

LE  
**PHYSIOLOGISTE RUSSE**

RÉDIGÉ PAR

M. LÉON MOROKHOWETZ,

Professeur de physiologie à l'Université Impériale.

MOSCOU.

---

VOL. III.

12 JANVIER 1903.

N<sup>o</sup> 41—47.

---

**Ueber die Wirkung der Inductionsschläge auf einige Ciliata<sup>1)</sup>.**

Von Dr. Paul Statkewitsch,

Assistenten am physiologischen Institut d. K. Universität zu Moskau.

Mit 17 Textabbildungen.

(Der Redaction zugegangen am 17 November 1902).

---

**I. Einleitung und historischer Ueberblick.**

Vorliegende Arbeit stellt einen besonderen, von den andern ganz unabhängigen Teil meiner Untersuchungen über die Galvanotaxis vor und bezieht sich unmittelbar auf die von M. Verworn (1) eingehender untersuchte Frage nach der *polaren Erregung* der Protisten.

Alle diesbezüglichen von Verworn und Ludloff mitgeteilten Resultate waren bei der Untersuchung des Einflusses, den der constante Strom auf die Protisten ausübt, erhalten worden. Dagegen ist die Wirkung der Inductionsschläge auf das lebendige Protoplasma bisher noch wenig untersucht.

Bald nach der Entdeckung der mikroskopischen Lebewesen erschien eine ganze Reihe von Arbeiten, deren Verfasser den Versuch machten physiologische Fragen zu beantworten, aber, infolge der zu jener Zeit noch ungenügen-

---

<sup>1)</sup> Bericht gehalten im Jahre 1902, 10. Decemb. in einer Sitzung der Physiol. Abtheilung der Kais. Gesellschaft von Fr. d. Naturwissensch., d. Anthropol. u. Ethnogr.

den Kenntnisse in der Morphologie der Protisten, nichts anderes als Zerstörung dieser Organismen unter der Einwirkung der elektrischen Entladungen constataren konnten.

Die Gelehrten des XVIII Jahrhunderts — *Saussure* (1776), *Spallanzani*, (1776), *Tereschowsky* (1775) und *Guanzati* (1797), welche die Wirkung des elektrischen Funkens auf die Infusorien untersuchten, beobachteten, dass derselbe diese Kleinwesen tötet. Diese Thatsache, d. h. die Zerstörung der Infusorien durch die Schläge einer Leydener Flasche, wurde in der Folge auch am Anfang des XIX Jahrhunderts von *Ehrenberg* (1838) beobachtet. Dabei bemerkte *Ehrenberg*, dass die Schläge nur diejenigen Tiere töten, welche sich direct in der Stromlinie befinden; auch gewährte derselbe Autor damals, dass bei der Einwirkung eines constanten galvanischen Stroms die Zerstörung nur bei dem Schliessen und Oeffnen desselben eintritt, und auch stets nur auf den Stromlinien (nach *Bütschli* 2, S. 1819).

Nicht viel mehr beobachtete im J. 1859 *Kühne* (3). Er wandte Inductionsschläge an und bemerkte dabei, dass auf *Amoeba diffluens* schwache Inductionsschläge keine Wirkung hervorbrachten; Spuren irgend einer Reaction waren nicht einmal dann wahrzunehmen, wenn beim Berühren des Wassertropfens mit der Fingerspitze ein unerträglicher, stechender Schmerz entstand (3, S. 819). Sehr starke und rasch auf einander folgende Schläge rufen heftige Bewegungen hervor, welche bei *Opalina*, *Plaesconia patella*, *Paramaecium*, *Dileptus folium*, *Trichoda angulata* und *Kerona mytilus* bruchartige Aussackungen und schliesslich vollständiges Zerplatzen zur Folge haben.

Bei mässigen Strömen konnte *Kühne* es meist dahin bringen, dass «die Tiere nach dem ersten heftigen Ruck beim Oeffnen der Nebenschliessung ganz ruhig in einer Art von Tetanus sämtlicher Muskeln liegen blieben, wenn sie nicht durch die Flimmerbewegung weiter befördert wurden, auf welche die Ströme absolut gar keinen Einfluss haben. Wurden die Schläge verstärkt, so bildeten sich bald Einschnürungen, und trat dann irgendwo aus der Körperbegrenzung ein Bruch aus... Nur bei längerer Dauer der sehr kräftigen Ströme zerfliesst das ganze Tier zu einem unförmigen Brei, in welchem dann hie und da die Flimmerbewegung noch eine Zeit lang fort dauern kann».

Die Reaction der Vorticellen auf frequente Inductionsschläge that sich dadurch kund, dass (3, S. 824—825) «plötzlich alle Vorticellen ihre Stiele spiralgig zusammenrolten und festgebannt an der Pflanzenwurzel angeheftet zu sehen waren, wobei auch die Glocke sich kugelförmig zusammenballte und die Mundwimpern eingeschlagen blieben». Indem *Kühne* bei Vorticellen die Stiele von der Glocke abtrennte, beobachtete er, dass auch die kopflosen Stiele, auf die Inductionsströme reagirend, zusammenfahren (3, S. 827).

*Kühne's* Versuche wiederholte im Jahre 1862 *G. Schwalbe* an *Paramaecien* in seiner Arbeit über die contractilen Behälter der Infusorien (4). Seine sehr kurz gefasste Beschreibung der Veränderungen der Körperform der *Paramaecien* unter dem Einflusse von Inductionsschlägen bietet einen vollständigen Gegensatz zu denen, welche von neueren Autoren (*Verworn* u. a.) gegeben werden. Es scheint uns nicht überflüssig *Schwalbe* selbst reden zu lassen: «Die Haupterscheinung, welche man allgemein an *Paramaecien*,

«welche Schliessungsschläge erhalten, wahrnimmt, ist Verkürzung derselben in der Längsaxe und birnförmige Gestaltung des ganzen Körpers und zwar so, dass das Vorderende sich zuspitzt, während das Hinterende anschwillt.... Ist die Zusammenziehung sehr heftig gewesen, so ist das hintere Ende fast kugelig, und es sitzt ihm das vordere Ende ungefähr so an, wie das halsförmige Stück dem eiförmigen Körper von *Trachelius ovum*; ja es kommt bei sehr lange fortgesetzten Schliessungsschlägen vor, dass das spitze Ende fast ganz eingezogen wird, so dass nun die *Paramaecien* kugelig erscheinen» (4, S. 866—867).

Sehr befremdlich, ja unverständlich erscheint die Abhängigkeit dieser Formveränderung von der Stärke der Schläge. Weiter schreibt *Schwalbe*: «Oeffnungsschläge erweisen sich auffallender Weise wirkungslos. Die ersten auffallenden Veränderungen dieser Art beobachtet man bei Schliessungsschlägen, wo die secundäre Spirale der primären etwa bis zur Berührung genähert war. Allein in diesem Falle hielt es schwer die Tiere weiter zu beobachten, weil sie auf den Reiz des Schliessungsschlages sogleich fortschwammen, so dass man sie aus dem Auge verlor. Wurden dagegen die Spiralen zur Hälfte übereinander geschoben, so waren die oben beschriebenen Erscheinungen besonders leicht und deutlich zu beobachten, da die Thiere dann bei jedem Schliessungsschlage eine Zeit lang an ihrer Stelle wie festgebannt waren und erst nach und nach sich erholten. Setzte man solche Reizungen längere Zeit fort, so starben die Tiere, und schliesslich zerplatzte das Tier und zerfloss (4, S. 367).... Es wurde zu diesen Versuchen ein *Dubois'scher* Schlittenapparat benutzt, der von einem *Grove'schen* Element getrieben wurde» (4, S. 366). Folglich tritt die Reaction des Zerfalls der *Paramaecien* bei ziemlich starken Schliessungsschlägen ein, während «die Oeffnungsschläge sich wirkungslos erweisen».

Im Jahre 1867 verfolgte *A. Wrzesniowski* (5) ausschliesslich den anatomischen Zweck die Unabhängigkeit der *Trichocysten* von dem Wimpertegument bei den *Paramaecien* darzuthun. Er benutzte dabei den *Du-Bois-Reymond'schen* Schlittenapparat und als Elektroden Streifen Blattgold. Er constatirte, dass unter dem Einflusse starker Ströme (4—5 ctm. Abstand der secundären Spirale von der primären) das Tier sich sogleich stark contrahirte und aus allen *Trichocysten* noch verschiedenen Richtungen hin lange Fäden entleerte, so dass es von einer filzartigen Kapsel umgeben zu sein schien (5, S. 44). Nach Unterbrechung des Stromes blieb dasselbe eine Zeit lang unbeweglich liegen, nahm dann seine normale Gestalt an und schwamm davon. In dem Baue des Tieres erfolgte dabei keine Störung, die Cilien behielten ihre Stellung, nur waren die *Trichocysten* spurlos verschwunden. Bei schwächeren Strömen (die secundäre Spirale steht um 7 ctm. ab) entleerte das Tier, «wenn man den eingeleiteten Strom schnell wieder unterbrach» nur einen Teil der *Trichocysten*, während die übrigen unverändert blieben. Wird der Strom wieder geschlossen, so werden auch die übrigen *Trichocysten* entleert. Zuweilen gelingt es den Reiz dermaassen zu reguliren, dass *Trichocysten* auch noch ein drittes Mal entleert werden. Somit beobachtete *A. Wrzesniowski* bei der Reizung von *Paramaecia aurelia* durch eine Reihe von starken Inductionsschlägen Entleerung der *Trichocysten* und bemerkte, dass unter dem Einflusse von Strömen mittlerer Stärke dieselbe allmähig in

2—3 Malen durch die ganze Oberfläche des Tieres vor sich geht; nachdem diese Reize aufgehört haben, erholt sich dasselbe wieder und die ganz unverändert gebliebenen Cilien setzen ihre normale Function fort, zuweilen bei vollständigem Schwinden der Trichocysten.

