Physikalische Analyse von Lebenserscheinungen der Zelle.

II.

Mechanik der Abrückung von Zelleinlagerungen aus Verdichtungscentren der Zelle (im Anschluss an Fischel's Vitalfärbungen von Echinodermeneiern und Bütschli's Gelatinespindeln erläutert).

Von

Prof. Dr. L. Rhumbler,

Privatdocent und Assistent in Göttingen.

Mit 12 Figuren im Text.

Eingegangen am 16. Mai 1899.

»Es ist überhaupt eine Eigenschaft der entwickelungsmechanischen Forschung, dass es meist leichter ist, eine neue Thatsache festzustellen, als ihre Bedeutung richtig zu ermitteln; deshalb wird der Schilderung der Befunde oft eine relativ ausgedehnte Erörterung über ihre Bedeutung sich anschließen haben.«

Roux (Archiv f. Entwickelungsmech. Bd. I. pag. 168).

A. Fischel's Befunde.

FISCHEL färbte in Furchung begriffene Echinodermeneier während des Lebens mit einer äußerst dünnen Lösung von Neutralroth in Seewasser. Das Neutralroth speicherte sich in kleinen innerhalb des Protoplasmas zerstreut liegenden Körnchen auf, während der Kern und das übrige Protoplasma ungefärbt blieb. Die auf diese Weise durch Rothfärbung deutlich kenntlich gemachten Körnchen zeigten nun während der Furchungsvorgänge sehr bestimmte, offenbar für die mechanischen Zelltheilungstheorien höchst bemerkenswerthe Verlagerungen.

Sobald die »Cytokinese«, d. h. die Gesamterscheinung der während der indirekten Zelltheilung sich im Plasmakörper der Zelle abspielenden plasmatischen Umlagerungen, beginnt, häufen sich die in der ganzen Zelle allwärts zerstreuten Körnchen in dem

Centrum der Zelle zusammen und bilden hier eine Hüllkugel um den central gelagerten ungefärbt erscheinenden Kern (Fig. 1). Hier streckt sich dann die Körnerkugel mit der analogen Formveränderung des Kerns zu einem Hüllellipsoid aus (cf. Fig. 2) und wandelt sich

Fig. 1—5. Befruchtetes mit Neutralroth gefärbtes lebendes Ei von *Echinus microtuberculatus* während der Bildung der zweiten Furche. Vergr. 300/1. Nach FISCHER, 99, Taf. 24, 25.

Fig. 1. Die FISCHER'schen Körnchen haben sich um die Kerne herum angesammelt.

Fig. 2. Die Kerne und mit ihnen die Zusammenhäufung der FISCHER'schen Körnchen strecken sich ellipsoidisch in die Länge.

auch später mit dem Kern in eine Hantelfigur um (Fig. 3). Offenbar hat sich die Körnerkugel dem Kern und seinen beiden Sphären dicht angeschmiegt. Die Anschwellungen der Hantel entsprechen

Fig. 3. Kerntheilungsfigur und Körnchenzusammenhäufung haben Hantelform angenommen.

Fig. 4. Die Zellscheidewände sind gebildet, dabei ist die Körnchenzusammenhäufung im Gebiet der Zellscheidewände verschwunden.

Fig. 5. Die Tochterzellen sind in das Ruhestadium eingetreten; dabei haben sich die Körnchen allwärts in den Tochterzellen vertheilt.

den in der Kernpolstellung eingetroffenen Sphären, das Mittelstück entspricht der Kernspindel. Wenn nun auf diesem Stadium die Zelldurchschnürung beginnt, verschwinden die Körnchen aus der, der Äquatorialebene der Kernspindel entsprechenden, Theilungsebene, so dass jetzt die aus den Körnchen zusammengesetzte Hülle im optischen

Durchschnitt wie aus zwei geöffneten Ringen, deren Öffnung der Theilungsebene zugewendet ist, zusammengesetzt erscheint. (Fig. 4 aus der zweiten Theilung und Fig. 8 pag. 48, aus der ersten Theilung; letztere besonders klar.) Die Ringe schließen sich dann wieder, während die Zellscheidewand zur Ausbildung kommt, d. h. die Körnchenhülle ist jetzt zu zwei Kugelhüllen geworden, von denen je eine einen der beiden Tochterkerne einhüllt. Dieses Stadium hält aber nicht an. Sobald die neu entstandenen Blastomeren in das Ruhestadium eintreten, verschwindet die centrale regelmäßige Anhäufung der Körnchen um die Kerne der Tochterzellen (Fig. 5). Sie erfüllen jetzt wieder die ruhenden Tochterzellen ebenso vollständig und regellos, wie sie die ruhende Mutterzelle vor Beginn der Cyto-diärese erfüllten. Bei der nächsten Theilung vollzieht sich dann dasselbe Schauspiel wieder.

Hierzu muss noch Folgendes bemerkt werden: bei der Zusammenscharung treten wohl die meisten, aber nicht alle Körnchen in den Umhüllungsmantel des Kernes und seiner Hantel ein. »Die hellgelbe periphere Zone weist dabei zwar auch einige, aber gegenüber den um den Kern angehäuften verschwindend wenige Körnchen auf.« Die Körnchenabrückung von der Theilungsebene erscheint öfter auf der Seite, wo die Durchschnürungsfurche noch nicht sichtbar war oder noch nicht so tief einschnitt, wie auf der anderen Seite der Zelle, zuerst.

Neben Versuchen mit einer größeren Reihe von anderen Farbstoffen, die keine bemerkenswerthe Resultate lieferten, muss die Einwirkung von gleichfalls äußerst verdünntem Bismareckbraun auf die gleichen Objekte angeführt werden.

Dieser Farbstoff wird nicht mit Hilfe von Körnchen sondern diffus von den lebenden Eiern, die er nicht schädigt, angenommen. Die ganze Zelle mit Ausnahme des Kernes färbt sich hellgelb. Diese Färbung ist insbesondere während des Ruhestadiums deutlich über die ganze Zelle ausgebreitet. Während der Theilung dagegen ist oft der centrale, um den Kern gelegene Abschnitt stärker gefärbt als der periphere. Die umgebende Farblösung selbst wird nach einiger Zeit völlig entfärbt.

B. Erklärung der Fischel'schen Befunde nach meiner Theorie.

Die von FISCHEL beobachteten Erscheinungen werden in der Beantwortung dreier Fragen ihre Erklärung finden.

Erstens: warum¹⁾ sammeln sich die Körnchen zu Beginn der Cytokinese um den Kern und um seine Sphären herum an?

Zweitens: warum rücken die Körnchen bei Bildung der Zellscheidewand aus der Spindeläquatorebene fort?

Drittens: warum vertheilen sich die Körnchen beim Übertritt in das Ruhestadium wieder allwärts in der Zelle?

I. Warum sammeln sich die Körnchen zu Beginn der Cytokinese um den Kern und um seine Sphären herum an?

Zur Beantwortung dieser unserer ersten Frage sind zunächst drei Möglichkeiten in Betracht zu ziehen. Entweder wandern die FISCHEL'schen Körnchen erstens aktiv mit Hilfe eines ihnen innewohnenden Mechanismus von selber nach dem Kern und seinen Sphären hin, oder sie werden zweitens durch Bewegungen des Mediums, in welchem sie eingebettet sind, passiv dahin gebracht, oder es findet drittens ein aktives Hinwandern und passives Hingetragenwerden gleichzeitig statt. Die dritte Annahme bleibt nur dann als wahrscheinlich diskutirbar, wenn die erste und zweite Annahme als wahrscheinlich erwiesen sind, sie fällt dagegen als unwahrscheinlich, wenn sich nur eine der beiden ersten Annahmen als wahrscheinlich, die andere aber als unwahrscheinlich erweist. Das mag zur Vermeidung späterer Weitläufigkeiten gleich hier bemerkt werden.

a. Beruht die Zusammenscharung der Körnchen auf aktiver Wanderung?

Bei Körperchen von so geringer Größe wie die FISCHEL'schen Körnchen stellen sich Bewegungsmöglichkeiten ein, — wie FISCHEL hervorhebt — die für größere Körper nicht gelten. Sie zittern bekanntlich unter geeigneten Bedingungen in sogenannter »BROWNScher Molekularbewegung« hin und her, ohne dass sich äußere bewegende Einflüsse bis jetzt bei dieser Bewegung mit Bestimmtheit hätten nachweisen lassen. Größere Körper thun das nicht.

Der Ausdruck »Molekularbewegung« stammt von dem früheren Irrthum her, dass man hier die Bewegung oder die sekundäre Wirkung schwingender Moleküle vor sich habe. Die in »BROWN'scher Molekularbewegung« befindlichen, mit dem Mikroskop sichtbaren

¹⁾ Warum heißt hier nicht: »zu welchem Zweck«, sondern »auf Grund welcher Mechanik«.

Körperchen überragen aber natürlich jederzeit ebenso wie die FISCHEL'schen Körnchen wirkliche Moleküle noch himmelweit an Ausdehnung. [Für sie können daher auch von vorn herein alle »wirklichen« Molekularbewegungen — im Gegensatz zur fälschlich als solche bezeichneten »BROWN'schen Molekularbewegung« — als ausgeschlossen gelten. Es ist selbstredend, dass die mikroskopisch sichtbaren FISCHEL'schen Körnchen nicht etwa mit wandernden Molekülen oder Molekülgruppen — mit den Ionen der physikalischen Chemie etwa — gleichgesetzt oder nur verglichen werden können. Die große Zahl von Bewegungsmöglichkeiten und Bewegungsgesetzen, die für Moleküle und Molekülgröße gelten, sind unseren FISCHEL'schen Körnchen ebenso verschlossen wie anderen größeren Körpern; denn sie sind keine Moleküle.] Die BROWN'sche Bewegung ist die einzige Bewegungsart, die sie bei Lageveränderungen vor größeren Körpern unter bestimmten Bedingungen voraus haben könnten.

Wenn also FISCHEL (99, pag. 501) meint, dass seinen Körnchen als mikroskopisch kleinen, im Plasma suspendierten Elementen an sich schon eine stetige Bewegung zukomme, so wird er wohl dabei an die BROWN'sche Molekularbewegung gedacht haben.

