Nachdruck verboten.
Übersetzungsrecht vorbehalten.

Aus der Zoologischen Abteilung (Vorstand: Akademiker N. W. Nassonow) des Leshaft'schen wissenschaftlichen Instituts.

Zur Frage über die physikalisch-chemische Bestimmung der Korrelationen einiger physiologischer Prozesse bei *Paramaecium caudatum.*

Von

E. W. Andrejewa.

(Hierzu 6 Textfiguren.)

Wir begegnen im Schrifttum einer ziemlich großen Zahl von Arbeiten, in welchen die Verf. den Versuch machen, den Charakter, die Geschwindigkeit und die Ursachen der Bewegung der niedrigsten einzelligen Organismen von verschiedenen Reagenzien in Abhängigkeit zu bringen, z. B. von den Elektrolyten, vom Licht, von der Temperatur, von der verschiedenen Form des Gefäßes und der Tropfen, von der Veränderung des Zentrums der Schwerkraft, vom elektrischen Strom, von den Röntgenstrahlen und anderen Reizmitteln. Mich interessierte aber die Feststellung der allgemeineren Gesetze der Protistenbewegung, in bezug, auf welche die genannten Wirkungen nur Einzelfälle sind.

In meiner Arbeit „Die elektrische Ladung und die Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien", welche in der „Kolloid-Zeitschrift" gedruckt ist und nur den ersten Teil der gegebenen Arbeit vorstellt, wird die Untersuchung der Wirkung der Elektrolyten auf die Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien nur als eine Bestimmungsmethode der Bewegungsgesetze überhaupt angewandt; dank dieser Methode ist es mir gelungen, einige quantitative Gesetzmäßigkeiten in den Fragen über die Bewegung festzustellen. Die Frage nach der Bewegung der Protisten, welche mit

der elektrischen Ladung verbunden ist, wird von vielen Verf. behandelt (Jennings, Wallengren, Pütter, Ludlow), welche die Infusorien der Wirkung des elektrischen Stromes aussetzen. Verworn nimmt an, daß die Frage danach, was für ein spezieller Faktor die Verlangsamung und Beschleunigung der Wimperntätigkeit, folglich auch der Bewegung bei den Infusorien, im ganzen Komplex der Galvanotaxisbedingungen, hervorruft, offen bleibt. Coehn und Barrat haben im Jahre 1905 die Vermutung ausgesprochen, daß es sich in der Frage über die Ursachen der Beschleunigung und Verlangsamung der Wimperntätigkeit bei den Infusorien, bei der Galvanotaxis, vor allem um die elektrische Ladung der Organismen handelt, welche sich aus der verschiedenen Durchlässigkeit der lebenden Protoplasmamembran für die Ionen von Elektrolyten ergibt.

In der Arbeit von Mast und Nadler (1926) wird zum erstenmal die Ansicht geäußert, daß, vielleicht dank der Elektrolytenwirkung auf die Infusorien, das elektrolytische Potential ihrer Oberfläche sich verändert; durch die Wirkung desselben auf den nervös-motorischen Apparat der Infusorien wird die Wimperntätigkeit verändert. Die Ursache der verschiedenen Wirkung der Salze auf die Bewegung ersehen die Verf. dieser Arbeit in der verschiedenen Adsorption der Salzkationen, obschon sie auch die Wirkung vieler anderen Faktoren anerkennen, so daß der Gedanke über das elektrische Potential nur als Vermutung bestehen bleibt.

Die Fragen der physikalisch-chemischen Erscheinungen, insbesondere der elektrischen Erscheinungen in den Lebensprozessen der Infusorien bleiben bis jetzt noch nicht gelöst, obschon im Schrifttum häufig die Ansicht geäußert wird, der Organismus sei ein Mechanismus, dessen Prozesse physikalisch-chemischen Erscheinungen unterworfen sind. Dembovsky erklärt z. B. in seiner Arbeit „Die Vertikalbewegungen von *Paramaecium caudatum*: Einfluß einiger Außenfaktoren“ (1929) den lebenden Organismus für einen physikalisch reagierenden Mechanismus; er ist damit nicht einverstanden, daß die ganze unermeßliche Kompliziertheit des lebenden Wesens nur als Summe einer ganzen Reihe von Tropismen und Taxiserscheinungen aufgefaßt werden könne.

Auf Grund der physikalisch-chemischen Erscheinungen, insbesondere auf Grund der veränderten elektrischen Ladung der Kolloidpartikeln, unter der Wirkung der Elektrolyten, war es interessant, den Zusammenhang derselben elektrischen Erscheinungen mit der Bewegung der Infusorien festzustellen. Wenn wir annehmen, daß auf der Körperoberfläche der Infusorien, ebenso wie auf jeder

Grenzfläche, eine elektrische Ladung vorhanden ist, und daß das elektrische Potential der Infusorienoberfläche mit der nervös-motorischen Tätigkeit derselben im Zusammenhang steht, so können wir durch die Einwirkung der Elektrolyten auf die Infusorien die Größe der Ladung und somit, durch das nervös-motorische System, auch die Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien verändern.