Diese Versuche bewiesen die Unabhängigkeit des Wimperapparats von den Trichocysten. Somit war Wrzeźniowski der erste, der den Einfluss einer Reihenfolge ziemlich starker Inductionsschläge auf die Paramaecien beobachtete und, wenn auch bei weitem nicht erschöpfend, den Effect der Entleerung der Trichocysten beschrieb.

Th. Engelmann (6) untersuchte mit Hilfe besonders construirter unpolarisirbarer Elektroden die Reaction von Süswasserrhizopoda (*Amoeba diffluens* und *Arcella vulgaris*) auf einen einzelnen Inductionsöffnungsschlag. Die Rhizopoda nahmen eine kugelige Gestalt an, was Engelmann dahin deutete, dass bei der elektrischen Reizung das Protoplasma vorübergehend die mechanischen Eigenschaften einer Flüssigkeit annimmt.

Rossbach (7) fand im Jahre 1872, dass *Stylonychia* und *Euplotes* sowohl bei Schliessungsschlägen als bei intermittirenden Strömen weitgehende Gestaltveränderungen (Wellung der Oberfläche, Auswellung des Hinterendes) erfahren, die er als active Contractionserscheinungen des Protoplasma deutete... Bei Anwendung «schwächerer» Ströme stellen sich bei *Stylonychia* Drehbewegungen ein, es «treten helle, wasserklare, runde Blasen aus dem Körper und lösen sich von ihm los, und schliesslich erfolgt totale Auflösung» (nach Kölsch, 22, S. 398).

Endlich ist in ganz letzter Zeit eine Arbeit von E. Roesle (8) erschienen, welche die Reaction folgender Infusorien: *Paramaecium aurelia*, *Oxytricha parallela*, *Stylonychia mytilus*, *Stentor coeruleus* und *Roeselii* und einiger Vorticellen auf einzelne Inductionsschläge zum Gegenstand hat. Der Autor führte seine genau beschriebenen Untersuchungen mit Hilfe nach Prof. Hering's Gedanken construirter, leicht verstellbarer Platinelektroden aus, die an einem drehbaren Hartgummiringe befestigt waren; der Du Bois-Reymond'sche Schlittenapparat war mit 2 Grove'schen Elementen beschickt. Um den Einfluss der einzelnen Inductionsöffnungsschläge auf die rasch dem Blicke entschwindenden Infusorien (z. B. Paramaecien) beobachten zu können, füllte der Autor das Reizkästchen mit einem Filz feiner Wasserpflanzen an, in dessen Maschen sich die Tiere gleichsam fingen.

«Die Reaction der Paramaecien bestand bei Schwellenreizen in einer Art «von ganz schwacher Zusammenzuckung ohne Ortsveränderung oder in einer ganz geringen, gerade noch wahrnehmbaren Rückwärtsbewegung. Bei etwas stärkeren Strömen erfolgte hingegen eine plötzliche ruckweise Bewegung nach vorwärts infolge einer plötzlichen Beschleunigung der Rythmicität der Wimperbewegung, die jedoch nur wenige Augenblicke währte, worauf das Tier seine frühere Bewegungsweise wieder fortsetzte. Diese Vorwärtsbewegung steigerte sich bei der Verminderung des Rollenabstands, also bei Zunahme der Stromstärke, so dass das Tier oft plötzlich dem Blicke entschwand» (8, S. 146).

Nachdem der Autor die Schwellenreize festgestellt hatte, fand er, dass die Reaction nur in einer ganz bestimmten Lage des Tieres zur Stromesrich-

tung eintritt. Die Reaction tritt zuerst, d. h. bei geringster Stromstärke, bei dem absteigenden Strom ein.

Bei *Oxytricha parallela* und *Stylonychia* wird auch deutlich wahrnehmbares Zurückzucken beobachtet. Die vorteilhafteste Lage für das Eintreten der Reaction ist, wenn das Peristom der Anode zugewandt ist,—folglich wäre dies die erregbarste Stelle an dem Körper des Tieres. Die Versuche des Autors an Stentoren zeigten, dass sich durch grösste Reizbarkeit nicht das Peristom, sondern die im Zellmund befindlichen Wimpern auszeichnen. Mechanische Reizungen des innern Theils des Peristoms der Vorticellen riefen plötzliche und sehr starke Zusammenziehung hervor; dieselben Erscheinungen beobachtete der Autor auch an *Oxytricha* und *Paramecien*. Bei dem Berührungsreiz kann an *Paramecien* Rückwärtsbewegung constatirt werden, wenn dieser mechanische Reiz das Peristom trifft. Betrachtet man diese Reaction auf den mechanischen Reiz als eine indirecte Erregung, welche gewisse Punkte der Körperoberfläche trifft, so sind die Inductionsschläge, wie der Autor meint, in der That zu den indirecten Erregungen zu rechnen, da die Reaction der Infusorien auf die einzelnen Inductionsschläge mit den Reactionen, welche auf mechanische Reizung erfolgen, übereinstimmt. Das ist vollkommen klar aus der Zurückzuckung der *Oxytricha* und *Stylonychia*, sowie aus den Contractionen der Stentoren und Vorticellen (8, S. 162) zu sehen. Nur die *Paramecien* bieten darin eine offenbare Abweichung (8, S. 163).

Sich auf den Vergleich der Reactionen der Infusorien auf mechanische Berührungsreize mit denjenigen auf einzelne Oeffnungsinductionsschläge stützend, zieht der Autor den Hauptschluss, dass die Reaction einiger Infusorien auf einzelne Inductionsschläge der Ausdruck von Erregung der Bewegungsorganen ist, und dass diese Reaction infolge der Reizung des Peristommunds, welcher für elektrische Reize eine höhere Reizbarkeit besitzt, eintritt. Infolgedessen ist der Autor mit Jennings (9, S. 239 u. 256) darin nicht einverstanden, dass das Vorderende die erregbarste Stelle an der Oberfläche des Körpers sei.

Frequente Inductionsschläge üben eine richtende Wirkung auf die *Paramecien* aus, indem sie dieselben zwingen dem Minus der Oeffnungsschläge zuzuschwimmen. Diese Erscheinung ist schon im Jahre 1886 von Verworn (1a, S. 26) constatirt und im Jahre 1889 beschrieben und von Birukoff (10) und mir näher untersucht worden <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Die Beschreibung meiner Versuche über die bewegungsrichtende Wirkung der Inductionsschläge wird bald erscheinen, doch halte ich für angemessen schon hier einen historischen Irrtum zu beseitigen, der sich infolge von B. Birukoff's Arbeit auch in die Lehrbücher eingeschlichen hat; so führt z. B. Lang (11, S. 66) in der neuen Auflage seines „Lehrbuchs der vergleichenden Anatomie der wirbellosen Tiere“ die hauptsächlichsten Resultate von Birukoff's Untersuchungen an, nämlich: „die *Paramecien* bewegen sich immer in jenen Theilen des Tropfens fort, wo die Stärke des circulirenden Stromes die geringste ist, und lagern sich an der Oberfläche der Elektrode so, dass sie die Theile derselben frei lassen, wo die Dichtigkeit des Stromes am grössten ist“. Die Billigkeit fordert es, darauf hinzuweisen, dass die Methodik dieser Versuche, sowie die Resultate derselben schon im Jahre 1889 von Verworn in einigen Zeilen vortrefflich dargelegt wurden. B. Birukoff kommt nur das Verdienst zu, die Form der Elektroden verschiedentlich abgeändert zu haben, was jedoch die Resultate, die auch in Verworn's Lehrbuche aufgenommen sind, nicht im geringsten beeinflusst hat. Verworn schrieb im Jahre 1889 Folgendes: „Eine eigenthümliche Erscheinung zeigt sich,

Die auf den ersten Blick sehr einfache Wirkung des Stroms entbehrt bis jetzt einer genaueren Erklärung, und sprechen die verschiedenen Autoren in Bezug auf diese Erscheinung verschiedene Ansichten aus. Um zu dieser oder jener Erklärung schreiten zu können, muss man zuerst versuchen diese complexen Erscheinungen in einfachere Elemente zu zerlegen, die der Beobachtung zugänglicher wären und die Analyse erleichtern könnten. K. Ludloff's (13) Versuche, auf Grund deren M. Verworn (1b) die Galvanotaxis bei den Paramaecien erklärte, bestätigten die Untersuchungen von R. Pearl (14) und H. Wallengren (15) über den Einfluss des constanten Stroms auf die Stellung und Bewegung der Cilien bei diesen Infusorien. Ein einzelner Inductionsschlag, dessen Einfluss sich auf die denkbar geringste Zeitdauer beschränkt, ermöglicht die Beobachtung des Effects einer momentanen Reizung unter den einfachsten Bedingungen.

Für die Aufgabe, die ich mir gestellt hatte, erschien der Inductionsschlag als die bequemste Erregungsform, weshalb ich demselben auch den Vorzug gegeben habe. Ueberdies zeigt unsere Uebersicht der Literatur, dass dessen Wirkung auf die einzelligen Organismen noch sehr wenig und ungenügend untersucht ist.

