetrischen Entwicklung vom richtenden Einfluss der Schwere aus Versuchen mit Froscheiern nachweisen will, die, zwischen Glasplatten gepresst, asymmetrische Embryonen lieferten.

Um den Einfluss einer abnormalen Bedingung (hier der abnorm gerichteten Schwerkraft) unzweideutig zu erkennen, gestaltet man sonst im Experiment alle anderen Bedingungen thunlichst normal. HERTWIG verwerthet bei seinem Versuch einen weiteren, intensiv wirkenden abnormalen Faktor (Pressung) und ignorirt ihn in der Schlussfolgerung.

Außerdem, wenn die durch die Pressung direkt bewirkte, wohl stets mehr oder weniger asymmetrische Verlagerung der Eisubstanzen durch die Schwerkraft nicht korrigirt werden kann und Asymmetrie des Embryos zur Folge hat, so folgt daraus für die Nothwendigkeit der Schwerkraft als »ordnendes Regulativ« für das ungestört gelassene Ei gar nichts.

HERTWIG (7) hat s. Z. selbst am alecithalen¹⁾ Ei des Seeigels beobachtet, dass die Lage der Furchungsebenen von der Organisation des Eies, nicht von der Schwerkraft abhängig ist.

Bevor ich zu Versuchen übergehe, bei welchen die Eier des Frosches sich normal bis zu freilebenden Larven entwickelten, ob-
schon sie jedem richtenden Einfluss der Schwere oder einer anderen

¹⁾ Da neuerdings von BOVERI (Über die Polarität des Seeigeleies. Verhandl. Phys. Med. Ges. Würzburg. N. F. Bd. XXXIV. 1901) die polare Differenzirung des Seeigeleies nachgewiesen ist, so bilden diese Beobachtungen HERTWIG's einen weiteren Beweis für die Selbstdifferenzirung des polaren Eies.

gleichartigen Kraft entzogen waren, seien zunächst einige Überlegungen der Frage gewidmet, ob Klinostatenversuche überhaupt zur Lösung des fraglichen Problems verwertbar sind, d. h.: kann bei denselben die richtende Wirkung der Schwerkraft aufgehoben werden, ohne

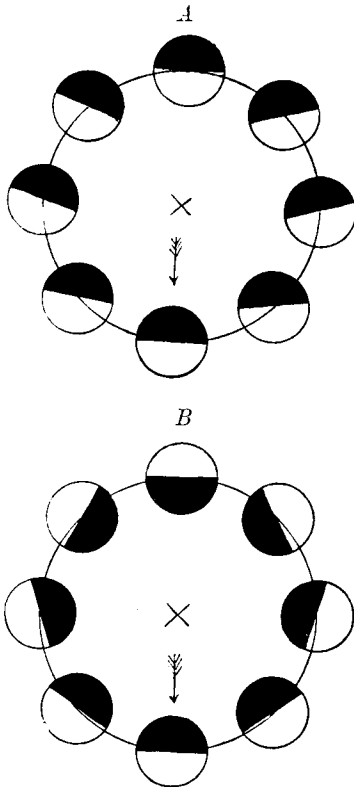
dass sie durch die einer anderen Kraft ersetzt wird? Ich verneine die Frage auf Grund folgender Erwägungen. Man unterscheide zunächst, ob es sich um in den Hüllen drehbare oder fixirte Eier handelt, dann weiter das Verhältnis der Centrifugalkraft zur Schwerkraft, das bekanntlich vom Radius und der Umdrehungsgeschwindigkeit abhängt.

I. Eier in den Hüllen drehbar; Reibungswiderstand = 0 angenommen.

1) Der Schwerkraft gegenüber komme die sehr kleine Centrifugalkraft nicht in Betracht und könne gleich Null gesetzt werden. Die Symmetrieachse des Eies fällt dann stets mit dem Loth zusammen; der Schwerpunkt liegt stets senkrecht unter dem mathematischen Mittelpunkt. Dieser Fall würde bei ganz langsamer Rotation gegeben sein.

