ältere Arbeiten aufgehäuften Tatsachen nicht die Bedeutung haben, die man ihnen zuschrieb, so glaube ich doch gezeigt zu haben, dass sie in dem hier hervorgehobenen Zusammenhange einer besonderen Hervorhebung und eines neuen Studiums wert sind. Es ist nicht möglich, hier noch viele Einzelheiten anzuführen. Nur auf die zarteren Blätter möchte ich verweisen, die selbst bei beträchtlicher Größe (*Catalpa*, *Aesculus*, *Rheum*, *Lappa* u. a.) im turgeszenten Zustande flach ausgebreitet sind, ohne dass wir heute die in ihnen wirksamen Spannungsverhältnisse übersehen könnten. In diesem Zusammenhange versteht man immerhin das polsterartige Hervortreten der Blattnerven auf der Unterseite, besonders an großen und weichen Blättern. Die dort zwischen Collenchym eingebetteten Parenchymmassen nehmen die von der schweren Blattspreite ausgeübten Druckwirkungen auf. Drehen wir deshalb etwa ein Klettenblatt um, so erhält es sich nicht mehr ausgebreitet. Die Nerven biegen sich und nähern sich einander. Die natürliche Lage beruht auf dem Zusammenwirken von Blattgewicht und Gewebespannung.

Jede Betrachtung über die mechanische Festigung des Pflanzenkörpers sollte mit den jugendlichen Organen und deren Zellen beginnen, denn erst auf dieser Grundlage kann die mit so viel mehr Materialaufwand hergestellte, dafür aber vom Turgor unabhängige und auch wirksamere Versteifung der verholzenden Zweige und lederartigen Blätter in ihrem Werden und ihrer Bedeutung begriffen werden.

Vollständige periodische Erneuerung des Kernapparates ohne Zellverschmelzung bei reinlinigen Paramaecien.

Von Rh. Erdmann und Lorande Loss Woodruff.

Osborn Zoological Laboratory, Yale University, New Haven, Conn., U. S. A.

Mit 6 Figuren.

Die grundlegende Gegenüberstellung Woodruff's (1908) von „life-cycle und rhythm“ in der Lebensgeschichte einer reinlinigen Kultur von *Paramaecium aurelia* und das Aufdecken der Tatsache durch Woodruff, dass ein „life-cycle“ nicht existiert, führte zu einer neuen Auffassung der Potenzen einer Protozoenzelle. *Paramaecium aurelia* ist bis in das Unbegrenzte unter geeigneten Bedingungen aufziehbar und nur der Rhythmus — „a minor periodic rise and fall of the fision rate, due to some unknown factor in cell metabolism, from which recovery is autonomous“ (1911, p. 263) — ist nicht auszumerzen.

Dies hatte Woodruff früher gefunden. Die Rhythmen sind eine Erscheinung, die weder durch veränderte Aufzuchtsmedien (Heuaufguss, Fleischextrakt) und Temperaturwechsel ausgeschaltet werden können. Woodruff und Baitsell sagen noch einmal (1911, p. 353):

„A study of the curves of the division rate at the two temperatures shows that temperature, as is well known, markedly influences the rate, but it also shows that the rhythms persist — the reproductive activity being, as it were, pitched at a higher scale, but its character in no wise altered.“

Die Teilungsrate ist also nicht allein eine Funktion eines beschleunigten oder veränderten Assimilationsprozesses, sondern tieferliegende Eigenschaften der Zelle beeinflussen diese. Woodruff schrieb (1908, p. 526):

„No period of marked physiological depression is indicated by the division-rate of this culture during the first year of its life; but well-defined morphological changes have occurred. These cytological variations, chiefly nuclear, demand further study.“

Den gleichen Gedanken spricht er 1911 wieder aus und betont noch einmal den normalen Charakter dieser Veränderungen. Unabhängig von Woodruff hatte Erdmann 1908, p. 872, nach Besprechung der Arbeiten von Calkins, Gregory, Woodruff geschrieben:

„Erst eine exakte Untersuchung der Kernverhältnisse selbst in lang fortgeführten Kulturen kann lehren, ob nicht doch die Konjugation ersetzende Erscheinungen auftreten.“