## II. Untersuchungsmethoden.

Die erste und wichtigste Thatsache, die bei der Einwirkung von Inductionsschlägen auf einen Tropfen mit Infusorien beobachtet wird, besteht darin, dass erstens alle Tierchen mit ihrem Vorderende sich plötzlich der Kathode zuwenden, d. h. mit ihrer Längsaxe sich in der Richtung des Stromes stellen, und zweitens der Kathode zuschwimmen. Dies geschieht infolge der Bewegung der Cilien in einer bestimmten Richtung.

„wenn man statt der parallelen Elektroden zwei Spitzenelektroden von der obenbeschriebenen Form anwendet. Dann wird der Tropfen nicht parallel durchströmt, sondern es entstehen die bekannten Stromkurven, welche die beiden spitzen Pole mit einander verbinden. Im Moment der Schliessung stellen sich jetzt alle Paramaecien mit ihrer Längsaxe in die Richtung der Stromkurven ein und schwimmen in den Bahnen derselben nach der Kathode hinüber, so dass die am äussersten Rande des Tropfens befindlichen Individuen eine nahezu halbkreisförmige Bahn zurücklegen. Es bietet sich im Augenblick der Schliessung ein Anblick dar ähnlich dem Bilde, welches man erhält, wenn man über einem Hufeisenmagneten Eisenfeilspähne auf ein Blatt Papier streut. Befinden sich die Elektroden spitzen nicht am äussersten Rande des Tropfens, sondern mehr nach der Mitte zu, so bemerkt man, nachdem alle Infusorien nach der Kathode hinübergewandert sind, dass dieselben nicht gleichmässig die Kathodenspitze umgeben, sondern dass ihre Hauptmasse hinter der Kathode sich angesammelt hat“ (1a, S. 30), d. h. dort, wo der Strom keine, oder eine nur sehr schwache Wirkung ausübt. Aus der citirten Stelle ist klar zu ersehen, dass Verworn's Worte „Es bildet sich... ein Anblick dar ähnlich dem Bilde, welches man erhält, wenn man über einem Hufeisenmagneten Eisenfeilspähne auf ein Blatt Papier streut... Stellen sich alle Paramaecien mit ihrer Längsaxe in die Richtung der Stromcurven und schwimmen in den Bahnen derselben nach der Kathode“ bei B. Birukoff folgendermaassen periphrasirt sind: „sie bewegen sich immer in jenen Teilen des Tropfens fort, wo die Stärke des circulirenden Stromes die geringste ist“.

Es sind auch schematische Abbildungen, die das Beschriebene vorzüglich veranschaulichen, beigelegt; diese Abbildungen sind auch in Verworn's Lehrbuche aufgenommen, dessen zwei erste Aufagen vor B. Birukoff's Arbeit erschienen waren. S. denselben Irrtum in W. Biederman's Schrift über die Galvanotaxis in „Ergebnisse der Physiologie“ (12, S. 182).

Es wirft sich nun die Frage auf, in welcher Richtung die Wimpern unter diesen Umständen thätig sind. Die äusserst grosse Geschwindigkeit, mit welcher die Wimpern sich bewegen, die jähe Ortsveränderung der Infusorien gestatten nicht, die Paramaecien in einem gewöhnlichen Heuaufguss zu beobachten. Um das Spiel des Wimperapparats studiren zu können, bedienen sich die Zoologen zu diesem Zwecke schon längst des Kirschgummi von verschiedener Consistenz, mit dem man die von der Kultur genommenen Paramaecien in einem Uhrglase vermischt. Stahl (16) schlug zu demselben Zwecke Gelatine vor, deren sich Jensen (17) zu seinen Beobachtungen bediente, und nach ihm Ludloff (13, S. 537) u. and. bei der Untersuchung der Thätigkeit des Wimperapparats der Infusorien unter dem Einflusse des constanten Stromes benutzten; gewöhnlich entstand eine erstarrende Gelatinelösung (0,8—1,0%), in welcher die Thätigkeit der Cilien der unbeweglich gewordenen Infusorien studirt wurde. Trotz ihrer Zweckmässigkeit besitzt diese Methode dennoch einige Mängel, die mich bewogen haben dieselbe etwas abzuändern.

Das Wesentliche meiner Methode besteht darin, dass die Kultur der Infusorien in *schleimigen* und *colloidalen Medien* aus Semini Psylli, Semini cidoniorum, Algae carragehen, Gummi-Tragantae, Agar-Agar, Gelatine, Kirschgummi u. dergl. vorgenommen wurde<sup>1)</sup>. Die Bewegungen der in diesen Medien lebenden Infusorien sind so verlangsamt, dass diese Methode es möglich macht die Wimpern in einem unmittelbar der Kultur entnommenen Tropfen, ohne vorhergegangene Vermischung in einem Uhrglase, unter starker Vergrösserung (Ocul. 4 und Object. D oder FF Zeiss) gut und ruhig zu beobachten. Bedeutendere Verlangsamung des Rythmus der Wimpern wird dadurch erreicht, dass man einige Tropfen einer solchen Kultur in einem Uhrglase oder auf dem Objectträger etwas trocknen lässt; umgekehrt kann durch den Zusatz von 1—2 Tropfen Wasser Beschleunigung der Wimperschläge hervorgerufen werden. Ausserdem können in kurzen Probirgläschen Kulturen von verschiedenartigster Consistenz, von sehr flüssiger an bis zu überaus steifer, in welcher die Infusorien sich mühsam bewegen, bereitet werden.

Sämmtliche nächstfolgende Beobachtungen wurden an *Kulturen in schleimig-colloidalen Medien* vorgenommen und die erhaltenen Resultate durch vergleichende Beobachtungen an Infusorien aus einem gewöhnlichen Heuaufguss controlirt.

Der Tropfen mit den Infusorien wurde auf dem Objectträger zwischen unpolarisirebare oder Platinelektroden gebracht.

Die unpolarisirebaren Elektroden wandte ich in verschiedenen Modificationen. Man legte dieselben an Leisten aus porösem weissem Kaolin der sehr zweckmässigen Verwor'n'schen Kammer. Die Leisten waren 1,2 mm. hoch, der Abstand derselben betrug 10 mm.; zwischen ihnen bildete der Tropfen

---

<sup>1)</sup> Näheres über die Anwendung *schleimig-colloidalen Medien*, als einer neuen Methode für das Studium der Morphologie und der Biologie der Infusorien, habe ich in einer Sitzung der Zoologischen Abteilung der Ges. von Freunden d. Naturw., Anthropol., Geogr. u. Ethnogr. in Moskau, am 14 November 1902. mitgeteilt. Diese Mitteilung wird nächstens gedruckt erscheinen.

mit den Infusorien ein dünnes Brückchen; die Kammer konnte mit einem Deckgläschen, dessen untere Fläche den Tropfen nicht berührte, bedeckt werden.

Die Beobachtung in einer solchen Kammer konnte nur mittels der Systeme AA und BB Zeiss vorgenommen werden; deshalb benutzte ich zu meinen Versuchen bei starker Vergrößerung—Objectiv D—folgende Elektroden: über den plastischen Thon der Elektroden wurde ein 2—4-fach zusammengedrehter dicker oder dünner Strickbaumwollenfaden, der je nach Bedarf mit Wasser von dem Heuinfusum oder physiologischer Kochsalzlösung benetzt war, gehängt, und an demselben befestigt; das freie dünne Ende des Fadens war 2—2,5 ctm. lang. Der Faden darf nicht gar zu feucht sein, damit die Flüssigkeit von dem freien Ende nicht abtropfe <sup>1)</sup>. Die freien Enden solcher *Thonfadenelektroden* wurden einander parallel quer über den Objectträger gewöhnlich auf solche Art gelegt, dass der Abstand zwischen denselben 5 mm. betrug (Fig. 1). In manchen Fällen war derselbe bis 14 mm. Indem man die Länge der freien Enden abändert, kann man den Elektroden auf dem Objectträger die verschiedenartigsten Formen geben; zu den beschriebenen Versuchen benutzte ich aber ausschliesslich eine parallele Anordnung der Fäden. Ein Tropfen von mehr oder weniger dicker Consistenz aus einem schleimigen oder colloidalen Medium lässt sich leicht zwischen den Elektroden in einer schmalen dünnen Schicht ausbreiten und mit einem Deckgläschen von entsprechender Grösse bedecken. Die Ränder des Deckgläschens liegen auf den genau abgeschnittenen Enden der Fäden. Eine Anziehung des Tropfens seitens der Fäden nach dieser oder jener Richtung infolge von Capillarität wird bei Benutzung von Flüssigkeiten von grösserer Consistenz gewöhnlich nicht beobachtet; obiger Umstand ist eine lästige Erscheinung bei Versuchen mit sehr flüssigen Tropfen, welche letztere zu diesem Zwecke jedoch selten benutzt werden. Nichtsdestoweniger wird es durch Uebung möglich sich der Fadenelektroden auch bei Versuchen mit Tropfen von gewöhnlichem Heuaufguss zu bedienen; es ist zwar schwer, doch erreichbar. Im Allgemeinen müssen vor dem Experimentiren die freien Enden der Fäden auf dem Objectträger so angeordnet werden, dass auf diesem nur solche Abschnitte derselben zu liegen kommen, welche der Breite des Deckgläschens entsprechen, während der übrige Teil des Endes in verticaler Richtung in den mehrfach zusammengedrehten Teil des Fadens übergeht (Fig. 1). Sollten die Fäden zu viel Flüssigkeit enthalten und an den Enden sich ein Tropfen zeigen, so ist dieser mittels kleiner Streifen Filtrirpapier vorsichtig zu entfernen; wenn aber infolge der Differenz in dem Feuchtigkeitsgrade der beiden Fäden, der Tropfen von irgend einem der Elektroden angesogen wird, so muss mittels ähnlicher Streifen Filtrirpapier der Raum zwischen den Elektroden abgetrocknet, ein neuer Tropfen darauf gebracht und dieser mit einem Deckgläschen, je nach den Umständen, von specieller Länge und Breite bedeckt werden. Tropfen aus schleimigen und colloidalen Medien lagern sich sehr gut zwischen diesen Thonfadenelektroden; solch einem Tropfen ist es möglich die Gestalt eines sehr feinen Brückchens zu ge-