Wie aus den physikalisch-chemischen Untersuchungen von Powis, Loeb, Ellis, Burton, Mc Taggart, Northrop u. a. ersehen werden kann, verändert sich die elektrische Ladung der Kolloidpartikeln unter der Wirkung der Elektrolyten. Nach den Annahmen dieser Verf. ordnen sich die Anionen in jeder Elektrolytlösung in den Wasserschichten an, welche in der unmittelbaren Umgebung der in der Lösung vorhandenen Kolloidpartikeln gelegen sind; sie geben den Partikeln eine negative elektrische Ladung. Die Salzkationen ordnen sich aber in den von den Partikeln weiter abstehenden Wasserschichten an und geben dem Wasser eine positive Ladung. Je höher aber die Wertigkeit des Kation ist, desto schwächer wird es in die Tiefe verdrängt; deshalb gelangen die drei- und vierwertigen Kationen, wie es scheint, in die zur Partikel naheliegende Schicht und geben ihr eine positive Ladung; wenn man also zur Lösung drei- und vierwertige Kationen beimengt, so verändert sich das ursprünglich negative Potential der Partikel und sie erhalten eine positive Ladung, während die Ladung des Wassers negativ ist.

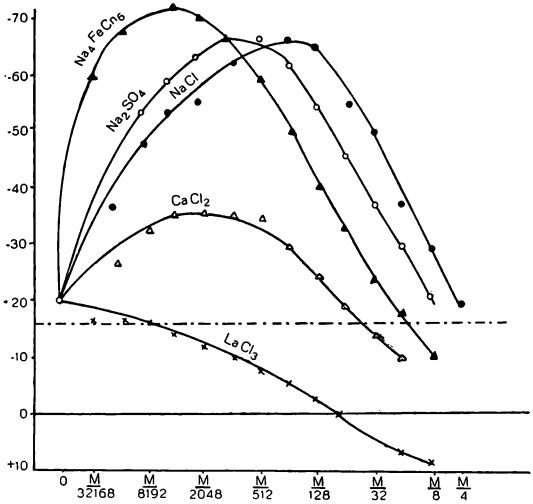

Fig. 1.

Auf der Fig. 1 gebe ich die Kurve der Veränderung des elektrischen Potentials der Kolloidpartikel des Kollodiums unter der Wirkung einiger Elektrolyten, welche der Arbeit von Loeb entnommen ist; an der Abszissenachse sind die Konzentrationen der Elektrolyte in Grammolekülen angegeben, an der Ordinatenachse,

die Ladungswerte in Millivolt. Die Horizontallinie zeigt das Nullpotential an.

Die Linie —·—·—·— ist die Linie des kritischen Potentials. Die Form der auf dieser Figur gegebenen Kurven zeigt die Veränderung der Größe des Potentials der Kolloidpartikel. Wir sehen, daß der Verlauf dieser Veränderungen kompliziert ist. Die ursprüngliche negative elektrische Ladung der Kollodiumpartikel nimmt auf Kosten der negativen Anionenladung (bei ein- und zweiwertigen Salzkationen) zu, nach dem Erreichen des Maximums sinkt sie ab, da von diesem Punkt der Kurve die positive Ladung der Kationen, wie es scheint, die negative Ladung der Partikel herabsetzt, d. h. dieselbe entladet. Die Wirkungskurven der Salze mit einwertigen Kationen haben ein höheres Maximum, als in der Wirkungskurve des zweiwertigen Salzes $CaCl_2$, da das zweiwertige positiv geladene Kation Ca auf die negativ geladenen Partikel stärker einwirkt als die einwertigen Kationen und die negative Ladung der Partikel sich auf Kosten der negativ geladenen Anionen bis zum Maximum der Kurven mit Na_4FeCn_6, Na_2SO_4 und NaCl nicht vergrößern kann. Das dreiwertige Ion des Lantans setzt die negative Ladung der Partikel auf einmal herab, um sie ferner umzuladen (die Kurve geht über die Linie des Nullpotentials hinaus), so daß sie eine positive Ladung erhält.

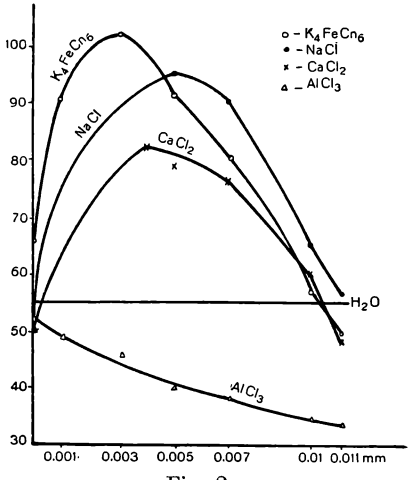

Fig. 2.