2) Centrifugalkraft von endlicher Größe, kleiner, gleich, oder größer als die Schwerkraft (Schema A, B).

Die Eiachse stellt sich in jedem Momente der Umdrehung in die Resultante des jeweilig aus Centrifugal-



Lagen des in seinen Hüllen beweglichen Eies bei der Rotation um eine horizontale Achse, wenn die Centrifugalkraft kleiner (A) oder größer (B) ist, als die Schwerkraft. Der Pfeil deutet die Richtung des Lotes an. Die weiße Hälfte ist die schwerere. Die Eihülle ist nicht gezeichnet.

und Schwerkraftlinie zu konstruierenden Kräfteparallelogramms ein. Sie bildet mit dem Loth einen Winkel, dessen Größe bei jeder Umdrehung von 0 bis zu einem von der Größe der Centrifugalkraft abhängigen Maximum wächst und wieder bis 0 abnimmt. Das Maximum kann 180° betragen.

3) Die Centrifugalkraft allein als wirkende Kraft anzunehmen und die Schwerkraft gleich 0 zu setzen, geht deshalb nicht an, weil

letztere eine stets gegebene endliche Größe darstellt, nicht wie erstere von 0 an wächst.

In Wirklichkeit ist nun noch der Reibungswiderstand zu berücksichtigen, den das Ei bei der Rotation an seiner Hülle erfährt. Derselbe ist je nach dem Quellungszustand bezw. der Menge der Perivitellinflüssigkeit verschieden groß. Liegt seine Größe zwischen 0 und der Größe der Schwerkraft, so wird die Abweichung der Eiachse vom Loth (im Vergleich zu der ohne Reibung angenommenen) um eine der Differenz beider Kräfte entsprechende Winkelgröße wachsen. Da die Reibung jedenfalls eine gewisse Größe hat, so befindet sich auch das in den Hüllen frei bewegliche Ei während der meisten Phasen der Rotation in einer, wenn auch noch so geringen Zwangslage, da seine Symmetrieachse nicht genau mit der Richtung der jeweiligen Kraftlinie zusammenfällt. Da aber eine Abweichung von der Richtung der Gravitation bis zu 40° die normale Entwicklung nicht beeinflusst, so gilt dasselbe auch für eine durch die Reibung herbeigeführte Winkelabweichung von einer anderen Kraftlinie bis zu diesem Betrag.

Bei der Rotation des in seiner Hülle drehbaren Eies tritt an die Stelle der Schwerkraft eine andere richtende Kraft, die gerade wie diese die Symmetrieachse des Eies in ihre Richtung einstellt.

Ein derartiger Versuch beweist zwar, dass ein Zusammenfallen der Eiachse mit der Erdachse zur normalen Entwicklung nicht nöthig ist; für die Entbehrlichkeit einer richtenden Kraft überhaupt ist er aber nicht zu verwerthen.

Von diesem Gesichtspunkt aus ist der Roux'sche Klinostatenversuch zu beurtheilen. Die Eier entwickelten sich hier normal, nicht, weil die abnorm angreifende Schwerkraft, wie SCHULTZE (10) meint, »keine Zeit gewinnt«, ihre Struktur zu beeinflussen, sondern weil eine abnorm angreifende Schwerkraft überhaupt nicht vorhanden ist. Dieselbe ist entweder normal angreifend, oder durch die Resultante aus ihr und der Centrifugalkraft ersetzt. Damit erledigt sich auch der zweite von SCHULTZE (19) gegen ROUX geltend gemachte Einwand, dass nämlich das Ei in kurzen Pausen in Normalstellung zurückkehre, als überflüssig. Außerdem ist aber derselbe unzutreffend. Die »normale« Stellung dauert nicht länger, als jede einzelne »abnormale«. Die Summe der Dauer der letzteren aber ist natürlich viel größer, als eine einzelne Phase, kann dieser gegenüber nie als »kurze Pause« gelten. Die »Normalstellung« wird auch nicht in

jedem Umlauf »einmal oder häufiger« erreicht, es handelt sich vielmehr um ganz bestimmte Zahlen; zweimal tritt »Normalstellung« ein, wenn die Schwerkraft größer ist als die Centrifugalkraft oder gleich groß (Schema *A*), einmal wenn die Centrifugalkraft größer ist (Schema *B*).