<sup>1)</sup> Schlingen von gut ausgewaschenem Baumwollenfaden benutzten bei der Untersuchung elektrischer Erscheinungen bei den Pflanzen A. Kunkel (18), T. Wiesemski (19) u. and.

ben, welches die Elektroden verbindet und keinen Meniscus bildet, so dass man es, nach Wunsch, mit einem Deckglase auch nicht zu bedecken braucht. Solche Elektroden sind in den Fällen sehr zweckmässig, wenn, wie bei den gegenwärtigen Versuchen, immer wieder frische Tropfen nötig sind. Es ist sehr leicht den im Gebrauch gewesenen Tropfen mittels kleiner Streifen Fliesspapier zu entfernen und zwischen die Enden der Fäden einen neuen zu bringen. Thonfadenelektroden setzen dem Strom mehr Widerstand entgegen als die Thonflächen, deren K. Ludloff (13, S. 537—538) sich bei seinen Versuchen bediente, lassen sich aber leichter handhaben. K. Ludloff's Elektroden sind für den öfteren Wechsel des Tropfens wenig geeignet; da der Zwischenraum zwischen denselben leicht durch Thonpartikeln verunreinigt wird, so bedarf es sorgfältiger Reinigung des Objectträgers zwischen dem Thonflächen. Bei der Benutzung von Baumwollenfäden fällt diese Schwierigkeit fort; die Elektroden können zugleich mit den Fäden leicht beiseite geschoben und der Objectträger einzeln abgewischt werden.

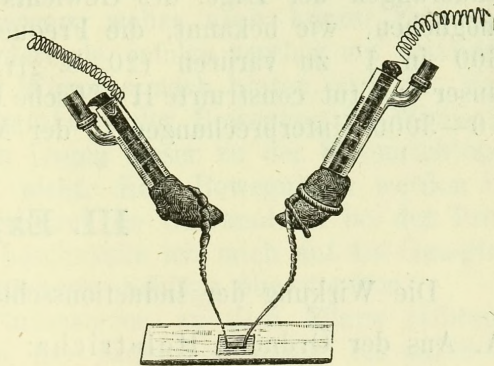


Fig. 1. Unpolarisirbare Thonfadenelektroden.

Sowohl die Thonfadenelektroden, als auch die schleimig-colloidalen Medien setzen den Inductionsschlägen einen bedeutenden Widerstand entgegen; deshalb eignen sich diese Elektroden nicht für alle Versuche; mittels derselben ist es immer nur möglich gewesen sehr gut die Veränderungen in der Thätigkeit der Wimpern unter der Einwirkung von Inductionsschlägen zu beobachten, deren Intensität sogar bei vollständigem Zusammenrücken der Rollen, die ich benutzte, zuweilen nicht genügte, um eine schärfer ausgeprägte Reaction mancher Protisten auf die Reizung hervorzurufen. Aus diesem Grunde bediente ich mich in einigen Fällen der *Platinelektroden*, welche mittels Canadabalsam an dem Objectträger befestigt wurden, und zwischen deren freien, parallelen, auf 5 mm. gegenseitig abstehenden Rändern, sich ein schleimiger oder colloidaler Tropfen als feines Brückchen lagerte, ohne dabei einen Meniscus zu bilden; die Breite der Elektroden betrug 8 mm.; der Tropfen konnte auch unbedeckt mittels des Systems D Zeiss beobachtet werden. Der Objectträger mit den Platinelektroden wurde durch eine lange Platte aus gepresstem Kork isolirt, damit die mit der Leitung verbundenen Enden der Elektroden das Objecttischchen nicht berührten. In der Mitte der Korkplatte war eine Oeffnung für die Lichtstrahlen ausgeschnitten. Die Platindrähte wurden mittels Kupferklemmen und Kupferdrähten mit der secundären Spirale des Du Bois-Reymond'schen Schlitteninductoriums verbunden. In den Kreis der secundären Rolle und der Elektroden wurde eine Poll'sche Wippe eingeschaltet. Die primäre Spirale war mit einem Accumulator von 2—4 Volt verbunden; die einzelnen Schliessungs- und Oeffnungsschläge führte man mit der Hand mittels des Quecksilberschlüssels oder des von Herrn Prof.

Morochowetz (20, S. 168) erdachten Schlüssels aus; eine Reihe von Unterbrechungen geschahen mit Hilfe des *Unterbrechers* von Heff; die Veränderungen der Lage, des Gewichts und des Winkels von dessen Pendel ermöglichen, wie bekannt, die Frequenz der Unterbrechungen leicht von 30—600 in 1' zu variiren (20, S. 211). Der von dem Mechaniker Gromoff für unser Institut construirte Heff'sche Unterbrecher liefert, meiner Prüfung nach, 10—3000 Unterbrechungen in der Minute.

### III. Experimente.

Die Wirkung der Inductionsschläge wurde an folgenden Ciliata <sup>1)</sup> studirt:

- |  |  |
|--|--|
| <p>A. Aus der Ordnung Holotricha:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Paramecium caudatum</i> Ehrbg.</li> <li>2. <i>Paramecium bursaria</i> Ehrbg.</li> <li>3. <i>Lacrymaria olor</i> O. F. M.</li> <li>4. <i>Colpidium colpoda</i> Ehrbg.</li> <li>5. <i>Colpoda cuculus</i> O. F. M.</li> <li>6. <i>Chilodon cucullulus</i> O. F. M.</li> <li>7. <i>Opalina ranarum</i> Ehrbg.</li> <li>8. <i>Holophrya</i> Ehrbg.</li> </ol> | <p>B. Aus der Ordnung Hypotricha:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Stylonychia mytilus</i> Ehrbg.</li> <li>2. <i>Oxytricha platystoma</i> Ehrbg.</li> <li>3. <i>Uronychia transfusa</i> Müll.</li> <li>4. <i>Euplotes charon</i> Müll.</li> <li>5. <i>Holosticha flava</i> Cohn.</li> </ol> <p>C. Aus der Ordnung Heterotricha:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Halteria grandinella</i> O. F. M.</li> <li>2. <i>Balantidium entozoon</i> Ehrbg.</li> <li>3. <i>Nyctoterus cordiformis</i> Stein.</li> <li>4. <i>Stentor polymorphus</i> Müll.</li> </ol> |
|--|--|

#### Paramecium caudatum.

Die langsamen, aber normalen Bewegungen der Infusorien in schleimigen und colloidalen Medien gestatten es wahrzunehmen, dass bei der Reizung durch eine Reihenfolge von Inductionsschlägen die Wimpern schneller und energischer nach dem Hinterende des Körpers zu arbeiten anfangen, infolgedessen die Infusorien mit dem Vorderende sich nach der Kathode hin bewegen. Der Abstand der Spiralen wird experimentell derartig bestimmt, dass die Oeffnungsschläge eben erst anfangen auf die Parameecien eine Wirkung auszuüben und sie gegen die Kathode zu richten. Der Schwellenwert beträgt 17—16 ctm. Rollenabstand für Platinelektroden und 9—7 ctm. für Thonfadenelektroden (4 Volt).

Die Richtung gegen die Kathode hin findet jedoch nur in Medien von ziemlich flüssiger Consistenz statt, in denen die untersuchten Infusorien ziemlich rasch dem Blicke entswinden, so dass es unmöglich ist, den Charakter der Bewegung ihrer Wimpern weiter zu beobachten; im Moment der

<sup>1)</sup> Einige Infusorien wurden von Herrn W. Zy k o f f, Privat-Doc. für Zoologie und Spezialisten in der Biologie der Protisten, bestimmt, und halte ich es für eine angenehme Pflicht ihm hier meinen besten Dank auszusprechen.

Schliessung des Stromes befinden sich verschiedene Exemplare gewöhnlich in verschiedenen Lagen gegen die Richtung der einwirkenden Schläge. Nicht alle Paramaecien schwimmen sogleich der Kathode zu; sie fangen an, sich überhaupt nach allen Richtungen hin zu bewegen, wobei nach kurzer Zeit die grösste Anzahl derselben mit ihrem Vorderende, infolge rascher auf einander folgender und energischerer Schläge der Wimpern nach hinten, sich der Kathode zuwendet. Die Beschreibung des Charakters der Bewegung der Wimpern bei den Infusorien in den verschiedenen Lagen dieser zu der Stromrichtung entspricht dem Zwecke unserer Arbeit nicht; diese Bewegungen werden in einer andern von meinen Arbeiten, die sich auf die Galvanotaxis bei den Protisten bezieht, beschrieben werden. Hier beschränke ich mich auf das Gesagte, um zu der Beschreibung des Einflusses stärkerer Schläge überzugehen.

Wenn man die Intensität der die Paramaecien zu dem Minus richtenden Oeffnungsschläge steigert indem man die Rollen einander bis auf 8—5 ctm. (16—15 ctm. für die Platinelektroden) nähert, so findet am Hinter- oder Anodenende des Körpers der Paramaecien Verkürzung und Verdickung statt; die Körperform der ganzen Infusorie wird aus einer langgezogenen eine ovale, und am Anodenende erscheint der von Verworn beschriebene Zipfel.