Wenn in der Tat ein Parallelismus zwischen der Wirkung der Elektrolyte auf das elektrische Potential der Kolloidpartikel und auf die Ladung, somit auch auf die Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien besteht, so müssen die Bewegungskurven der Infusorien den Kurven der veränderten Ladung der Partikel analog sein. Ich erhielt in der Tat bei der Wirkung derselben Elektrolyten auf *Paramaecium caudatum* wie auf die Kolloidpartikel eine Zu- und Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit, deren Kurven mit den Kurven der Zu- und Abnahme der Größe der elektrischen Ladung der Kolloidpartikel zusammenfallen. Auf der Fig. 2 sind die Kurven der Veränderung der Bewegungsgeschwindigkeit bei den-

selben Infusorien unter der Wirkung derselben Elektrolyte gegeben, welche auf der Fig. 1 dargestellt wurden, um die Veränderung der Ladung der Kolloidpartikel des Kollodiums zu zeigen.

An der Abszissenachse sind die Salzkonzentrationen in Grammmolekülen angegeben, an der Ordinatenachse die Zahl der Millimeter, welche die Infusorien im Laufe 1 Minute durchwandert haben, d. h. die quantitative Messung der Bewegungsgeschwindigkeit.

Die horizontale Linie dient zur Kontrolle, d. h. sie zeigt die normale Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien während der Ausführung des gegebenen Versuches im Wasser, welches zur gleichen Zeit als Kulturmedium ohne die zugegebenen Elektolyten diente.

Beim Vergleich der Kurven auf der Fig. 2 mit den Kurven der Fig. 1 sehen wir, daß sie vollkommen analog sind, d. h., daß die Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien zu- und abnimmt in Analogie mit der Zu- und Abnahme der elektrischen Ladung der Partikel. Man kann also annehmen, daß die Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien mit der Vergrößerung ihrer ursprünglichen negativen Ladung zunimmt, auf Kosten der negativen Ladung der Salzanionen; sie verringert sich aber mit der Abnahme dieser Ladung unter der Wirkung der positiv geladenen Salzkationen auf die Infusorien.

Ich stellte noch eine ganze Reihe von analogen Versuchen mit anderen Elektrolyten — Salzen, Säuren, Laugen und Farben — an; beim Vergleich der von mir erhaltenen Kurven der Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien mit den Kurven der Veränderung der Ladung der Partikel unter der Wirkung derselben Elektrolyte, erhielt ich in allen Fällen vollkommen analoge Angaben; auf Grund dieser Angaben konnte ich folgende Schlußfolgerungen ziehen.

1. Die Infusorienoberfläche hat, wie jede Grenzfläche, eine elektrische Ladung.

2. Das negative elektrische Potential der Infusorienoberfläche ist von adsorptiver Natur.

3. Die Zu- und Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien steht im Zusammenhang mit der Zu- und Abnahme der negativen elektrischen Ladung ihrer Oberfläche in Analogie mit der Veränderung der Ladung der Kolloidpartikel.

4. Die Ursache der Bewegung der Infusorien in schwachen Konzentrationen der Elektrolyte ist, wie es scheint, ebenso wie im Kulturwassermedium das oberflächliche elektrische Potential.

Im ersten Teil meiner Arbeit ist es mir also gelungen, zu beweisen, daß die Bewegung der Infusorien unter der Wirkung der Elektrolyten auf dieselben der Bewegung der Kolloidpartikel bei der Elektrophorese analog ist. Wie bekannt, ist aber die Bewegung der Kolloidpartikel an und für sich unordentlich oder einfach chaotisch. Natürlicherweise bin ich auf den Gedanken gekommen, daß die Bewegung der Infusorien, auf welche im normalen Zustand gar keine Außenfaktoren oder fremde Einflüsse einwirken, vielleicht ebenso unordentlich ist. Um diese Frage zu lösen, bediente ich mich der Methode von Einstein, welche er bei der Untersuchung der Brown'schen Bewegung anwendet. Bei der Brown'schen Bewegung, welche vollständig unordentlich ist, werden vor allem die sukzessiven Verlagerungen irgendeiner Partikel gemessen. Zu diesem Zwecke wird die Lage der Partikel in gleichen Zeitabständen auf einem Netz im Gesichtsfeld des Ultramikroskops verzeichnet; die erhaltenen Punkte werden durch gerade Linien vereinigt, ferner werden Projektionen jeder Verlagerung auf irgendeine Achse des Netzes gemacht, auf die Abszisse oder Ordinate. Wenn die Bewegung unordentlich ist, so muß das mittlere Quadrat der Projektionen auf irgendeine Achse in bezug auf die Zeit stets proportional sein. Im Laufe von 60 Sekunden muß z. B. das mittlere Quadrat der Projektion um zweimal kleiner sein als das mittlere Quadrat der Projektion nach Ablauf von 120 Sekunden. Um die Frage über den Charakter der Infusorienbewegung zu lösen, bestimmte ich ebenfalls auf einem Netz unter der Lupe die Lagerungspunkte der Infusorien jede halbe Minute. Um die Projektion der Verlagerung der Infusorien zu finden, mußte man aus den genannten Punkten auf die untere Linie des Netzes, welche die Abszisse war, Senkrechte fällen. Der Abszissenabschnitt zwischen den gefällten Senkrechten ist die Projektion der Infusorienverlagerung. Ich erhielt auf solche Weise eine Reihe von Verlagerungsprojektionen eines und desselben Infusoriums; nach der Messung derselben in Millimetern erhielt ich folgende Wertenreihe: S. Tabelle 1 S. 352.