«. **Beruht die Bewegung der Fischel'schen Körnchen auf Brown'scher Molekularbewegung?**

Kleine Körperchen, die in der BROWN'schen Molekularbewegung begriffen sind, schwingen zitternd hin und her. Das genügt aber zur Erklärung der Zusammenscharung der FISCHEL'schen Körnchen nicht. Die Bewegung darf keine beliebige, nach allen Richtungen hin wechselnde und pendelnde Bewegung, sondern sie muss eine ihrer Richtung nach bestimmte sein; sonst könnten sich die Körperchen nirgends, also auch um den Kern nicht besonders anhäufen. Bestimmt gerichtete aktive BROWN'sche Molekularbewegung kennen wir nicht. Finden irgendwo Zusammenhäufungen von in BROWN'scher Bewegung schwingenden Körperchen statt, so werden diese immer auf passive Weise durch Bewegungen des Einbettungsmediums, nicht aber aktiv von den Körperchen selbst ausgeführt; z. B. durch lokal beschränkte Verdunstungen oder durch Strömungen, die in Folge von lokalen Temperaturdifferenzen im Einbettungsmedium entstehen. Die BROWN'sche Bewegung tritt also in solchen Fällen nicht als bewegende Kraft auf, sondern ist eine ganz nebensächliche Begleiterscheinung. Hier aber handelt es sich darum, ob wir die BROWN'sche Bewegung selbst als die Bewegungsquelle für die

Körnchenverlagerung im Echinidenei ansehen dürfen. Das können wir entschieden nicht.

Auch elektrische Erscheinungen sind bei Zelltheilungsvorgängen schon zu oft ausgeschlossen worden, um sie bei der Bewegung der FISCHEL'schen Körnchen für wahrscheinlich halten zu können.

3. **Beruht die Bewegung der Fischel'schen Körnchen auf chemotaktischen Vorgängen?**

Nach Ausschluss der BROWN'schen Molekularbewegung könnte man zunächst an chemotaktische Erscheinungen denken.

Auch eine derartige auf Chemotaxis gegründete Erklärung der Körnchenverlagerung scheint mir aber absolut ausgeschlossen. Man darf Eins bei der Chemotaxis nie vergessen, — das kann nicht oft genug betont werden — dass die Chemotaxis nämlich selbst keine anziehende, dem Magnetismus etwa vergleichbare Kraft, darstellt, sondern dass das Chemotaktikum nur die Auslösungsmittel dafür enthält, dass die Bewegungsorgane einer lebenden Zelle sich in einer zu dem Chemotaktikum hinführenden Weise in Gang setzen; und wenn auch, wie ich schon anderwärts aus einander zu setzen versucht habe, die Auslösung bei dem nackten Protoplasmakörper auf einfachste Weise (nämlich durch Herabminderung der Spannung der Amöbenoberfläche durch Einwirkung des Chemotaktikums auf dieselbe) vor sich gehen wird, so müssen doch stets die Bewegungsorgane der chemotaktisch angezogenen Zellen in zweckentsprechender Weise in Gang gesetzt werden. Amöben oder Leukocyten, die einem Chemotaktikum folgen, müssen mit Hilfe ihrer Pseudopodien nach dem Chemotaktikum hinkriechen, die Spermatozoen oder die Flagellaten müssen unter denselben Verhältnissen ihre Geißel gebrauchen, nie werden sie wie passive Lasten, wie Eisenfeilspänchen von einem Magneten angezogen. Die Erscheinungen der Chemotaxis sind stets aktive, wenn auch von außen einseitig beeinflusste Bewegungen der chemotaktisch wandernden Zellen selbst, niemals passive Bewegungen.

Zu bestimmt gerichteten »aktiven« Bewegungen sind stets besondere Bewegungsmechanismen nothwendig; ohne letztere sind jene undenkbar.

Ganz abgesehen davon, dass wir nicht das geringste Recht besitzen, die Fähigkeiten und Thätigkeiten, die wir als die chemotaktischen Erscheinungen an ganzen Zellen wahrgenommen haben, auch nun, wie das schon öfter geschehen ist, auf »einzelne Zell-

bestandtheile, in unserem speciellen Falle auf die rothgefärbten Körperchen also, zu übertragen, so kann auch ein chemotaktisches Hinwandern der Körnchen nach dem Gesagten desshalb für unwahrscheinlich gelten, weil bei den FISCHEL'schen Körperchen weder Pseudopodien, noch Geißeln, noch sonstige Bewegungsorgane gesehen worden sind, und weil die Anwesenheit von solchen etwa übersehenen oder unsichtbaren Bewegungsorganen auch von vorn herein wegen der einfachen homogenen Struktur der Körperchen im höchsten Grade unwahrscheinlich ist.

Die Zusammenscharung der Körnchen kann also auch unserem heutigen Wissen nach nicht auf die Ausscheidung eines auf die Körnchen wirksamen Chemotropikums von Seiten des Kerns und seiner Sphären zurückgeführt werden.

Da wir weitere aktive Bewegungsarten kleiner Körperchen im Organismus nicht kennen, so kommen wir zu dem Schlusse, dass sich die Zusammenscharung der Körnchen heut zu Tage überhaupt nicht mit aktiver Bewegung der Körnchen erklären lässt.

b. Beruht die Zusammenscharung der Körnchen auf passiver Verlagerung?

Lässt sich aber eine aktive Bewegungsthätigkeit der Körnchen nach dem heutigen Stande unseres Wissens als höchst unwahrscheinlich — mit unseren heutigen Erklärungsmitteln als direkt unmöglich — darthun, so ist es selbstredend auch unwahrscheinlich, dass die Verschiebung der Körnchen gleichzeitig unter aktivem Hinwandern und passivem Hingetragenwerden stattfindet, und es bleibt nun zu prüfen, ob denn ein passiver Transport der Körnchen allein nach unserem heutigen Wissen eine ungezwungene Erklärung finden kann.

Ich halte die nachstehende, auf Grund der von mir entwickelten Zelltheilungsmechanik gegebene Erklärung für so ungezwungen und naheliegend, dass ich in den Befunden FISCHEL's abermals eine neue, von der lebenden Zelle selbst gelieferte Bestätigung meiner Theorie erblicke.

Die Körnchen liegen vor Beginn der Cytokinese allwärts im Protoplasma vertheilt. Nach Ausschluss der Aktivität soll ihre Zusammenhäufung eine passive, d. h. durch die Bewegung anderer Zelltheile passiv bewirkte sein. Wir werden also zunächst zu prüfen haben, welche Verschiebungen während der Cytokinese im Protoplasma vor sich gehen, um daraus schließen zu können, ob ein Theil des Protoplasmas etwa eine den FISCHEL'schen Körnchen konforme

Verschiebung erleidet, und ob dieser Theil dann als der aktive Träger der Körnchenbewegung angesehen werden darf.

„ Substanzverschiebungen im Protoplasma.

Im Anschluss an BÜTSCHLI auf dem Standpunkt der Waben-
theorie stehend, behaupte ich, dass zu Beginn der Cytokinese, also
zu der Zeit, wo sich die rothgefärbten Körnchen um Sphären und
Kern ansammeln, zunächst die Sphären, dann aber auch der Kern
dem Wabenwerk des umgebenden Protoplasmas unter eigener Auf-
quellung Flüssigkeit entziehen (warum und auf welche Weise cf.
RHUMBLER, 96). Diese Flüssigkeitsentziehung wird zur Folge haben,
dass das den Sphären und dem Kern anliegende Wabenwerk des
Protoplasmas einmal eine Verdichtung seiner Wandsubstanz (des
Hyaloplasmas) und dann eine Verkleinerung der Wabeninhaltsmassen
(des Enchylemas) erfährt.

Die Verzähigung, d. h. die Verdichtung des Hyaloplasmas (der
Wandsubstanz) um Sphären und Kern hat dann aber weiter zur
Folge, dass die Enchylematröpfchen (d. i. die Wabeninhaltsmassen)
ebenso wie vielfach die Dottereinlagerungen von Sphären und Kern
hinweg nach der Zellperipherie gedrängt werden. Aus folgenden
Gründen: die Verdichtung muss natürlich von Sphären und Kern aus
nach den peripheren Theilen der Zelle hin ständig abnehmen. Der
nach den Sphären und dem Kern gewendete Theil einer jeden En-
chylemavacuole wird daher unter einem größeren, von der Kohäsion
des dichterem Hyaloplasmas ausgeübten Druck stehen, als der nach
der Zellperipherie gewendete Antheil der Enchylemavacuole, der ja
von einem weniger dichten, weil von dem Verdichtungsherd der
Sphären und des Kerns weiter abliegenden, Hyaloplasma umfasst
wird. Kurz gesagt: bei jeder Wabe ist der (durch den Verdich-
tungsgrad bestimmte) Kohäsionsdruck der Hyaloplasmawand
auf das Enchylematröpfchen am inneren centralen Theil
größer als am äußeren peripheren Wabentheil, weil ersterer
dem Verdichtungscentrum näher, letzterer von demselben
weiter entfernt liegt. Die Enchylemaalveolen werden sich daher
dem Verdichtungsgefälle des Hyaloplasmas entsprechend peripherie-
wärts bewegen und dadurch die Gesamtverdichtung des Proto-
plasmas um Kern und Sphären herum wesentlich erhöhen. Nicht
bloß die Wandsubstanz der an Sphären und Kern anschließenden
Vacuolen wird also verdichtet werden, sondern die Vacuolen selbst
werden peripheriewärts verschoben. Das gesammte Plasma erfährt

auf diese also doppelte Weise sein empirisch lange festgestelltes dichteres Gefüge um die Kernfigur herum.

Wie auf Grund der hier gegebenen Verdichtungsmechanik die Strahlungen entstehen, habe ich schon früher eingehend behandelt. Nur möchte ich hier noch einmal besonders in extenso darauf hinweisen, dass das durch die Verdichtung des Kerns und der Sphären bewirkte centro-peripheriewärts gerichtete Kohäsionsgefälle des Hyaloplasmas nur äußerst gering zu sein braucht, um das gegen die Peripherie gerichtete Abwandern der

Enchylemaalveolen zu bewirken. Ein Experiment, das ich schon einmal bei anderer Gelegenheit ausgeführt habe (98b, pag. 135), wird das beweisen.