II. Eier in den Hüllen fixirt und rotirt.

Hier unterliegt der Eiinhalt an sich den einwirkenden Kräften. Als solche kommen in Betracht

1) die von außen angreifende Kraft, die Schwerkraft oder die Resultante aus ihr und der Centrifugalkraft,

2) die Kohäsion der Bestandtheile des Inhalts des Eies bzw. ihre Reibung an der Eihaut. Da die äußere Kraft in jedem Moment in anderer Richtung auf das System des Eiinhalts einwirkt, so wird sie eine Verschiebung des Schwerpunktes im Ei, d. h. eine Mischung der Massen und Zerstörung des ursprünglichen Gefüges zur Folge haben, wenn sie größer ist, als die Kohäsionskraft.

Aus den Versuchen von BORN (8) u. A. geht hervor, dass die Schwerkraft größer ist, als die Kohäsion des Inhalts des Froscheies. Die Resultante von Schwerkraft und Centrifugalkraft ist nun oft größer als die erstere allein. Um so mehr wird sie größer sein, als die Kohäsion. Daher das baldige Absterben fixirter rotirter Eier, wie es SCHULTZE beobachtete. Wird die Centrifugalkraft gleich oder wenig größer als die Schwerkraft, so ist die Resultante in der unteren Hälfte der Umdrehung größer, in einem großen Theil der oberen aber kleiner als die Schwerkraft. Sie kann desshalb dort auch kleiner werden als die Kohäsion, so dass der Eiinhalt durch sie keine nennenswerthe Umordnung¹⁾ erfahren wird. Für eine solche käme nur die untere Hälfte des Weges in Betracht. Hier aber bilden die Resultanten der äußeren Kräfte in den entsprechenden Phasen der beiden Viertelkreisbogen gleiche und entgegengesetzte Winkel zum Loth bzw. zur Symmetrieachse des Eies²⁾, d. h. sie sind bestrebt ihre Wirkungen gegenseitig aufzuheben. Daraus folgt mit Wahrscheinlichkeit, dass unter Umständen auch das fixirte Ei trotz der

¹⁾ Deren Größe wird wieder durch die Resultante aus der Kohäsionskraft als der einen und der Resultante von Schwer- und Centrifugalkraft als der anderen Komponente bestimmt.

²⁾ Als Ausgangsstellung für die Rotation ist die tiefste Einstellung gedacht und das Ei fixirt angenommen in einer Lage, in der seine Achse mit dem Loth zusammenfällt.

Rotation einer seine Entwicklung erheblich störenden Umordnung des Inhaltes entgegen kann.

Aus dem Gesagten ergibt sich der Schluss, dass

1) ein Rotirenlassen von frei in ihren Hüllen beweglichen Eiern um eine feste Achse mit gleichmäßiger Geschwindigkeit keinen Aufschluss über die Entbehrlichkeit der richtenden Wirkung der Schwerkraft geben kann, weil dieselbe durch eine gleichartig wirkende Kraft ersetzt wird;

2) ebensowenig ein Rotirenlassen fixirter Eier, weil es sich hier nicht um eine Ausschaltung der richtenden Kraft, sondern um das Einführen einer den Eihalt umordnenden Kraft, Schwerkraft oder Kombination derselben mit der Centrifugalkraft handelt¹⁾.