Alle Messungen der Verlagerungen, welche an dieser Stelle gegeben werden, wurden in gleichen Zeitabständen von 30 Sekunden ausgeführt. Jede Ziffernreihe (15 Messungen) stellt die Projektionen der Verlagerungen der Infusorien im Laufe von 15 halben Minuten vor. Sämtliche Verlagerungen wurden im Laufe von 45 halben Minuten ausgeführt.

Falls die Bewegung der Infusorien unordentlich und unregelmäßig ist, so muß das mittlere Quadrat der Projektionen im Laufe

Tabelle 1.

Projektionen der Verlagerung in mm	Quadrate der Projektionen in qmm	Projektionen der Verlagerung in mm	Quadrate der Projektionen in qmm	Projektionen der Verlagerung in mm	Quadrate der Projektionen in qmm
0,5	2,5	8	64	6,5	42,25
0	0	3	9	7	49
2,5	6,05	4	16	1	1
7,5	56,25	4	16	3,75	3,35
4	16	1,5	2,25	2,25	5,06
0,25	0,6	4	16	4,25	18,06
6	36	7,5	56,25	1,25	1,56
6	36	5,5	30,25	1	1
7,5	56,25	7,25	52,56	0,25	0,6
0,5	2,5	1,5	2,25	1,5	2,25
0,75	0,56	3,75	14,06	1,75	3,06
7	49	3	9	5,5	30,25
5	25	1,25	1,56	0,75	0,56
1,75	3,06	4	16	1,75	3,06
3,5	12,25	1,25	1,56	1,75	0,06

der ersten 15 halben Minuten (erste Ziffernreihe) um zweimal kleiner sein als das mittlere Quadrat der Projektionen im Laufe von 30 halben Minuten (erste und zweite Ziffernreihe) und um dreimal kleiner als das mittlere Quadrat im Laufe von 45 halben Minuten (erste, zweite und dritte Ziffernreihe).

Das mittlere Quadrat der Projektionen im Laufe der ersten 15 halben Minuten der Beobachtung ist gleich:

$$302{,}02 : 15 = 20{,}13.$$

Das mittlere Quadrat der Projektionen im Laufe von 30 halben Minuten:

$$608{,}76 : 30 = 20{,}29.$$

Das mittlere Quadrat der Projektionen im Laufe von 45 halben Minuten:

$$783{,}68 : 45 = 17{,}41.$$

Daraus erhalten wir:

Quadrate der Projektionen: $x_1^2 : x_2^2 : x_3^2 = 20{,}13 : 20{,}29 : 17{,}41$
Zeit in halben Minuten: $t_1 : t_2 : t_3 = 15 : 30 : 45$

Aus den gegebenen Ziffern kann man deutlich ersehen, daß das mittlere Quadrat der Projektionen der Zeit nicht proportional ist,

woraus wir schließen, daß die Bewegung der Infusorien nicht unordentlich ist und daß sie also der Brown'schen Bewegung nicht analog ist.

Der größeren Genauigkeit halber, halte ich es für notwendig, die Messungsmethoden der Infusorienverlagerung eingehender zu beschreiben. Die Infusorien wurden aus einer Wasserkultur genommen. Ein Infusorium wurde unter der Lupe in einem Tropfen Wasser auf ein Objektglas mit einem auf demselben gezeichneten Netz gebracht; jedes Quadrat des Netzes war gleich 1 qmm. Auf Papier wurde im voraus eine ganze Serie von ebensolchen Netzen im vergrößerten Maßstab gezeichnet. Mit Hilfe eines Sekundenmessers wurden gleiche Zeitabstände von 30 Sekunden verzeichnet;

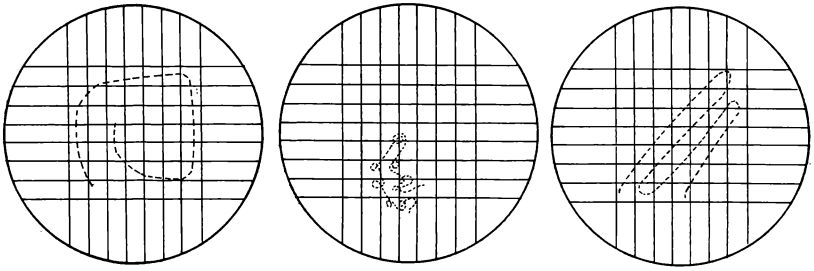

Fig. 3.

im Laufe dieser Zeitabstände wurde der Gang der Infusorienbewegung, wie er auf dem Netz unter der Lupe sichtbar war, auf dem auf Papier gezeichneten Netz genau wiedergegeben. Alle 30 Sekunden wurde das Papier verschoben und es wurde auf einem neuen Netz gezeichnet. Auf solche Weise konnte man alle Verlagerungen der Infusorien im Laufe der beliebigen Zeit ununterbrochen verzeichnen. Nachdem eine ganze Serie dieser Netze erhalten war, verzeichneten wir auf jedem Netz den Punkt des Beginns und des Endes der Bewegung; aus diesen Punkten wurden Senkrechte auf die Abszissenachse des Netzes gefällt, und es wurden die Projektionen gefunden.