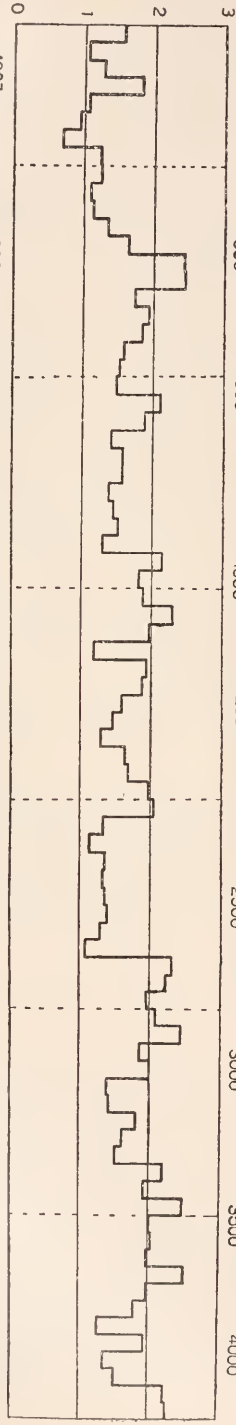
Weiter hatte Erdmann, 1913, gemutmaßt, dass die von Woodruff aufgedeckten Rhythmen vielleicht in irgendeinem Zusammenhange mit sexuellen Erscheinungen ständen (1913, p. 119). Diese von Woodruff und Erdmann getrennt ausgesprochenen Vermutungen führten zu unserer gemeinsamen Arbeit, in der wir zeigen können, dass die Rhythmen in der Teilungsrate von *Paramaecium* der physiologische Ausdruck von tiefeingreifenden Veränderungen des Kernapparates sind (Woodruff und Erdmann, Proc. Soc. Exp. Biol. and Med. 18. Febr. 1914), die wir jetzt in dieser Arbeit in Kürze schildern.

Zu unseren Experimenten wurde Woodruff's „pedigreed race“ von *Paramaecium aurelia* benutzt, die er am 1. Mai 1907 angelegt hatte. Das Ausgangstier war ein „wildes“ *Paramaecium aurelia* aus einem Laboratoriumsaquarium (Woodruff 1908, p. 521, 1911, p. 264). Diese Kultur I wurde in Einzelzuchten bis auf den heutigen Tag (20. März 1914) weitergeführt. Sie ist jetzt in der 4310. Generation. Zweiglinien, die von dieser Hauptkultur isoliert waren, konjugierten am 7. Dezember 1913 (Woodruff 1914, p. 237). Die Ausgangskultur I war also eine normale *Paramaecium*-Spezies, die alle Eigenschaften einer Protistenzelle hatte, Irritabilität, Assimilationsfähigkeit, Reproduktionsfähigkeit und Sexualität.

Am 27. Oktob. 1913 wurden von der Hauptkultur I, die sich in der 4020. Generation befand, sechs verschiedene Linien, die wir Æ I bis Æ VI nannten, abgezweigt. Diese Tiere, die vorher in einem Heuaufguss und ähnlichen Medien ernährt worden waren, wurden zu Anfang des Experimentes in eine 0,025 %ige Lösung von Fleischextrakt in dreifach destilliertem Wasser übertragen und dauernd ungefähr bei 26° Celsius — dem Optimum für diese Kultur — in einem Thermostaten gehalten. Jeden Tag wurden von sämtlichen entstandenen Teilprodukten eins auf einen neuen sterilen, tiefausgeschliffenen Objektträger übertragen, in dem sich ungefähr fünf Tropfen neuer steriler Nährflüssigkeit befanden.

Es ist von Wichtigkeit, dass diese sechs Linien von einer Zelle abstammten und dass die Abkömmlinge dieser Zelle seit 4020 Generationen unter ständiger Beobachtung waren, ehe das Experiment einsetzte. Die tägliche Teilungsrate der sechs Linien wurde beobachtet und notiert. Wenn zwei Teilungen stattfanden — also vier Tiere entstanden, so wurden ein oder zwei Tiere zur Weiterzucht verwandt, die übrigen fixiert, gefärbt und untersucht. Wenn eine Teilung sich einstellte, konnte nur ein Tier fixiert werden. Zur Fixierung diente Schaudinn'scher Sublimatalkohol und zur Färbung Delafields Hämatoxylin, Pikrokarmin und Boraxkarmin. Jedes Tier wurde einzeln behan-

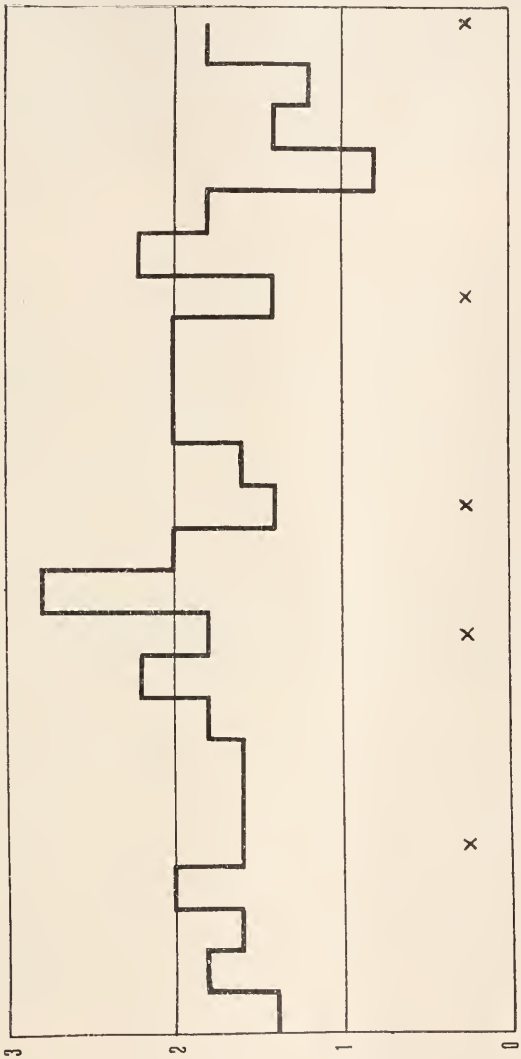
Fig. 1.