Bringt man eine Portion des Hühnereigelbes rasch unter ein Deckglas, und beobachtet man diejenigen weißen Dotterkörperchen, die bloß ein oder doch nur wenige Fetttropfchen enthalten, während man mit einer Präparirnadel einen ganz leisen Druck auf das Deckgläschen ausübt, so nimmt man folgende Erscheinungen wahr. Das ganze Eigelb fließt natürlich dem Druck entsprechend mehr oder weniger rasch von der Druckstelle weg dem Deckglasrande zu. Die Dottertröpfchen selbst verlassen ihre kugelige Ge-

Weisse Dotterkörperchen des Hühnereidotters werden unter dem Deckglaschen durch Aufdrücken einer Nadel auf dasselbe einem einseitigen schwachen Drucke ausgesetzt, der in der Richtung des Pfeiles die gesamte Eimasse fortbewegt und nach dem Deckglasrande hin (cf. Pfeilspitze) an Stärke abnimmt. Die Dotterkörperchen haben ovoide Form angenommen, weil ihr der Pfeilspitze zugekehrter Theil unter geringerem Druck als ihr dem Pfeilende zugewendeter Theil steht. Die Fetttropfchen der Dotterkörperchen sind ohne Ausnahme in den vorderen, unter geringerem Druck stehenden, aufgebauchten Theil der Dotterkörperchen eingetreten. Vergr. 300/1.

stalt und werden eiförmig; ihr breiteres Ende dem Deckglasrande zugekehrt, bewegen sie sich mit dem gesamten Eigelb nach dem Deckglasrande zu. Es ist hierbei schon auffallend, dass die doch ganz geringen Druckdifferenzen, in welchen sich der druckwärts und der deckglasrandwärts gelagerte Pol der Dotterkugeln befinden, die kugelige Form der Dotterkugeln in die geschilderte ovoide umzuwandeln vermögen. Die Erweiterung des deckglasrandwärts gewendeten Theiles des Dotterkörperchens ist ganz selbstverständlich durch den geringeren Druck verursacht, den die Nähe des Deckglasrandes, nach dem hin die Eimasse ausfließen kann, mit sich bringt.

Für uns wichtiger ist aber das Verhalten der den Dotterkügelchen eingelagerten Fetttröpfchen, sie wandern alle dem breiteren Theil des Ovoids zu, der nach unserer Auseinandersetzung unter geringerem Druck steht; kein einziges tritt in den zugespitzten, stärker gedrückten Theil des Ovoids, auch keins bleibt in der mehr centralen Lage, die es in dem ungedrückten Dotterkörperchen inne hatte, liegen. Die Fetttröpfchen verhalten sich hier also ganz wie sich nach unserer Erörterung die Enchylematröpfchen in dem durch die Wirkung der Sphären und des Kerns central verdichteten und zusammengezogenen Wabenwerk der Zelle verhalten. Obgleich bei der geringen Größe der Dottertröpfchen und bei der Schwachheit des auf das Deckgläschen ausgeübten Druckes die Druckdifferenzen im druckwärtigen und randwärtigen Theil des Dottertröpfchens nur äußerst minimale, kaum messbare sein können, verlagern sich die Fetttröpfchen in den minimal schwächer gedrückten Theil der Dotterkügelchen. Ergo brauchen auch die Druckdifferenzen in dem Alveolenwerk des Hyaloplasmas keine großen zu sein, um die peripheriewärtige Abwanderung der Enchylematröpfchen aus der Protoplasmaverdichtung zu erklären. Ich sage, sie »brauchen« nicht; sie können natürlich von einem gewissen, durch die Reibung gesetzten Minimum ab beliebig groß sein, je größer sie sind, desto rascher wird sich unter sonst gleichen Bedingungen die Protoplasmaverdichtung um Sphären und Kern vollziehen und von dem übrigen Protoplasma absetzen.

Die Größe der Druckdifferenzen an dem druckwärtigen und distalen Theil der Einlagerung, der Enchylematröpfchen oder der Fetttröpfchen wird nicht nur von dem Druckgefälle selbst, sondern auch von der Größe der Einlagerung abhängen. Je größer die Einlagerung ist, desto weiter wird sie natürlich in die Gegend des höheren Drucks auf der einen und in die des niederen Drucks auf der entgegengesetzten Seite hineinragen. Im gleichen Druckgefälle werden sich daher größere Einlagerungen schneller und weiter von dem Verdichtungscentrum fortbewegen, als kleinere Einlagerungen »derselben Art«. Hier tritt noch hinzu, dass für größere Einlagerungen, wie wir bald sehen werden, die Reibung »relativ« geringer ist als für kleinere Einlagerungen, so dass auch desshalb größere Einlagerungen leichter verschoben werden als kleinere. Das wird aufs deutlichste dadurch für die Zelle belegt, dass oftmals kleinere Dotterkörperchen bei der Eitheilung

in der Nähe der Sphären verharren, während alle größeren peripheriewärts verlagert werden.

Es braucht wohl nicht näher ausgeführt zu werden, dass das, was für die Enchylematröpfchen im Hyaloplasma und für die Fetttröpfchen in den weißen Dotterkörperchen des Hühnereies gilt, auch für flüssige und feste Einlagerungen anderer Art im Hyaloplasmawandgerüst des Wabenwerks Geltung haben muss; doch mag die bereits früher von mir gegebene Figur und ihre Erklärung nochmals hieran erinnern (Fig. 7). Die Einlagerung ist hier als fest angenommen, sie soll etwa eine Dotterscholle repräsentieren. Wäre sie flüssig, so müsste ihr in der Bewegung

Fig. 7.

Schema, soll die Abwanderung fremder Einlagerungen (*E*) aus der Sphärennähe erläutern. Die gemeinsame Wand (*W*) der beiden Waben *I* und *II* ist durch *E* in zwei Wände (*w₁* und *w₂*) auseinander gedrängt worden, bei *I* werden diese Wände, weil hier wegen der Sphärennähe das Hyaloplasma zähflüssiger ist als bei *2*, stärker auf einander gepresst als bei *2*. Die Einlagerung *E* muss daher in der Richtung des Pfeiles nach den Waben *III* und *IV* hin wandern, bei dieser Wanderung wird sie die Lage geringsten Widerstandes annehmen, d. h. ihre Längsachse wird sich in die Bewegungsrichtung einstellen.

voranschreitendes, unter geringerem Druck stehendes Ende ebenso verbreitert sein, wie wir das bei dem Dottertröpfchen gesehen haben, oder falls ihre Oberflächenspannung dem Druck gegenüber sehr groß wäre, so müsste sie mehr oder weniger kugelige Gestalt besitzen.

Es kommt ferner aber bei der Fortbewegung der Einlagerung vom Verdichtungscentrum nicht bloß auf die seither allein berücksichtigten Druckdifferenzen an, unter welchen sich der der Verdichtung zugekehrte und der ihr abgewendete Theil der flüssigen

oder festen Einlagerung befindet, sondern in hohem Grade natürlich auch auf die Reibung, welche die Einlagerung bei ihrer Fortbewegung am Hyaloplasma erfährt. Diese Reibung muss geringer sein, als die Kraft, mit der die Druckdifferenzen die Einlagerungen von der Stelle höheren zu derjenigen niederen Druckes zu verlagern suchen, das ist ganz klar.

Der Grad der Reibung hängt aber außer von der Schwerkraft, deren Wirkung wegen der geringen Differenz zwischen dem specifischen Gewicht der Einlagerungen und des Protoplasmas (cf. RHUMBLER, 96, pag. 547) nur in seltenen Fällen in Betracht zu ziehen sein wird, in überwiegend hervorragendem Grade von der Größe, von der Gestalt und von den Kohäsions- und Adhäsionsverhältnissen zwischen Einlagerung und Hyaloplasma ab.

Bei gleicher Gestalt und auch sonst gleichen Verhältnissen werden größere Einlagerungen immer leichter abwandern als kleinere, weil sie eine im Vergleich zu ihrem Volumen »relativ«, natürlich nicht »absolut« kleinere Oberfläche besitzen, also relativ geringere Reibung erfahren werden, als kleinere Einlagerungen¹⁾.

Leichtflüssige Substanzen, wie das Enchylema²⁾, werden wegen der leichten Verschiebbarkeit ihrer Randmolekeln, die eine geringe Reibung bedingt, sehr leicht von der Verdichtung der Sphären zurückweichen³⁾. Bei Einlagerungen von stärkerer Kohäsion, d. h. bei sehr zähflüssigen oder gar festen Einlagerungen, wird es aber sehr davon abhängen, wie groß ihre Adhäsion zum Hyaloplasma ist. Ist ihre Adhäsion⁴⁾ zum Hyaloplasma größer als die Kohäsion des Hyaloplasmas, so werden sie sich nicht aus dem Hyaloplasma höheren Druckes fortdrücken lassen, weil sich mit dem höheren Druck, mit der dichter Lagerung der Moleküle, auch die Adhäsion steigern wird, so dass sie sich an den stärker drückenden Hyaloplasmatheil, der sich ja selbst nicht fortbewegt, auch fester anklammern werden als an den weniger drückenden Theil des Hyaloplasmas⁵⁾.

Auch hier deckt sich die Mechanik des Zellorganismus wieder einmal, wie so oft, mit der Zweckmäßigkeit. Diejenigen Substanzen oder Substanzkomplexe nämlich, die mit dem Hyaloplasma auch während der Verdichtung desselben zu seiner Instandhaltung, zu seiner

¹⁾ Bei kugeliger Gestalt der Einlagerungen nimmt mit dem Größerwerden der Kugeln nach bekannten Gesetzen die Oberfläche nur im Quadrat des Radius zu, während das Volumen sich in der dritten Potenz steigert. Eine Kugel b z. B., die 27mal so viel Inhalt hat als eine andere Kugel a , hat nicht eine auch 27mal, sondern bloß 9mal so große Oberfläche als a . Auch bei anderen Formen werden bei gleichbleibender Gestalt kleinere Einlagerungen eine relativ größere Oberfläche besitzen als größere Einlagerungen. Die größeren werden also immer leichter fortgedrückt als kleinere.

²⁾ Die Zähflüssigkeit des Protoplasmas wird durch die starke Zähflüssigkeit des Hyaloplasmas bedingt; das Enchylema stellt dagegen eine dünnflüssige, wohl fast wasserflüssige Substanz dar.

³⁾ So wird sich z. B. selbst aus einer feuchten Thonmasse, die selbst sehr zäh ist, Wasser verhältnismäßig leicht noch durch partiellen Druck von der Druckstelle wegpressen lassen.

⁴⁾ Dabei muss natürlich ihre eigene Kohäsion größer sein als ihre Adhäsion zum Hyaloplasma, sonst würden sie sich im Hyaloplasma lösen, könnten also gar nicht als Körnchen im Plasma erscheinen.

⁵⁾ Mit dieser Auffassung steht die Ausnahme der Physik in gutem Einklang, dass die Reibung in strömenden Flüssigkeiten unabhängig ist von dem Drucke, der im Inneren der strömenden Flüssigkeit vorhanden ist. Vgl. WÜLLNER. Experimentalphysik. 3. Aufl. 1874. pag. 324.

