

*Nachdruck verboten.
Übersetzungsrecht vorbehalten.*

Die pulsierende Vakuole der Protozoen ein Schutzorgan gegen Aussüßung.

Studien über Anpassungen der Organismen an das Leben im Süßwasser.

Von

Dr. Adolf Herfs, Zoolog. Institut Bonn.

Einleitung.

Ein wichtiger Unterschied zwischen Pflanzen- und Tierzelle liegt in dem hohen Turgordruck der Pflanzenzelle, bedingt durch die stets gut entwickelte Zellmembran. Im Tierreiche spielt der Turgordruck dagegen durchweg eine ganz geringe Rolle. Dieser Unterschied zwischen Pflanzen- und Tierzelle ist nun von großer Bedeutung für die Anpassungen der tierischen und pflanzlichen Lebewelt an das Süßwasser. Da das innere Medium der Lebewelt des Meeres isotonisch mit dem Meerwasser ist, so besteht für die Organismen, die vom Meere in das Süßwasser übergehen die Gefahr der Aussüßung, indem infolge des höheren osmotischen Druckes der Zelle Wasser von außen solange in die Zelle eindringt, bis innen und außen osmotisches Gleichgewicht herrscht. Soll überhaupt Leben im Süßwasser möglich sein, so muß das stete Eindringen von Wasser in die lebende Zelle durch irgendwelche Anpassungen verhindert werden, oder aber das einströmende Wasser muß wieder hinausgeschafft werden. Bei der Pflanzenzelle wirkt nun der Druck der Zellulosemembran auf den Protoplasten als Turgordruck der Wirkung des osmotischen Druckes der Zelle entgegen und verhindert ein Eindringen größerer, nicht isotonischer Wassermengen in das Zellinnere. Die nackte Tierzelle, deren Zellwand nur aus einer dichteren oberflächlichen Protoplasmaschicht besteht, verfügt also nicht über eine

derartige Schutzvorrichtung gegen die Aussüßung des inneren Mediums wie die Pflanzenzelle. Soll ihr überhaupt das Leben im Süßwasser möglich sein, so muß sie über andere Anpassungen verfügen.

Die höheren Tierformen, vor allem die Cruster und die Vertebraten, sind ja schon durch eine festere und dickere Haut wenigstens gegen eine schnelle Aussüßung geschützt. Bei dauerndem Aufenthalte müßten allerdings auch sie der Aussüßung erliegen, wenn sie über keine zweckentsprechende Schutzvorrichtungen verfügten. Nun scheint bei diesen Tieren das Nierensystem das Organ zu sein, das das eindiffundierende Wasser wieder aus dem Körper schafft. Daß die Nierenorgane wirklich etwas mit der Schutzfunktion gegen Aussüßen zu tun haben, will schon wahrscheinlich dünken, wenn man berücksichtigt, daß den acoelen Turbellarien (*Aphanostomum*, *Amphichaerus*, *Convoluta* und *Schizopora*), die alle marin sind, die Nephridien fehlen, während die Süßwasserturbellarien Nephridien besitzen.

Eine weitere Stütze findet die Hypothese, die den Nierenorganen eine Schutzfunktion gegen Aussüßung zuschreibt, vielleicht in einer kleinen Beobachtung an Cercarien. Schon R. HESSE war es aufgefallen, daß die Endblase des Exkretionsorgans — wenn die Cercarien in physiologischer Kochsalzlösung untersucht wurden — nur sehr klein und schwer zu beobachten waren, daß diese Endblasen aber groß und deutlich werden, wenn man die Cercarien in Süßwasser bringt.

Prof. HESSE machte mich darauf aufmerksam, daß vielleicht die Ausleerung der Endblase, die in dem Verschwinden der Blase deutlich wird, in Lösungen von geringerer Konzentration und im Süßwasser in kürzeren Zeitabständen stattfindet wie in höher konzentrierten Lösungen. Durch eine genauere Untersuchung, deren Resultate ich im folgenden kurz wiedergebe, konnte ich HESSE's Vermutung vollauf bestätigen.

1. Untersuchung der Cercarien in Leberflüssigkeit selbst und in Blut von *Limnaea*.

Die Endblase ist nur schwer zu sehen, auch die Entleerung der Blase kann man nur schwer beobachten. Die Endblase ist nur klein und hat eine unregelmäßige, schlaffe Form. Ich beobachtete im *Limnaea*-Blute aber eine gewisse rhythmische Entleerung der Endblase, die sich äußerte in einem Schwinden der Blase nach

- a) 12, 12, 12, 14, 13, 16, 14, 22 Sekunden,
- b) 24, 12 Sekunden,
- c) 26, 14 Sekunden.

Im Durchschnitt schwand die Endblase nach je 15,7 Sekunden.

2. Untersuchung in RINGER-Lösung.

Bringt man Cercarien in RINGER-Lösung, dann wird die Endblase nach einiger Zeit deutlicher und größer. Sie ist dann meist gut zu sehen und erscheint prall mit rundlich-ovaler Form.

Der Rhythmus im Schwinden der Endblase beträgt:

- a) 12, 11, 8, 9, 14, 15, 16, 15 Sekunden,
- b) 14, 16, 13 Sekunden,
- c) 12, 16 Sekunden,
- d) 17, 20, 15, 9, 21 Sekunden,
- e) 15, 16, 8, 13, 15, 9, 7, 8, 19, 12, 16, 13 Sekunden.

Im Durchschnitt schwand die Endblase nach 13,1 Sekunden.

3. Untersuchung in $\frac{1}{2}$ RINGER-Lösung (50 Teile RINGER-Lösung und 50 Teile aqua dest.).

Der Rhythmus der Endblase beträgt:

- a) 10, 8, 6, 8 Sekunden,
- b) 10, 10, 10 Sekunden,
- c) 7 Sekunden,
- d) 9 Sekunden,
- e) 8, 8, 9 Sekunden,
- f) 10, 6 Sekunden,
- g) 8, 8, 7, 8 Sekunden,
- h) 8, 8 Sekunden,
- i) 9 Sekunden,
- k) 8, 8, 8, 9, 8 Sekunden,
- l) 9, 8, 9, 8 Sekunden.

Im Durchschnitt schwindet die Endblase nach 8,3 Sekunden.

4. Untersuchung im Süßwasser.

Die Endblase war stets nach einiger Zeit sehr deutlich zu sehen. Sie war stets besonders groß und prall.

Ihr Rhythmus beträgt:

- a) 6, 7, 7, 6 Sekunden,
- b) 7, 6, 8, 7, 6, 6, 8, 6, 8, 7, 7, 10, 7, 7 Sekunden,
- c) 12, 10, 10, 12, 8, 11, 10 Sekunden,
- d) 7, 4, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 5, 4, 6, 4, 5, 4, 4, 4, 4, 5 Sekunden.
- e) 6, 6, 6, 7, 7, 6, 6, 6, 6, 6, 7, 6, 7, 6, 6, 7, 7, 6, 6, 6, 6, 5, 5, 5, 4, 5, 7 Sekunden.

Im Durchschnitt schwindet die Endblase nach 6,3 Sekunden.

Es ist also wirklich ein beträchtliches Schnellerwerden der Endblasenentleerung in Lösungen von niederen Konzentrationen festzu-

stellen, und sicher liegt eine Deutung dieser Resultate im Sinne der Hypothese von der Schutzfunktion der Nierenorgane gegen Aussüßung nahe.

Es entsteht nun die Frage, wie solche Tierformen, die keine Nierenorgane besitzen, sich gegen eine Aussüßung schützen. Wir sehen, daß dünnhäutige und durchlässige Formen wie die Coelenteraten fast ausschließlich Meeresbewohner sind. Im Meere leben diese Organismen im isotonischen Medium. Es finden hier also keine Störungen im osmotischen Gleichgewicht statt. Trotzdem kennen wir unter den Coelenteraten einige Vertreter der Hydrozoen — unser Süßwasserpolypp *Hydra*, *Cordylophora lacustris* und *Limnocnida*, die sich an das Leben im Süßwasser angepaßt haben. Für *Cordylophora* „hat sich die Einwanderung z. T. direkt verfolgen lassen; in größeren Strömen dringt sie von der See durch das Brackwasser allmählich in das Süßwasser vor“ (STECHE). Sie scheint allerdings immer noch eine gewisse Vorliebe für salzhaltiges Wasser zu besitzen. — „In den Mansfelder Seen, die sich durch einen nicht unerheblichen Salzgehalt auszeichnen, ist sie schon in der Mitte des vorigen Jahrhunderts beobachtet worden. Man hat sie dort als ein Relikt einer ehemaligen Meeresform auffassen wollen, ob mit Recht, ist sehr zweifelhaft“ (STECHE).

Dagegen trifft diese Vermutung wohl für *Limnocnida*, einer zentralafrikanischen Hydroiden zu. — „Sie wurde zuerst im Tanganjikasee gefunden, dessen Fauna auch sonst Meerestypen aufweist. Diese Form, sowie eine zweite Gattung *Limnocodium* sind dadurch bemerkenswert, daß sie freie Medusen erzeugen, die sich ihrerseits wieder durch Knospung neuer Medusengenerationen vermehren und zu bestimmten Jahreszeiten Geschlechtsprodukte bilden. Man kannte zuerst nur diese Medusen und hat erst später die zugehörigen Polypen gefunden, die sehr klein (wenige Millimeter) und offenbar degeneriert sind“ (STECHE).

Die Anpassung dieser scheinbar so ganz ungeschützten und dem Aussüßen völlig preisgegebenen Tierformen an das Süßwasser, erscheint deshalb so rätselhaft, weil bisher keinerlei Vorrichtungen zur Beseitigung des eindiffundierenden Wassers gefunden worden sind.

Noch bedeutungsvoller wird die Frage nach Schutzanpassungen gegen den Aussüßungsprozeß, wenn es sich um einzellige Tiere, um Protozoen handelt. Hier wird der ganze winzige Zelleib auf allen Seiten rings von Wasser umspült. Auch muß man bedenken, daß bei diesen kleinen Lebeformen die Oberfläche des Körpers, durch die im ganzen Umfange das Wasser eindiffundieren kann, im Ver-

hältnisse zu einem größeren vielzelligen Tiere ganz bedeutend größer ist. Trotzdem bevölkern gerade die Protozoen — im Gegensatz zu den Hydroiden, wo die Süßwasserformen als Ausnahmen anzusehen sind — in großer Artenzahl und Formgestaltung zahlreich fast jeden Süßwassertümpel.

Aus dieser Tatsache heraus kann man mit Gewißheit schließen, daß die Zelle des Süßwasserprotozoons Vorrichtungen besitzen muß, ein Aussüßen zu verhindern. Einen wichtigen Anhaltspunkt hierfür bietet ein Vergleich der Meeresprotozoen mit den Süßwasserformen. Wenn beispielsweise bei den meerbewohnenden Radiolarien die pulsierende Vakuole stets fehlt, während sie bei den Heliozoen, „den Radiolarien des Süßwassers“ stets vorkommt, so darf man vielleicht in dem Auftreten der pulsierenden Vakuole eine Anpassungserscheinung an das Leben im Süßwasser erblicken.

Nun wird zwar für eine Reihe von Meeresprotisten das Vorhandensein einer „pulsierenden Vakuole“ angegeben. Leider aber vermißt man meist gänzlich irgendwelche Angaben über die Art und den Rhythmus der Pulsation, so daß man in vielen Fällen nicht entscheiden kann, ob der Autor überhaupt ein wirkliches Pulsieren der Vakuole beobachtet hat. Andererseits darf man wohl aus dem völligen Fehlen solcher Angaben den Schluß ziehen, daß, wenn überhaupt ein Pulsieren der Vakuole stattfindet, der Pulsationsrhythmus sehr langsam sein muß; denn sonst würde man sicher häufiger auf Daten über die Pulsfrequenz der Vakuolen stoßen.