Die Kurve zeigt die Teilungsrate der „pedigreed race" (I) von *Paramecium aurelia*, vom Beginn der Kultur 1. Mai 1907 bis zum 1. Januar 1914 der 4167. Generation. Die Ordinaten stellen die tägliche, durchschnittliche Teilungsrate von vier Kulturlinien dar, auf je einen Monat bezogen. Die vertikalen gestrichelten Linien bezeichnen je den Schluss eines Kalenderjahres. Die Zahlen 500, 1000 u. s. w. geben die Anzahl der Generationen an, die an diesem Zeitpunkt erreicht sind.

delt und einzeln auf einen Objektträger gebracht. Bis zum 25. Febr. 1914 hatte Linie Æ VI die 4231. Generation erreicht. Sie hatte sich also in 121 Tagen 209mal geteilt. Die hier abgebildete Kurve zeigt die auf 5 Tage durchschnittlich dargestellte Teilungsrate. Während dieser

Fig. 2.



Die Kurve stellt die Teilungsrate der Linie Æ VI dar. Die Ordinaten geben die Anzahl der Teilungen für je **fünf** Tage an, die Abszissen die Anzahl der seit dem 27. Oktober 1913 verflossenen Perioden von je fünf Tagen. Die Kurve zeigt das gleichzeitige Auftreten der Rhythmen und des Reorganisationsprozesses. Die Zeitpunkte sind auf der Figur mit einem Kreuz bezeichnet.

Zeit traten die von Woodruff beobachteten Rhythmen auf und zwar am 18. Novbr., am 14. Dezbr., am 28. Dezbr., am 24. Januar, am 24. Februar; durchschnittlich also zwischen der 50. und 60. Generation. Sie sind auf der Textfigur 2 mit einem Kreuz bezeichnet. Das Auftreten des Prozesses am 24. Februar zeigte eine Abweichung, die Teilungsrate war schon lange vorher sehr niedrig. Hier waren

in dem Kulturmedium und in den Zellen eine besondere Art Bakterien aufgetreten, die die Zelle schwächten und während des Auftretens des Prozesses den Tod der Linie Æ VI herbeiführten.

Die Tiere der unter täglicher cytologischer Beobachtung gehaltenen Linie VI, die wir allein hier in dieser Mitteilung als Beispiel schildern, erneuerten ihren gesamten Kernapparat zur Zeit der Rhythmen. Dieser eigenartige und bis jetzt in diesem Zusammenhang noch nicht beobachtete Prozess verläuft in drei deutlich getrennten Abschnitten, in denen Veränderungen des Makronukleus und der Mikronuklei nach bestimmten Regeln vor sich gehen.

I. Abschnitt.

Involution des Makronukleus.

A. Veränderung des Makronukleus.

Der Makronukleus von *Paramaecium aurelia* ist — wie von Hertwig geschildert — ein länglicher Körper, der aus feinen chromatischen Granula besteht. Eine ziemlich derbe Membran umgibt ihn. Im vegetativen Leben ist der Rand des Makronukleus glatt. Hertwig sagt (1889, p. 157), dass er durch die Einwirkung von Reagentien schrumpfen und ein Zwischenraum zwischen ihm und dem Protoplasma entstehen kann. Auch schildert Hertwig fingerförmige Fortsätze oder Einkerbungen, die den Kern in zwei bis drei ungleich große Lappen zerlegen können. Hertwig hält diese Erscheinungen für natürliche Strukturverhältnisse, obgleich sie nicht im lebenden Zustande beobachtet werden konnten. Er beweist es dadurch, dass sie stets auftreten, welche Fixationsflüssigkeit auch genommen wird, und dass sie während der späteren Stadien der Teilung und im Laufe der ersten Periode der Konjugation fehlen (1889, p. 158). Dies können wir bestätigen, die Struktur des Makronukleus wechselt während der Zeit zwischen zwei Rhythmen. Hat ein *Paramaecium aurelia* einen Rhythmus überstanden, so ist der Makronukleus langgestreckt, glattrandig, und die Chromatin-Granula erscheinen sehr zart. Oft fallen diese Makronuklei durch ihre leuchtende Tönung bei Pikrokarminfärbung auf.