Ernährung oder zu anderer chemischer Wechselbeziehung nothwendig sind, werden aus dem Druckcentrum nicht entweichen. Weil, wie ich früher schon (RHUMBLER, 98, pag. 252) klargelegt zu haben glaube, Austausch- und Umtauschgeschäfte zwischen derartigen Einlagerungen und dem Hyaloplasma, also Arbeitsleistungen, die nothwendig mit der Erhaltung und Ernährung verknüpft sein müssen, eine unbedingt große Adhäsion bedingen. Derartige Umtauschgeschäfte sind nur dann denkbar, wenn die umgetauschten Stoffe zu derjenigen Substanz, in die sie übertreten, eine größere Adhäsion als eigene Kohäsion besitzen.

So werden die chemischen Wechselbeziehungen, die man zwischen Kern und Hyaloplasma wird annehmen dürfen, schon für sich allein verhindern, dass der Kern, welcher unter anderen Bedingungen als eine große Einlagerung sehr bald und energisch aus der Verdichtung der Muttersphäre weggetrieben werden müsste, auch zu einer Zeit, wo er selbst noch nicht durch Enchylemaaufsaugung zu einem Verdichtungscentrum des Wabenwerks wird (cf. RHUMBLER, 96, pag. 586), oder zu der Zeit, wo er von den beiden Sphären noch nicht in die Mitte genommen worden ist, aus der Nähe der Muttersphäre fortgetrieben wird.

Was aber für die große Einlagerung des Kerns als gültig erscheinen muss, wird in weit höherem Grade noch für kleinere bis kleinste Einlagerungen gelten. Die kleinsten Einlagerungen sind an sich schon durch ihre relativ größere Reibung und die geringere Strecke, die sie im Druckgefälle mit ihrem Volumen einnehmen, vor einer Verlagerung so viel mehr als größere Einlagerungen geschützt, dass schon ganz geringe Austauschgeschäfte mit dem umgebenden Hyaloplasma ausreichen werden, sie in ihrer ursprünglichen Lagerung im Dichtigkeitsgefälle des Hyaloplasmas festzuhalten. Dabei ist es einerlei, ob derartige kleinste Körperchen selbst Stoffe an das Protoplasma abgeben, oder ob sie solche von dem Protoplasma als etwa überflüssig gewordene Stoffe erhalten. Der Umtausch bedingt die große Adhäsion zwischen Hyaloplasma und Körperchen, in welcher Richtung dieser Umtausch verläuft, ist einerlei. Es können sich also Körperchen des regressiven oder progressiven Stoffwechsels in gleicher Weise im verdichteten Hyaloplasma halten, und um so besser, je kleiner sie sind.

Es soll mit dem Vorstehenden nicht gesagt sein, dass große Adhäsion zum Hyaloplasma nur etwa im Stoffwechsel mitarbeitenden Körperchen zukommen könnte. Ganz gleichgültige indifferente

Körperchen könnten a priori auch zufällig einmal eine größere Adhäsion zum Hyaloplasma haben als die Kohäsion des Hyaloplasmas und könnten sich dadurch der Verdrängung aus dem Verdichtungscentrum widersetzen; chemische Wechselwirkung ist an Substanzen von großer Adhäsion geknüpft, aber große Adhäsion nicht nur an chemische Wechselwirkung. Auch wenn die Adhäsion der Einlagerungen gleich der Kohäsion des Hyaloplasmas ist oder ihr annähernd gleicht, werden Einlagerungen von der Verdichtung nicht verdrängt werden, sie hängen dann an dem Hyaloplasma mit derselben Kraft fest, mit der die Hyaloplasmatheilehen selbst unter einander zusammenhängen, und werden sich deshalb, so lange sie allseits von Hyaloplasma umgeben sind, auch ganz wie Hyaloplasmatheilehen verhalten, d. h. sie werden nicht verdrängt werden.

c. Beantwortung der ersten Frage nach den Ursachen
der Körnchenzusammenscharung.

Unsere Antwort lautet: Die Körnchen wandern nicht nach Sphären und Kern hin, sondern sie werden mit dem Hyaloplasma, zu dem sie offenbar eine genügend starke Adhäsion besitzen, nach dem Verdichtungsherde der Sphären und des Kerns hin zusammengezogen. Das Hyaloplasma wird um Sphären und Kern verdichtet, das Enchylema wird mehr oder weniger weit peripheriewärts verdrängt, und während deshalb Sphären und Kern von einem dichteren Protoplasma umgeben werden und die peripherischen Zelltheile erfahrungsgemäß weniger dicht erscheinen, müssen in dem verdichteten Protoplasma die vorher in dem Zelleib allwärts zerstreuten Körnchen auch dichter gehäuft und in dem verdünnten Protoplasma auch nur spärlich zerstreut erscheinen; denn die Körnchen haben sich durch ihre Adhäsion zum Hyaloplasma vor einer Verstoßung aus dem Verdichtungscentrum bewahrt, und ihre Lagerung ist deshalb im Verdichtungscentrum dichter, in der verdünnten Substanz der peripherischen Zelltheile dagegen sehr viel spärlicher geworden. Dass dieser Erklärung entsprechend die Körnchen im peripheren Zelltheile nicht ganz fehlen, hat FISCHER selbst hervorgehoben ¹⁾.

¹⁾ Man wird vielleicht durch Zählung der Körnchen (vorausgesetzt, dass sie im Ruhezustand der Zelle gleichmäßig vertheilt sind) auf einer gewissen Raumeinheit im Ruhezustand der Zelle, und dann durch Feststellung der Körnchenzahl auf derselben Raumeinheit in den verschiedenen Verdichtungs-zonen ein zahlenmäßiges Maß für die Verdichtung berechnen können. Aus den

„Übereinstimmung der gegebenen Erklärung mit FISCHEL's Bismarckbraun-Färbungen und eventuelle Übereinstimmung mit Bütschli's Beobachtungen an Gelatinestrahlungen.

Die gegebene Erklärung lässt ohne Weiteres auch die Resultate der von FISCHEL ausgeführten Bismarckbraun-Färbungen verständlich erscheinen.

Der ganze Zelleib scheint dabei während der Ruhe diffus hellgelb gefärbt; besondere Körnchen treten nicht hervor. »Während der Theilung dagegen ist oft der centrale um den Kern gelegene Abschnitt stärker gefärbt als der periphere.« Offenbar färbt das Bismarckbraun das Hyaloplasma selbst, und die stärkere Färbung um die Kernfigur herum während der Theilung ist bloß der direkte Ausdruck für die hier stattfindende Protoplasmaverdichtung. Die »über die ganze Zelle ausgebreitete Färbung« des Ruhestadiums entspricht der gleichmäßig ausgebreiteten Vertheilung des Hyaloplasmas auf diesem Stadium.

Hier mag schließlich noch eine Beobachtung BÜTSCHLI's an künstlichen Strahlungen Erwähnung finden, welche möglicherweise auf ähnlichen mechanischen Bedingungen beruht (BÜTSCHLI, 98, pag. 157).

BÜTSCHLI hat bekanntlich in dem wabigen Gerüst erstarrender Gelatine Strahlungen um durch Abkühlung in Kontraktion versetzte Luftblasen erzielt, die den Protoplasmastrahlungen um die Sphärenverdichtung in Theilung befindlicher Zellen bis in weitgehende Details ähnlich sehen. Über die mechanischen Vergleichspunkte der künstlichen und natürlichen Strahlungen bitte ich außer BÜTSCHLI (93) auch meine früheren mechanischen Erörterungen (96) nachzusehen.

Bei derartigen Gelatinestrahungen, die stark mit aufgeschwemmtem Berliner Blau versetzt waren, erschien der Verdichtungshof um die Luftblase dunkler blau als die Umgebung. »Mit den stärksten Vergrößerungen ließen sich jedoch in den Höfen meist nur sehr wenig Partikelchen des Berliner Blau unterscheiden, die Färbung erschien mehr diffus oder homop-

Figuren FISCHEL's geht jetzt schon hervor, was sich von vorn herein erwarten lässt, dass die Verdichtung um Sphären und Kern herum sehr rasch nach der Peripherie hin abfällt. Die Imbibitionskraft von Sphären und Kern, welche die lokale Verdichtung des Wabenwerks hervorruft, wird mit dem Quadrat der Entfernung abnehmen; die Verdichtung selbst wird in der dritten Potenz sinken, denn die Ausbreitung der Imbibitionskraft wird in den Dimensionen von immer größer werdenden Kugeloberflächen vor sich gehen, das Wabenwerk aber, auf welches die Kraft wirkt, ist körperlich, es wird sich in den Dimensionen der Kugelvolumina der Einwirkung der Imbibitionskraft darbieten (cf. BÜTSCHLI, 98, pag. 158).

gen. Dass dies zwar wirklich der Fall ist, möchte ich bezweifeln; ich halte es für wahrscheinlicher, dass in dem aufgeschwemmten Berliner Blau eine große Menge feinsten Partikelchen vorhanden sind, die wegen ihrer Kleinheit nicht mehr wahrgenommen werden, und suche daher die intensivere und anscheinend diffuse Färbung des Hofes darin, dass in dem dichteren Hof diese Partikelchen auch in relativ größerer Menge vorhanden sind und dessen intensiveres Blau bedingen¹⁾. Diese Auffassung entspricht ganz dem, was vorher entwickelt worden ist²⁾. Die kleinsten Körnchen werden sich in der Verdichtung haben halten können, während größere daraus verdrängt worden sind; die nicht verdichtete Gelatine zeigt weniger Berliner Blau und erscheint heller als die verdichtete; die starke Färbung des Verdichtungshofes entspricht wahrscheinlich der Körnchenzusammenhäufung im Echidnemelei.

II. Warum rücken die Körnchen bei der Bildung der Zellscheidewand aus der Spindeläquatorebene ab? Bütschli's Gelatinespindeln.