Es scheint sich übrigens in den meisten Fällen der Meeresprotozoen mit pulsierender Vakuole mehr um Brackwasserformen zu handeln. Da wir es nun beim Brackwasser stets um mehr oder minder stark ausgesüßtes Salzwasser zu tun haben, wird es verständlich, daß auch die Brackwassertiere schon im Besitze der Schutzorgane gegen Aussüßung sind. — Es müssen überhaupt, ganz allgemein gesprochen, die wichtigsten Anpassungserscheinungen für das Leben im Süßwasser bei den Meeresformen bereits im Brackwasser erworben werden, sonst ist für sie der Übergang ins Süßwasser einfach unmöglich, weil sie dort der Ungunst der neuen Lebensbedingungen längst erlegen wären, bevor sie sich an das fremde Medium angepaßt hätten.

Weil aber im Brackwasser der Gegensatz der osmotischen Verhältnisse zwischen äußerem und innerem Medium nicht so stark ausgeprägt ist wie im Süßwasser, so wird bei den Brackwasserformen natürlich in der Zeiteinheit eine kleinere Wassermenge in die Zelle hineindiffundieren wie bei den Süßwasserformen, und folglich braucht

in der gleichen Zeit auch nur eine kleinere Wassermenge wieder aus dem Körper herausgepumpt zu werden. Der Rhythmus der pulsierenden Vakuole bei Meeresprotisten muß also naturgemäß aus diesen Gründen weit langsamer und träger sein wie bei den Süßwasserformen.

Eine weitere Stütze findet die Auffassung, die pulsierende Vakuole als „osmotisches Organ“ anzusehen auch in der Tatsache, daß bei parasitischen Protozoen die Vakuole meist fehlt (so z. B. bei den parasitischen Flagellaten, vgl. R. HERTWIG 1919 und A. SELIGO 1884). Der parasitische Protist, besonders der Blutparasit, lebt ja auch in einem mit seiner Zellflüssigkeit isotonen Medium. Infolge des Fehlens eines osmotischen Gefälles findet also kein Eindiffundieren von Wasser in die Protozoenzelle statt, und damit wird auch hier das Fehlen einer pulsierenden Vakuole bei echten Parasiten verständlich.

Ich führe hier nach DOFLEIN (1916, p. 110) die Frequenzzahlen für die Pulsation der kontraktilen Vakuolen einiger Protozoen an, um zu zeigen, daß bei Meeresprotisten und bei parasitischen Formen, wenn pulsierende Vakuolen überhaupt vorkommen, ihr Rhythmus im Vergleich zu den Süßwasserbewohnern ein sehr langsamer ist.

1) <i>Oicomonas termo</i>	— fauliges Sumpfwasser	— Pulsfrequenz	10 Sek.
2) <i>Bicosoeca sp.</i>	— Süßwasser	—	10—12 "
3) <i>Actinophrys sol.</i>	— "	—	10—80 "
4) <i>Euglena deses</i>	— "	—	22—31 "
5) <i>Gonium pectorale</i>	— "	—	26—60 "
6) <i>Euplotes charon</i>	— "	—	31 "
7) <i>Coleps hirtus</i>	— fauliges Sumpfwasser	—	48—50 "
8) <i>Pyxidula operculata</i>	— " "	—	100 "
9) <i>Lagynus crassicollis</i>	— marin	—	2 Min.
10) <i>Acinera incurvata</i>	— "	—	6—10 "
11) <i>Cryptochilum echini</i>	— " Parasit	—	20 "
12) <i>Spirostomum teres</i>	— fauliges Sumpfwasser	—	30—40 "

Neben den marinen und den parasitischen Formen haben auch die Protozoen, die im fauligen Sumpfwasser leben, meist einen sehr langsamen Rhythmus der pulsierenden Vakuole. Besonders auffällig ist der sehr langsame Vakuolenrhythmus bei *Spirostomum*. Diese Form gehört nun sicher zu den größten Süßwasserprotozoen. Ihre Oberfläche ist im Vergleich zu den übrigen kleineren Formen geringer. Es diffundiert also auch bei der größeren Form relativ kleiner Wasser in der Zeiteinheit ein, wie bei den kleineren Formen. Dieses Oberflächen-Massen-Gesetz erklärt so die langsame Pulsation der kontraktilen Vakuole bei *Spirostomum*.

Übersicht über das Auftreten der pulsierenden Vakuole bei Protozoen. Unter den marinen Protozoen fehlt die pulsierende Vakuole stets den Sarkodinen (Rhizopoden, Heliozoen und Radiolarien), ferner auch den marinen Flagellaten (R. GRIESSMANN 1914). Ebenso fehlt die pulsierende Vakuole stets den parasitischen Flagellaten (A. SELIGO 1884 und R. HERTWIG 1919, S. 189) und den Sporozoen. Eigenartig aber ist es, daß sehr viele marinen und ebenso eine Reihe von parasitischen Ciliaten pulsierende Vakuolen besitzen. Nun ist es interessant, daß es sich hier meist um Formen aus dem Littoral handelt. Das Meerwasser in der Nähe der Küsten ist vielfach durch zuströmendes Süßwasser mehr oder minder stark ausgesüßt. Daß aber bei Brackwasserformen pulsierende Vakuolen auftreten, ist, wie schon früher auseinandergesetzt wurde, gar nicht zu verwundern. Nun geben E. MAUPAS (1883) und H. SAHRHAGE (1915) gerade für marine Ciliaten häufig an, daß sie in fauligem, abgestandenem Seewasser gefunden würden und dort gut gedeihten usw. Da fauliges Seewasser nicht in offenem Meer vorkommt, so muß es sich wohl mehr um Wasser aus stagnierenden Küstenbuchten und Tümpeln handeln. Obwohl die meisten Autoren lebendes Material beobachteten und untersuchten, so stößt man häufig auf die widersprechendsten Angaben. Der eine Forscher gibt für eine Form eine pulsierende Vakuole an, der andere leugnet sie bestimmt ab. Zur Erklärung dieser Widersprüche kann man nun anführen:

1. Bei marinen Protozoen kommen häufig nichtpulsierende Flüssigkeitsvakuolen vor, die von manchen, besonders älteren Autoren einfach als pulsierende Vakuolen angesprochen wurden. So gibt z. B. K. GRIESSMANN für die marine *Petalomonas abscissa* DUJ. (1914) eine nichtpulsierende Flüssigkeitsvakuole an, SAV. KENT in seinem großen älteren Werk (1880—1882) dagegen schreibt derselben Art eine pulsierende Vakuole zu. (Siehe hierzu: GRIESSMANN'S Kritik an KENT, GRIESSMANN (1914, S. 2, 69)).

2. Gerade in dem brackischen Wasser des Littorals muß der Salzgehalt des Wassers sehr schwanken, so daß die einzelnen Forscher häufig dieselbe Art in verschieden stark konzentriertem Seewasser untersuchen. Je nach der Höhe der Konzentration wird der eine Autor dann das Fehlen einer pulsierenden Vakuole feststellen können, der andere aber ihr Vorhandensein mit Recht behaupten können.

3. Gewiß sind die verschiedenen Angaben häufig auf den äußerst langsamen Rhythmus der pulsierenden Vakuole mancher marinen

Formen zurückzuführen, worauf schon O. BÜTSCHLI (1887—1889, S. 1414) hinweist.

Ich möchte nun eine Liste über marine Ciliaten bringen, damit man sich ein kleines Bild über das Vorhandensein und Fehlen der pulsierenden Vakuole machen kann. Die Liste ist hauptsächlich nach E. MAUPAS 1883 und H. SAHRHAGE 1915 aufgestellt.

1. Es ist keine pulsierende Vakuole vorhanden bei:

Folliculina ampulla O. F. M.,

Metacystis truncata COHN,

Trachelius gutta COHN,

Colpidium cclpoda EHRBG., bei der marinen Form, bei der Süßwasserform (pulsierende Vakuole vorhanden).

Diophrys appendiculatus EHRBG., — liebt relativ reines Wasser.

Cothurina ingeniata O. F. M., „Kontraktile Vakuolen waren niemals zu beobachten, doch sind sie in den Süßwasserformen regelmäßig vorhanden“ — (SAHRHAGE).

Peritromus emmae STEIN., „Je l'ai rencontré une seul fois sur des algues recueillies dans le port d'Alger et dans l'eau de mer très pure et limpide“ (MAUPAS).

Condylostoma pateus MÜLLER,

Actinotricha salterus COHN,

Holosticha Lacazei MAUPAS,

Uronychia transfuga,

Strombidium urceolare,

„ *sulcatum*.

2. Eine pulsierende Vakuole ist vorhanden bei:

Prorodon marinus CLAP. u. LACH., sehr langsamer Rhythmus (SAHRHAGE),

Linotus fasciola O. F. M., „Die bei den süßwasserbewohnenden Individuen stets vorhandene kontraktile Vakuole liegt terminal und wurde auch von mir wiederholt beobachtet, allerdings durchaus nicht immer“ (SAHRHAGE).

Loxophyllum rostratum COHN, „Eine pulsierende Vakuole habe ich bei *Loxophyllum* wiederholt beobachtet, aber immer nur in sehr abgestandenem Seewasser, niemals in ganz frischem Wasser“ (SAHRHAGE).

Dysterica monostyla EHRBG., pulsierende Vakuolen bisweilen beobachtet (SAHRHAGE).

Paramaecium marinum (KENT?),

Cyclidium citrullus COHN,

- Lembus sarcophaga* COHN, pulsierende Vakuolen vorhanden —, wie man ja überhaupt bei fäulnisliebenden Meeresprotozoen diese fast ständig antrifft (SAHRHAGE).
- Porpostoma notatum* MÖB. Pulsationsrhythmus: 3—4 Min. (SAHRHAGE).
- Stichotricha secunda* PERTY,
Holosticha flavorubra ENTZ.,
Uroleptus piscis O. F. M.,
Oxytricha affinis STEIN, und *O. pellationella* O. F. M., SAHRHAGE „traf beide Arten auch niemals in reinem Seewasser an, sondern stets nur in undurchlüfteten Aquarien, die in Fäulnis übergegangene Algenmassen und Miesmuscheln enthielten sowie in fauligem Grund von der Elisabethbrücke“.
- Euplotes charon* O. F. M.,
Apidisca lyncaster O. F. M., pulsierende Vakuole nur in wenigen Fällen beobachtet (SAHRHAGE).
- Vorticella nebulifera* O. F. M.,
 „ *microstoma* EHRBG., besonders in faulendem, abgestandenem See- und Süßwasser.
 „ *putrinum* O. F. M.,
Zoothamnium affine STEIN,
Rhabdostyla commensalis MÖB.,
Cothurnia innata O. F. M.,
Cryptochilum elegans MAUPAS,
 „ *tortum* „ , Vakuolenrhythmus 15 Sek.
Cryptochilum Echini MAUP., Vakuolenrhythmus über 20 Min. — Parasit in *Echinus*.
Nassula oblongata MAUP.,
Holophrya oblonga MAUP., langsamer Vakuolenrhythmus.
Lagynus crassicollis MAUP., Vakuolenrhythmus 2 Min. „Il peut vivre dans l'eau déjà un peu putréfiée“ (MAUPAS).
 „ *elongatus*, „Il peut très bien vivre dans les eaux putrides“ (MAUPAS).
Lacrymaria coronata CLAP. u. LACH.,
Loxophyllum duplostriatum MAUP., „L'eau un peu putride ne le gêne pas“ (MAUPAS).
Acineria incurvata (DUJ.), Vakuolenrhythmus 6—12 Min. „Il s'y multiplie en grand nombre, surtout quand l'eau est déjà un peu vieille et que les algues commencent à entrer en décomposition“ (MAUPAS).
Uroleptus Roscovianus MAUP., in reinem Meerwasser (MAUPAS).