Bei weiterer Verminderung des Rollenabstands (15,5—14 ctm. für Platinelektroden) tritt in der Körperform des Tieres eine scharfe Veränderung und momentane Entleerung von Trichocysten nach verschiedenen Richtungen hin ein; es erscheinen Aussackungen, hyaline Blasen, das Ektoplasma zerplatzt, und das Endoplasma zerfliesst.

Somit rufen Steigerung der Intensität und der Frequenz der Inductionsschläge nach einander folgende Erscheinungen hervor:

1. Erregung des Wimperapparats der Infusorien;
2. Zusammenziehung des Körpers und, infolgedessen, Veränderung der Form desselben;
3. Entleerung der Trichocysten an der ganzen Körperoberfläche, endlich
4. Zerstörung des Protoplasma.

## 1. Veränderungen in der Thätigkeit des Wimperapparats.

Alle Erscheinungen, die wir nach und nach bei der Zunahme der Stromintensität beobachtet haben, können bei der Reizung der Infusorien durch einzelne Inductionsschläge von verschiedener Intensität und Richtung in einfachere zerlegt werden.

Die Consistenz des Mediums war eine etwas dichtere, als in den vorhergehenden Versuchen, die Bewegungen der Infusorien sehr verlangsamte, doch ganz normal, und die Bewegung der Wimpern deutlich zu sehen. Die Stärke des Schlages wurde so regulirt, dass nur der Oeffnungsschlag zu wirken begann, d. h. der Abstand der Rollen wurde nach und nach verringert; dieselben wurden einander so lange genähert, bis eine kaum wahrnehmbare Wirkung des Oeffnungsschlages erfolgte. Meinen Beobachtungen nach, wird ein

solcher Schlag bei einem Rollenabstand von 17,5—15 ctm. <sup>4)</sup> in Abhängigkeit von der Consistenz des Mediums und der Grösse des Tropfens erhalten. Der zwischen den Elektroden zu einer dünnen Schicht ausgebreitete Tropfen wurde mittels des Oculars 4 und des Objectivs D Zeiss beobachtet. Unmittelbar vor der Reizung wurde eine sich frei in der Richtung eines parallelen oder senkrechten Stromes bewegende Paramaecie mittels des Objectivs AA gemessen; die weiteren Beobachtungen erfolgten mittels des Objectivs D.

Zahlreiche Beobachtungen über den Einfluss einzelner Inductionsschläge auf die Bewegungen des Wimperapparats ermöglichten folgende Thatsachen festzustellen.

a. Wird eine frei, aber sehr langsam vorwärts schwimmende Infusorie durch einen einzigen Schlag so gereizt, dass deren Plus sich am Hinterende befindet, so ist sogleich nach der Schliessung eine scharfe Bewegung aller Wimpern nach vorn und ein plötzlicher Ruck oder eine rasche Bewegung des Infusoriums nach rückwärts wahrzunehmen, während alle Wimpern nach dem Vorderpol des Körpers hin arbeiten; in flüssigeren Medien entschwindet das Tier nach vorhergegangenen Rückwärtsschnellen sofort dem Blick. Diese Welle eines momentanen Schlages der Wimpern von hinten nach vorn läuft rasch über die ganze Oberfläche des Körpers zu gleicher Zeit sowohl in der Anoden- als auch in der Kathodenhälfte, erscheint aber zuweilen in der ersteren deutlicher ausgedrückt. In den Schlüssen muss man sehr vorsichtig sein, da das Auge nicht immer die Wimpern des Vorder- und des Hinterendes der Infusorien zugleich beobachten und dieselben ganz deutlich sehen kann.

Die Veränderungen im Rythmus oder in der Richtung, in welcher sich die Wimpern bewegen, sind gut zu sehen; es ist aber schwer zu bestimmen, welche davon energischer schlagen; unter dem Object. D nimmt die Paramaecie fast die Hälfte des Diameters des Gesichtsfeldes ein. In dickflüssigen Medien kann man ganz deutlich sehen, dass die Veränderung in der Arbeit der Wimpern von hinten nach vorn bei einer Paramaecie, welche früher unter dem Einflusse des aufsteigenden Inductionsschlages vorwärts geschwommen war, immer an dem anodischen Hinterende des Körpers beginnt. Hier ist es eben, wo die Wimpern momentan nach vorn schlagen, und die Welle dieser neuen Bewegungsrichtung sich sogleich von hinten nach vorn verbreitet; wodurch das plötzliche Zurückschnellen der Infusorie erfolgt. In Flüssigkeiten von weniger dicker Consistenz ist diese Abschnellung nach rückwärts noch schärfer ausgeprägt, und man sieht deutlich, dass sogleich nach dem Schlage alle Wimpern sich momentan nach vorn wenden und auf einen Augenblick dicht an den Körper legen.

In manchen Fällen, von denen weiter unten die Rede sein wird, ruft ein aufsteigender Schlag einen energischeren Schlag der Wimpern nach hinten und eine schärfer ausgedrückte plötzliche Bewegung nach vorn hervor.

b. Wenn das Plus des Oeffnungsschlages das Vorderende der Infusorie trifft, und diese sich in normaler Bewegung nach vorn befindet, so schlagen

<sup>4)</sup> Einfacherer Darlegung halber werde ich im Weiteren den Rollenabstand nur für Platinelektroden anführen.

sogleich nach der Reizung durch den Oeffnungsschlag alle Wimpern plötzlich nach vorn; infolgedessen das Tier sogleich nach der Reizung leicht nach hinten schnell. Die Grösse dieser momentanen Rückwärtsbewegung hängt von der Stärke des Reizes und von der Consistenz des Tropfens ab. In sehr flüssigen Medien erfolgt ein sehr rascher Ruck nach hinten, und das Tier entschwindet dem Blicke nach mehr oder weniger langer Rückwärtsbewegung; in dickflüssigeren Lösungen beträgt diese Bewegung nur einen Teil der Körperlänge des Tieres. Nach diesem Rucke nach hinten folgt wieder ruhige Bewegung nach vorn. In Fällen von Reizung durch einen absteigenden Inductionsschlag öffnungs schlagen momentan alle Wimpern von hinten nach vorn und legen sich dicht an den Körper; in dichteren Medien gelingt es zu beobachten, dass der Anfang dieser neuen Bewegung der Wimpern an dem vordern Anodenende beginnt, von wo die Contractionswelle sich schnell nach hinten verbreitet, wobei der Schlag der Anodenwimpern schärfer ausgedrückt ist und energischer von statten geht. Die Körperform bleibt, wie auch in den früheren Versuchen, unverändert.

c. Zuweilen bleibt auch bei aufsteigender und absteigender Richtung des Stroms die Bewegung der Wimpern nach dem Vorderpol des Körpers hin, namentlich bei Paramaecien, die sich in ziemlich consistenter Lösung befinden, eine Zeit lang an dem Vorderende des Körpers, auch nach Aufhebung der Reizung, und die Paramaecie bewegt sich einige Zeit nach rückwärts; es ist, als wenn hier eine Nachwirkung der Reizung vorhanden wäre, resp. die Reizung eine Reihe von Schlägen der Wimpern nach der entgegengesetzten Seite hervorgerufen hätte. Wenn man jetzt vermittelt einer P o l l'schen Wippe einen Schlag derartig aussendet, dass das Plus an dem Hinterende des Körpers sich befinde, so schlagen augenblicklich alle Wimpern nach vorn, legen sich an den Körper, und die Paramaecie schwimmt energisch rückwärts; diese energischeren Schläge der Wimpern nach vorn bei jedem neuen aufsteigenden Oeffnungsschlage werden nach dem 3-ten—4-ten Schlage plötzlich durch die Bewegung der Wimpern nach hinten ersetzt, und die Paramaecie schwimmt dann schnell nach vorn.

Wenn eine normal vorwärts schwimmende Paramaecie alle 2 Secunden durch einzelne Inductionsschläge gereizt wird, so folgt auf jede Reizung ein Schlag der Wimpern nach vorn und ein Ruck der Infusorie nach hinten, und dann aufs neue Bewegung nach vorn; nach dem 3-ten oder 4-ten Schlage aber arbeiten die Wimpern schon längere Zeit nach vorn, und die Paramaecie bewegt sich nach rückwärts.

Ein einzelner Oeffnungsschlag, sowohl ein aufsteigender als auch ein absteigender, bewirkt einen Schlag der Wimpern nach vorn oder verstärkt denselben, welches die Bewegung des Tieres, nach vorwärts oder rückwärts, auch gewesen sei; als Folge dieses Schlages entsteht ein unbedeutender Ruck der Infusorie nach hinten, welcher nur einen Moment dauert, wonach die Bewegung der Paramaecie und die Schnelligkeit der Ortsveränderung ihren früheren Charakter annehmen. Diese Rückwärtsbewegung unter der Einwirkung eines einzelnen Inductionsschlages hatte auch E. R o e s l e (8) bemerkt; da er aber die Infusorien im Wasser beobachtete, so konnte er den Charakter

der Veränderung in der Thätigkeit der Wimpern, welcher oben beschrieben wurde, nicht wahrnehmen.

d. In manchen Fällen sind die Reizschwellen für den aufsteigenden und den absteigenden Schlag verschieden. Diese Thatsache wurde in ganz letzter Zeit als eine gesetzmässige Erscheinung von E. Roesle beschrieben, obgleich mir dieselbe auf Grund eigener Beobachtung vor der Veröffentlichung von E. Roesle's Arbeit (8, S. 146) bekannt war. Hier kann ich nur dessen Satz bestätigen, dass die Reaction der Paramaecien auf einen einzelnen Inductionsöffnungsschlag, die sich durch eine deutlich wahrnehmbare Rückwärtsbewegung kundgibt, bei dem absteigenden Schläge früher, als bei dem aufsteigenden, eintritt; wobei ich aber hinzufügen muss, dass dies nicht bei allen Paramaecien beobachtet wird. Ausserdem ist die Reaction selbst, wie die aus Roesle's Arbeit citirte Stelle (S. 4) zeigt, von ihm anders beschrieben worden. Die Reizschwelle ist im ersten Falle höher, d. h. wenn die Anode auf den Vorderteil des Körpers einwirkt, so tritt die Reaction bei schwächeren Strömen, als bei der entgegengesetzten Richtung des Schläges ein; mit andern Worten, das Vorderende des Körpers erscheint erregbarer. Doch ist der Schwellenwertunterschied gewöhnlich nicht so bedeutend, wie in E. Roesle's Protocoll angegeben ist; in seinen Versuchen war der Rollenabstand = 1 ctm., wogegen in den meinen es zuweilen genügte die Rollen um 1—2—3 mm. zusammenzurücken, damit bei einer und derselben langsam schwimmenden Paramaecie der aufsteigende Schlag eine Reaction hervorrufe; die Reizschwelle für den absteigenden Schlag begann, wie schon gesagt, bei 17—16 ctm. Abstand der Spiralen.