Es erhebt sich nun die Frage: Giebt es kein Mittel, jede äußere richtende Krafteinwirkung vom Froschei fernzuhalten und zu sehen, ob es sich doch entwickelt?

Ich meine ja; vernichten können wir zwar die Schwerkraft nicht, wohl aber können wir sie praktisch unwirksam machen, worauf es ja hier allein ankommt. Wir brauchen nur den Versuch so anzuordnen, dass der Effekt, den eine äußere richtende Kraft im einen Moment setzen will, durch eine in anderer Richtung einwirkende Kraft im nächsten Moment wieder aufgehoben wird. Es wird dann zu keiner erheblichen Störung in der Struktur des Eies kommen, sofern die einwirkenden Kräfte so klein im Vergleich zur Kohäsion sind, dass die von ihnen in einem Moment angestrebten Verschiebungen der verschiedenen Substanzen des Eihalts gleich Null gesetzt werden können. Darum und trotz des Fehlens einer richtenden Kraft entwickeln sich dann die Eier normal, wie der Erfolg lehrt. Ob das Ei bei einem derartigen Versuch in seiner Hülle drehbar ist oder nicht, ist natürlich einerlei.

Diesbezügliche Versuche, zunächst in anderer Absicht als der, das vorliegende Problem zu studiren, stellte ich im Frühjahr 1900 an. Vorausschicken will ich, dass der angewandte Apparat sehr primitiv ist. Unter der Einfachheit der Technik eines Versuchs braucht aber nicht die Exaktheit und seine Beweiskraft zu leiden; unter dieser Voraussetzung wird die Einfachheit einen Vorzug bilden, weil

¹⁾ Hierher gehören auch die Versuche HERTWIG's 11) an Eiern unter Anwendung einer die Kohäsion der Theilchen des Eihalts übertreffenden Centrifugalkraft. Nicht die veränderte Richtung, sondern die gesteigerte Intensität der äußeren Kraft gab hier den Anlass zu abnormaler Entwicklung.

dann der betreffende Versuch leichter der Kontrolle von anderer Seite zugänglich ist.

Im März 1900 setzte ich einen Laichballen von *Rana fusca*, dessen Eier im Beginu der Urmundbildung standen, in ein 15 cm weites Cylinderglas. In dasselbe tauchte eine überall gleich weite Glasröhre bis nahe auf den Boden, die durch einen Gummischlauch mit einem durch die Wasserleitung zu betreibenden Durchlüftungsapparat in Verbindung stand. Dieser lieferte je nach Belieben einen stärkeren oder schwächeren Luftstrom, welcher im Wasser in rasch auf einander folgenden Blasen aufsteigend das Wasser und den Laichballen in ständiger Bewegung hielt. Die Form der Bewegung lässt sich im großen Ganzen eine Rotationsbewegung nennen, unterscheidet sich aber von der des Klinostaten dadurch, dass sie um keine feste Achse herum stattfand, und ihre Geschwindigkeit sowohl bei Vergleichung der einzelnen Touren¹⁾ unter einander, als auch in den verschiedenen Strecken einer Tour stets wechselte. Nach physikalischem Sprachgebrauch war sie eine ungeordnete. Sobald der Eierballen in die Nähe der Mündung des Glasrohres kam, wurde er mit großer Geschwindigkeit nach oben gerissen, trieb an der Oberfläche zugleich sinkend nach der anderen Seite, kam auf den Grund, wurde über diesen hinweg wieder in den Bereich des aufsteigenden Luftstroms geführt und begann seinen Weg von Neuem. Dazu kamen rüttelnde und schüttelnde seitliche Bewegungen, namentlich dann, wenn der vordere Theil des Eierballens schon vom Luftblasenstrom erfasst war, aber durch das nachschleppende hintere Stück gehemmt, seine Geschwindigkeit noch nicht theilen konnte.