Das Verschwinden der Körnchen aus der Äquatorialebene ist darauf zurückzuführen, dass der Kern auf dem Stadium der Zelltrennung, das ich als Cytodiärese bezeichnet habe, sein Imbibitionsstreben gesättigt hat und somit einmal nicht mehr verdichtend auf das umgebende Protoplasma einwirkt. Andererseits aber wird nunmehr durch den polwärts gerichteten Zug der Sphären der Kern in die Länge gezogen und sein flüssiger Inhalt dadurch unter so hohen Druck versetzt, dass ein großer Theil des Kernsaftes aus dem Kern, der seine Membran aufgelöst hat, ausgepresst wird, und sich nun hier in der Äquatorebene der Zelle ausbreitet, wo, wie gleich noch näher aus einander gesetzt werden soll, geradezu eine Saugkraft auf ihn ausgeübt werden muss. Indem sich der Kernsaft in dem Hyaloplasma gerüst der Äquatorgegend ausbreitet, nimmt dieses ein quantitativ weniger dichtes Gefüge an, und die vorher zusammengedrängten Körnchen werden jetzt auf einen größeren Raum

¹⁾ Von mir gesperrt.

²⁾ Für absolut sicher kann sie jedoch, wie BÜTSCHLI ja schon deutlich ausgesprochen hat, nicht gelten. Es scheint mir auch leicht möglich, dass die Berlinerblaukörnchen unter dem höheren Druck des Verdichtungshofes zerdrückt worden sind, und sich deshalb stärker färbend diffus im Hofe verbreitet haben.

vertheilt, d. h. ihre augenfällige Zusammenhäufung verschwindet.

Wenn man die ganz vortrefflichen Photographien betrachtet, die BÜTSCHLI von künstlich zwischen zwei Luftblasen entstandenen

Fig. 8.

Fig. 9.

Fig. 8. Mit Neutralroth gefärbtes lebendes Ei von *Echinus microtuberculatus* während der Entstehung der ersten Furche. Die FISCHEL'schen Körnchen sind aus der Ebene der entstehenden Zellscheidewand abgerückt. Vergr. 300/1. Nach FISCHEL, 99.

Fig. 9. Eine nach BÜTSCHLI's Angaben (BÜTSCHLI, 99) hergestellte künstliche Spindel zwischen zwei Luftblasen in einer warmen, ziemlich stark concentrirten wässrigen Gelatinelösung während des Erkaltes entstanden; dann in 0,3 %iger Chromsäure fixirt, in 20 %igem Formol gehärtet und mit Säurefuchsin gefärbt. Beiderseits der Centralspindel die hellen BÜTSCHLI'schen Räume (BR). Man vergleiche die Lagerung derselben mit den Stellen, wo in Fig. 8 die FISCHEL'schen Körnchen verschwunden erscheinen. Nach der Färbung mit Säurefuchsin haben die dunkel gezeichnete Spindel und die Gelatineverdichtungen um die Luftblase herum einen grellrothen Ton, die BÜTSCHLI'schen Räume aber eine bläulich rothliche Nuance angenommen. Die Figur ist auf dieselbe Größe abgerundet worden wie Fig. 8, um den Vergleich zu erleichtern. Auch die Vergrößerung ist annähernd die gleiche. Vergr. 325/1. Zeichenapparat.

Gelatinespindeln hergestellt hat, so wird sofort auffallen, dass diese Spindeln im Äquator von einem helleren, lichterem Raum umgeben sind, auf dessen Existenz auch

Fig. 10.

Fig. 10 wie Fig. 9. Jedoch haben sich hier die BÜTSCHLI'schen Räume (BR) mit einem scharfen Kontour gegen die Spindel hin abgesetzt. Dieser Kontour wird in distaler Richtung weniger scharf. Vergr. 325/1. Zeichenapparat.

BÜTSCHLI besonders aufmerksam gemacht hat (BÜTSCHLI, 98, Taf. 1 Fig. 7; Taf. 2 Fig. 1; Taf. 21 Fig. 6; pag. 159), ohne jedoch eine Erklärung für denselben gefunden zu haben. Der helle BÜTSCHLI'sche Raum entspricht offenbar — das zeigt seine Lage (vgl. Fig. 8 und 9) — dem Raum, aus welchem die Körnchenzusammenlagerung im Echinidenei während der Cytodiärese verschwindet.

In einigen meiner Gelatinespindelpräparaten (cf. Fig. 10) hat sich der BÜTSCHLI'sche Raum direkt blasenartig beiderseits der

Spindel entwickelt. Zuweilen läuft sogar ein hohler Kanal um die Spindel herum; es sammelt sich im BÜTSCHLI'schen Raume offenbar eine flüssigere Gelatine an, die sich unter Umständen mit mehr oder weniger scharfer Wandung von der übrigen Gelatine absetzt.

Die Entstehung des hellen BÜTSCHLI'schen Raumes um die Gelatinespindel und die Abrückung der FISCHER'schen

Fig. 11.

Fig. 12.

Fig. 11 und 12. Das von mir früher (RHUMBLER, 98c) beschriebene Gumminetzmodell, $\frac{1}{8}$ nat. Größe. Fig. 11 in der Ruhelage mit aufgebundenen Kernreifen. Fig. 12. Durch Zug an zwei Stellen ist eine Spindelfigur mit Strahlungen erzeugt worden. In dem von Z umfassten Raum (cf. BÜTSCHLI'scher Raum in Fig. 9 und 10) sind die Maschen größer, in der Spindel kleiner geworden als im Ruhestadium des Modells. NB. Auch die Randmaschen sind größer als im Ruhestadium; es entspricht das dem Umstande, dass in den Randpartien der Zelle die FISCHER'schen Körnchen nicht zusammengedrückt erscheinen.

Körnchen aus der Theilungsebene haben ganz augenscheinlich übereinstimmenden mechanischen Ursprung.

Betrachten wir das früher (RHUMBLER, 98c, pag. 543) von mir beschriebene, durch lokale Zugwirkung an zwei Centren, zur Spindelbildung veranlasste Gumminetzmodell an den Stellen, die den BÜTSCHLI'schen Räumen bez. der Stelle der Körnchenabrückung im Ei entsprechen, also an der Stelle ZZ und an der zu ihr symmetrisch gelegenen Stelle der anderen Seite jenseits des dem Modell aufgebundenen Kernreifen, so finden wir hier die elastischen Netzmaschen größer

als sie im Ruhezustand (Fig. 11) sind; ihre Größenzunahme tritt, wie ich hoffe, deutlich hervor, wenn man sie mit dem Netzwerk vergleicht, welches in dem Kernreifen liegt, und welches dadurch, dass der Kernreifen dem Netzwerk in der Ruhelage aufgebunden worden ist, in dem Ruhezustand verblieben ist. Deutlicher noch als in der einer Photographie entstammenden auf $\frac{1}{8}$ verkleinerten Abbildung tritt sie im Modell selbst hervor, wo die Größendifferenzen, natürlich absolut nicht relativ genommen, 8mal größer erscheinen. Vor Allem auffallend, und das interessirt uns hier am meisten, sind die Größendifferenzen der Maschenräume an den namhaft gemachten Stellen (Z), den Spindelmaschen gegenüber. Die innerste Lage der Spindelmaschen hat ihr Lumen fast ganz verloren, ihre Längswände erscheinen wie zwei die Centren verbindende dicht neben einander herlaufende Parallelen auf einander gepresst, auch die Wabenräume der nächsten Schicht sind noch erheblich, die der übernächsten Schicht wenigstens noch merklich kleiner als die Räume des die Spindel umgebenden Wabenwerks und vor Allem der die Spindel umgebenden äquatorialen Theile, d. h. der BÜTSCHLI'schen Räume.

Da das Modell ein getreues Abbild der Zug- und Druckverhältnisse giebt, welche zur Zeit der Cytodiärese nach meinen früheren Auseinandersetzungen (96, pag. 605—610) innerhalb des Wabengerüstes der Zelle herrschen, so ergibt sich aus der besprochenen Sachlage ohne Weiteres, dass in der Kernspindel enthaltene Flüssigkeit aus derselben ausgepresst und von den äquatorialen Wabenschichten aufgesaugt werden muss; denn die Waben der Kernspindel suchen sich, wie das Modell zeigt, unter dem beschriebenen Zuge zu verkleinern, die äquatorialen Wabenlagen aber zu vergrößern.

Der Übertritt der Flüssigkeit aus der Spindel in die umliegenden Waben veranlasst in der oben angegebenen Weise die Entstehung des BÜTSCHLI'schen Raumes und die Körnchenrarificirung in der Theilungsebene der Zelle.

Wie aus meinen früheren Arbeiten bekannt sein dürfte, halte ich den in der Zelläquatorebene angehäuften Kernsaft für diejenige Substanz, welche, mit der Zellmembran in Berührung gebracht, das »gesteigerte Wachsthum der Zellmembran« bewirkt¹⁾, ohne welches

¹⁾ Ich verstehe unter Kernsaft hier keine chemisch bestimmt modificirte Substanz, sondern nur die Flüssigkeit, welche sich in den Hohlräumen des Kerns befindet. Diese Flüssigkeit kann Substanzen ganz verschiedener Herkunft in sich gelöst enthalten, wie sie z. B. höchst wahrscheinlich die Nucleolen-

aus rein mathematischen Gründen (RHUMBLER, 97) die Zelltheilung einer membranhaltigen Zelle absolut undenkbar ist.

Diese Auffassung muss hier der oben bereits mitgetheilten Beobachtung FISCHEL's gegenüber noch gerechtfertigt werden, dass zuweilen die Körnchenabdrückung von der Theilungsebene öfter auf der Seite zuerst erscheint, wo die Durchschnürungsfurche noch nicht sichtbar war, oder noch nicht so tief einschnitt als auf der anderen Seite.

a. Warum erscheint die Körnchenabdrückung manchmal auf der mit der Einschnürung säumigen Seite der Zelle zuerst?

Man wird ohne Weiteres annehmen dürfen, dass bei der sicher ganz allmählichen Zunahme der Zugwirkung der Sphären unter normalen Verhältnissen sehr bald eine ganz allmähliche, geringfügige Diffusion von Kernsaft in die äquatorialen Waben hinein stattfindet, so dass die Zellmembran diese Stoffe schon aufnehmen und wachsen kann, ohne dass schon wegen der Geringfügigkeit der diffundirten Menge ein merklicher BÜTSCHLI'scher Raum auftritt. Ist aber die Diffusion erst einmal nach der Membran hin eingeleitet, so wird die Membran die aus dem Kern ausgetretenen Stoffe wegnehmen und der BÜTSCHLI'sche Raum wird auch dann noch längere Zeit, so lang der Zug der Sphären noch nicht zu größerer Höhe angewachsen ist, nicht erscheinen, weil die Membran noch die spärlich diffundirten Stoffe zu ihrem eigenen Wachsthum, das sich in der Einsenkung der Furche Ausdruck verschafft, verwendet. Erst wenn der Zug der Sphären (in Folge der Ausraubung der Waben des Polargebietes durch die Sphären cf. RHUMBLER, 96) sein Maximum erreicht, wird die Diffusion so stark, dass die Membran die aus dem Kern ausgepresste Flüssigkeit nicht mehr so schnell verbrauchen kann als sie aus dem Kern austritt und der BÜTSCHLI'sche Raum bez. die Körnchenabdrückung erscheint dann erst, also zu einer Zeit, wo die Einfaltung der Membran schon begonnen hat.