Die Gesetzmässigkeit dieser Erscheinung wage ich auf Grund meiner Versuche nicht zu behaupten, da diese Thatsache nicht in allen Fällen, ohne Ausnahme, beobachtet wird.

Als Beispiel will ich folgenden Versuch aus den Protocollen anführen:

Tropfen Gummi-*Tragacanth* ziemlich dichter Consistenz; der 3-te Tag; die Bewegungen der Paramaecien sind sehr verlangsamt, aber frei; der Körper ist normal gestreckt; das allgemeine Aussehen und die Thätigkeit der Wimpern normal. Unpolisirbare Thonfadenelektroden, der Abstand der Spiralen = 8 ctm. 2 Paramaecien schwimmen einander entgegen. In der Lage Fig. 2 *a—b* pressen sich nach einem Inductionsöffnungsschläge alle Wimpern bei beiden Infusorien in der Richtung nach dem Vorderende hin an den Körper; die Paramaecien schnellen in entgegengesetzten Richtungen ab. Danach folgt das normale Spiel der Wimpern. Keine anderen Erscheinungen wurden dabei bemerkt.

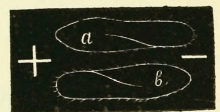


Fig. 2, *a—b*. Zwei in entgegengesetzten Richtungen schwimmende Paramaecien; erstes Stadium der Reaction — Schlag der Wimpern nach vorn.

e. Versuche mit einer und derselben Infusorie zeigen, dass bei der Querlage derselben (Fig. 8c), d. h. wenn die Längsaxe des Körpers senkrecht zu der Stromrichtung ist, zuweilen, aber wieder nicht immer, keine Veränderung in der Arbeit der Wimpern bei demselben Schläge bemerkt wird, welcher bei einer in der Richtung des Schläges oder ihm entgegen schwimmenden Infusorie eine Reaction hervorruft; auch bei der Lage des Tieres unter irgend einem Winkel zu der Richtung des Schläges wird kein merklicher Effect bei der gegebenen Stärke des Schläges beobachtet. — Für diese Lagen trat

die Reaction bei einem stärkeren Schläge ein; die Rollen mussten wieder um einige mm. zusammengerückt werden. Ein plötzlicher Schlag aller Wimpern nach vorn und, infolgedessen, ein leichter Ruck der Infusorie nach hinten konnten bei einer zu oder von dem Beobachter schwimmenden Paramaecie hervorgerufen werden; dasselbe wiederholte sich bei der Aenderung der Richtung des Schläges. Ich habe nicht bemerken können, wie das E. Roesle behauptet, dass die Reaction früher eintritt, wenn die Paramaecie mit dem Peristom der Anode zugewandt ist. Ein Schlag von einer und derselben Stärke rief immer eine Reaction von Rückwärtsbewegung hervor, gleichviel ob das Peristom von der Anode oder von der Kathode berührt wurde. Bei der Bewegung der Paramaecie unter einem Winkel zu der Stromrichtung trat die Reaction stets etwas früher in den Fällen ein, wenn das Vorderende derselben der Anode zugewandt war. Die Lage des Peristoms spielte in diesen Fällen keine Rolle; wichtig war nur der Umstand, dass, wenn die Anode selbst, das Hinterende des Körpers berührte, wie auf Fig. 2b zu sehen ist, die Reaction schwächer ausgedrückt war als in der auf Fig. 2a dargestellten Lage, wenn der Schlag der Wimpern energischer war; d. h. in einigen Fällen war das Vorderende erregbarer bei der Reizung durch einen einzelnen Inductionsschlag auch bei einer schrägen Lage der Paramaecie.

*Somit erregt ein einzelner Inductionsöffnungsschlag bei einem gewissen Minimum der Reizung nur den Wimperapparat der Paramaecien; die Reaction tritt immer zuerst in der Gegend der Anode ein, wo die Wimpern in der Richtung zum Vorderende hin schlagen; wonach momentan auch die übrigen Wimpern wellenförmig über den übrigen Teil des Körpers nach vorn schlagen, was eine Rückwärtsbewegung der Infusorien bedingt. Der Charakter der Auslösung dieser ersten Reaction für eine gegebene Reizschwelle bleibt für die verschiedenen Richtungen des Schläges, resp. die verschiedenen Lagen der Längsaxe des Körpers gegen die Richtung des Schläges, unverändert.*

## 2. Contraction des Ektoplasma.

Folgende Resultate werden in einem schleimigen oder colloidalen Medium an Paramaecien erhalten, welche die Reaction der Veränderung der Bewegung auf einzelne Inductionsschläge bei 17—16 ctm. Abstand der secundären Spirale von der primären geben. Die Anordnung der Versuche und die Bedingungen, unter denen sie angestellt wurden, sind dieselben wie bei der Untersuchung der Reaction der Wimpern. Hier wird eine etwas bedeutendere Stärke des Schläges angewandt: zwischen 16,50—15,50—15,25 ctm. Rollenabstand. Bei einer solchen, etwas gesteigerten Intensität des Schwellenreizes beobachtet man folgende Erscheinungen:

a. Man wählt ein Individuum, welches mit dem Schläge parallel und in derselben Richtung schwimmt; d. h. die Wippe wird so eingestellt, dass die Anode dem Hinterende, die Kathode dem Vorderende zugewandt sei (Fig. 3a); folglich ist die Richtung des Stromes eine von dem Hinter- zum Vorderende aufsteigende. Auf die Längsdurchströmung mit dem Oeffnungsschläge folgt sogleich

eine ganz deutlich bemerkbare Zusammenziehung des Hinterendes des Ektoplasma. Sie giebt sich durch eine ganz unbedeutende Gestaltveränderung desselben kund, indem die stumpf-kegelförmige Form zu einer kugeligen wird, nach einige Augenblicken, die auf die Reizung folgen, aber wieder die frühere annimmt. Man darf nicht vergessen, dass diese Erscheinung von der obenbeschriebenen unbedeutenden Rückwärtsbewegung oder, so zu sagen, von einem plötzlichen Stillstand begleitet ist, auf welchen wieder eine Bewegung nach vorn folgt.

Wenn man den Rollenabstand auf einige mm (bis 15,75) vermindert, so wird die Zusammenziehung an der Anode, d. h. die Veränderung der Form, noch bemerkbarer, während an der Kathode in diesem Augenblick noch keine Veränderung wahrzunehmen ist.

Besonders deutlich ist die Anodencontraction bei der Reizung mit dem Oeffnungsschlage an Paramaecien zu bemerken, deren Einschliessungen und Nahrungsvacuolen mit Neutralrot gefärbt sind. Die meisten dieser gefärbten Theilchen befinden sich, wie bekannt, in der hinteren Hälfte des Körpers und viele in dem Hinterende desselben. (Provažek, 21). Bei der Reizung eines Protisten in der beschriebenen Lage, d. h. wenn die Anode das Hinterende desselben trifft, durch einen Inductionsöffnungsschlag (bis 15,75 Rollenabstand) werden diese Einschliessungen oder gefärbten Vacuolen augenblicklich nach dem Vorderende des Tieres hin gestossen, bewegen sich aber infolge der Formveränderung des anodischen Hinterpols der Paramaecie nur auf eine kleine Strecke vorwärts. Somit wird bei einer gewissen Stärke des aufsteigenden Inductionsöffnungsschlages Contraction der ektoplastischen Schicht beobachtet, infolgedessen am anodischen Hinterende eine unbedeutende Formveränderung der Infusorie, sowie Vorwärtsbewegung des Entoplasma stattfindet. Diese Erscheinung wiederholt sich stets und giebt niemals zu irgend welchen Zweifeln Veranlassung.

b. Wir suchen jetzt eine neue Paramaecie auf, deren Längsaxe sich wieder in der Stromrichtung befindet, die Anode aber auf das Vorderende des Protisten kommt, d. h. der Schlag eine absteigende Richtung, dem Hinterende des Körpers zu, hat (Fig. 3e); die Paramaecie schwimmt der Anode entgegen. Sogleich nach dem Oeffnungsschlage erfolgt Zusammenziehung am Vorderende ( $\alpha$ ) also wieder dort, wo die Anode ist. Dass eine Zusammenziehung statt hat, kann aus zwei Erscheinungen geschlossen werden: aus der Formveränderung des Vorderteils, dessen langgezogenes Ende sich abstumpft, und aus der Rückwärtsbewegung des Entoplasma, was besonders deutlich bei mit Neutralrot vital gefärbten Paramaecien hervortritt.