3. Verschiedene Angaben über Vorhandensein und Fehlen der pulsierenden Vakuolen bei:

Lacrymaria lagenula CLAP. u. LACH., pulsierende Vakuole angegeben von CLAPARÈDE u. MÖBIUS, fehlt nach SAHRHAGE.

Chilodon crebricostatus MÖB., pulsierende Vakuole angegeben von MÖBIUS, fehlt nach SAHRHAGE.

Dysterica lanceolata CLAP. u. LACH., pulsierende Vakuole von mehreren Autoren angegeben, fehlt nach SAHRHAGE.

Condyllostoma pateus O. F. M., pulsierende Vakuole in seltenen Fällen von SAHRHAGE beobachtet, von MÖBIUS nicht angegeben.

Holosticha multinucleata MAUP., pulsierende Vakuole fehlt nach SAHRHAGE, angegeben von MAUPAS.

Erwähnt sei im Anschluß hieran, daß G. ENTZ (1909) bei den Tintinniden des Meeres nie eine pulsierende Vakuole beobachtete.

Bei den Süßwassertintinniden treten dagegen pulsierende Vakuolen auf.

So beobachtete ENTZ bei:

	<i>Tintinnidium fluviatile</i>	einen Vakuolenrhythmus von	4 Min.,
bei	„ <i>pusillum</i> „	„	„ 1—1½ „

Übrigens scheint es mir interessant, daß die Infusorien aus dem Wiederkäuermagen durchweg „pulsierende Vakuolen“ besitzen. *Cycloposthium bipalmatum* besitzt sogar 6 große Vakuolen. Leider konnte ich auch hier wieder in der Literatur keine Angaben über den Rhythmus dieser Vakuolen finden. Nun muß man bedenken, daß die Konzentration der Pansenflüssigkeit recht schwanken kann je nach der Wasseraufnahme des Wiederkäuers. Nach starker Wasseraufnahme ist die Konzentration natürlich sehr niedrig. Diese Infusorien aus dem Wiederkäuermagen müssen also imstande sein, das in ihren Zelleib einströmende Wasser wieder hinauszuschaffen. So wundert uns hier also das Auftreten kontraktiler Vakuolen nicht. Andererseits ist es bemerkenswert, daß bei *Bütschlia parva* SCH. nach A. SCHUBERG (1888) keine pulsierende Vakuole vorkommt. R. EBERLEIN (1895) konnte zwar hin und wieder an der gleichen Form eine pulsierende Vakuole beobachten. Er erwähnt aber ausdrücklich, daß sie in den meisten Fällen fehlt.

Eigenartigerweise fehlt aber den übrigen nichtciliaten Protozoen aus dem Wiederkäuermagen die pulsierende Vakuole ganz allgemein, so bei *Entamoeba bovis* LIEBET., *Monas communis* LIEBET., *Piromonas communis* LIEBET., *Callimastix frontalis* BR.

Wenn man sich dies alles gut überlegt, so scheinen in der Tat die Ciliaten durchweg sehr hartnäckig an dem Besitze der pulsierenden Vakuole festzuhalten. Ohne daß diese Beobachtungen nun der Auffassung von der Schutzfunktion der pulsierenden Vakuole gegen Aussüßung des inneren Zellmediums zu widersprechen brauchen, scheinen sie immerhin darzutun, daß die pulsierende Vakuole der Ciliaten durchweg erst bei einer höheren Konzentration des äußeren Mediums schwindet wie bei den meisten übrigen Protozoen. Vielleicht darf man aus diesen Beobachtungen heraus auf einen höheren osmotischen Druck des inneren Zellmediums bei den Ciliaten im Vergleich zu den übrigen Protisten schließen.

Im Gesamtbilde unserer Auffassung ist es vielleicht nicht uninteressant, auf eine Beobachtung von C. CHUN (1903) in bezug auf die vertikale Verteilung des Planktons in den antarktischen Meeren hinzuweisen. CHUN beobachtete nämlich, daß die oberflächlichen Wasserschichten bis zu einer Tiefe von 40 m ärmer an Planktonorganismen sind als die tieferen Wasserschichten. „Es ist nicht leicht zu sagen, welche ungünstigen Bedingungen an der doch direkt vom Sonnenlicht bestrahlten Oberfläche das spärliche Auftreten von Organismen herbeiführen möchten. Die Temperatur kann kaum von Einfluß sein, da die Oberfläche, wie wir schon früherhin betonten, ein wenig wärmer ist als das Wasser in den Schichten zwischen 40 und 80 m. Vielleicht dürfte darauf hingewiesen werden, daß diesen auf äußere Verhältnisse so fein reagierenden Organismen der geringe Salzgehalt der oberflächlichsten Schichten nicht zusagt. Ihnen mischt sich etwas reichlicher das Schmelzwasser der Eisberge und Eisfelder bei, und so kommt es, daß ihr Salzgehalt nur 33,7 ‰ beträgt, während er erst in tieferen Schichten (bei 150 m) 34 ‰ erreicht und dann langsam gegen den Grund zunimmt. Mehrmals fiel uns auf, daß in nächster Nähe der Eisfelder die Oberfläche am ärmsten an Organismen war“ (CHUN 1903, S. 205—206). Diese Feststellung der Valdivia-Tiefseeexpedition stimmt sehr gut mit der Auffassung von der Schutzfunktion der pulsierenden Vakuole gegen Aussüßung — um nur auf die Protozoen des Planktons hinzuweisen. Es ist dann verständlich, daß Formen ohne pulsierende Vakuole in den salzärmeren Oberflächenschichten des Wassers nicht leben können, da sie hier der Aussüßung erliegen würden. Diese empfindlichen Organismen weichen so den für sie ungünstigen Bedingungen aus, indem sie in das tiefere, salzreichere Wasser versinken.

Über die Entstehung der pulsierenden Vakuolen schreibt nun

W. STEMPELL (1914): „Dieselben konnten in typischer Form erst entstehen, als die freilebenden Meeresprotisten zum Süßwasserleben übergingen, denn erst hier wurde eine Einrichtung nötig, den nun auftretenden osmotischen Druck auszugleichen. Man darf annehmen, daß schon vorher, wie etwa heute noch bei den Dinoflagellaten Reservoirs gebildet worden waren, welche den Inhalt der Exkretionskanäle für einige Zeit aufspeicherten, und daß solche Reservoirs beim Übergang zum Süßwasserleben einfach dadurch zu Regulatoren des osmotischen Druckes und damit zu pulsierenden Vakuolen wurden, daß die Hypertonie der Exkretstofflösungen und der im Süßwasser unvermeidlich höhere Wasserzufluß zum Protoplasma die osmotischen Erscheinungen an den Reservoirs auslöste.“

Literatur.

Schon M. J. ROSSBACH (1872) hatte feststellen können, daß der Rhythmus der pulsierenden Vakuole in höher konzentrierten Salzlösungen bedeutend langsamer ist wie im Süßwasser. Doch führte er diese Erscheinung nicht auf osmotische Vorgänge zurück.

Der Gedanke die pulsierende Vakuole als „osmotisches Organ“ zu betrachten, wurde wohl zuerst von M. HARTOG (1888) ausgesprochen.

A. DEGEN (1905) kam auf Grund eingehender Versuche zu demselben Schluß, daß die pulsierende Vakuole als „osmotisches Organ“ das eindiffundierende Wasser wieder aus der Zelle hinauschaufe. DEGEN züchtete *Glaucoma colpoda* in verschiedenen stark konzentrierten Lösungen von Rohrzucker, Glycerin, Magnesiumsulfat, Kalium- und Natriumchlorid usw. Er konnte dabei zeigen, daß in schwächer konzentrierten Lösungen der Rhythmus der pulsierenden Vakuole bedeutend schneller ist wie in höher konzentrierten Lösungen. Für die isotonischen Lösungen der verschiedenen Chemikalien, die bei DEGEN'S Versuchen zur Anwendung kamen, ist wenigstens für die isotonischen Lösungen niederer Konzentrationsgrade eine ziemliche Übereinstimmung der Pulszahlen festzustellen. Bei höher konzentrierten Lösungen tritt diese Übereinstimmung aber weniger gut hervor. Ich bringe hier eine kleine Tabelle, die ich nach einer Tabelle DEGEN'S zusammengestellt habe, die eine kurze Übersicht über DEGEN'S Resultate aus seinen Versuchen mit isotonischen Lösungen geben soll. Die in meiner Tabelle (S. 90) angeführten Werte sind Mittelwerte aus den von DEGEN gebotenen Einzelwerten.

R. FLORENTIN (1899) überführte *Limax amöben* (*Hyalodiscus limax*) aus dem Süßwasser in Meerwasser. Dabei beobachtete er

	Konzentration Mol. in Liter			
	0,0025	0,005	0,0075	0,01
	Mittleres Pulsintervall in Sekunden			
Rohrzucker	22,3	24,7	30,4	39,3
Glycerin	21,7	24	31,3	42
Magnesiumsulfat	20,7	28,6	41,6	57,6
Kaliumchlorid	20,6	31,2	50,7	111,7
Natriumchlorid	21,7	39,9	41,4	116,2
Kaliumnitrat	19,9	32,4	64	88,3
Natriumnitrat	20,4	32,1	47,8	132
Natriumsulfat	22,4	32,6	53,6	83,8

nur bei einem Teile seiner Versuchstiere das Schwinden der pulsierenden Vakuole. Bei anderen Individuen dagegen schwand sie nicht, sondern war selbst noch nach 1 Jahre vorhanden.

A. GRUBER (1899) paßte die marine Form von *Actinophrys sol* an das Süßwasser an. Obwohl in kurzer Zeit schon das Plasma die blasige Beschaffenheit der Süßwasserform annahm, trat keine pulsierende Vakuole auf. Daraus zieht GRUBER den etwas eigenartigen Schluß, daß die pulsierende Vakuole „jedenfalls durch Naturzüchtung und nicht plötzlich entstehen kann“.

Von besonderem Interesse sind auch die Experimente von M. ZUELZER an *Amoeba verrucosa* (vgl. M. ZUELZER 1907 u. 1910).

Bei *Amoeba verrucosa* beträgt die Pulsationsdauer der pulsierenden Vakuole im Süßwasser je nach der Größe des Tieres und der jeweiligen Temperatur 4—7 oder 7—12 Min. ZUELZER übertrug die Amöben in eine Mischung von 9 Teile Kulturwasser und 1 Teil Meerwasser und erreichte so ein Gemisch von etwa $\frac{9}{10}$ % NaCl. Die Konzentration wurde dann heraufgesetzt durch langsames Abdunstenlassen. „Bei einer Konzentration von 5 Teilen Meerwasser und 5 Teilen Kulturwasser (bei $1\frac{1}{2}$ % Salzgehalt) verschwindet die pulsierende Vakuole. Setzt man wieder Süßwasser zu, so tritt schon in 24 Stunden wieder eine pulsierende Vakuole auf. „Nach 6—7 Tagen waren die Amöben wieder vollständig normal und den Kontrolltieren gleich.“ — „Zur Anpassung an das Meerwasser bis zum völligen Verlust der pulsierenden Vakuole waren mindestens 3 Wochen erforderlich gewesen.“ — ZUELZER ist der Auffassung, daß „die Bildung rhythmisch pulsierender Vakuolen vom jeweiligen Zustande des Protoplasmas abhängt, und dieser mit der Beschaffenheit des osmotischen Druckes des umgebenden Mediums in direkter Wechselwirkung steht.“

K. GRIESSMANN (1914) überführte einen Flagellaten *Monas guttula* EHRBG. aus dem Süßwasser in Meerwasser. Er beobachtete da-

bei wie M. ZUELZER bei Amöben ein Schwinden der pulsierenden Vakuole.