Denken wir uns nun diese erste allmähliche Diffusion des Kernsaftes auf irgend eine Weise, vielleicht durch eine zufällige besonders dichte Dotterzusammenlagerung, in dem ja nur wohl selten oder nie allwärts absolut gleich ausgebildeten Eiprotoplasma gestört, so

substanz gelöst enthält. Ob letztere oder ob andere Stoffe zur Membranbildung herangezogen werden, ist für die Mechanik der Zelltheilung ganz gleichgültig. Nur der Substanzaustritt aus dem Kern und der Substanzverbrauch bei dem Membranwachsthum ist wesentlich.

wird die Membran auf dieser Seite noch nicht wachsen und sich daher auch noch nicht einstülpen können. Der Kernsaft staut sich jetzt nach der Seite hin, wo die Diffusion gestört ist, und bricht dann erst durch, wenn der Zug der Sphäre und der dadurch auf ihn ausgeübte Druck so groß wird, dass er die Hindernisse, welche einer allmählichen Diffusion im Wege standen, überwindet. Diese mehr eruptive Diffusion, die mit dem Auftreten eines BÜTSCHLI'schen Raumes verbunden sein muss, repräsentirt einen einfachen Fall, der in der Mechanik wohlbekannten »periodischen Überwindung« von Widerständen. Während im ersten Falle einer ungehinderten allmählichen Diffusion die Membran sich schon vor der Erscheinung des BÜTSCHLI'schen Raumes einfaltete, wird sich im zweiten Fall einer zufällig gehinderten Diffusion die Membran vorläufig nicht einfallen, sondern der BÜTSCHLI'sche Raum wird zuerst auftreten und dann erst die Einfaltung der Membran erfolgen.

Ich sehe in dieser Beobachtung eine weitere Bestätigung meiner früheren Behauptung, dass die gemeinsame Arbeit mehrerer Zelltheilungsfaktoren die exakte Durchführung der Zelltheilung sichert. Der FISCHEL'sche Befund passt so schön zu einem früher von mir fingirten Beispiel, dass ich die betreffende Stelle hier anführe (RHUMBLER, 97, pag. 708 und 709).

»Man nehme z. B. an, dass aus irgend einem Grunde das gesteigerte Membranwachsthum [das zur Durchschnürung der Zelle nothwendig ist] beeinträchtigt worden sei. Die Sphären werden mit ihrer gewohnten Kraft an der Einschnürungsstelle der Membran ziehen, die Membran wird dem Zuge aber vorerst nicht folgen, weil das sonst übliche gesteigerte Membranwachsthum ausgeblieben ist. Trotzdem die Membran nicht folgen kann, wird die Sphäre von ihren Zugbestrebungen nicht abstehen, weil die verdichtende Wirkung des Centrosomas (RHUMBLER, 96, pag. 577), auf welcher die Zugkraft der Sphäre und ihrer Strahlen beruht, nicht eher aufhört, bis das Centrosoma sein Imbibitionsstreben gesättigt hat. Diese Sättigung wird erst dann eintreten, wenn der Attraktionsmantel der Sphäre eine bestimmte Dicke erreicht hat.

Wenn die Membran ohne Widerstand einem geringen Zuge folgte, wie das bei ungestörtem Membranwachsthum der Fall wäre, dann würde der Attraktionsmantel rascher und ohne besonderen Zugaufwand die Dicke erreichen, die aus mechanischen Gründen das Ende seiner Wirksamkeit bedeutet, denn durch das Einrücken der Einschnürungsfalten verkürzen sich die Strahlen oder die nicht zu Strahlen ausgezogenen Wabenradien, und können dadurch der Sphäre leichter das geforderte Hyaloplasma

abgeben, als dann, wenn sie durch den Widerstand der Membran auf größerer Länge festgehalten werden und wenn dadurch ihre distalen Waben in größerer Entfernung von der Sphäre zu verharren gezwungen sind.

Jetzt aber muss er länger ziehen, da ihm das Hyaloplasma spärlicher zufließt; die Wabenradialen werden stärker angezogen, die Strahlen werden länger als sie sonst vielleicht waren. Unter dem erhöhten Zuge rundet sich entweder, wenn überhaupt möglich, die Zelle noch mehr ab, und liefert dadurch den nöthigen Membranüberschuss und das von dem Attraktionsmantel geforderte Hyaloplasma (durch Annäherung der Waben an die Sphäre), oder der erhöhte Strahlzug presst die Kernvacuole so stark zusammen, dass der seither zurückgehaltene Kernsaft austreten und die Membranvergrößerung erwirken muss. Erst wenn mit der Membranvergrößerung die Membraneinschnürung erfolgt, kann der Attraktionsmantel seine angestrebte Dicke erreichen und kommt mit ihr zur Ruhe. Die säumige Membran aber ist zum Nachholen ihres Versäumten gezwungen worden¹⁾.

Da wo die Zellmembran sich einstülpt, nimmt durch den Zugmechanismus der Sphären der Druck auf die Kernvacuole ab, da wo die Kernmembran resistent ist, nimmt er zu, so dass sich mit der Resistenz der Kernmembran auch die Wahrscheinlichkeit steigert, dass sie noch nachträglich ihre zum Wachsthum nothwendigen Kernstoffe zugepresst erhält.

Man könnte denken, dass sich der ganze Kernsaft nach der Seite des niederen Druckes, also nach der Seite, wo die Einschnürfurche zuerst erscheint, entladen müsse; das ist aber desshalb nur bis zu einem gewissen Grade der Fall, weil der Kernsaft der mit der Einschnürung rückständigen Seite nicht durch die am stärksten gepressten Plasmamasse des centralen Spindeltheiles auf die andere weniger gepresste Seite der ungehinderten Diffusion hinüber kommen kann.

In dem Netzmodell (Fig. 12) nimmt, wie ich durch Versuche festgestellt habe und wie ohne Weiteres plausibel ist, das Zusammen-sinken der Spindelmaschen und die Erweiterung der Maschen im BÜTSCHLI'schen Raum, also die Größendifferenz zwischen beiden um so mehr zu, je mehr man an den Zugcentren zieht. Das heißt aber auf die Zellverhältnisse übertragen: Ist der Austritt des Kernsaftes

¹⁾ Es ist das übrigens nicht zum ersten Mal, dass sich eine von mir theoretisch angenommene Möglichkeit nachträglich verwirklicht hat (cf. RHUMBLER, 98 c, pag. 553).

aus irgend einem Grunde behindert, so wird sich mit dem zunehmenden Spindeldruck gleichzeitig die Saugkraft der hinter dem Hemmnis liegenden äquatorialen Maschen steigern; diese Steigerung des Druckes vor dem Hindernis und der Saugkraft hinter dem Hindernis wird einmal zur Überwindung des Hindernisses führen und dann nach Überwindung desselben ein sehr rasches Überdiffundiren von dem gepressten Spindeltheil in den saugenden Äquatorialtheil, d. h. die Entstehung eines BÜTSCHLI'schen Raumes oder, auf die Zelle übertragen, eine Abrückung der FISCHEL'schen Körnchen in dem Äquatorialgebiet des Echinideneies zur Folge haben.

Also auch das Modell giebt uns Recht.

Auf der mit der Zelleinschnürung säumigen Zellseite wird die Körnchenvertheilung wegen gewaltsamerer Diffusion des Kernsaftes früher erscheinen können, als auf der mit der Einschnürung beginnenden Zellseite, weil hier Anfangs eine allmählichere Ausbreitung des Kernsaftes stattfindet, die erst beim Maximalzug der Sphären so anwächst, dass dann auch hier die Körnchenvertheilung unter Kernsaftaufnahme der Plasmawaben erfolgt.

III. Warum vertheilen sich die Fischel'schen Körnchen beim Übertritt in das Ruhestadium wieder allwärts in der Zelle?

Die Rückkehr der getheilten Tochterzellen in die Ruhestadien beruht nach meinen früheren Auseinandersetzungen (96, pag. 611) darauf: »dass die Centrosomen schließlich nicht mehr im Stande sind, dem umgebenden Protoplasma Flüssigkeit zu entziehen, dass so zu sagen unter den jeweils obwaltenden Verhältnissen eine »Sättigung« ihres Imbibitionsstrebens eingetreten ist.

Sobald aber die Centrosomen ihre Imbibitionskraft verlieren, müssen sich auch die Zähigkeitsdifferenzen zwischen der Verdichtung der Sphären und dem Hyaloplasma der umgebenden Waben ausgleichen¹⁾, und das in der Sphäre zusammengezogene Hyaloplasma

¹⁾ Man kann sich hiervon durch Vergleich mit Kolloidsubstanzen, mit denen ja das Hyaloplasma so viel Ähnlichkeit haben muss, eine Vorstellung bilden. Wenn man eine zähflüssigere Lösung von Gelatine — die nach BÜTSCHLI gleichfalls wabigen Bau besitzt — in eine dünner flüssige Lösung einträgt, so wird auch die zähflüssigere durch Wasseraufnahme dünnflüssiger und die ganze Mischung erhält denselben Flüssigkeitsgrad. Es sind hier augenscheinlich osmotische Vorgänge in Wirksamkeit, die auch im Hyaloplasma einzutreten

muss sich (cf. 96, pag. 546) in den Wabenwänden des Zelleibes vertheilen.“

Die Antwort auf unsere dritte Frage lautet also: Bei der Vertheilung des Hyaloplasmas in den Wabenwänden werden die FISCHEL'schen Körnchen wieder aus den oben (pag. 41—45) entwickelten Gründen mitgenommen und sie erscheinen dann wieder, wie die FISCHEL'sche Beobachtung lehrt, allwärts in dem Zelleibplasma zerstreut.

IV. Einige Bemerkungen über die Aufnahme der Farbstoffe von außen.

Obgleich mit der Beantwortung der drei Fragen der eigentliche Zweck dieser Abhandlung: FISCHEL's Beobachtungen mit meiner Zelltheilungstheorie in Einklang zu bringen bez. dieselben mechanisch zu erklären, m. E. als erreicht anzusehen ist, kann ich es doch nicht unterlassen, auch die Beobachtung FISCHEL's, dass die dem Meerwasser zugesetzten Farbstofflösungen unter Entfärbung des Mediums offenbar ganz von den Echinodermeneiern aufgenommen und in den FISCHEL'schen Körnchen aufgespeichert werden, hier zu Gunsten einer von mir kürzlich (99, pag. 221) näher ausgeführten Behauptung anzuführen.