c. Bei diesem Versuch wird folgender interessanter und wichtiger Umstand beobachtet. Die Zusammenziehung des Vorderendes ist bei übrigens gleichen Bedingungen deutlicher als diejenige des Hinterendes ausgeprägt, und geht die Reaction der Wimpern, deren Schlag nach vorn, energischer von statten, oder, mit andern Worten, wenn die Anode des Oeffnungsschlages am Hinterende nur eine kaum wahrnehmbare Formveränderung bewirkt, ruft derselbe Schlag, bei dem gleichen Rollenabstand, aber bei der Inversion des Stromes einen energischen Schlag der Wimpern nach vorn und eine deutliche

Contraction an dem neuen anodischen Vorderende, hervor. Um in diesem Falle eine kaum merkliche Zusammenziehung, resp. Gestaltveränderung, des Vorderendes des Körpers zu bewirken, muss man die secundäre Spirale von der primären etwas fortrücken; wenn z. B. am vordern Pol des Körpers bei absteigender Richtung des Schläges die Reaction der Contraction bei 16 ctm. Rollenabstand begann, so ruft dieselbe Stärke des aufsteigenden Schläges nicht einmal Erscheinungen von Gestaltveränderung am Hinterende hervor; ein merklicher Effect beginnt in diesem Falle erst bei der Verminderung des Rollenabstands um 2—3 mm. Wird jetzt der Versuch an einem und demselben Individuum fortgesetzt, so kann Folgendes wahrgenommen werden: die Stärke des aufsteigenden Oeffnungsschläges, welche am Hinterende kaum merkliche Zusammenziehung hervorgerufen hatte, bedingt bei absteigender Richtung des Schläges deutliche Gestaltveränderung des Vorderendes. Nicht selten kann man in einem an Paramaecien reichen Tropfen solche 2 Exemplare beobachten, die dem Schläge parallel, doch in entgegengesetzten Richtungen schwimmen; wenn man einen Oeffnungsschlag bei 16 ctm. Abstand giebt, und die Paramaecien, einander entgegenkommend, sich begegnen und dann auseinander gehen, so kann man darin die Bestätigung des soeben Gesagten sehen. Bei der Paramaecie, die sich dem Strom entgegen, d. h. bei absteigendem Schläge bewegt, wird eine sehr unbedeutende Gestaltveränderung des Vorderendes beobachtet; während bei der zweiten, die in der Stromrichtung, d. h. bei aufsteigendem Schläge, schwimmt, noch keine merkliche Reaction in Bezug auf die Zusammenziehung wahrgenommen werden kann.

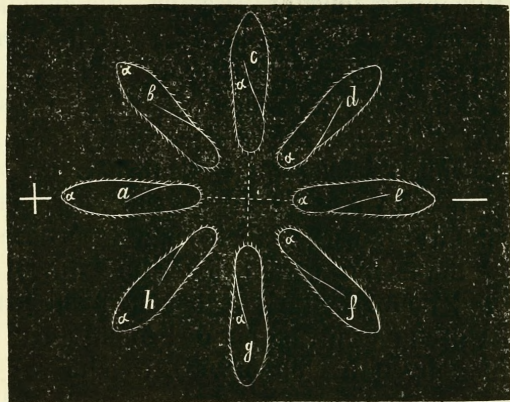


Fig. 3, a—h. Schematische Abbildung des zweiten Stadiums der Reaction der Paramaecien—Contraction des Ektoplasma an der Anode—in verschiedenen Lagen; die Stellen der Contraction—α—sind punktirt.

Die Wirkung eines einzelnen Inductionsschläges thut sich, wie schon beschrieben wurde, auch in der Rückwärtsbewegung kund; die einander entgegenschwimmenden Paramaecien gehen auseinander, kommen aber nach der Unterbrechung der Reizung aufs neue so zusammen, dass ihre Längsaxen parallel und ihre Bewegungen entgegengesetzt sind; es ist mir geglückt einige solche Fälle zu beobachten, wo ich bei denselben zwei Exemplaren den Einfluss der Inversion des Stromes, d. h. wenn der Schlag demjenigen der soeben beschriebenen Versuche gerade entgegengesetzt war, beobachten konnte. In diesem Falle kam die Anode des Oeffnungsschläges auf das Hinterende der ersten und das Vorderende der zweiten Infusorie,—die erste gab gar keine Reaction von Zusammenziehung, das Vorderende der zweiten dagegen veränderte seine Form. Solche Lagen sind jedoch bei den Infusorien höchst selten anzutreffen; man muss sie mit Geduld aufsuchen. Oefter studirte ich den Einfluss der Inversion an Infusorien, die schon auseinander gegangen waren, und zwar an derjenigen von

ihnen, welche in der früheren Richtung zu schwimmen fortfuhr und auf den aufsteigenden Schlag keine Reaction gegeben hatte. Jetzt findet bei dem absteigenden Oeffnungsschlage Zusammenziehung des Vorderendes d. h. dort, wo sich die Anode befindet, statt. Es genügt aber die Reizung sehr wenig zu verstärken, damit die Zusammenziehung sich stets sowohl am Vorder- als am Hinterende, wo sich die Anode befindet, bemerkbar mache.

Folglich constatirt man auf Grund der beschriebenen Erscheinungen, dass das Vorderende der Paramaecien die Fähigkeit besitzt sich bei einem weniger starken Schlage zusammenzuziehen, als das Hinterende; da, um eine derartige Reaction an diesem Ende zu erhalten, ein stärkerer aufsteigender Längsöffnungsschlag angewandt werden muss, als um ein solchen Effect am Vorderende bei dem absteigenden Oeffnungsschlage zu erhalten.

Aus den schon beschriebenen und vielen anderen Versuchen kann man den Schluss ziehen, dass die Richtung der Bewegung der Infusorien bei der Längsdurchströmung keinen Einfluss auf den Eintritt der Reaction der Zusammenziehung ausübt. Es ist gleichviel, wie sich der Protist bewegt, ob normal, mit dem Vorderende nach vorn, oder mit dem Hinterende nach rückwärts, in der Richtung des Schlages oder derselben entgegengesetzt, — *sowohl bei dem aufsteigenden als bei dem absteigenden Längsöffnungsschlage beginnt die Reaction der Zusammenziehung des Ektoplasma bei einer gewissen Stärke des Schlages immer an der Anode.*

d. Ein stärkerer aufsteigender Oeffnungsschlag (15,50—15,25 ctm. Rollenabstand) bewirkt auch eine stärkere Contraction des Hinterendes; das Gebiet derselben wird grösser und die Contraction selbst energischer; ein Schlag von derselben Stärke, aber in absteigender Richtung bewirkt eine momentane energische Contraction des anodischen Vorderendes, die schon von neuen Erscheinungen begleitet wird, welche wir weiter unten beschreiben. An manchen Exemplaren gelingt es, eine solche Stärke des Schlages zu wählen, welche bei aufsteigender Richtung eine bedeutende Zusammenziehung des Hinterendes und nur eine kaum merkliche Veränderung der Form des Vorderendes hervorruft. Oefter ist jedoch zu einer solchen Verbreitung der Reizung auf das kathodische Vorderende eine solche Intensität des Schlages notwendig, welche auf dem anodischen Hinterende schon complicirtere Erscheinungen hervorruft. Zu diesen Erscheinungen—der Verbreitung des Zusammenziehungs auch auf das Kathodenende,—werde ich später zurückkommen.

e. Ich gehe nun zu der Beschreibung der Reaction des Ektoplasma auf Inductionsschläge bei der Durchströmung der Infusorie in der Querlage oder unter einem spitzen Winkel über. Bei der Querdurchströmung einer Paramaecie mit dem Oeffnungsschlage, beobachtet man (bei ungefähr 15,50 ctm. Rollenabstand) Zusammenziehung des Körpers der Infusorie noch immer an der Anodenseite; diese Zusammenziehung thut sich durch eine leichte Formveränderung des Körpers an dessen Seitenfläche kund; ungefähr in der Mitte dieser nach aussen convexen Oberfläche zeigt sich entweder eine momentane unbedeutende Abplattung oder sogar eine leichte Einbuchtung (Fig. 3 c u. g—α), welche sich sogleich wieder ausgleicht; nach einige Augenblicken nimmt die zur Anode hin gelegene Seitenfläche ihr frühere, normale Gestalt an, und die In-

fusorie, die einen leichten Ruck nach rückwärts erhalten hatte, schwimmt wieder nach vorwärts, öfters schneller und in irgend einer andern Richtung, fort. Diese Contraction an der anodischen Seitenfläche bei der Querdurchströmung erfolgt beständig, unabhängig von der Richtung der Bewegung des Protisten in dem Tropfen, von dem Beobachter ab oder diesem zu, und von dem Charakter der Bewegung nach vorn oder nach hinten.