Von einer Orientirung der Eiachse in der Gravitationsrichtung oder irgend einer länger als einen Moment richtend wirkenden Kraft war dabei gar keine Rede. Davon konnte man sich zum Überfluss jeden Augenblick überzeugen. Unter andauernd gleichen Verhältnissen verlief die Entwicklung bis zur Ausbildung normaler, freischwimmender Larven.

Nachdem ich aus den Arbeiten PFLÜGER's dessen Ansichten über einen wahrscheinlichen Einfluss der Schwerkraft auf die Lage der beiden ersten Furchungsebenen und des Urmunds kennen gelernt hatte, operirte ich im Frühling 1901 mit frisch befruchteten Eiern. Die Verhältnisse waren ungünstig, indem die außergewöhnlich kalte Witterung im März die Grasfrösche bis Ende des Monats im Winterquartier

¹⁾ Ihre Anzahl wurde zwischen 18 und 40 in der Minute gehalten.

zurückhielt, und am ersten schönen Tage fast alle gleichzeitig dasselbe verließen und sofort ablaichten. Nur mit Mühe gelang es daher, am 6. April noch vier laichfähige Paare aufzutreiben; der Laichtrieb war auch bei ihnen so stark, dass eines der Weibchen, obschon isolirt, in der Nacht zum 7. seine Eier absetzte, und ich auf nur drei Paare angewiesen war. Ich erwähne Vorstehendes desshalb, weil gegen Ende der Laichperiode die Eier bekanntlich weniger widerstandsfähig, insbesondere nach ROUX's Angaben weniger regulationsfähig sind, die angestellten Versuche aber trotzdem vollständig gelangen.

Es genügt, wenn von den drei gleichartig verlaufenen Versuchen einer besprochen wird.

Am 8. April, 10 V. wurden die Eier des einen Weibchens nach der Anweisung von ROUX (Anat. Anz. Bd. 9) besamt. Dieselben klebten am Boden der Glasschale zu einem flachen Fladen zusammen, der halbirt und um 10³⁰ V. auf ein Glas mit ruhendem und eines mit in oben beschriebener Weise bewegtem Wasser vertheilt wurde. Gerade die flächenhafte Ausbreitung des Laiches ist ein Vortheil, weil so die Lagen der einzelnen Eier leichter kontrollirt werden können und die oben erwähnten rüttelnden Bewegungen aus leicht ersichtlichem Grunde sich noch intensiver gestalten.

Bei beiden Partien war um 3¹⁵ N. die erste, um 4³⁰ auch die zweite Furche normal ausgebildet, wovon ich mich an herausgenommenen Proben überzeugte. Vom Momente der Befruchtung 10 V. bis 8 N. ließ ich den Versuch nur während einer halbstündigen Mittagspause aus dem Auge, um ja nicht ein zeitweiliges Stocken der Wasserbewegung zu übersehen. Dass auch in dieser und den folgenden Nächten der Apparat gut funktionirte, konnte ich ohne Mühe kontrolliren, da ich das gurgelnde, von den aufsteigenden Luftblasen verursachte Geräusch deutlich in meinem über dem Arbeitsraum gelegenen Schlafzimmer hörte. Da die Lufttemperatur sich in der Folgezeit zwischen nur 11° und 13° C. bewegte, ging die Entwicklung langsam weiter. Am X. 11 V. begann die Gastrulation sichtbar zu werden. Am XI. 9³⁰ V. hatten die Kontrollembryonen die Medullarplatte ausgebildet, der Dotterpfropf war klein. Die Embryonen in bewegtem Wasser zeigten schon jetzt deutlich ein Zurückbleiben hinter denen im ruhigen Wasser, indem der Dotterpfropf bei ihnen noch viel größer war. Am XIII. 8 V. begann bei der ruhenden Hälfte der Ruderschwanz sich abzuheben und am XIV. 7 V. waren die ersten Larven ausgefallen. Die rotirenden Larven schlüpften im Laufe des 15. April aus. In beiden Partien war eine größere Anzahl

Eier bzw. Embryonen abgestorben, im bewegten Wasser aber weniger, was wohl auf die energische Zuführung von Sauerstoff durch die Durchlüftung zurückgeführt werden kann.