Ich habe der Ausgestaltung der Zellmembran einen tiefgreifenden Einfluss bei der ansteigenden Komplikation der Embryonalzellen während der Ontogenie zugeschrieben. Die Begründung bitte ich (RHUMBLER, 99, pag. 227—229) nachsehen zu wollen. Die Zelloberfläche besitzt auf Grund der (von mir namentlich in RHUMBLER, 98, entwickelten) Importgesetze die physikalische Fähigkeit, zu entscheiden über das, was in die Zelle aufgenommen und was von ihr ausgeschlossen wird. Zur Entscheidung darüber, ob diese Fähigkeit von der Zelle benutzt wird, ist aber natürlich der Nachweis nöthig, dass das Ei wirklich während seiner Entwicklung von außen Stoffe in sich aufnimmt, und nicht etwa bloß mit den Umsetzungsprodukten der Dotterpartikelehen arbeitet. Für den Sauerstoff der Athmung ist eine solche Aufnahme von außen wohl ohne Weiteres anzunehmen; außerdem haben HERBST's bekannte Untersuchungen die Aufnahme von außen für eine ganze Reihe von Stoffen für die Seeigelleier nachgewiesen.

scheinen. Ist schließlich im ganzen Zelleib das Hyaloplasma wieder auf denselben Flüssigkeitsgrad gebracht, so muss es sich nach 96, pag. 546 wieder gleichmäßig in den Wabenwänden vertheilen.

Was mir aber die FISCHEL'schen Versuche auch in dieser Beziehung besonders interessant erscheinen lässt, ist der Umstand, dass hier ein ganz unnötiger Stoff in reichlichem Maße aufgenommen und offenbar aus dem Organismus nicht wieder entfernt wird. Der Schluss liegt nahe, dass die Aufnahme dieses für die Entwicklung ganz gleichgültigen Stoffes eine rein mechanisch-physikalische ist, bei der irgend ein vitalistisches Sondervermögen — das ich meinerseits ja überhaupt nicht anerkenne¹⁾ — nicht in Thätigkeit ist; die Aufnahme des Stoffes geschieht nach einem unumgänglichen Gesetz, das für alle Larven gilt, dem Organismus ist hierbei der Entscheid entrissen, ob die aufgespeicherte Farbe ihm Nutzen bringt oder nicht.

Und das gilt offenbar nicht nur für die FISCHEL'schen Körnchen, die einen nicht lebenden Theil des Protoplasmas darzustellen scheinen, sondern auch für das lebende Protoplasma selbst, wie die Bismarckbraunfärbungen darthun. (Man vgl. hierzu auch RHUMBLER, 95b, pag. 236, wo eine willenslose und mit der Zeit verderbliche Karminaufnahme von Testaceen angeführt wird.)

V. Zusammenfassung.

Wenn in einem wabig gebauten Flüssigkeitsgemisch, im Protoplasma oder in irgend einem emulsionsartigen Gemenge aus irgend welchem Grunde eine lokale Verdichtung der Wabenwandsubstanz²⁾ eintritt, so entsteht in dem Wabenwandwerk ein Druckgefälle, welches von dem Verdichtungscentrum aus nach allen Seiten hin abfällt. Dieses Druckgefälle wird dadurch veranlasst, dass bei der Verdichtung die Kohäsion der Wandsubstanz gesteigert wird, die Wandtheilchen hängen an der Verdichtungsstelle unter einander fester zusammen und werden desshalb auf zwischen sie eingedrückte Substanzen einen größeren Druck ausüben, als da, wo eine geringere oder gar keine Verdichtung der Wandsubstanz eingetreten ist. Die

¹⁾ Ich erkenne wohl »komplexe Komponenten« im Sinne Roux's (98, pag. 27) an, gestehe aber der organischen Materie keine eigene Physik zu. Wo ich Materie, d. h. Masse, sehe, da muss meiner Überzeugung nach auch Physik und Chemie herrschen. Dass die physikalisch-chemischen Massengruppirungen dann außer physikalischen und chemischen Wirkungen noch andere Dinge, die psychischen Qualitäten und Intelligenz im Sinne REINKE's, hervorbringen können, die »unseren« Begriffen der Physik und Chemie nicht zugänglich sind, das bestreite ich keinen Augenblick.

²⁾ So weit ich bis jetzt sehen kann, wird die Wandsubstanz stets eine Kolloidsubstanz im Sinne der Physik sein müssen.

zwischen den Wabenwänden eingelagerten flüssigen Wabeninhaltsmassen, die Enchylematröpfchen des Protoplasmas oder die Emulsionströpfchen einer Emulsion, müssen daher von dem Verdichtungscentrum der Wabenwandsubstanz, vom Druckgefälle fortgetrieben, abwandern; denn jedes einzelne dieser Flüssigkeitströpfchen ist an dem der Verdichtung zugekehrten Pole, einem durch die Verdichtung verursachten höheren Kohäsionsdruck der Wandsubstanz ausgesetzt als an seinem der Verdichtung abgekehrten Pole, und diese Druckdifferenzen müssen sich innerhalb der flüssigen Einlagerungen in der Weise auszugleichen suchen, dass die Einlagerung von dem stärker gedrückten nach dem weniger stark gedrückten Pole einfließt. Jede lokale Verdichtung (Kohäsionssteigerung) innerhalb der Wandsubstanz muss daher unter Abstoßung der flüssigen Einlagerungen gleichzeitig eine lokale Zusammenhäufung der Wandsubstanz im Verdichtungscentrum und andererseits eine Rarificierung der Wandsubstanz in den von dem Verdichtungscentrum abgelegenen Theilen der Emulsion zur Folge haben; denn in diesen abgelegenen Theilen müssen sich selbstredend die von der Verdichtung zurückgestoßenen Flüssigkeitströpfchen ansammeln.

Bei den BÜTSCHLI'schen Gelatinespindeln¹⁾ liegen zwei Verdichtungscentren (in Kontraktion befindliche Luftblasen) dicht zusammen. Beide ziehen Gelatine zusammen und stoßen Lösungsflüssigkeit von sich zurück. Die Lösungsflüssigkeit muss sich daher in der auf der Mitte der Verbindungsachse beider Luftblasen senkrecht stehenden Ebene am stärksten ansammeln, jedoch nicht in der Verbindungsachse (= Spindel) selbst, weil hier der pag. 50 aus einander gesetzte Spindelmechanismus gerade eine besondere Verdichtung bewirkt (die Waben der Spindel werden durch Verdichtung von beiden Seiten her ganz besonders stark verdichtet), sondern rings um die Verbindungsachse herum. Diese besondere Ansammlung von Lösungswasser im Äquatorialgebiet der Spindel findet in (mit 0,3 % iger Chromsäure) konservirten Spindeln in dem Auftreten von hellen Räumen, welche die dünnflüssigere Konsistenz der Gelatine an dieser Stelle dokumentiren, ihren deutlichen Ausdruck (cf. Fig. 9 und 10). Diese von BÜTSCHLI entdeckten Räume setzen sich manchmal sehr scharf von der übrigen Gelatine ab, so dass sie fast nur mit reinem Lösungswasser erfüllt erscheinen. Bei dicht zusammengelagerten größeren

¹⁾ Die Gelatine ist wabig gebaut, in kleinsten Gelatine-kammerchen ist ihr Lösungswasser eingeschlossen (cf. BÜTSCHLI).

Luftblasen habe ich einigemal den BÜTSCHLI'schen Raum sich in Röhrenform um den Äquatorialtheil der Spindel schlingen sehen. Man sieht wie die beiden Verdichtungscentren bestrebt sind, ihre Verdichtungsgebiete (cf. Zelltheilung)¹⁾ von einander zu trennen.

In dem Wabenwandssystem eingelagerte feste Körperchen werden sich je nach Größe und Beschaffenheit in einem Verdichtungs- bez. Kohäsionsdruckgefälle der Wabenwandmasse verschieden verhalten.

Besitzen sie eine große Adhäsion zu der Wabenwandsubstanz, so werden sie in dem Druckgefälle nicht abwandern, denn große Adhäsion bedingt bei festem Aggregatzustand große Reibung — während bei den vorbesprochenen flüssigen Einlagerungen wegen der leichten Verschiebbarkeit der Randmolekeln die Reibung eine gewisse verhältnismäßig geringe Größe nie überschreiten kann —. Sobald die Reibung größer ist als die abstoßende Kraft des Druckgefälles, kann natürlich eine Abrückung der Einlagerungen aus dem Verdichtungscentrum nicht erfolgen. Namentlich kleine feste Körperchen von großer Adhäsion zum Hyaloplasma wandgerüst werden sich besonders leicht im Druckgefälle halten können; denn die Druckdifferenz zwischen ihrem der Verdichtung zugewendeten und ihrem derselben abgekehrten Pole wird natürlich um so geringer sein, je kleiner sie selbst sind. Die Größe der Druckdifferenz ist aber nichts Anderes, als die Größe der abtreibenden Kraft. Kleinere Körperchen werden also an sich schon von der Verdichtung weniger stark abgedrückt als größere Einlagerungen. Kleinere Körperchen haben aber außerdem eine relativ (natürlich nicht absolut) größere Oberfläche als größere Einlagerungen; sie werden sich also auch deshalb bei genügender Adhäsion leichter in der Wandsubstanz halten können, als größere Einlagerungen.

Größere Einlagerungen im Wabenwandssystem werden bei geringer Adhäsion zur Wabenwandsubstanz um so leichter abwandern, je größer sie sind und je geringer ihre Adhäsion zur Wandsubstanz ist.

So kommt es, dass einzelne Kategorien von Einlagerungen der sich verdichtenden kontrahirenden Wabenwandsubstanz folgen, andere dagegen von ihr zurückgestoßen werden können.

¹⁾ Nur die Spindel selbst steht dieser Trennung entgegen. In der Zelle wird sie durch die Polstrahlen unter gelegentlicher Mitwirkung der Einschnüpfungsfalten (Wachsthumfalten der Zellmembran) getrennt (RHUMBLER, 96).