Je mehr Zellteilungen aber nun nach einem Rhythmus stattgefunden haben, desto mehr streckt sich die kurze Achse des Makronukleus, er wird immer mehr bohnenförmig, seine Granula werden gröber, und die Färbbarkeit nimmt zu. Häufig bemerkt man einige Risse und Einbuchtungen in der Membran, rundliche Chromatinkörper treten aus dem Makronukleus aus. Ihre Zahl kann schwanken. Es finden sich Zellen mit einem Chromatinkörper, mit zwei, fünf, sieben bis zu dreißig und mehr. Diese Chromatinkörper werden aus dem Makronukleus ausgestoßen, vielleicht in derselben Weise wie es Neresheimer von *Ichthyophthirius* berichtet (1908).

Einen Zusammenhang dieser Körper mit dem Makronukleus und eine spätere Durchschnürung dieser Verbindung konnten wir nicht finden. Wir halten das Vorhandensein einer solchen, wie sie Buschkiel bei *Ichthyophthirius* angibt, für *Paramaecium aurelia* nicht erwiesen und auch hier für unwahrscheinlich, denn die Membran des Makronukleus erscheint durchlöchert. Wenn der Makronukleus vollständig von Chromatin entleert ist, bleibt oft seine Hülle erhalten. Es ist also wahrscheinlich, dass Chromatin ausgestoßen und nicht abgeschnürt wird.

Fig. 3.

Bildung der Chromatinkörper und Teilungen der Mikronuklei. (Zeichenerklärung: Makronukleus = punktiert und gestrichelt, Mikronukleus = Kreis mit Punkt, sich teilender Mikronukleus = Spindelform, degenerierender Mikronukleus = Punkt, Chromatinkörper = punktiert, Makronukleusanlagen = mit Kreuzchen versehen.)

Die Befreiung des Makronukleus von seinem Chromatinreichtum kann sich innerhalb zwei oder drei Generationen vollziehen. Die *Paramaecium*-Zelle ist jetzt erfüllt von Chromatinkörpern, die zuerst rundlich sind und später länglich werden; eine zurückbleibende leere Membran stellt den alten Makronukleus dar. Sie selbst färbt sich kaum und wird allmählich von der Zelle resorbiert. Die rundlichen Chromatinkörper, die zuerst eine stark kondensierte Struktur haben, strecken sich, das Chromatin nimmt eine bürstenförmige, gelockerte Gestalt an.

B. Veränderung der Mikronuklei.

Die kleinen Mikronuklei von *Paramaecium aurelia* liegen für gewöhnlich im vegetativen Leben in der Nähe des Makronukleus. Kurz vor Auflösung des Makronukleus verlassen die Mikronuklei ihren Platz und wandern in das Protoplasma. Diese Tatsache gibt schon Maupas (1889, p. 218) für Tiere an, welche sich zur Befruchtung anschicken. Die Mikronuklei schwellen an, zwei Teilungen

finden in jedem Mikronukleus statt, so dass die Zelle 8 Mikronuklei, zwei große und sechs kleine, keinen Makronukleus und viele Chromatinkörper am Schluss dieser Periode besitzt.

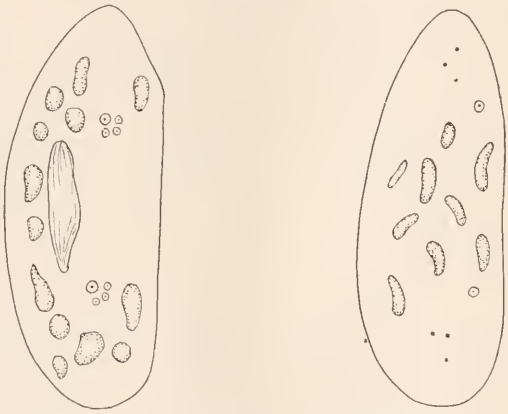
II. Abschnitt.

Degeneration der Mikronuklei.

A. Der Makronukleus.

Die Zelle ist jetzt ohne funktionierenden Makronukleus. Die vollständige Auflockerung der Chromatinkörper, die die ganze Zelle erfüllen, charakterisiert diese Periode. Es ist auffällig, dass der Makronukleus in diesem Prozess keine wurstförmigen Schlingen vor

Fig. 4.