Dass die rotirenden Larven zwar normal, aber langsamer als die ruhenden ihre Entwicklung durchmachten, erklärt sich leicht aus dem Temperaturunterschied des Wassers in beiden Gläsern; obwohl dieselben neben einander standen, schwankte derselbe zwischen $0,5^{\circ}$ und 3° C. Die geringere Temperatur des bewegten Wassers ist wiederum auf die stärkere Verdunstung desselben zurückzuführen in Folge der Bewegung und des Emporspritzens des Wassers am Glas. Ihre Größe wechselt mit dem Feuchtigkeitsgehalt und der Temperatur der Luft. Die beiden anderen Versuche ergaben ganz dasselbe Resultat; auch hier verlief die Entwicklung normal, obschon bei dem einen, der im kühlen Souterrain angestellt wurde, die Eier bzw. Embryonen noch viel länger der abnormalen Wasserbewegung ausgesetzt waren, nämlich über 11 Tage, vom IX. 10 V. bis zum Ausfallen der Larven am XX. 8 N.¹⁾.

Die beschriebenen Versuche beweisen unzweideutig, dass weder die Schwerkraft noch eine andere von außen richtend einwirkende Kraft für die normale Entwicklung des Froscheies die Bedeutung einer gestaltenden Ursache oder nothwendigen Bedingung hat.

Im Princip unterscheiden sich meine Versuche nicht von einem Experiment Roux's (4), bei dem Eier lose in einem Reagensglas mit Wasser untergebracht am Klinostaten rotirt wurden. Sie rutschten während der Drehung hin und her, überschlugen sich, machten auch seitliche Bewegungen, entwickelten sich aber normal. SCHULTZE (19) zweifelt nicht daran, dass die Eier durch einander kollerten und ihre Achse mit der Schwerkraft die verschiedensten Winkel bildete. Er erwähnte selbst früher (10), dass Froscheier, die durch einen Wasserstrahl in beständiger Rotation erhalten werden, und Coregonus-Eier, welche sich in fortwährender Bewegung befinden, keine Entwicklungsstörung erleiden, weil dabei keine Substanzumordnungen im Ei stattfinden.

¹⁾ Versuche von YUNG (16), bei denen frischbefruchtete Eier starken stoßweisen Erschütterungen, in Folge deren die Wasseroberfläche 5–6 cm hohe Wellen bildete, unterworfen wurden und zu Grunde gingen, stehen mit meinen Beobachtungen nicht im Widerspruch, da hier offenbar starke mechanische Insulte die Eier vernichteten.

Dass in diesen Fällen, sowie in meinen Versuchen, die Entwicklung normal verläuft, ist zweifellos dem Umstand zu verdanken, dass dabei die Struktur des Eies ungestört bleibt. Welche Kraft ist es nun, die sie erhält? Nach SCHULTZE die Schwerkraft, bezw. eine äußere Kraft überhaupt.

Er meint nämlich mit Rücksicht auf den letztgenannten Versuch von ROUX, es sei dabei von Fall zu Fall zu unterscheiden, wie weit die Schwerewirkung durch Centrifugalwirkung ersetzt werde. Bestehe aber keine Centrifugalkraft, so gelte dasselbe wie für die in ihren Hüllen drehbaren anderen Klinostateneier, dass nämlich die Schwerkraft nicht aufgehoben sei und vortübergehend Normalstellung eintrete. In den momentan wirkenden abnormen Einstellungen aber gewinne die abnorm angreifende Schwerkraft keine Zeit, die normale Struktur zu beeinflussen.

Diöser Einwand ist größtentheils schon oben besprochen worden. Nur noch einige Worte darüber, ob bei meinen Versuchen ein Ersatz der richtenden Schwerkraft durch Centrifugalwirkung angewendet werden kann oder nicht.