Werden Einlagerungen in Folge ihrer Kleinheit und genügender Adhäsion nicht von der Verdichtung weggestoßen, während Flüssigkeiten und andere größere Einlagerungen von geringer Adhäsion gleichzeitig aus der Verdichtung fortgestoßen werden, so müssen die nicht verstoßenen Einlagerungen in dem Verdichtungsgebiet natürlich dichter zusammengeschoben werden, als an den nicht verdichteten Stellen des Wabenystems, an denen sich die verstoßenen Einlagerungen ansammeln werden.

Die Resultate der FISCHEL'schen Vitalfärbungen an Seeigelleiern erklären sich hiernach folgendermaßen:

Die während des Ruhestadiums in der Zelle allwärts gleichmäßig verbreitete Hyaloplasma-Wabenwandmasse wird während der Flüssigkeitsaufnahme des Kerns um den Kern herum verdichtet (Fig. 1). Dabei werden die Dottereinlagerungen und Enchylema-vacuolen von dem Druckgefälle nach den peripheren Zellpartien hin verdrängt werden. Die FISCHEL'schen Körnchen aber bleiben in Folge ihrer Kleinheit und ihrer großen Adhäsion im Hyaloplasma liegen, und werden also mit dem Hyaloplasma um den Kern herum besonders zusammengedrängt. Der gleiche Vorgang spielt sich dann an den Sphären ab, sobald diese zur Einleitung der Zelldurchschnürung (gleichfalls durch Flüssigkeitsentziehung; cf. RIUMBLER, 96) verdichtend auf das umgebende Protoplasma wirken. So entsteht die hantelförmige Umkleidung der Kernhantel (Fig. 3).

Der Zug der Sphären bewirkt dann zur Zeit der Zelldurchschnürung ein Austreten von Kernsaft in das umgebende Hyaloplasma-Wabenwerk der Äquatorialgegend der Zelle, hierdurch erhält das Hyaloplasma ein weniger dichtes Gefüge als vorher und die Körnchenzusammenhäufung verschwindet in diesem äquatorialen Gebiet, das wir im Vergleich mit BÜTSCHLI's Gelatinespindeln nach dem Lichterwerden als BÜTSCHLI'schen Raum bezeichnet haben (Fig. 8 und 9).

Nach der Zelltrennung hört jede Lokalverdichtung des Protoplasmas auf; das Hyaloplasma vertheilt sich (wie ich früher gezeigt habe, auf rein physikalische Weise) wieder allwärts in der Zelle; und seine gleichmäßige Vertheilung hebt natürlich auch jede besondere Zusammenhäufung der von ihm passiv mitgeführten FISCHEL'schen Körnchen wieder auf; denn es nimmt bei seiner Vertheilung innerhalb der Zelle auch die Körnchen wieder mit (Fig. 5).

So »erscheint und verschwindet die centrale Anordnung der Körnchen gleichzeitig mit der Plasmastrahlung«, wie

FISCHEL (99, pag. 501 zu 502) hervorhebt; denn auch die Plasmastrahlung ist nur die direkte mechanische Folge der lokalen Protoplasmaverdichtungen, welche durch die Zusammenhäufung der Körnchen einen deutlichen Ausdruck erhalten.

Man könnte vielleicht denken, dass die Zusammenhäufung der Körnchen eine zu hochgradige sei, um allein, wie es hier geschehen ist, der Protoplasmaverdichtung um Kern und Sphären herum zugeschrieben werden zu können.

Solchen Zweifeln wird die direkt nachfolgende Arbeit entgegenzutreten, welche zeigen wird, dass schon ganz geringgradige Protoplasmaverdichtungen ausreichen, um eine bildlich recht wirksame Zusammenscharung von kleinen, durch Färbung hervortretenden Körnchen innerhalb des verdichteten Hyaloplasmagerüstes hervorzurufen.

Es mag hier noch, um eine weitere Brücke zur folgenden Arbeit zu schlagen, erwähnt werden, dass auch die Pigmentkörnchen im Ei von *Rana fusca*, wie konservierte Schnitte zeigen, sich ganz so zu verhalten scheinen, wie die FISCHEL'schen Körnchen im Echinodenei. Sie finden sich bekanntlich zu Beginn der Cytokinese um den Kern herum besonders zusammengehäuft. Dass sie in die Kerne selbst eintreten und sich dann unter abermaligem Austritt in dem BÜTSCHLI'schen Raum vertheilen, wie das von ZIMMERMANN für die späteren Pigmentzellen angegeben wird, kann ich bei den Furchungszellen an meinen Präparaten nicht wahrnehmen. Bezweifeln will ich es nicht. Im Gegentheil hat für mich ein solches Verhalten besonderes Interesse, da es den von mir behaupteten und mechanisch erklärten Flüssigkeitseintritt und -Austritt aus dem Kern ad oculos demonstrirt. Welcher Flüssigkeitsbewegung sich die Körnchen anschließen, das hängt eben ganz davon ab, zu welcher Flüssigkeit sie die größte Adhäsion besitzen; und ihre Adhäsionsverhältnisse können in anderen etwa späteren Zellen leicht so umschlagen, dass sie sich dann der Bewegung einer anderen Flüssigkeit anschließen.

Göttingen, zoologisch-zootomisches Institut, 19. März 1899.

Literaturverzeichnis.

- BÜTSCHLI, O., Über die künstliche Nachahmung der karyokinetischen Figur. Verhandl. Ver. Heidelberg. N. F. Bd. 5. 1893. pag. 28—41.
- Derselbe. Untersuchungen über Strukturen, insbesondere über Strukturen nicht-zelliger Erzeugnisse des Organismus und über ihre Beziehungen zu Strukturen, welche außerhalb des Organismus entstehen. Dazu ein Atlas mit Mikrophotographien. Leipzig 1898.
- FISCHEL, A., Über vitale Färbung von Echinodermeneiern während ihrer Entwicklung. Anatom. Hefte (von MERKEL u. BONNET). 1. Abth. Bd. 11. 1899. pag. 463—505. Taf. 24/25.
- HERBST, C., Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss der veränderten chemischen Zusammensetzung des umgebenden Mediums auf die Entwicklung der Thiere. Archiv f. Entwicklungsmech. Bd. II. 1896. pag. 455—516. Taf. 26—29.
- Derselbe, Über die zur Entwicklung der Seeigellarven nothwendigen anorganischen Stoffe, ihre Rolle und ihre Vertretbarkeit. I. Theil. Die zur Entwicklung nothwendigen anorganischen Stoffe. Archiv f. Entwicklungsmechanik. Bd. V. 1897. pag. 649—793. Taf. 12—14.
- Derselbe, Über zwei Fehlerquellen beim Nachweis der Unentbehrlichkeit von Phosphor und Eisen für die Entwicklung der Seeigellarven. Archiv f. Entwicklungsmech. Bd. VII. 1898. pag. 456—510.
- RHUMBLER, L., Versuch einer mechanischen Erklärung der indirekten Zell- und Kernteilung. I. Theil. Die Cytokinese. Archiv f. Entwicklungsmech. Bd. III. 1896. pag. 527—623. 39 Textfig. u. Taf. 26.
- Derselbe, Stammen die Strahlen der Astrosphäre oder ziehen sie? Archiv f. Entwicklungsmech. Bd. IV. 1897. pag. 657—730. 27 Textfig. u. Taf. 28.
- Derselbe, Zelleib-, Schalen- und Kern-Verschmelzungen bei den Rhizopoden und deren wahrscheinliche Beziehungen zu phylogenetischen Vorstufen der Metazoenbefruchtung. Biolog. Centralbl. Bd. 18. 1898. Nr. 1ff. a.
- Derselbe, Physikalische Analyse von Lebenserscheinungen der Zelle. I. Bewegung, Nahrungsaufnahme, Defäkation, Vacuolenpulsation und Gehäusebau bei lobosen Rhizopoden. Archiv f. Entwicklungsmech. Bd. VII. 1898. pag. 103—350. 100 Textfig. u. Taf. 6 u. 7. b.
- Derselbe, Die Mechanik der Zelldurchschnürung nach MEYERs' und nach meiner Auffassung. Archiv f. Entwicklungsmech. Bd. VII. pag. 535—556. 1898. 5 Textfig. u. Taf. 12. c.
- Derselbe, Die Furchung des Ctenophoreneies (nach ZIEGLER) und deren Mechanik. Archiv f. Entwicklungsmech. Bd. VIII. 1899. pag. 187—238.
- ROUX, W., Für unser Programm und seine Verwirklichung. Archiv f. Entwicklungsmechanik. 1897. Bd. V. Heft 1. pag. 1—80. Heft 2. pag. 219—243.
- ZIMMERMANN, K. W., Über die Theilung der Pigmentzellen, speciell der verästelten intraepithelialen. Archiv f. mikr. Anat. Bd. 36. pag. 404—410. Taf. 15.
- Derselbe, Studien über Pigmentzellen. Archiv f. mikr. Anat. Bd. 41. pag. 367—389. Taf. 23—24.

Inhaltsübersicht.

	Seite
A. FISCHEL's Befunde	32
B. Erklärung der FISCHEL'schen Befunde nach meiner Theorie.	34
I. Warum sammeln sich die FISCHEL'schen Körnchen zu Beginn der Cytokinese um den Kern herum an?	35
a. Beruht die Zusammenscharung der Körnchen auf aktiver Wanderung?	35
« Beruht die Bewegung der Körnchen auf »BROWN'scher Molekularbewegung«?	36
β. Beruht die Bewegung der FISCHEL'schen Körnchen auf chemotaktischen Vorgängen?	37
b. Beruht die Zusammenscharung der Körnchen auf passiver Verlagerung?	38
« Substanzverschiebungen im Protoplasma während der Cytokinese	39
c. Beantwortung der ersten Frage nach den Ursachen der Körnchenzusammenscharung	45
« Übereinstimmung der gegebenen Erklärung mit FISCHEL's Bismarckbraun-Färbungen und eventuelle Übereinstimmung mit BÜTSCHLI's Versuchen an Gelatinestrahungen	46
II. Warum rücken die Körnchen bei der Bildung der Zellscheidewand aus der Spindeläquatorebene ab? BÜTSCHLI's Gelatinespindeln	47
a. Warum erscheint die Körnchenabrückung manchmal auf der mit der Einschnürung säumigen Seite der Zelle zuerst?	51
III. Warum vertheilen sich die FISCHEL'schen Körnchen beim Übertritt in das Ruhestadium wieder allwärts in der Zelle?	54
IV. Einige Bemerkungen über die Aufnahme der Farbstoffe von außen	55
V. Zusammenfassung	56
Litteraturverzeichnis	61