Vollständige Auflösung des Makronukleus und Degeneration der Mikronuklei. (Zeichenerklärung wie Textfig. 3.)

seiner Aufspaltung wie bei der Konjugation bildet, sondern dass direkt eine Entleerung des Chromatins aus dem alten Makronukleus stattfindet, ein Unterschied zwischen der Befruchtung (Maupas, Hertwig) und dem von uns beschriebenen Prozess.

B. Die Mikronuklei.

Die makronukleuslose Zelle hat acht Mikronuklei, zwei große und sechs kleine. Oft liegen drei kleine und ein großer Mikronukleus zusammen. Beide Vierergruppen sind voneinander getrennt. Es ist wohl unzweifelhaft, dass die großen Nebenkerne im späteren Leben der Zelle eine andere Rolle spielen als die kleinen. Hier führen unsere Beobachtungen zu zwei Deutungsmöglichkeiten. Wir können nicht entscheiden, ob sechs oder sieben Mikronuklei degenerieren und wieviele Mikronuklei die Träger der neuen Entwickelung sind. Zellen mit einem und mit zwei Mikronuklei ohne Makronukleus wurden beobachtet, die nur noch mit Chromatinkörpern

erfüllt waren. Die Frage, ob ein oder zwei Mikronuklei zurückbleiben, ist deshalb so schwer zu beantworten, weil in der makronukleuslosen Zeit eine Zellteilung stattfindet; die zwei vor der Zellteilung vorhandenen Mikronuklei können entweder aus einem der acht Mikronuklei entstanden sein oder es können zwei zurückgeblieben sein, die sich dann auf die zwei Zellen verteilen. Bleiben

Fig. 5.

Bildung des neuen Kernapparates (Zeichenerklärung wie in Textfig. 3).

zwei Mikronuklei zurück, so findet nur die Zellteilung statt und die mit einem Mikronukleus und mehreren Chromatinkörpern versehene Zelle bildet — wie wir sehen werden — durch zwei Teilschritte den neuen Kernapparat für zwei weitere Zellen.

Eine Darstellung aller beobachteten Fälle in diesem Abschnitte des Reorganisationsprozesses und ihre Diskussion ist enthalten in dem Journ. of Exp. Zool., Bd. 17, 1914 unter dem Titel „A normal periodic nuclear reorganization“ without cell fusion in *Paramaecium*“.

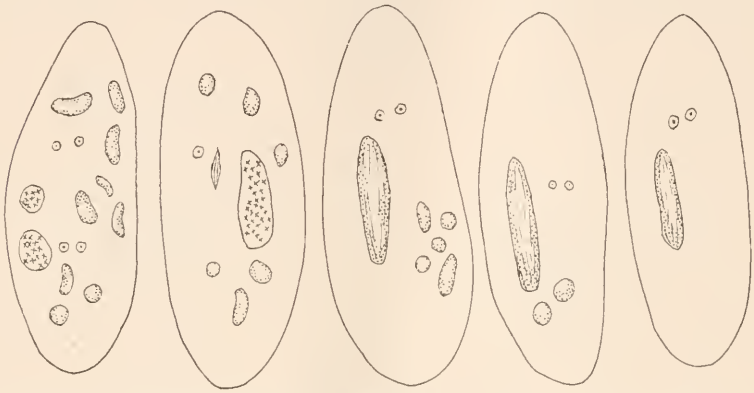
III. Abschnitt.

Reorganisation des Kernapparates.

Die mit einem Mikronukleus versehene Zelle schreitet jetzt zur Bildung des neuen Kernapparates, der Mikronukleus teilt sich und die beiden Mikronuklei bilden in dem nächsten Teilschritt je eine Makronukleusanlage und je einen neuen Mikronukleus. Die Zelle hat also jetzt zwei Mikronuklei und zwei Makronukleus-

anlagen. Diese liegen gewöhnlich nebeneinander, können aber in späteren Stadien untereinander liegen und entfernen sich in die zwei Hälften der sehr breit gewordenen Zelle. Jetzt erfolgt die erste Rekonstruktionsteilung, nachdem jeder Mikronukleus eine Teilungsspindel gebildet hat; damit bildet sich je ein normales *Paramaecium aurelia* mit zwei Mikronuklei und einer Makronukleusanlage. Diese wächst schnell heran, und gleichzeitig mit ihrem Wachstum findet eine Auflösung der Chromatinkörper statt, die immer mehr an die Oberfläche der Zelle rücken und staubartiger

Fig. 6.



Wiederherstellung des normalen *Paramaecium aurelia*. (Zeichenerklärung wie in Textfig. 3).

werden. Die Zellen teilen sich recht schnell hintereinander; jede Tochterzelle befreit die Mutterzelle von den alten Chromatinresten, so dass schließlich in jeder jungen Zelle sich drei, vier, fünf oder mehr Chromatinkörper befinden, zwei Mikronuklei, und ein junger sehr schlanker Makronukleus mit feinen Chromatingranulationen. Die Reorganisation des Kernapparates ist vollendet.