Endlich hat auch W. STEMPELL (1914) in einer ausführlichen Arbeit an *Paramecium caudatum* sich mit dem Problem der pulsierenden Vakuole auseinandergesetzt. Auch STEMPELL steht auf dem Standpunkt der Osmosetheorie der pulsierenden Vakuole. Von DEGEN weicht er aber in mehreren theoretischen Gesichtspunkten nicht unbedeutend ab, so besonders in bezug auf die „Permeabilität der Vakuolenmembran“. Da nämlich DEGEN keine präformierten Öffnungen zwischen pulsierender Vakuole und Außenwelt beobachten konnte, „kommt er zu der Ansicht, daß die Vakuolenwandung bei der „Diastole“ durch Dehnung schließlich „permeabel“ werde und dem Vakuoleninhalt dann den Durchtritt nach außen und in die Bildungsvakuolen gestatte.“ — Diese „wenig plausible Theorie“, die schon KHAINSKY (1910) lebhaft bekämpft hatte, sucht STEMPELL durch eine bessere theoretische Auffassung zu ersetzen. Er konstruierte auch einen komplizierten Apparat, der die Funktion der pulsierenden Vakuole erklären und erläutern soll. Da ich mich aber in dieser Arbeit nicht mit der „Theorie der pulsierenden Vakuole“ auseinandersetzen will, gehe ich hier nicht weiter auf diese theoretischen Vorstellungen ein. Wer sich für die Theorie der pulsierenden Vakuole näher interessiert, sei hier nur auf A. DEGEN (1905), KHAINSKY (1910) und W. STEMPELL (1914) verwiesen.

STEMPELL kommt zu der Schlußfolgerung: „Daß auch in allen diesen Fällen die eigentliche pulsierende Vakuole ein wesentlich osmotisches System ist, hat M. ZUELZER (1910) durch ihre Versuche überzeugend nachgewiesen, denn wie könnte die Vakuole bei Züchtung in Meerwasser verschwinden, wenn sie noch andere lebenswichtige, etwa exkretorische Funktion zu erfüllen hätte.“

„Alles in allem wäre daher die pulsierende Vakuole unserer Süßwasserprotozoen eine Organelle, welche sich zwar in Anschluß an respiratorische und exkretorische Tätigkeiten des Protoplasmas entwickelt hat, und welche diese Funktion auch jetzt noch unterstützt, deren vornehmste Aufgabe aber in der Hinausschaffung des osmotisch eingedrunghenen Wassers besteht.“

Eigene Untersuchungen.

Eigene Untersuchungen stellte ich an:

1. an Süßwasserprotisten, *Paramecium caudatum* und einem meist vier Macronuclei besitzenden hypotrichen Ciliaten, den ich als *Gastrostyla Steinii* ENGELM. bestimmte,

2. an parasitischen Ciliaten aus dem Froschdarm (Enddarm), *Nyctotherus cordiformis*, *Balantidium entozoon* CLAP. u. LACHM., *Opalina ranarum* PURK. u. VAL.

Zur Methode der Untersuchung.

1. Die Süßwasserciliaten untersuchte ich zunächst in Kulturwasser, dann brachte ich sie in Lösungen von 0,25 %, 0,5 %, 0,75 %, 1 % (bzw. 1,1 %) und 1,25—1,5 % NaCl. Zuerst setzte ich zu der Kultur im Süßwasser tropfenweise stärker konzentrierte Salzlösungen (von 0,75 %, 1,5 %, 3 % NaCl) hinzu und zwar meist mit längeren Pausen (von 6—8 Stunden). So nahm das Einsalzen meist mehrere Tage — bei *Gastrostyla* einmal um von etwa 0,2—1,25 % NaCl zu steigen ganze 10 Tage — in Anspruch. Später machte ich die Erfahrung, daß meine Versuchstiere gar nicht so empfindlich waren, und daß sie eine Steigerung von 0—0,25 %, von 0,25—0,5 %, von 0,5—0,75 % NaCl auf einmal sehr gut vertragen ohne Schaden zu leiden. Bei einer Steigerung über 0,75 % NaCl aber wird *Paramaecium* wenigstens schon empfindlicher. Darum empfiehlt sich von 0,75 % NaCl ab eine geringere als $\frac{1}{4}$ % Steigerung. *Gastrostyla* ist weit weniger empfindlich gegen stärkere NaCl-Lösungen wie *Paramaecium caudatum* EHRBG. und *Colpidium colpoda* EHRBG. Sehr widerstandsfähig gegen stärkere NaCl-Lösungen scheinen auch die Vorticellen zu sein.

Gastrostyla konnte bis 2 % NaCl-Lösungen vertragen ohne sichtbar geschädigt zu werden. Bei dieser Konzentration zeigte dieser Ciliat keinerlei Zelldeformationen und büßte nicht im geringsten die normale Bewegungsfähigkeit ein. In 2 % NaCl-Lösung verschwanden die meisten Ciliaten — Vorticellen waren allerdings noch häufig vorhanden. — Die größte Mehrzahl der Infusorien hatte sich encystiert. Dies hing aber sicher nicht allein von der Salzkonzentration, sondern auch von dem entstehenden Nahrungsmangel ab. So waren die Infusorien in einem Falle 19 Tage der Einsalzung unterzogen worden; als Futter standen ihnen nur die Nahrungsstoffe, Bakterien usw. zur Verfügung, die in dem geringen Teil Kulturwasser, in dem sie eingesalzen wurden, vorhanden waren. Die Colpidien hatten sich schon bei 1,5 % NaCl encystiert, soweit sie nicht starben.

Das beste Zeichen, daß die Infusorien sich wirklich an die Salzlösungen gut angepaßt haben, ohne daß eine erhebliche Giftwirkung wahrzunehmen ist, sind folgende Kennzeichen:

1. normale Körperzellform (ohne Quellungs- und Schrumpfungserscheinungen),
2. normale Beweglichkeit,
3. Teilungsfähigkeit. Während höhere NaCl-Lösungen die Teilungsfähigkeit sicher stark herabsetzen — das gilt etwa von 0,75 % NaCl ab — scheinen niedrigere Konzentrationen besonders 0,25 % auch noch 0,5 % NaCl eine gesteigerte Teilungsfähigkeit zu bewirken. Das gilt besonders für *Gastrostyla*, die sich in 0,25—0,5 % NaCl besonders stark vermehrten.

Statt gewöhnlicher NaCl-Lösungen benutzte ich in mehreren Fällen RINGER-Lösungen (0,6 % NaCl, 0,42 % KCl, 0,024 % CaCl_2 , 0,03 NaMCO_3). Der Zusatz von KCl, CaCl_2 , NaMCO_3 soll die Giftwirkung des NaCl herabsetzen.

2. Die oben erwähnten Ciliaten aus dem Enddarm des Frosches kommen bei allen einheimischen Ranaarten vor. *Nyctotherus* scheint aber bei *Rana esculenta* weniger häufig zu sein. *Nyctotherus* fand ich neben den anderen angeführten Darmciliaten auch häufig bei unseren Bufoarten.

Ich versuchte zunächst die Ciliaten im Darmschleim bzw. in der Darmflüssigkeit selbst zu untersuchen. Vielfach aber war der Darminhalt so trocken, daß dies unmöglich war, dann setzte ich einen Tropfen physiologischer Kochsalzlösung (von 0,75 % NaCl) hinzu. Die Pulsationsdauer der Vakuole wurde bestimmt und dann langsam ausgesüßt, indem ich tropfenweise destilliertes Wasser bzw. Leitungswasser zusetzte. Zuletzt brachte ich sie in reines Süßwasser (Leitungswasser) und untersuchte dann den Rhythmus der pulsierenden Vakuole.

Sämtliche angeführten Darmciliaten ließen sich bei einiger Vorsicht gut an das Süßwasser anpassen, ohne irgendwelche Körperdeformationen oder Bewegungsstörungen usw. zu zeigen. Teilungsstadien beobachtete ich im Süßwasser — wenigstens von *Balantidium* und *Nyctotherus* — nicht häufig. Sie kamen aber auch in physiologischer Kochsalzlösung nur selten zur Beobachtung. Einmal beobachtete ich *Nyctotherus cordiformis* in Teilung in einer ausgesüßten Kultur. Die Dauer der Teilung nahm etwa $2\frac{1}{2}$ —3 Stunden in Anspruch.

Der Rhythmus der pulsierenden Vakuole hängt nun von allerlei Faktoren ab,

1. von äußeren Faktoren. Hier kommt zuerst

a) die Temperatur in Betracht, und zwar wird bis etwa 30° C mit steigender Temperatur der Rhythmus schneller. Vgl. A. KANITZ (1907). Infolge der großen Abhängigkeit der Pulsfrequenz von der Temperatur haben Angaben ohne Temperaturvermerk nur beschränkten Wert. Ein Vergleich zwischen den Rhythmen der Vakuole unter verschiedenen Bedingungen ist nur bei annähernd gleicher Temperatur möglich.

b) Berührungs- und Druckreize. Man beobachtet eine bedeutende Veränderung des Rhythmus der pulsierenden Vakuole, wenn man dasselbe Tier zuerst freischwimmend und dann etwa durch Absaugen des Wassers thigmotaktisch festgelegt beobachtet. Auf den Einfluß der Thigmotaxis auf den Rhythmus der pulsierenden Vakuole bei *Paramecium* hat schon A. PÜTTER (1900) hingewiesen. Der Rhythmus der Vakuole wird dabei entschieden verlangsamt. Ebenso wirkt auch der Druck des Deckglases auf die Pulsationsdauer ein. STEMPELL (1914, S. 447) schreibt darüber: „Diese Erscheinung — — — ist aber wohl relativ leicht auf osmotische Wirkungen zu beziehen, da offenbar durch das Festlegen zwischen zwei Glasplatten ein großer Teil der Oberfläche der Osmosewirkung entzogen wird, außerdem auch die O-Aufnahme, die — — — eine große Rolle beim Zustandekommen der Osmosewirkung in der Zelle spielt, durch die Glasplatten und das Stillstehen eingeschränkt wird, und endlich weil durch den äußeren Deckglasdruck ein Gegengewicht gegen den intracellulären osmotischen Druck geschaffen wird.“ Für die Untersuchungstechnik ist die große Abhängigkeit des Pulsationsrhythmus vom Deckglasdruck und der Thigmotaxis von besonderer Wichtigkeit. Je nachdem man die Ciliaten unter Deckglas oder in einem Tropfen auf dem Objektträger ohne Deckglas bzw. im hängenden Tropfen im hohlgeschliffenen Objektträger, ob man sie freischwimmend oder in thigmotaktischer Ruhelage untersucht, wird man jedesmal andere Resultate für die Pulsfrequenz erhalten. Aus der Verschiedenheit der Beobachtungsweise gerade in diesem Punkt erklären sich die großen Unterschiede der Pulsationsrhythmen, die von den verschiedenen Autoren z. B. für dieselbe Art gemacht werden.

c) Abhängigkeit des Pulsationsrhythmus vom Sauerstoff. Auch durch Sauerstoffmangel wird der Rhythmus der pulsierenden Vakuole verlangsamt. Vgl. STEMPELL 1914, S. 454. Zum Teil erklärt sich sicher so die Tatsache, daß bei längerer Beobachtung ein und des-

selben Tieres der Vakuolenrhythmus allmählich, aber anhaltend langsamer wird, so daß in den Protokollen die Endwerte einer Beobachtungsreihe fast stets die höchsten sind. Sehr empfindlich sind allerdings sonst die Ciliaten nicht gerade gegen Sauerstoffmangel, und bei den parasitischen Formen, *Nyctotherus* usw. aus dem Enddarm des Frosches kann der Einfluß des Sauerstoffmangels sicher nicht sehr bedeutend sein, da diese Tiere normalerweise stets in einem sauerstoffarmen Medium leben. Von fast größerem Einfluß wie der Sauerstoffmangel erscheint mir

d) die Erhöhung der Außenkonzentration auf den Rhythmus der Vakuole zu sein. Hat man z. B. in einem Präparat viele Darmciliaten, so bemerkt man häufig, daß die Pulsfrequenz der pulsierenden Vakuole von *Nyctotherus* allmählich, häufig sogar ziemlich schnell, abnimmt. Ich führe die Erscheinung darauf zurück, daß die Infusorien durch ausgeschiedene Exkrete die Konzentration des Tropfens erhöhen und damit das osmotische Gefälle herabsetzen, so daß infolge des geringen Konzentrationsunterschiedes zwischen Außenmedium und innerem Zellmedium jetzt weniger Wasser in der Zeiteinheit in die Zelle einströmt.