Wie schon erwähnt, besaßen die Eier während der einzelnen Strecken eines Umlaufs verschiedene Geschwindigkeiten, so dass von einer Vertretung der stets gleich großen Schwerkraft durch eine sich gleichbleibende Resultante wegen des steten Wechsels der Centrifugalkraftgröße keine Rede ist. In einer, bei den auf einander folgenden Touren wechselnden Reihenfolge durchliefen die Eier außerdem alle möglichen abnormalen Stellungen, denen gegenüber die vielleicht ab und zu eintretenden, auch nur momentanen normalen Lagen in ihrer »die Struktur des Eies sichernden Wirkung« gar nicht in Betracht kommen.

Was dem Ei seine angeborne Struktur erhält, ist die Kohäsion der Theilchen seines Inhalts, wie ROUX (20) mit Recht gegen SCHULTZE geltend macht.

Wenn beim normal gelagerten Ei die verschiedenen Bestandtheile den Forderungen der Schwerkraft entsprechend geordnet sind, so verdankt es weder die Entstehung noch die Erhaltung dieser Ordnung der Schwerkraft. Noch weniger darf letztere, wie dies von SCHULTZE (19) geschieht, als Retterin des »hilflos daliegenden Eies« hingestellt werden. Vielmehr ist sie bei einer abnormen Lage der angreifende Theil und das Ei rettet sich durch seine Drehfähigkeit.

Wenn in einem unbeaufsichtigten Dampfkessel die Dampfspannung eine gefahrdrohende Höhe erreicht, und der Kessel durch Öffnen

des Sicherheitsventils dem Zerplatzen entgeht, wer hat den Dampfkessel dann gerettet? Der hohe Dampfdruck, weil er das Ventil öffnete, oder das Vorhandensein des Ventils, das ohne ihn gar nicht nöthig gewesen wäre?

Es mag noch kurz auf die Frage eingegangen werden, ob die Äußerungen der Schwerkraft, wie sie bei den Froscheiern im Bestreben, sich in die Erdachse einzustellen bezw. in den Rotationen des Embryo sich kundgeben, mit dem Geotropismus der Pflanzen verglichen werden können. SCHWENDENER (Ges. Botan. Mittheilungen Bd. I. 1898. pag. 412) unterscheidet bei Pflanzen zwischen geotropischen Krümmungen und Wirkung des Eigengewichts. Beides ist scharf von einander zu trennen. SCHWENDENER zeigte durch Versuche, dass an einer windenden Pflanze, wenn das Eigengewicht der Spitze durch ein Gewicht vollständig kontrebaleancirt ist, die Pflanze doch zu winden fortfährt, bezw. die geotropische Wirkung nicht beeinträchtigt wird.

Was nun an Froscheiern zu beobachten ist, stellt offenbar nur eine Folge der excentrischen Lage des Schwerpunktes dar; das Froschei sucht, aus seiner Ruhelage gebracht, immer wieder in dieselbe zurückzukehren, gerade wie eine leblose, aus verschieden schwerem Material zusammengesetzte Kugel unter gegebenen Verhältnissen dasselbe thut. Ebenso sind die Rotationen des Embryo rein mechanische Folgeerscheinungen der durch Wachsthumsvorgänge bewirkten Verschiebung des Schwerpunkts. Für einen Vergleich mit geotropischen Reizwirkungen bieten diese Erscheinungen am thierischen Organismus keinerlei Handhabe.

In kurzer Zusammenfassung ergibt sich entgegen den Auffassungen PFLÜGER's und O. SCHULTZE's der Schlusssatz: Der Schwerkraft kommt für die normale Entwicklung des Froscheies weder die Bedeutung einer gestaltenden Kraft (PFLÜGER), noch die einer nothwendigen Bedingung (SCHULTZE) zu.