An dieser Stelle gebe ich mehrere Netze mit der Darstellung der Bewegung eines Infusoriums im Laufe von 30 Sekunden. Die punktierte Linie bezeichnet den Gang der Bewegung.

Die Zeichnung der Bewegung oder der Charakter der Bewegung der Protisten sind an und für sich ebenfalls sehr interessant, sie sind aber von mir noch nicht untersucht, obschon ich schon ziemlich viel Material gesammelt habe.

Es ist mir also gelungen, mit Hilfe der Methode von Einstein zu beweisen, daß die Infusorienbewegung nicht unordentlich, nicht chaotisch ist.

Wenn die Bewegung der Infusorien nicht unordentlich ist, so muß sie von irgendwelchen Prozessen abhängen, die bei der Brownschen Bewegung der Partikel, welche im Vergleich mit den Infusorien allzu einfach gebaut sind, nicht stattfinden; mit anderen Worten, die Bewegung der Infusorien steht im Zusammenhang mit irgendwelchen anderen physikalisch-chemischen Erscheinungen, welche sich bei den Infusorien (da es lebende Organismen sind) als physiologische Prozesse kundtun. Aus diesem Grunde beschloß ich im letzten Teile meiner Arbeit den Zusammenhang zwischen der Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien und den für die Protisten besonders charakteristischen Prozessen zu verfolgen; diese Prozesse sind: der Prozeß der Ernährung, welcher quantitativ in der Zahl der Nahrungsvakuolen Ausdruck findet, und der Prozeß der Ausscheidung, welcher sich in der Schnelligkeit oder in der Zahl der Pulsationen der kontraktilen Vakuolen im Laufe eines bestimmten Zeitraumes äußert.

Um den Zusammenhang zwischen diesen drei physiologischen Prozessen (Bewegung, Ernährung und Ausscheidung) festzustellen, verwendete ich, ebenso wie in den vorhergehenden Versuchen, das Infusor *Paramaecium caudatum*. Die Infusorien wurden ausschließlich aus einer Wasserkultur genommen (200 gr. Erde + 800 ccm Wasser aus der Wasserleitung); das p_H derselben war stets 6,8. Es wurde mit Absicht eine Wasserkultur der Infusorien genommen, da in ihr die geringste Menge gelöster Elektrolyte enthalten ist, welche die Reinheit des Versuches stören; abgesehen davon spielt die Erde die Rolle eines Puffers und Adsorbers, das p_H der Kultur bleibt unverändert, die Erde adsorbiert die schädlichen Produkte der Lebenstätigkeit der Organismen, was aus meiner Arbeit „Über den Einfluß des Bodens als eines Regulierungsfaktors des Mediums auf die Kultur *Paramaecium aurelia*“ (1928) ersichtlich ist.

Die Temperatur war in allen Versuchen beständig 15° C.

Die Beobachtungen wurden auf folgende Weise ausgeführt. Etwa 40 Minuten vor der Zählung wurde zur Infusorienkultur eine gewisse Menge von toten *Bact. subtilis* zugegeben, die in einem Reagensglas durchgekocht und mit Kongorot oder Säure Violett gefärbt waren. 40 Minuten nach dem Zusatz der gefärbten Bakterien, welche zur bequemeren Zählung der Nahrungsvakuolen zugesetzt wurden, brachten wir ein Infusorium in einer Kapillare aus der

Kulturflüssigkeit auf ein Objektglas, in einen Tropfen derselben Kulturflüssigkeit aber ohne gefärbte Bakterien. Das Objektglas wurde auf ein anderes Glas mit einem Netz gebracht; jedes Quadrat dieses Netzes war, wie ich bereits erwähnt habe, gleich 1 qmm. Ferner wurde die Zahl der Quadrate, die von dem Infusorium im Laufe 1 Minute durchwandert wurden, mit Hilfe eines Sekundenmessers gezählt. Die Zählung wurde im Laufe von 5—6 Minuten ausgeführt. Es wurde die Zahl der Millimeter festgestellt, welche das Infusorium im Laufe jeder Minute passiert, und ferner wurde das arithmetische Mittel berechnet.

Nach der Untersuchung der Bewegungsgeschwindigkeit des Infusoriums wurde es vom Netz genommen, im selben Wassertropfen mit Wattefasern umgeben und mit einem Deckglas bedeckt; ferner zählten wir unter einer starken oder schwachen Vergrößerung des Mikroskops: 1. die Zahl der Nahrungsvakuolen und 2. die Zahl der Kontraktionen der pulsierenden Vakuolen (der vorderen und der hinteren einzeln) im Laufe 1 Minute.

Die Zählung der Pulsationen wurde ebenfalls mit Hilfe eines Sekundenmessers, im Laufe mehrerer Minuten, zuweilen bei einer ziemlich raschen Bewegung der Infusorien, ausgeführt, was dank der Drehung des beweglichen Tischchens gelingt; ferner wurde ebenfalls das arithmetische Mittel berechnet. Nach der Zählung der Pulsationen mußte die Bewegung der Infusorien eingestellt werden; nun wurde die Zahl der Nahrungsvakuolen berechnet und die Länge und Breite ihres Körpers mit Hilfe eines Microoculars gemessen.