Auch findet man häufig, daß der Vakuolenrhythmus bei Individuen gleicher Art, die aber aus verschiedenen Kulturen stammen, recht abweichend sein kann. Das mag z. B. daran liegen, daß die eine Kultur älter und volkreicher ist wie die andere, so daß mehr Exkretstoffe in das Kulturwasser abgeschieden sind. Die Pulszahl dieser Infusorien muß dann also niedriger sein wie bei solchen, die aus einer frischen vielleicht auch weniger volkreichen Kultur stammen. Hier muß der Rhythmus natürlich schneller sein.

2. Von inneren Faktoren.

Die Pulszahl ist nun aber selbst bei Tieren derselben Art, die aus der gleichen Kultur stammen, und die denselben Versuchsbedingungen unterworfen sind, durchaus nicht gleich. Sie schwankt häufig ziemlich bedeutend bei Tieren, die man im gleichen Präparat hat.

Wir sehen also, daß eine ganze Reihe von Faktoren den Rhythmus der pulsierenden Vakuole beeinflussen, und vielleicht kommen zu den genannten äußeren Faktoren noch eine Reihe anderer Faktoren, deren Einfluß wir heute aber noch nicht kennen, und die wir deshalb nur als innere Faktoren betrachten.

I. Die Süßwasserciliaten.

Stimmt die Annahme, daß die pulsierende Vakuole ein Schutzorgan gegen Aussüßung ist, dann muß der Rhythmus der Vakuole,

wenn man die Tiere in stufenweis gesteigerte Konzentrationen einer NaCl-Lösung bringt, auch stufenweise verlangsamt werden. Ja bei einer gewissen Konzentration muß im äußeren Medium wie im inneren der Zelle osmotisches Gleichgewicht herrschen, und das Spiel der pulsierenden Vakuole muß aufhören. Sie muß entweder zu einer ruhenden Vakuole werden oder sogar völlig schwinden. Mindestens muß der Rhythmus aber so verlangsamt werden, daß man ihn praktisch gleich ∞ setzen kann.

Mit diesen Überlegungen trat ich an die experimentelle Prüfung unserer Frage heran. Durch meine Versuche konnte ich auch wieder, wie M. ZUELZER (1907) und W. STEPELL (1914) vorher, diese theoretische Überlegungen bestätigen und neues Beweismaterial schaffen.

Ich bringe im folgenden nur kurz die Endresultate meiner Versuchsreihen, um eine unliebsame Länge der Arbeit in der heutigen teuren und papierknappen Zeit nach Möglichkeit zu vermeiden. Meine Daten stellen jedesmal die Mittelwerte meiner Versuchsreihen dar.

Im folgenden bedeutet:

V. V. = Vordere Vakuole } bei Paramaecium.
 H. V. = Hintere Vakuole }
 P = Zahl der beobachteten Pulsationen.

Die Pulsationsdauer wird meist in Sekunden (Sek.) angegeben, oder in Minuten (Min.).

Paramaecium caudatum EHRBG.

1. In Kulturflüssigkeit (% NaCl).

a) Beobachtungen unter Deckglas

bei 14—15° C. 1 Tier, frei beweglich,

V. V. — 4 P — 44,75 Sek. } Gesamtdurchschnitt von
 H. V. — 9 P — 32,55 „ } 13 P — 38,65 Sek.

V. V. wurde am selben Tier aber nach H. V. beobachtet, daher der längere Rhythmus (s. oben S. 339c).

bei 16—18° C. 2 Tiere, frei beweglich,

V. V. — 17 P — 11,7 Sek. } Gesamtdurchschnitt von
 H. V. — 7 P — 12,7 „ } 25 P — 12,2 Sek.

bei 18—19° C. 4 Tiere, 3 freie und 1 festliegend,

a) 3 Tiere frei: V. V. — 45 P — 14,73 Sek. } Gesamtdurchschnitt
 H. V. — 33 P — 13,1 „ } von 78 P — 13,9 Sek.
 b) 1 Tier fest: V. V. — 5 P — 16 Sek.

bei 22,5° C

α) ruhig liegendes Tier

V. V. — 28 P — 7,85 Sek.

β) wenig bewegliches Tier

V. V. — 38 P — 4,84 Sek.

γ) völlig bewegliches Tier

V. V. — 42 P — 6,1 Sek.

H. V. — 93 P — 6,38 Sek.

b) Beobachtung ohne Deckglas oder im hängenden Propfen

bei etwa 20° C. 6 Tiere, frei. Bei einem Tier werden 42 P hintereinander untersucht,

V. V. — 74 P — 6,2 Sek.

H. V. — 56 P — 6,6 Sek, Hier war die Temp. etwa 19° C.

bei 20—21° C. Frei beweglich,

V. V. — 25 P — 7,7 Sek.

bei 21—22,5° C. Frei beweglich,

α) H. V. — 69 P — 5,94 Sek.

besonders schnell bewegliche Tiere zeigten im Durchschnitt eine Pulsationsdauer von 4—5 Sek.

β) 2 Tiere frei beweglich

V. V. — 23 P — 6,1 Sek.

4 Tiere, H. V. — 93 P — 6,1 „

Gesamtdurchschnitt: α—β V. V. u. H. V. — 185 P — 6,05 Sek.

bei 22,5° C. V. V. — 2 P — 7 Sek.

H. V. — 23 P — 8,26 Sek.

bei 23—24° C. Tier sehr beweglich,

V. V. — 75 P — 5,46 Sek.

H. V. — 8 P — 6 Sek.

bei 24—25° C. Mehrere Tiere, frei beweglich,

V. V. — 70 P — 4,9 Sek.

H. V. — 8 P — 5,62 „

Gesamtdurchschnitt: In 0% NaCl (ohne Deckgl.) bei 22—23° C

V. V. u. H. V. — 606 P — 6,32 Sek.

2. In 0,25 % NaCl.

a) Unter Deckglas

bei 14—15° C. 6 Tiere, frei beweglich. 24 Stunden in 0,25 % NaCl.

I. V. V. — 41 P — 19,64 Sek.

H. V. — 19 P — 17,05 „

bei 22—23° C. Mehrere Tiere, 24 Stunden in 0,25 % NaCl, frei,

II. V. V. — 11 P — 12,9 Sek.

H. V. — 15 P — 16,9 „

b) Ohne Deckglas

bei 19° C. Mehrere Tiere, 24 Stunden in 25 % NaCl,

V. V. = 23 P — 13,2 Sek.

bei 21° C. 5 Tiere, 3 frei beweglich, 2. thigm. festliegend, 24 Stunden in 0,25 % NaCl.,

V. V. — 57 P — 8,57 Sek.

H. V. — 47 P — 7,34 „

bei 21—22° C. Mehrere Tiere,

V. V. — 42 P — 9,7 Sek.

bei etwa 23° C. Seit 3 Tagen in 0,25 % NaCl, frei beweglich,

V. V. — 97 P — 8,1 Sek. gezählt an 7 Tieren,

H. V. — 162 P — 8,2 „ gezählt an 9 Tieren.

Gesamtdurchschnitt: In 0,25 % NaCl (o. Deckl.) bei 20—22 C.

V. V. u. H. V. — 428 P — 9,33 Sek.

3. In 0,5 % NaCl.

a) Unter Deckglas

bei 14—15° C. 9 Tiere, 48 Stunden in 0,5 % NaCl, 2 Tiere thigmotaktisch fest, die übrigen frei,

V. V. — 52 P — 30,11 Sek.

H. V. — 36 P — 32,41 „

b) Ohne Deckglas

bei 15—16° C. 12 Tage seit Beginn der Einsalzung,

H. V. — 9 P — 52,8 Sek.

Der hohe Wert erklärt sich vielleicht so: Am Morgen des Untersuchungstages betrug die Temperatur etwa 14° C und stieg zum Nachmittag erst auf 19° C,

bei 19—20° C. 12 Tage seit Beginn der Einsalzung,

H. V. — 16 P — 23,4 Sek.

bei 19—20° C. 13 Tiere, 2 Tage in 0,5 % NaCl, meist (bis auf 2) frei beweglich,

V. V. — 54 P — 13,7 Sek.

H. V. — 54 P — 15 „

bei 21—22° C. 24 Stunden in 0,5 % NaCl, 12 Tiere, lagen teils thigmotaktisch fest, meist aber frei beweglich,

V. V. — 76 P — 11,9 Sek.

H. V. — 27 P — 11,38 „

bei 22—23° C. V.V. — 92 P — 13,1 Sek.

bei 25° C. 1 Tier, 8—9 Tage seit Beginn der Einsalzung,

V.V. — 15 P — 14,4 Sek.

H.V. — 7 P — 10,7 „

Gesamtdurchschnitt: In 0,5% NaCl (o. Deckgl.) bei 19—20° C.

V.V. u. H.V. — 350 P — 18,37 Sek.

4. In 0,75 % NaCl.

a) Unter Deckglas

bei 13—14° C. 1—2 Tage in 0,75 % NaCl, etwa 6 Tiere,

V.V. — 43 P — 46,63 Sek. } Mehrfach beobachtete

H.V. — 21 P — 46,19 „ } ich Tiere in Conjugation.

b) Ohne Deckglas

bei 14° C. V.V. — 1 P — 23 Sek.

H.V. — 10 P — 28,5 „

bei 20° C. V.V. — 26 P — 24 Sek.

H.V. — 3 P — 24 „

bei 25—26° C. 10 Tage seit Beginn der Einsalzung, 1 Tier,

V.V. — 34 P — 26 Sek.

H.V. — 63 P — 23 „

Gesamtdurchschnitt: In 0,75% NaCl (o. Deckgl.) bei 19—20° C.

V.V. u. H.V. — 137 P — 24,75 Sek.

5. In 1 % NaCl.

b) Ohne Deckglas

bei 17—18° C. 4 Tiere,

V.V. — 46 P — 23 Sek. } Abgerundete Werte.

H.V. — 37 P — 24 „ }

bei 22° C. Konzentration 1—1,1 % NaCl, 9 Tage seit der Einsalzung,

V.V. — 10 P — 68 Sek.

bei 21—22° C. Konzentration 1—1,1 % NaCl,

α) H.V. — 6 Min. 27 Sek. — 9 P.