Alle sechs Linien von *Paramaecium aurelia* und zahlreiche Abzweigungen zeigten in regelmäßig wiederkehrenden Abständen diese Reorganisation. Ihre morphologischen Charaktere waren bis auf geringe Abweichungen dieselben in allen fünfundzwanzig beobachteten Fällen, stets traten die geschilderten Abschnitte in dem Prozess auf, mitunter aber waren die Veränderungen des Makronukleus denen des Mikronukleus vorausgeeilt und umgekehrt. Nicht allein hatte die ganze Linie Æ mit allen für diese Experimente von ihr abgezweigten Linien diesen Prozess, sondern die Hauptkultur I hatte schon z. B. bei der 426., 452., 866., 910., 1201., 1452., 1498., 1521., 1755., 1827., 2056., 2256. u. s. w. Generation die gleiche Reorganisation erfahren. Dieselben morphologischen Erscheinungen

kamen in der Hauptkultur I zur Beobachtung, deren gesetzmäßigen Verlauf und regelmäßige Wiederkehr wir durch tägliche cytologische Beobachtungen der Linien Æ I—VI in Einzelkulturen festlegen können.

Diese Reorganisation ist also kein Prozess, der erst nach langer Aufzucht als Alters- oder Degenerationserscheinung auftritt, denn die Kultur hatte sie schon, wie Präparate, die im Verlauf der siebenjährigen Aufzucht gemacht wurden, zeigten. Diese Reorganisation ist auch kein Prozess, der nur der *Paramaecium aurelia*-Kultur I, die Woodruff 1907 isolierte, zukommt, eine andere Linie B, die in den Jahren 1912—1913 beobachtet wurde, den gleichen Aufzuchtsbedingungen wie den für Linie Æ geschilderten unterworfen war und aus Spreekanalwasser in Berlin am 8. November 1912 isoliert wurde, zeigte am 17. März 1913 diese Reorganisation auch.

R. Hertwig beschreibt kurz 1889 (p. 224 u. 225) in seinem umfassenden Werk „Über die Konjugation der Infusorien“ Massenkulturen von *Paramaecium aurelia*, in denen er keine Konjugation entdecken konnte, zweierlei Veränderungen des Kernapparates, die nach seiner Beschreibung zu schließen zum Teil mit den Reorganisationsvorgängen der Zelle, wie wir sie geschildert haben, identisch sind.

„Die zuerst eintretenden Veränderungen besitzen kein Analogon in den Vorgängen einer normalen Entwickelung. Wahrscheinlich zerfällt der Hauptkern erst in größere, dann in kleinere Stücke, ohne das regelmäßige Auswachsen in größere und dann kleinere Stücke, welches im Lauf der geschlechtlichen Entwickelung der Paramaecien eintritt. Ich fand bald zwei bald vier Nebenkerne, entweder in Form der ruhenden Kerne oder häufiger in Form von Spindeln, wie ich sie sonst nicht beobachtet habe.“

Hertwig glaubt, dass diese besprochenen Kernmetamorphosen mit einer Herstellung des normalen Zustandes enden. Die andere Reihe der Veränderungen besteht nach ihm (p. 225) in folgender Umwandlung der Paramaecien in

„Tiere mit vergrößerten Nebenkernen, mit Sichelkernen mit zwei, vier und acht Spindeln, Tiere, bei denen die Teilung in die Haupt- und Nebenkernanlagen vollzogen war.“

Diese Veränderungen können mit Sicherheit nach Hertwig als Parthenogenesis gedeutet werden, sie sind nach ihm ein „Akt der Selbsthilfe“ (p. 226).

Aus der Beschreibung unserer Experimente geht hervor, dass Hertwig einige isolierte Stadien des von uns vollständig aufgedeckten Reorganisationsprozesses, untermischt mit Teilungsstadien, gesehen, dass er aber nicht den chronologischen Zusammenhang der Stadien wegen der von ihm angewandten Methode aufdecken

und sie nicht mit dem Auftreten der Rhythmen in Verbindung bringen konnte.

Drei *Aurelia*-Stämme zeigten also unabhängig den gleichen Prozess. Doch auch dem *Paramaecium caudatum* kommt er zu. Doflein 1907 p. 2 bildet ein abnormes Konjugationspaar ab, der eine linke Konjugant hat genau das Aussehen eines *Paramaecium*, das in der dritten Periode seines Reorganisationsprozesses ist. Vier Makronukleusanlagen — die Mikronuklei sind nicht gezeichnet — und viele Chromatinkörper erfüllen die Zelle. Der rechte Konjugant hat einen normalen Kernapparat, kein Anzeichen der Konjugation ist zu sehen; er ist eine vegetative *Paramaecium*-Zelle, die mit einer anderen verklebt ist. Der Prozess — und wir haben unsere Untersuchungen auch auf *Paramaecium caudatum* ausgedehnt und werden später darauf zurückkommen — ist eine Erscheinung, die bei zwei beobachteten *Paramaecium*-Spezies auftritt. Seine Deutung ist gegeben.