Etwa alle 20 Minuten wurde ein neues Infusorium aus derselben Probe der Kulturflüssigkeit genommen mit Zusatz von gefärbten *Bact. subtilis.* Im Laufe von 5—6 Stunden wurde also eine ganze Serie von Beobachtungen an den Infusorien angestellt, welche sich im Nährmedium verschieden lange befanden, d. h. jede nachfolgende verblieb in diesem Medium um 20—30 Minuten länger als die vorhergehende.

Es wurden von mir sehr viele derartige Versuchsserien angestellt; im Resultat dieser Versuche habe ich die Abhängigkeit der Bewegungsgeschwindigkeit von der Zahl der Nahrungsvakuolen, der Zahl der Pulsationen und der Körpergröße der Infusorien in einer ganzen Reihe von Tabellen dargestellt. Als Beispiel gebe ich zwei Tabellen der von mir angestellten Versuchsserien.

Wie aus den Tabellen 2 und 3 ersehen werden kann, wurde bei allen Versuchen auch die Messung des Infusorienkörpers ausgeführt.

Tabelle 2.

T = 15° C; pH = 6,8.

Bewegungsgeschwindigkeit in mm	Zahl der Pulsationen	Zahl der Nahrungsvakuolen	Körperbreite in μ	Körperlänge in μ	Zeit nach dem Zusatz der gefärbten Bakterien in Std.	in Min.
39	6	15	108,0	256,5	—	20
55	6,5	22	99,9	243,0	—	40
52	7	48	108,0	248,4	—	75
54	7,5	52	108,0	253,8	1	25
57	3	54	99,9	243,0	1	40
58	8,5	56	115,1	243,0	1	50
50	9,25	63	99,9	243,0	2	05
43	9,15	62	110,7	245,7	2	30
41	9,25	63	108,0	245,7	3	10

Tabelle 3.

T = 15° C; pH = 6,8.

Bewegungsgeschwindigkeit im Laufe 1 Minute in mm	Zahl der Pulsationen im Laufe 1 Minute	Zahhl der Nahrungsvakuolen	Körperbreite in μ	Körperlänge in μ	Zeit nach dem Zusatz der gefärbten Bakterien in Std.	in Min.
31	7	26	108	283,5	—	40
29	6,75	24	94,5	237,6	1	—
42	7,75	38	108	248,4	1	30
48	8,0	33	108	245,7	1	40
46	8,0	42	99,9	243,0	2	—
44	7,0	36	108	248,4	2	20
37	8,0	41	99,9	243,0	2	40
37	7,75	39	94,5	234,9	3	10
39	7,0	29	108	245,7	3	30
36	7,25	31	108	253,8	3	50
28	6,5	18	67,5	197,1	4	30

Es war interessant festzustellen, ob die Maße des Infusorienkörpers eine große Rolle bei den Veränderungen der Bewegungsgeschwindigkeit spielt. Wie aber aus den Tabellen 2 und 3 ersehen werden kann, veränderte sich die Infusoriengröße beinahe gar nicht, obschon die Bewegungsgeschwindigkeit in bedeutendem Maße zunahm. In den von mir ausgeführten Messungen spielt somit die Größe des Infusorienkörpers keine große Rolle und sie konnte im gegebenen Falle außer Acht gelassen werden.

Die Ziffernangaben der Tabelle 3 sind auf der Fig. 4, durch die Kurven 1 und 2, graphisch dargestellt.

An der Abszissenachse sind die Bewegungsgeschwindigkeiten der Infusorien abgelegt (die Zahl der Millimeter, welche im Laufe 1 Minute passiert werden).

An den Ordinaten sind angeben: 1. Die Zahl der Pulsationen der kontraktilen Vakuole im Laufe 1 Minute (erste Ordinate mit dem Zeichen o) und 2. die Zahl der Nahrungsvakuolen (zweite Ordinate mit dem Zeichen x).

Der Versuch weist auf einen gewissen gesetzmässigen Zusammenhang zwischen der Bewegungsgeschwindigkeit, der Zahl der Nahrungsvakuolen und der Zahl der Pulsationen der kontraktilen Vakuolen hin. Die Zahl der Nahrungsvakuolen und die Zahl der Pulsationen stehen im proportinalem Zusammenhang miteinander und beide

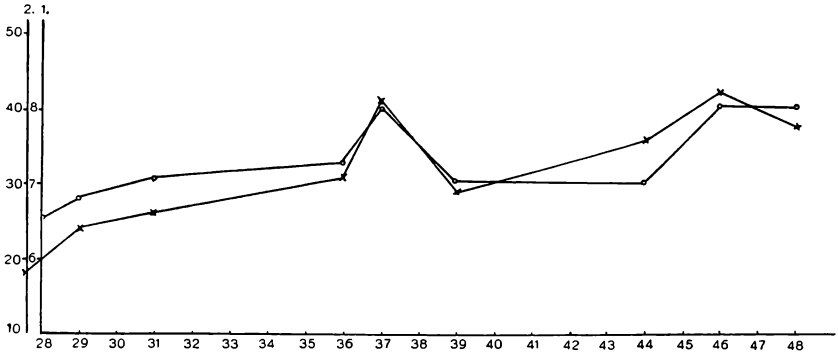

Fig. 4.