V.V. war kleiner und schien einen schnelleren Rhythmus zu haben etwa 3—4 Minuten bei 21° C. Das Tier war sehr beweglich und zeigte keinerlei Absterbungserscheinungen.

β) V.V. — 4 P — 5 Min. 15 Sek.

H.V. war groß, zeigte aber während $\frac{1}{2}$ Stunde keine Pulsation. Auch dieses Tier war von normaler Beweglichkeit und zeigte keinerlei

Absterbungserscheinungen. Zu beachten ist, daß α und β aus derselben Versuchsreihe stammen wie das bei 22° C aufgeführte Tier. Es scheint also, daß bei einzelnen Tieren eine weitergehende allmähliche Rückbildung der Vakuole eingetreten ist.

Gesamtdurchschnitt von 1%—1,1% NaCl (o. Deckgl.) bei 19—20° C.
V.V. u. H.V. — 106 P — 2 Min. 43 Sek.

Gastrostyla Steinii ENGELM.

Gastrostyla Steinii ENGELM., ein 4kerniges hypotriches Infusor, besitzt nur eine pulsierende Vakuole. Diese liegt seitlich unterhalb des peristomalen Wimperrandes. Es ist nicht immer leicht den Rhythmus der Vakuole zu beobachten, zumal sie häufig bei stärkerer Nahrungsaufnahme usw. ziemlich verdeckt wird. Auch durch die plötzliche ruckweise springende Bewegung dieser Ciliaten wird die Beobachtung oft sehr erschwert. Um ein Tier wirklich einige Zeit ununterbrochen beobachten zu können, legt man es am besten thigmotaktisch fest. Man gibt einen kleinen Tropfen mit Infusorien auf ein Deckgläschen und läßt das Wasser sich zu einer dünnen Schicht ausbreiten. Dann legt man das Deckglas auf einen hohlgeschliffenen Objektträger und untersucht so im hängenden Tropfen oder aber ohne Deckglas auf einfachem Objektträger.

Ich gebe hier wieder die Mittelwerte aus meinen Versuchsreihen.

1. In Kulturwasser (0% NaCl)

bei 17—18° C etwa 9 Sek.,

„ 18° C „ 10—11 „

„ 18° C „ 11,4 „

„ 19° C „ 8—9 „

„ 19° C „ 11—12 „

Alle Tiere waren frei beweglich.

Durchschnitt: bei etwa 18° C — 10,2 Sek.

2. In 0,5% NaCl

bei 18° C — 22—23 Sek.)

„ 18—19° C — 20,6 „)

„ 22,5° C — 11,6 „)

„ 26° C — 13 „)

Durchschnitt:

bei etwa 19—20° C — 17 Sek.

3. In 1% NaCl.

Der Rhythmus von 11 P beträgt im Durchschnitt: 1 Min. 18,6 Sek.
bei 18° C. In einer Kultur (seit etwa 14 Tagen in NaCl) konnte

ich bei 23° C innerhalb 50 Minuten kein Pulsieren der Vakuole wahrnehmen. Zuerst war überhaupt keine Vakuole zu sehen; nachher bildete sich eine deutliche Vakuole, die aber nicht pulsierte und auch nicht sehr groß war. Die Konzentration betrug etwa 1,1 % NaCl. Das Tier war bis zuletzt, wo die Beobachtung unterbrochen werden mußte, recht lebhaft und normal.

Bei einem anderen Tier beobachtete ich 15 Minuten lang keine Spur einer Vakuole, ferner in einem anderen Falle 20 Minuten lang keine Vakuole bei 1,1 % NaCl. Es scheint mir aber aus den oben angeführten Beobachtungen hervorzugehen, daß bei 1—1,1 % NaCl doch noch eine pulsierende Vakuole sich bildet, wenn auch sehr langsam. Auch scheint diese Vakuole sich, wenn auch in längeren Zeitabschnitten, noch zu entleeren.

4. In 1,25 % NaCl.

Am 10. Januar 1920 untersuchte ich eine Kultur in 1,25 % NaCl, mit deren Einsalzen ich am 12. Dezember 1919 begonnen und allmählich bis zum 22. Dezember auf 1,25 % NaCl gesteigert hatte. Dann blieb die Kultur bis zum 7. Januar 1920 im ungeheizten Raum stehen. Bis auf 2—3 Tiere hin hatte sich alles encystiert. Vom 7. Januar wieder im geheizten Raum gehalten, verließen die Tiere allmählich wieder ihre Cysten.

Ich untersuchte die Kultur am 10. Januar zunächst auf einfachen Objektträger ohne Deckgläschen. Eine pulsierende Vakuole war nicht mehr nachweisbar. Nach längerer Beobachtung traten zwei winzige Bläschen auf, die allmählich wieder verschwanden aber nach einiger Zeit wiederkamen. Verschiedene andere Beobachtungen, so auch an einem Preßpräparat unter Deckglas, wo das Tier festlag, und wo man sonst das Vorhandensein einer pulsierenden Vakuole meist leicht feststellen kann, zeigten, daß in der Tat keine typische pulsierende Vakuole bei 1,25 % NaCl mehr auftritt. Die winzigen zwei Bläschen, die ich auch noch in einem anderen Falle beobachten konnte, die ab und zu schwinden, um allmählich wiederzukehren, bei denen man aber von einem eigentlichen Rhythmus auch nicht mehr reden kann, scheinen den letzten Rest einer pulsierenden Vakuole vorzustellen. Sie liegen auch ungefähr an derselben Stelle wie die pulsierende Vakuole. So glaube ich, daß auch diese letzten Reste in einer Konzentration von 1,15—1,3 % NaCl gänzlich schwinden. Für Amöben liegt ja nach M. ZUELZER (1907) die Konzentration für das Schwinden der pulsierenden Vakuole auch etwa bei 1,5 % NaCl.

M. ZUELZER war es nun auch gelungen beim Zurückführen ihrer

vakuolenlosen Amöben aus 1,5 % Meerwasser in Süßwasser das Wiederauftreten der pulsierenden Vakuole schon nach 24 Stunden zu beobachten.

Um nun zu prüfen bei welcher Konzentration bei *Gastrostyla* die pulsierende Vakuole wieder auftritt, stellte ich folgenden Versuch an.

Eine Kultur von 0,75 % NaCl wurde in 1,1 % NaCl gebracht und nach 2 Tagen untersucht. Ich konnte bei etwa 24° C während 35—30 Min. keinerlei Spur einer Vakuole beobachten. Dann wurde die Kultur zurück in 0,75 % NaCl gebracht und nach 24 Stunden untersucht. Ich beobachtete 2 Tiere 15 Minuten lang, konnte aber keine Spur einer Vakuole wahrnehmen. Die Kultur wurde nun in 0,5 % NaCl gebracht und nach 24 Stunden untersucht. Bei einem Tier konnte ich bei längerer Beobachtung keine Vakuole feststellen. Ein zweites Tier aber zeigte deutlich eine pulsierende Vakuole.

Der Durchschnitt ihres Rhythmus — $32 P = 10,6 \text{ Sek.}$ bei 25° C. Es scheint also bei *Gastrostyla Steinii* ENGELM. beim Einsalzen die pulsierende Vakuole bei etwa 1,1—1,3 % NaCl zu schwinden, um beim Wiederaussüßen bei 0,5 % NaCl wieder aufzutreten.

Gerade diese Beobachtungen an *Gastrostyla*, die zugleich M. ZUELZER's Resultate an Amöben, bei dieser hypotrischen Form glänzend bestätigen, sprechen sehr für die Schutzfunktion der pulsierenden Vakuole gegen Aussüßung.

II. Die parasitischen Protozoen aus dem Enddarm des Frosches.

1. *Nyctotherus cordiformis*.

a) Untersuchung im Darminhalt.

Der Rhythmus der pulsierenden Vakuole scheint im Darmschleim bzw. Darminhalt sehr zu schwanken. Bald findet man sehr hohe bald sehr niedrige Werte für den Pulsationsrhythmus. Die Erklärung hierfür liegt wohl darin, daß der Wassergehalt der Darmflüssigkeit sehr schwankt. Bald ist der Darminhalt sehr wenig wasserhaltig, der Darmschleim selbst ist dann zähflüssig, bald aber ist der Inhalt weich und wasserreich und der Darmschleim selbst auch wasserflüssig. Von diesen Unterschieden in der Konsistenz des mehr oder minder wasserreichen Darminhaltes scheint auch die große Verschiedenheit der Pulsfrequenzen abzuhängen. In sehr zähflüssigem Darmschleim konnte ich häufig beobachten, daß ein Pulsieren, der meist sehr großen, dilatierten Vakuole kaum stattfindet.

1. So konnte ich bei einer Untersuchung im frischen Darmschleim bei etwa 16° C 40 Minuten lang überhaupt keine Vakuole

beobachten. 3—4 kleine Vakuölen an verschiedenen Stellen der Zelle zeigten während dieser Zeit keine Änderung.

2. In einem anderen Falle bei der Untersuchung von *Nyctotherus* in frischem Darmschleim bei etwa 22,5° C konnte ich folgenden Rhythmus feststellen.

- a) 16 Min., 13 Min., 8 Min., 9 Min., 11 Min. 40 Sek.
Durchschnitt: 11 Min. 32 Sek.

Bei einem anderen Tier aus demselben Darminhalt fand ich einen Rhythmus:

- b) 2 Min., 1 Min. 45 Sek., 2 Min. 10 Sek.
Durchschnitt etwa: 2 Minuten.

c) Ein drittes Tier zeigte zunächst viele kleine Vakuölen, die schließlich zu einer großen Vakuole zusammenflossen, die dann nach 8 Min. 45 Sek. pulsierte.

3. In diesem Falle beobachtete ich eine Vakuole 13 $\frac{1}{2}$ Minute bei etwa 23° C. Sie war von Anfang der Untersuchung an schon völlig ausgebildet. Anfangs lag sie am Ende des sichelförmigen Wimperbandes und wanderte allmählich zum Hinterende der Zelle, wo sie entleert wurde.

4. Bei etwa 23° C beobachtete ich ein anderes Mal einen Rhythmus von: 5 Min. 15 Sek., 3 Min. 10 Sek., 7 Min., 6 Min.

5. Ferner bei 24—25° C

α) 11 P — 2 Min. 27 Sek.

β) 7 P — 2 „ 21 „

Aussübungsversuche mit *Nyctotherus cordiformis*.

Aus dem Darmschleim brachte ich *Nyctotherus* in

0,75 % NaCl

Temperatur	P	In 0,75 % NaCl seit	Rhythmus d. puls. Vak.
14—15° C	3	$\frac{1}{2}$ Tage	3 Min. 47 Sek.
16° C	39	4—6 „	3 „ 23 „
19° C	7	10 „	3 „ 54 „
19° C	3	1 „	2 „ 30 „
19—20° C	54	1—2 „	1 „ 38 „
20° C	20	$\frac{1}{2}$ „	2 „ 20 „
20° C	7	sofort in 0,75 % NaCl	2 „ 44 „
21—22,5° C	5	„ „ „	2 „ 24 „
22,5° C	8	2 Tage	2 „ 47 „
22,5° C	5	1 „	4 „ 40 „
24—25° C	2	sofort in 0,75 % NaCl	1 „ 15 „

Gesamtdurchschnitt von 153 P bei etwa 20° C — 2 Min. 49,3 Sek.

Die Aussüßung wurde dann durch langsames Zusetzen von Aqua dest. ausgeführt. Zuletzt wurden die Ciliaten in Leitungswasser, in Süßwasser (0% NaCl) gebracht.