Dass das Ei sich ihr als einer gegebenen äußeren Bedingung anpassen muss und anpasst (Ausbildung der Drehfähigkeit), bezw. wenn die Anpassung gestört wird, von der Schwerkraft zu Grunde gerichtet werden kann (in umgekehrter Lage fixirte Eier), steht damit in keinem Widerspruch.

Litteraturverzeichnis.

- 1) PFLÜGER, E., Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Theilung der Zellen. PFLÜGER's Archiv. Bd. 31. 1883.
 - 2) ——— Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Theilung der Zellen und auf die Entwicklung des Embryo. Ebenda. Bd. 32. 1883.
 - 3) ——— Über die Einwirkung der Schwerkraft und anderer Bedingungen auf die Richtung der Zelltheilung. Ebenda. Bd. 34. 1884.
 - 4) ROUX, W., Über die Entwicklung der Froscheier bei Aufhebung der richtenden Wirkung der Schwere. Breslauer ärztl. Zeitschr. 1884.
 - 5) RAUBER, A., Schwerkraftversuche an Forelleneiern. Berichte d. naturforsch. Ges. Leipzig. 1884.
 - 6) ——— Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Zelltheilung und das Wachstum. Ebenda. 1884.
 - 7) HERTWIG, O., Welchen Einfluss übt die Schwerkraft auf die Theilung der Zellen? Jen. Zeitschr. f. Naturwiss. Bd. 18. 1884.
 - 8) BORN, G., Über den Einfluss der Schwere auf das Froschei. Archiv f. mikr. Anat. Bd. 24. 1885.
 - 9) SCHULTZE, O., Über die unbedingte Abhängigkeit normaler tierischer Gestaltung von der Wirkung der Schwerkraft. Verhandl. Anat. Ges. 1894.
 - 10) ——— Über die Bedeutung der Schwerkraft für die organische Gestaltung. Verhandl. Phys.-med. Ges. Würzburg. Bd. 28. 1894.
 - 11) HERTWIG, O., Über einige am befruchteten Froschei durch Centrifugalkraft hervorgerufene Mechanomorphosen. Sitzungsber. Preuß. Akad. d. Wiss. Berlin. 1897.
 - 12) SCHULTZE, O., Neue Untersuchungen über die Bedeutung der Schwerkraft für die Entwicklung. Verhandl. Phys.-med. Ges. Würzburg. 1897.
 - 13) ——— Neue Untersuchungen zur Frage von der Notwendigkeit der Schwerkraft für die Entwicklung. Verhandl. Anat. Ges. 1897.
 - 14) ROUX, W., Bemerkungen zu O. SCHULTZE's neuen Rotationsversuchen an Froscheiern. Archiv f. Entwicklungsmech. Bd. V. 1897.
 - 15) HERTWIG, O., Die Zelle und die Gewebe. 2. Buch. 1898.
 - 16) YUNG, E., Influence de mouvements de vague sur le développement des larves de grenouille. Compt. rend. T. 126. Paris 1898.
 - 17) SCHULTZE, O., Über die Nothwendigkeit der freien Entwicklung des Embryo. Archiv f. mikr. Anat. Bd. 55. 1899.
 - 18) ROUX, W., Bemerkungen zu O. SCHULTZE's Arbeit über die Nothwendigkeit der »freien Entwicklung« des Embryo sowie der »normalen Gravitationswirkung« zur Entwicklung. Archiv f. Entwicklungsmech. Bd. IX. 1900.
 - 19) SCHULTZE, O., Zur Frage von der Bedeutung der Schwerkraft für die Entwicklung des thierischen Embryo. Archiv f. mikr. Anat. Bd. 56. 1900.
 - 20) ROUX, W., Berichtungen zu O. SCHULTZE's jüngstem Aufsatz über die Bedeutung der Schwerkraft für die Entwicklung des thierischen Embryo und Anderes. Archiv f. Entwicklungsmech. Bd. X. 1900.
-