Zahlen stehen durch eine periodische Abhängigkeit im Zusammenhang mit der Bewegungsgeschwindigkeit. Wenn die Geschwindigkeit mit dem Vorhandensein der Ladung im Zusammenhang steht, d. h. mit einer physikalisch-chemischen Erscheinung, so stehen auch die Verdauungs- und Ausscheidungsvorgänge augenscheinlich im Zusammenhang mit den physikalisch-chemischen Erscheinungen.

Dieselben Ziffernangaben der Tabelle 2 können in Gestalt von anderen Kurven dargestellt werden, welche auf der Fig. 5 als Zeitfunktionen wiedergegeben werden.

An der Abszissenachse sind die Zeitwerte vom Beginn der Messungen (40 Min. nach dem Zusatz der gefärbten *Bact. subtilis*) und bis zum Ende der Beobachtungsserie im Laufe eines Tages abgelegt. An den Ordinatenachsen sind abgelegt: 1. Die Zahl der Kontraktionen der pulsierenden Vakuolen (erste Ordinate mit dem

Zeichen o), 2. die Zahl der Nahrungsvakuolen (zweite Ordinate mit dem Zeichen x), 3. die Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien (dritte Ordinate mit dem Zeichen △). Der Verlauf dieser Kurven zeigt mit Deutlichkeit, daß bei der Vergrößerung der Zahl der

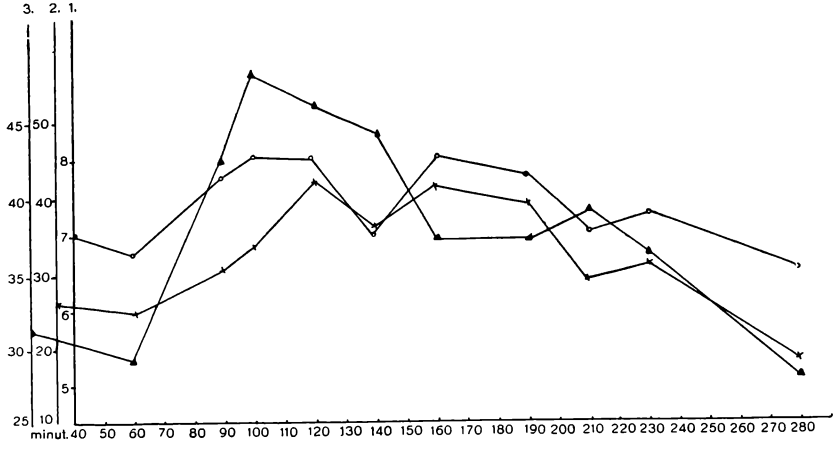

Fig. 5.

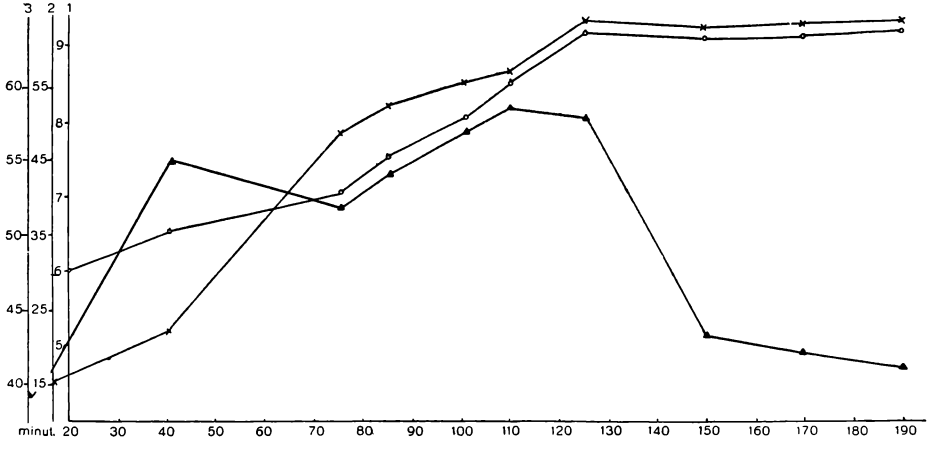

Fig. 6.

Nahrungsvakuolen auch die Zahl der Pulsationen der kontraktilen Vakuolen zunimmt und umgekehrt, d. h. mit der Verstärkung und Abschwächung der Verdauung wird auch der Stoffwechsel stärker oder schwächer, folglich ist dies auch in bezug auf die Ausscheidung bei den Infusorien der Fall. Die Bewegungsgeschwindigkeit der

Infusorien nimmt ebenfalls bis zu einem gewissen Maximum zu (im Laufe 1 Stunde 30 Min. bis 1 Stunde 40 Min.), um ferner zu sinken, trotz der Zunahme der Vakuolenzahl und der Ausscheidung. Im Laufe einer Zeit von 3 Stunden 30 Min. bis 4 Stunden wird ein gewisses Gleichgewicht zwischen allen Prozessen bei ein wenig erhöhter Lebenstätigkeit beobachtet; später (schon nach 4 Stunden 30 Min.) kehren die Verdauung, die Ausscheidung und die Bewegungsgeschwindigkeit zur Norm zurück.