Der im vorhergehenden besprochene, merkwürdige Prozess kann keine Konjugation sein, da durch die Aufzuchtsmethode das Auftreten einer solchen ausgeschlossen ist. Er geht in einer einzigen Zelle vor sich und hat auffallende Ähnlichkeit mit den Vorgängen bei der Konjugation. Gleich sind der Zerfall des alten Makronukleus; die Entstehung von acht Mikronuklei; ihr Schwund bis auf einen oder zwei; die Bildung von vier Tochter-Mikronuklei, von denen zwei zu Makronukleusanlagen werden. (Wir folgen nach unseren Beobachtungen über die normale Konjugation in Zweiglinien der Kultur I am 7. Dezember 1913, der Angabe von Maupas 1889, p. 221, 222 und Hertwig 1889, p. 57 über die Entstehung von zwei Makronukleusanlagen). Die Herstellung des normalen Zustandes kommt nach der Konjugation und der Reorganisation durch Teilungen zustande, bei beiden Erscheinungen können die Trümmer des alten Makronukleus noch nach der vierten Zellteilung (Maupas 1889, p. 225, 226, 227) vorhanden sein.

Abweichend sind das Fehlen der Makronukleusschlingen, die dem Zerfall des Makronukleus vorausgehen, die Unterdrückung einer Teilung, die den Stationär- und Wanderkern bildet, die Bildung eines Synkaryons. In dem von uns hier beschriebenen Prozess findet keine Kernverschmelzung statt.

Die Bildung von acht Mikronuklei ist wohl in Analogie mit anderen Infusorien (Anoplophrya, Chilodon, Carchesium, Didinium) als sogenannte Reduktionsteilung — nach den heute herrschenden Ansichten — aufzufassen. Die nach der Zerstörung des alten Makronukleus auftretende Neubildung des gesamten Nuklearapparates ist zweifellos der Ausdruck einer Entwickelungserregung in der *Paramaecium*-Zelle, die Hertwig auf Grund weniger isolierter Beobachtungen als parthenogenetisch auffasste. Unsere Befunde lassen

eine andere Deutung zu, die wir an einer anderen Stelle (Journ. of Exp. Zool. Vol. 17, 1914) veröffentlichen.

Woodruff vermutete, als er (1908, p. 526) die Zertrümmerung der Makronukleus sah, dass vielleicht eine Autogamie vorliegen könnte. Unsere Untersuchungen gaben dieser Annahme keine weitere Stütze. Dieser Prozess ist aber auch keine Parthenogenese in dem Sinne, wie Calkins 1902, p. 170 es meinte, als er durch Stimuli die gesunkene Teilungsrate wieder heben konnte.

Diese Parthenogenese hier ist ein Sexualakt.

In diesem kurzen Bericht soll nicht auf die fundamentale Wichtigkeit der von uns beschriebenen Tatsachen eingegangen werden. Nur das eine wollen wir gleich hier festlegen, ehe unsere durch Zeichnungen und Photographien aus unserem ganzen Material gewonnenen Erfahrungen erscheinen. Alle Schlüsse über die Bedeutung von Variationen in langgeführten Kulturen, die ohne Einfluss eines Sexualaktes bei Paramaecien aufgetreten sein sollen, erfordern eine Neuuntersuchung (Calkins 1913, Jennings 1913, Jollos 1913), ob auch nicht diese Linien derartige Regulationen zeigen.

Da auch von Erdmann 1913 eine Regulation bei einer fakultativ apogam gemachten *Amoeba diploidea* beschrieben, so liegt es nahe zu glauben, dass auch alle jenen pathogenen (Trypanosomen) und nichtpathogenen Protozoenformen, bei denen eine Kopulation nicht beobachtet werden konnte, eine Autogamie mit und ohne Cystenbildung fehlt, vielleicht Reorganisationen ähnlicher Art zeigen werden, die nur durch eine tägliche cytologische Beobachtung der nacheinander entstehenden Generationen aufgedeckt werden können.

Zum Schluss fassen wir noch einmal unsere Ergebnisse kurz zusammen:

1. Die Rhythmen in der Teilungsrate von *Paramaecium* sind der physiologische Ausdruck von tiefgreifenden Veränderungen des gesamten Kernapparates.