Temperatur	Konzentration	P	Rhythmus der Vak.
25° C	0,5% NaCl	10	1 Min. 38 Sek.
21—22° C	0,38% „	43	2 „ 20 „
24—26° C	0,19% „	7	1 „ 15 „
21° C	0,18% „	—	3 „
25° C	0% „	—	1 „ 10—12 „

Wie also — trotz einiger Abweichungen — der Rhythmus mit abnehmender NaCl-Konzentration schneller wird, so kann man auch zeigen, daß umgekehrt bei zunehmender NaCl-Konzentration der Vakuolenrhythmus entschieden verlangsamt wird.

Wir hatten für 0% NaCl einen Rhythmus von 1 Min. 11 Sek. bei 25° C
 „ „ „ 0,5% „ „ „ „ 1 „ 38 „ „ 25° C
 „ „ „ 0,75% „ „ „ „ 2 „ 49 „ „ 20° C
 „ haben bei 1% „ „ „ bei 34 P „ 2 „ 54 „ „ 24—25° C
 „ „ „ 1,25% „ „ „ „ 21 P „ 4 „ 18 „ „ 24—25° C
 „ „ „ 1,5% „ endlich einen nur sehr langsamen Rhythmus.

Versuche mit Ringer-Lösungen.

1. In Ringer-Lösung.

Temperatur	In Ringer-Lös. seit	P	Rhythmus der Vak.
17° C	1 Tag	6	3 Min. 20 Sek.
17—18° C	3—3½ Stunden	7	2 „ 47 „
22,5° C	24 „	7	2 „ 12 „
23° C	24 „	10	1 „ 41 „

2. Aussüßungsversuche.

1. Eine Kultur seit 24 Stunden in Ringer-Lösung zeigte bei 23° C als Durchschnittswert für den Vakuolenrhythmus bei 8 P — 1 Min. 53 Sek.

Dann wurde zu einem Tropfen Ringer-Lösung 2 Tropfen Aqua dest. zugesetzt.

Der Rhythmus betrug im Durchschnitt von 8 P — 1 Min. 15 Sek.

2. Eine Kultur in Ringer-Lösung wurde in 4 Tagen ausgesüßt und dann bei 20° C untersucht:

der Durchschnittsrhythmus von 29 P beträgt 2 Min. 4 Sek.

„ „ für Ringer-Lösung „ 2 „ 30 „

Also auch aus diesen Versuchen geht hervor, daß der Rhythmus der pulsierenden Vakuole im Süßwasser, also in einer Lösung von

geringerer Konzentration wesentlich schneller ist wie in höher konzentrierten Lösungen.

Balantidium entozoon CLAP. u. LACHM.

Da *Balantidium* sich um die Achse rotierend fortbewegt, so ist die Beobachtung der pulsierenden Vakuolen äußerst schwierig, da man bei der annähernden Drehung die 2—4 Vakuolen unmöglich einzeln genau unterscheiden und beobachten kann. Man muß daher die Tiere möglichst am Rotieren zu hindern versuchen. Dies gelingt noch am besten, wenn der Tropfen auf dem Objektträger möglichst zu einer dünnen und sehr feinen Schicht verteilt ist. Die Tiere schwimmen dann noch munter umher, unterlassen aber meist die steten Drehungsbewegungen.

Untersuchung im Darmschleim.

Der Rhythmus der pulsierenden Vakuolen ist bei *Balantidium* wie auch bei *Nyctotherus* im Darmschleim sehr unregelmäßig. Bald beobachtete man überhaupt keine Pulsation, bald haben wir ein Pulsieren der Vakuolen im Rhythmus von 2—3 Minuten.

1. Untersuchung im frischen Darmschleim bei 17° C.

Ich beobachtete eine große, runde Vakuole, die sich bald in die Länge zog bald wieder völlig abrundete, 25 Minuten lang ohne eine Entleerung, eine Pulsation der Vakuole, wahrzunehmen. Zwei kleinere Vakuolen zeigten ebenfalls keine Pulsationen.

2. Untersuchung in frischem Darmschleim bei 15—16° C.

Bei Beginn der Untersuchung war keine Vakuole vorhanden. Allmählich bilden sich 3 größere seitliche, 1 mittlere und einige sehr kleine Vakuolen.

Nach 16 Min. kontrahierte eine der größeren Vakuolen,
 „ 19 „ „ „ „ zweite der größeren Vakuolen.

Inzwischen waren einige der kleineren Vakuolen größer geworden, so daß eine genaue Unterscheidung der einzelnen Vakuolen unmöglich war. Der Darmschleim war ziemlich zähflüssig. Die Balantidien bewegten sich bis zuletzt ziemlich lebhaft aber ohne zu rotieren.

3. Bei einer weiteren Untersuchung im Darmschleim bei 20° C traten zuerst 4 Vakuolen auf. Bald aber schien eine an Größe die anderen stark zu überwiegen, während diese allmählich undeutlich wurden. Die große Vakuole zeigte folgenden Rhythmus:

3 Min. 40 Sek., 3 Min. 10 Sek., 3 Min. 30 Sek., 2 Min. 45 Sek.

4. Bei einer Temperatur von 21°C beobachtete ich 23 Minuten eine Vakuole, die schon zu Anfang der Untersuchung vorhanden war, ohne ein Pulsieren feststellen zu können. Dann platzte das Tier. Auch weitere Beobachtungen (im frischen Darmschleim) zeigen, daß in zähflüssigem Darmschleim des Vakuolenrhythmus sicher sehr langsam sein muß. Es wurden mehrfach Vakuolen 20–45 Minuten beobachtet, ohne daß ein Pulsieren der Vakuolen eintrat.

Ein Aussüßungsversuch bei *Balantidium*.

Es sei hier nur ein Versuch erwähnt. Dabei wurden zwei Vakuolen beobachtet, eine mehr rechts und eine seitlich links gelegene Vakuole.

Der Durchschnittsrhythmus der rechten Vakuole von
 $11\text{ P} = 4\text{ Min. }45\text{ Sek. bei }17^{\circ}\text{C}$.

Der Durchschnittsrhythmus der linken Vakuole von
 $9\text{ P} = 5\text{ Min. }32\text{ Sek. bei }17^{\circ}\text{C}$.

Der Gesamtdurchschnitt: der rechten und linken Vakuole
 $(20\text{ P}) = 5\text{ Min. }8\text{ Sek. bei }17^{\circ}\text{C}$.

Die Kultur wurde langsam in 8 Tagen ausgesüßt. An einem normalen Exemplar wurde dann im Süßwasser ein Rhythmus der (linken) Vakuole im Durchschnitt von $8\text{ P} = 4\text{ Min.}$ beobachtet.

Hier möchte ich eine kurze Zusammenstellung meiner Ergebnisse bringen, die besser als viele Worte ein übersichtliches Bild gibt, das geeignet ist uns von der Schutzfunktion der pulsierenden Vakuole gegen Aussüßung zu überzeugen. In dieser Übersicht habe ich ferner versucht durch eine schätzungsweise Rechnung zu ermitteln, in welcher Zeit die pulsierende Vakuole eine Wassermenge, gleich dem Zellvolumen des betreffenden Infusors auszupumpen imstande ist. Dabei zeigt sich, daß die Vakuole bei höherer Salzkonzentration in gleicher Zeit eine bedeutend kleinere Menge Wasser hinauszuschaffen hat wie bei niederen Konzentrationen bzw. im Süßwasser. Das ist nach unserer Auffassung von der Funktion der pulsierenden Vakuole verständlich; denn es diffundiert ja infolge des geringeren osmotischen Gefälles bei höherer Konzentration weniger Wasser in die Zelle ein wie bei geringer konzentrierten Lösungen.

1. *Paramaecium caudatum*.

Konzentration	Temperatur	Vak. Rhyth. *)	Ein dem Körpervolum gleiches Volum Wasser wird entleert in	In 1 Stunde entleert
0% NaCl	22—23° C	6,2 Sek.	14,7 Min.	4,8 Körpervolum
0,25% „	20—22° C	9,3 „	21,3 „	2,82 „
0,5% „	19—20° C	18,4 „	42,7 „	1,38 „
0,75% „	19—20° C	24,8 „	56,9 „	1,08 „
1% „	19—20° C	163,0 „	6 Stdn. 19 „	0,16 „

*) Der Vakuolenrhythmus ist ein Mittelwert aller für V.V. und H.V. gefundenen Werte (ohne Deckglas oder im hängenden Tropfen).

2. *Gastrostyla Steinii*.

0% NaCl	18° C	10 Sek.	43 Min. 21 Sek.	1,4 Körpervolum
0,5% „	19—20° C	17 „	74 „ 22 „	0,81 „
1% „	18° C	78 „	5 Stdn. 38 Min.	0,17 „

3. *Nyctotherus cordiformis*.

0% NaCl	25° C	72 Sek.	4 Stdn. 5 Min.	0,25 Körpervolum
0,5% „	25° C	98 „	6 „ 25 „	0,16 „
0,75% „	20° C	169 „	9 „ 42 „	0,1 „
1,25% „	24—25° C	258 „	16 „ 33 „	0,06 „

Opalina ranarum PURK. und VAL.

Opalina ranarum ist zweifellos von den Ciliaten des Froschdarmes am weitesten an die parasitische Lebensweise angepaßt. *Opalina* nimmt ähnlich wie der Bandwurm die Nahrung auf osmotischem Wege mit der ganzen Zelloberfläche auf. Sie besitzt so weder Zellmund noch Zellafter, auch keine pulsierende Vakuole.

M. M. METCALF (1907) hat zwar für einige *Opalina*-arten, *Opalina caudata*, *Opalina intestinalis*, *Opalina obtrigona* eigentümliche Exkretionsorgane beschrieben und abgebildet. . . „the organ in question consists of from one to three, generally two, irregularly swollen tubules opening to the exterior by a short common duct and a single pore at the posterior end of the body. Between the tubules, and usually also around the common excretory duct, are numerous minute spheroidal granules very slightly larger than the general cytomicrosome granules.“ . . . „In many individuals of this species no excretory tubules or pore can be seen (Fig. 9). In other cases one sees the external pore and the common duct but not the inner tubular branches (Fig. 1 and 6). Occasionally one sees the outer pore and the inner tubules but cannot make out the connecting duct (Fig. 4 and 5). I believe these variations to be due to different conditions of contraction.“

METCALF hebt aber besonders hervor, daß bei *Opalina ranarum* diese „excretory organs“ nicht vorkommen.