Die Kurven der Fig. 6 stellen denselben Zusammenhang zwischen der Bewegungsgeschwindigkeit, der Zahl der Nahrungsvakuolen und der Zahl der Pulsationen dar, welche den Angaben der Tabelle 1 entnommen sind. An der Abszissenachse sind ebenfalls gleiche Zeitabstände angegeben, an den Ordinaten aber: 1. Die Bewegungsgeschwindigkeit (mit dem Zeichen △), 2. die Zahl der Pulsationen (mit dem Zeichen o), und 3. die Zahl der Nahrungsvakuolen (mit dem Zeichen x). Aus diesen Kurven sehen wir ebenfalls, daß das Maximum der Bewegungsgeschwindigkeit 1 Stunde 50 Min. nach Beginn der intensiven Ernährung mit den gefärbten *Bact. subtilis* eintritt, ferner sinkt die Kurve der Bewegungsgeschwindigkeit ständig ab, während die Verdauungs- und Ausscheidungskurven ansteigen, d. h. während die Stoffwechselvorgänge im Inneren des Organismus sich verstärken.

Aus der äußerst großen Zahl der von mir angestellten Beobachtungen habe ich keine einzige Ausnahme gefunden, und alle graphischen Darstellungen der von mir ausgeführten Versuchsserien haben analoge Kurven gegeben, wie die Kurven der Fig. 4, 5 und 6. Der Unterschied bestand nur in den Zeitabständen, in welchen die Kurven zu steigen oder zu sinken begannen; das hing davon ab, mit welcher Nahrung sich die Infusorien ernährten und wie schnell dieselbe von ihnen aufgenommen wurde, d. h. wie schnell sich die Nahrungsvakuolen bildeten. Der allgemeine Charakter der Kurven blieb aber unverändert. Die von mir erhaltenen Resultate aller Versuche zeigen, wie eng diese drei physiologischen, für die Protisten wichtigsten Vorgänge miteinander verbunden sind; es würde interessant sein, die Gesetzmässigkeit des Zusammenhangs zwischen diesen Prozessen aufzuklären. Soweit mir bekannt ist, wurde bis jetzt jeder physiologische Prozeß nur einzeln, unabhängig von den übrigen Prozessen untersucht, die von mir beschriebene Methodik gestattet es aber, den Zusammenhang zwischen allen physiologischen Prozessen und den ihnen zugrunde liegenden physikalisch-chemischen Erscheinungen zu untersuchen.

Schlußfolgerungen.

Die von mir erhaltenen Resultate können in folgenden Sätzen zusammengefaßt werden:

1. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien steht im Zusammenhang mit der elektrischen Ladung der Infusorienoberfläche.

2. Die Bewegung der Infusorien ist nicht unordentlich, d. h. nicht analog der Brown'schen Bewegung.

3. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien steht im Zusammenhang mit den übrigen physiologischen Prozessen der Iufusorien.

Zum Schluß spreche ich dem Akademiker N. W. Nassonow und Prof. N. N. Andrejen meinen herzlichsten Dank aus für die wertvollen Anweisungen und Ratschläge.

Literaturverzeichnis.

Andrejewa, E. W. (1928): Über den Einfluß des Bodens als eines Regulierungsfaktors des Mediums auf die Kultur Paramaecium aurelia. Arch. f. Protistenk. Bd. 63.

— (1930): Die elektrische Ladung und die Bewegungsgeschwindigkeit der Infusorien Paramaecium caudatum. Kolloid-Zeitschr. Bd. 51 H. 3.

Coehn u. Barrat (1905): Über Galvanotaxis vom Standpunkte der physikalischen Chemie. Zeitschr. f. allg. Physiol. Bd. 5.

Dembovsky, J. (1929): 1. Die Vertikalbewegungen von Paramaecium caudatum. 2. Einfluß einiger Außenfaktoren. Arch. f. Protistenk. Bd. 68.

Loeb, J. (1924): Die Eiweißkörper und die Theorie der kolloidalen Erscheinungen. Berlin.

Mast, S. O. u. Nadler, J., Ernest (1926): Effect of chemicals on form and activity in Amoeba proteus. Anat. Rec. Vol. 34 p. 3.

Perren, J. (1924): Atome. Staatsverlag. Moskau (russisch).

Verworn, M. (1911): Allgemeine Physiologie. Grundlage der Lehre über das Leben.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Archiv für Protistenkunde

Jahr/Year: 1931

Band/Volume: 73_1931

Autor(en)/Author(s): Andrejewa E.W.

Artikel/Article: Zur Frage über die physikalisch-chemische Bestimmung der Korrelationen einiger physiologischer Prozesse bei Paramaecium caudatum. 346-360