2. Diese periodisch auftretenden Erscheinungen führen zur Bildung eines neuen Kernapparates der Zelle, der nach einer Reihe gesetzmäßiger morphologischer Veränderungen — Zerstörung des alten Makronukleus, Vielteilung der Mikronuklei, Bildung neuer Makronukleusanlagen — erscheint.

3. Diese Reorganisation des Kernapparates hat Ähnlichkeit mit den Veränderungen, die bei der Konjugation auftreten. Doch findet bei dieser Reorganisation keine Zellverschmelzung statt.

Literatur.

Baitsell, G. A. 1914. Experiments on the reproduction of the hypotrichous Infusoria. II. A study of the so-called life cycle in *Oxytricha fallax* and *Pleurotricha lanceolata*. Journ. Exper. Zoology, XVI, 211.

Buschkiel, A. L. 1911. Beiträge zur Kenntnis des *Ichthyophthirius multifiliis.* Arch. f. Protistenk., XXI, 61.

Calkins, G. N. 1902. Studies on the life history of Protozoa. I. The life cycle of *Paramaecium caudatum.* Arch. f. Entw., XV, 141.

Calkins, G. N., and Gregory, L. H. 1913. Variations in the progeny of a single exconjugant of *Paramaecium caudatum.* Journ. Exper. Zoology, XV, 467.

Collin, B. 1909. La Conjugaison, d'*Anoplophrya branchiarum.* Arch. d. Zool. Expér. et gén., Ser. V, T. 1, 345.

Doflein, F. 1907. Beobachtungen und Ideen über die Konjugation der Infusorien. Sitz. d. Gesellsch. f. Morph. u. Physiol. München.

Enriques, P. 1908. Die Konjugation und sexuelle Differenzierung der Infusorien. Arch. f. Protistenk., XII, 213.

Erdmann, Rh. 1908. Kern- und Plasmawachstum in ihren Beziehungen zueinander. Ergebn. der Anat. u. Entwickelungsgeschichte, XVIII, 844.

Erdmann, Rh. 1913. Experimentelle Ergebnisse über die Beziehungen zwischen Fortpflanzung und Befruchtung bei Protozoen, besonders bei *Amoeba diploidea.* Arch. f. Protistenk., XXIX, 84.

Gregory, L. H. 1909. Observations on the life history of *Tillina magna.* Journ. Exper. Zool., VI, 383.

Hartmann, M. 1909. Autogamie bei Protisten und ihre Bedeutung für das Befruchtungsproblem. Arch. f. Protistenk., XIV, 264.

Hertwig, R. 1889. Über die Konjugation der Infusorien. Abh. der k. bayer. Akad. der Wiss. II. Cl., XVII, 74.

Jennings, H. S. 1913. The effect of conjugation in *Paramaecium.* Journ. Exper. Zoology, XIV, 279.

Jollos, V. 1913. Untersuchungen an Infusorien. Biol. Centralbl., XXXIII.

Lühe, M. 1902. Über Befruchtungsvorgänge bei Protozoen. Schrift. physik. ökon. Ges. Königsberg.

Maupas, E. 1889. La rajeunissement karyogamique chez les ciliés. Arch. d. zool. expér. et gén., (2) VII, 149.

Neresheimer, E. 1908. Der Zeugungskreis des *Ichthyophthirius.* Ber. d. K. K. biol. Versuchsstation, München, I.

Popoff, M. 1908. Die Gametenbildung und die Konjugation von *Carchesium polypinum.* Zeitschr. f. wiss Zool, LXXXIX, 478.

Prandtl, H. 1906. Die Konjugation von *Didinium nasutum.* Arch. f. Protistenk., VII, 229.

Woodruff, L. L. 1905. An experimental study on the life history of hypotrichous Infusoria. Journ. Exper. Zool., II, 585.

— 1908. The life cycle of *Paramaecium* when subjected to a varied environment. Amer. Naturalist, XLII, 526.

— 1911. Two thousand generations of *Paramaecium.* Arch. f Protistenk., XXI, 263.

Woodruff, L. L., and Baitsell, G. A. 1911. Rhythms in the reproductive activity of Infusoria Journ. Exper. Zoology, XI, 339.

Woodruff, L. L., and Erdmann, Rh. 1914. Complete periodic nuclear reorganization without cell fusion in a pedigreed race of *Paramaecium.* Proc. Society for Exper. Biology and Medicine, XI, Feb. 18, 1914.

Woodruff, L. L. 1914. So-called conjugating and non-conjugating races of *Paramaecium.* Journ. Exper. Zool., XVI, 237.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Biologisches Zentralblatt

Jahr/Year: 1914

Band/Volume: 34

Autor(en)/Author(s): Erdmann Rhoda, Woodruff Lorande Loss

Artikel/Article: Vollständige periodische Erneuerung des Kernapparates ohne Zellverschmelzung bei reinlinigen Paramaecien. 484-496