Auf den ersten Blick sollte man nun meinen, daß *Opalina ranarum* der beste Beweis für die Auffassung der pulsierenden Vakuole als Schutzorgan gegen Aussüßung sei; denn ein Parasit wie *Opalina* lebt im isotonischen Medium, und folglich ist eine pulsierende Vakuole überflüssig, da ja kein Wasser in die Zelle eindiffundiert. Soweit ist alles schön und wohl. Nun melden sich aber auch die Schwierigkeiten. Zunächst ist es auffallend, daß *Opalina ranarum* an genau demselben Orte lebt wie *Nyctotherus* und *Balantidium*, welche doch pulsierende Vakuolen besitzen. Wenn diese auch in zähem Darmschleim einen sehr langsamen Rhythmus aufweisen, kann dieser Rhythmus in wasserflüssigem Darmsaft doch etwa 2 Minuten betragen. *Opalina ranarum* zeigt im gleichen Präparat auch dann nicht die geringste Spur einer pulsierenden Vakuole. Ferner sagte ich mir: wenn man *Opalina* allmählich in Süßwasser überführt, so muß, da nun in weit stärkerem Maße Wasser in die Opalinenzelle eindiffundiert, eine oder mehrere pulsierende Vakuolen auftreten, oder aber die Anpassung ist überhaupt unmöglich, d. h. die Tiere gehen im Süßwasser sogleich zugrunde. Aber erstaunlicherweise trafen beide Vermutungen nicht zu. Im Gegenteil, wenn man langsam die Tiere in Süßwasser überführt, vertrugen sie diesen Übergang sehr gut. Sie behalten durchaus ihre normale Gestalt und ihre Beweglichkeit uneingeschränkt bei. Ja es scheinen sogar noch Zellteilungen vorzukommen. Erfolgt der Übergang (etwa von 0,75 % NaCl) in Süßwasser ziemlich unvermittelt und plötzlich, dann scheinen allerdings die Opalinen am ehesten dem schroffen Wechsel der Lebensbedingungen zu erliegen. Sie sterben dann meist früher wie *Nyctotherus* und *Balantidium*, die pulsierende Vakuolen besitzen. Es ist somit wohl wahrscheinlich, daß die pulsierende Vakuole eine Anpassung an einen schnelleren und stärkeren Wechsel der Konzentration des Außenmediums erst ermöglicht. Diesen schnelleren Wechsel in der Konzentration des äußeren Mediums vertragen also Formen ohne pulsierende Vakuole schlecht, bei einem langsamen Wechsel passen sie sich dagegen sehr gut an die neuen Bedingungen an. So konnte ich *Opalina* 8—10 Tage im Süßwasser halten, ohne daß die Tiere eingingen. Eine pulsierende Vakuole aber tritt auch dann nicht auf. Diese Beobachtung bedeutet nun sicher eine ernste Schwierigkeit für die Auffassung in der pulsierenden Vakuole ein Schutzorgan gegen Aussüßung zu sehen. Man könnte nun vielleicht an osmotische Regulationsvorrichtungen denken, die ein Eindiffundieren von Wasser

unmöglich machen. Ich halte diese Annahme aber für unwahrscheinlich; denn *Opalina* nimmt, da sie keinen Zellmund besitzt, alle Nahrung osmotisch durch die ganze Zelloberfläche auf. Da aber alle diese osmotischen Vorgänge an Wasser gebunden sind, so muß also die Opalinazelle unbedingt Wasser aufnehmen. Um diese Schwierigkeit kommen wir nicht herum.

Interessant ist auch, daß das Fehlen der pulsierenden Vakuole bei *Opalina* mit dem Fehlen eines Zellmundes Hand in Hand geht, während *Nyctotherus* und *Balantidium* sowohl einen Zellmund wie auch eine pulsierende Vakuole besitzen. Man könnte so etwa annehmen, daß es gerade das durch den Zellmund aufgenommene Wasser sei, was durch die pulsierende Vakuole wieder aus der Zelle hinausgepumpt würde. Ohne letztere Möglichkeit gänzlich auszuschließen, glaube ich doch, daß wenigstens in den gewöhnlichen Fällen gerade das durch die ganze Zelloberfläche aufgenommene Wasser für das Auftreten der pulsierenden Vakuole von ausschlaggebender Bedeutung ist. Sicher trifft das für die Amöben zu, denen ja ein Zellmund fehlt.

Es ist mir nun sehr wahrscheinlich, daß *Opalina* flüssige Exkretstoffe wieder abgibt. Feste Exkretstoffe, etwa Exkretkörner usw. habe ich nie bei *Opalina* beobachtet. Es kommen so wohl nur flüssige Exkretstoffe, die auf osmotischem Wege durch die Zelloberfläche ausgeschieden werden, in Frage. Vielleicht spricht gerade folgende Beobachtung für unsere Vermutung. In einem Präparate, das in 0,75 % NaCl beobachtet wurde, waren sehr zahlreiche Opalinen und mehrere *Nyctotherus*. Der Rhythmus für *Nyctotherus* betrug bei etwa 15—16° C — 16 Min. 50 Sek. Nun spülte ich mit 0,75 % NaCl die meisten Infusorien ab. Es blieben im Präparat nur etwa 3 *Nyctotherus* und 2—3 Opalinen. Nun wurde der Rhythmus für *Nyctotherus* plötzlich bedeutend schneller, nämlich: 4 Min. 35 Sek., 7 Min. 15 Sek., 6 Min. 45 Sek., 6 Min. 30 Sek., 6 Min. 40 Sek., 6 Min. 20 Sek. Vielleicht ist für diese Beobachtung folgende Erklärung möglich. Im ersten Falle war die Konzentration des kleinen Tropfens durch die von den Infusorien — besonders von den Opalinen — ausgeschiedenen Exkretstoffe wesentlich über 0,75 % NaCl erhöht und damit das Eindiffundieren von Wasser in die *Nyctotherus*-zelle bedeutend verlangsamt. Als notwendige Folge davon muß der Vakuolenrhythmus entschieden träger sein wie in 0,75 % NaCl. Spült man dann die Exkretstoffe und ihre Hersteller, die Opalinen, mit 0,75 % NaCl-Lösung weg, so wird bei der nun geringeren Außenkonzentration das Wasser schneller eindiffundieren und damit die

Vakuole schneller arbeiten. Daß nun gerade die Opalinen die Exkretstoffe liefern und nicht *Nyctotherus* allein, das geht einmal aus der sehr großen Anzahl der Opalinen gegenüber den nur wenigen *Nyctotherus* im Präparat hervor, dann aber waren auch die beobachtenden *Nyctotherus* dicht von lauter Opalinen umringt. — Es ist nun vielleicht möglich, daß *Opalina* mit diesen Exkretstoffen genau die gleiche Wassermenge ohne Bildung einer pulsierenden Vakuole abgibt, wie durch Endosmose von außen in die Zelle eintritt.

Es handelt sich bei *Opalina ranarum* jedenfalls um einen noch ungeklärten Fall, zu dessen Lösung weitere Untersuchungen erforderlich sind. Eine Form, die zunächst das klassische Schulbeispiel für unsere Auffassung von der Schutzfunktion der pulsierenden Vakuole gegen die Aussüßung zu sein scheint, wird bei genauerer Untersuchung zum wunden und kritischen Punkt dieser Deutung.

Wenn sich auch unsere Studien an *Opalina ranarum* nicht in den Rahmen unserer Auffassung von der Schutzfunktion der pulsierenden Vakuole gegen die Aussüßung des Zellmediums einfügen lassen, ihr vielmehr ernste Schwierigkeiten bereiten, so muß man bedenken, daß eben die Natur sich nicht in das enge Schema, in das der ordnende Menscheng Geist alles einreihen will, einzwängen läßt.

Die Anregung zu dieser Untersuchung verdanke ich Herrn Prof. Dr. R. HESSE. Ihm sei hierfür sowie für das stete Interesse, das er an meinen Arbeiten nahm, und die freundliche Bereitwilligkeit, mit der er mir die Hilfsmittel seines Laboratoriums zur Verfügung stellte, mein bester Dank ausgesprochen.

Bonn, im Juli 1921.

Literaturverzeichnis.

- BLOCHMANN, F. u. BÜTSCHLI, O. (1886): Die mikroskopische Tierwelt des Süßwassers. Braunschweig.
- BRAUNE, R. (1914): Untersuchungen über die im Wiederkäuermagen vorkommenden Protozoen. Arch. f. Protistenk. Bd. 32.
- BÜTSCHLI, O. (1887—1889): Protozoa. in: BRONN's Klassen u. Ordn. des Tierreichs. II. Infusorien. Leipzig.
- BURIAN, R. (1910): Die Excretion. in: WINTERSTEIN, H., Handb. d. vergl. Physiol. Bd. 2, Stoffwechsel, II. Hälfte, Jena.
- CHUN, C. (1903): Aus den Tiefen des Weltmeeres. II. Aufl. Jena.
- DEGEN, A. (1905): Untersuchungen über die kontraktile Vakuole und die Wabenstruktur des Protoplasmas. Bot. Zeitschr. Jahrg. 63.
- DOFLEIN, FR. (1916): Lehrbuch der Protozoenkunde. 4. Aufl. Jena.

- EBERLEIN, R. (1895): Über die im Wiederkäuermagen vorkommenden ciliaten Infusorien. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. 59.
- ENTZ, GÉZA (1884): Über Infusorien des Golfes von Neapel. Mitteil. d. Zool. Stat. Neapel Bd. 5.
- ENTZ, G. jun. (1909): Studien über die Organisation und Biologie der Tintinniden. Arch. f. Protistenk. Bd. 15,
- FLORENTIN, R. (1899): Études sur la Faune des Mares salées de Lorraine. Thèses de Nancy, Med. et pharm.
- GRIESSMANN, K. (1914): Über marine Flagellaten. Arch. f. Protistenk. Bd. 32.
- GRUBER, A. (1899): Biologische Studien an Protozoen. Biol. Centralbl. Bd. 9.
- HARTOG, M. (1888): Preliminary Note of the Functions and Homologies of the contractile Vacuole in Plants and Animals. Report of the British Association for the advancement of science, Bath.
- HERTWIG, R. (1919): Lehrbuch der Zoologie. 12. Aufl. Jena.
- KANITZ, A. (1907): Der Einfluß der Temperatur auf die pulsierende Vakuole der Infusorien und die Abhängigkeit biologischer Vorgänge von der Temperatur überhaupt. Biol. Centralbl. Bd. 27.
- KHAINSKY, A. (1911): Morphologie und Physiologie einiger Infusorien. Arch. f. Protistenk. Bd. 21.
- MASSART, J. (1889): Sensibilité et adaption des organismes à la concentration des solutions salines. Arch. Biol. T. 9.
- MAUPAS, E. (1883): Contribution à l'étude morphologique et anatomique des infusoires ciliés. Arch. zool. expér. II. Sér. T. 1.
- METCALF, M. M. (1907): The excretory organs of Opalina. Arch. f. Protistenk. Bd. 10.
- PÜTTER, A. (1900): Studien über Thigmotaxis bei Protisten. Arch. f. Anat. u. Physiol., Abt. Physiol., Suppl.
- ROSSBACH, M. J. (1872): Die rhythmischen Bewegungserscheinungen der einfachsten Organismen und ihr Verhalten gegen physikalische Agentien und Arzneimittel. Verh. d. phys.-med. Ges. Würzburg, N. F. II.
- SAHRHAGE, H. (1915): Über Bodenprotozoen der Kieler Bucht, Hamburg.
- SCHUBERG, A. (1888): Die Protozoen des Wiederkäuermagens. Zool. Jahrb., Systemat. Bd. 3.
- SELIGO, A. (1884): Untersuchungen über Flagellaten. in: F. COHN, Beiträge zur Biologie der Pflanzen Bd. 4.
- STECHE, O. (1911): Hydra und die Hydroiden. Leipzig.
- STEMPELL, W. (1914): Über die Funktion der pulsierenden Vakuole und einen Apparat zur Demonstration derselben. Zool. Jahrb., Allg. Zool. u. Physiol. Bd. 34.
- ZUELZER, M. (1907): Über den Einfluß des Meerwassers auf die pulsierende Vakuole. Sitz.-Ber. naturf. Freunde Berlin H. 4
- (1910): Der Einfluß des Meerwassers auf die pulsierende Vakuole. Arch. f. Entwicklunsmech. Bd. 29.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Archiv für Protistenkunde](#)

Jahr/Year: 1922

Band/Volume: [44 1922](#)

Autor(en)/Author(s): Herfs Adolf

Artikel/Article: [Die pulsierende Vakuole der Protozoen ein Schutzorgan gegen Aussüßung. 227-260](#)