Wenn die Bewegungsrichtung der Infusorie mit der Stromrichtung irgend einen Winkel bildet, so macht sich die Reaction der Zusammenziehung, wie aus der Abbildung (Fig. 3 *b, d, f, h—α*) zu ersehen ist, verschiedenartig bei den verschiedenen Richtungen des Tieres hinsichtlich der Pole der Schläge kundbar. Im Interesse der Kürze meiner Darlegung will ich mich nur bei den Fällen aufhalten, wenn die Bewegungsrichtung des Protisten und die Richtung des Schlages einen Winkel von  $45^{\circ}$  bilden. Liegt das Vorderende (Fig. 3 *b* u. *h*) der Kathode näher, so erscheint sogleich nach der Einwirkung des Oeffnungsschlages eine leichte Abplattung oder unbedeutende Einbuchtung des Ektoplasma an der Anodenhälfte des Körpers, näher dem Hinterende desselben ( $\alpha$ ); bei der Inversion des Stromes, d. h. wenn das Vorderende mehr der Anode genähert ist, wird eine eben solche Zusammenziehung des Ektoplasma an der näher dem Vorderende gelegenen Seite beobachtet (Fig. 3 *d* u. *f*). Andere mögliche Lagen sind auf Fig. 5 dargestellt. Auf Fig. 5 *m, n, o, p* schwimmt die Infusorie vorwärts, und ihr Vorderende ist mehr der Anode genähert; bei der Einwirkung des Oeffnungsschlages macht sich die Formveränderung in der Vorderhälfte des Körpers, d. h. an der der Anode zunächst gelegenen Stelle bemerkbar; bei der Inversion dagegen beobachtet man dasselbe an der Hinterhälfte des Körpers, wo die Anode sich jetzt befindet (*i, k, l, q*).

Diese Erscheinungen von Einbuchtung oder, richtiger gesagt, Abplattung des Ektoplasma an den lateralen, postlateralen und antelateralen Teilen des Körpers der Tiere lassen sich gut bei den soeben beschriebenen Versuchen, beobachten, werden aber noch besser bei Infusorien, die mit Neutralrot vital gefärbt sind, constatirt; die Ortsveränderung der gefärbten Einschliessungen und Nahrungsvacuolen an bestimmten Stellen und in gewissen Richtungen zeugt von dem localen Druck des contrahirten Ektoplasma auf dieselben.

*Somit bewirkt ein Oeffnungsschlag bei einer queren oder schrägen Stromrichtung stets Contraction des Ektoplasma der Paramaecie an der Seite, die gegen die Anode gerichtet ist; wobei die Stelle der Contraction sich gegen das Vorder- oder Hinterende des Körpers hinschiebt, in Abhängigkeit davon, welches Ende der Anode des Oeffnungsschlages näher liegt.*

Die Richtung der Bewegung der Infusorien vor der Reizung, vorwärts oder rückwärts, übt auf die Erscheinung der Reaction des Zusammenziehung sowie auf deren Localisation keinen Einfluss aus.

Auf Grund aller in diesem Kapitel dargelegten Experimente darf man sagen, dass ein einzelner Inductionsöffnungsschlag, der eine gewisse Inten-

sität erreicht hat, den Eintritt einer zweiten Reaction—d. h. die locale Contraction des Ektoplasma der Paramaecien—bedingt; diese Contraction ist bei jeder Richtung eines Schlages von gewisser Intensität streng localisirt und zwar stets an der Anodenseite, an der der Anode zunächst liegenden Stelle des Ektoplasma, unabhängig von der Bewegungsrichtung der Infusorie nach vorn oder rückwärts. Der Grad der Contraction hängt unmittelbar von der Intensität des Reizes ab.

### 3. Entleerung des Inhalts der Trichocysten.

Eine weitere Verstärkung der Reizung, durch das Zusammenrücken der Rollen ruft wieder eine neue Erscheinung hervor, welche die Contraction des Anodenendes des Körpers begleitet. Der Effect der Einwirkung eines Schlages von dieser Intensität besteht in der Entleerung der Trichocysten. Diese Erscheinung wird bei einem Rollenabstand von circa 15,5–15,0 ctm. erhalten.

a. Wir legen die Wippe derartig, dass der Oeffnungsschlag die Paramaecie in absteigender Richtung, folglich wenn dieselbe mit ihrem Vorderende der Anode zuschwimmt, durchströme. Sogleich nach der Oeffnung des Stromes erfolgt augenblickliche energische Zusammenziehung des ganzen Vorderendes des Körpers und heftige Ausschnellung des Inhalts der Trichocysten, wobei die anmutige Figur eines aus äusserst feinen structurlosen geraden Nadeln bestehenden Wedels gebildet wird (Fig. 4 e). Die Paramaecie bekommt einen Ruck nach hinten, worauf aufs neue Vorwärtsbewegung erfolgt; das Vorderende hat seine frühere normale Gestalt noch nicht angenommen, doch in sehr kurzer Zeit erhält es unter den Augen seine anfängliche Form wieder.

b. Auf die Längsdurchströmung einer nach vorn schwimmenden Paramaecie in aufsteigenden Richtung, d. h. wenn die Anode auf das Hinterende kommt, folgt Contraction dieses Endes und Entleerung der Trichocysten (Fig. 4 a). Die Erscheinung tritt zuweilen erst bei etwas stärkeren Strömen, als es der absteigende Schlag ist, deutlich ein; gewöhnlich aber erfolgt die Entleerung der Trichocysten in dieser Körpergegend bei einer und derselben Stromstärke. Der Anfang der Reaction besteht in der Ausschnellung des Inhalts der Trichocysten in Gestalt eines Wedelchens; bei einem kräftigeren Schlage wird eine an einen Malerpinsel aus sehr feinen Nadelchen erinnernde Figur gebildet, und kann häufig zugleich auch Zusammenziehung des Vorderendes, aber ohne Entleerung der Trichocysten beobachtet werden; dasselbe wird nur etwas stumpfer. Folglich wird bei einer gewissen Verstärkung des aufsteigenden Inductionsöffnungsschlages energische Zusammenziehung an der Anode beobachtet, welche von Entleerung der Trichocysten und unbedeutender Zusammenziehung an der Kathode begleitet ist. Einige Augenblicke nach der Einwirkung des Schlages nimmt die Paramaecie ihre anfängliche Gestalt wieder an und schwimmt unbehindert umher. Das Aussehen derselben ist unverändert und die Thätigkeit der Wimpern eine normale.

Die Contraction des Hinterendes bei aufsteigender Längsdurchströmung ist von einer Bewegung und Extension aller Wimpern etwas nach vorn begleitet, worauf ein starker Schlag derselben nach hinten und schnelles Anpressen an die Oberfläche des Körpers folgt; dadurch erklärt es sich, dass die Infusorie auf einen Augenblick stehen bleibt und dann plötzlich vorwärts schnell.

c. Sehr interessant sind die Erscheinungen bei der Querdurchströmung oder schrägen Richtung des Schlages, d. h. wenn die Paramaecie senkrecht oder unter einem spitzen Winkel zu der Richtung des Schlages, schwimmt. Bei diesen Versuchen werden wunderhübsche Erscheinungen beobachtet. Dieselben treten beinahe bei derselben Intensität des Schlages ein, welche die Infusorien bei aufsteigendem Strom ein ganzes Bündel Nadeln aus den Trichocysten zu entleeren zwingen. Bei der Querdurchströmung einer senkrecht zum Strom befindlichen Paramaecie, beobachtet man an der anodischen Seitenfläche plötzliche Contraction (Fig. 4 c) und Auschnellung einer sehr kleinen Anzahl kurzer nadelförmiger Gebilde, deren Länge in diesem Falle nur  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$  der Körperbreite der Paramaecie beträgt; die Anordnung derselben ist eine sehr charakteristische, in Gestalt kurzer nach allen Seiten hin auseinandergehender Stäbchen, 10—20 an der Zahl. Zuweilen gelingt es nur, eine ganz geringe Anzahl, 5—8, parallel sich in einer Ebene befindlicher Nadeln zu erhalten, die aus der Aequatorialzone entleert sind. Wenn die Anode bei demselben Individuum sich an der andern Seite befindet, so wird auch dort bei vollkommen senkrechter Lage der Paramaecie eine anologe Entleerung von Trichocysten beobachtet. Die Bewegung der Infusorie nach vorn oder rückwärts, dem Beobachter entgegen oder von ihm fort, ändert weder an dem Eintritt der Erscheinung noch an dem Charakter der Entleerung der Trichocysten das Geringste; der Anfangsmoment der Erscheinung besteht immer *in der Entleerung der Trichocysten an der anodischen Seitenfläche, normal zu der Körperoberfläche.*

Bei der Verminderung des Rollenabstands um 2—3 mm., d. h. bei der Verstärkung der Reizung, wird zugleich mit der schon früher beschriebenen Abplattung der Seitenfläche auch noch eine Veränderung in der Entleerung der Trichocysten beobachtet. Die Paramaecie schwimmt genau in der Querrichtung; auf einen Inductionsöffnungsschlag von gewisser Stärke folgt merkliche Contraction der anodischen Seitenfläche; letztere wird concav, das Protoplasma wird gegen die andere Seite hin, deren Convexität zunimmt, fortgedrängt, und der Körper bekommt eine merklich halbmondförmige Gestalt; der Moment dieser Abstossung des Protoplasma gegen die kathodische Seitenfläche lässt sich leicht an mit Neutralrot gefärbten Paramaecien beobachten. Zu gleicher Zeit wird auch der Inhalt der Trichocysten entleert: es erfolgt jähe Ausstossung einer grossen Anzahl von Fäden an der ganzen anodischen Seitenfläche. Die herausgeschnellten Fäden bilden fast immer beinahe eine und dieselbe strahlenförmige Figur; die kathodische Seite der Basis derselben beschreibt stets eine nach der Anode hin etwas concave, folglich eine nach dem Körper der Infusorie zu convexe, von den Enden der entleerten Fäden bezeichnete Linie; die andern, freien Enden dieser Nadeln sind gegen die Anode hin

gerichtet; die Nadeln selbst sind von verschiedener Grösse: die Mitte der Figur (Fig. 4 g) wird aus kurzen, fast parallelen gebildet; nach der Peripherie hin verlängern sich dieselben jedoch allmähig und gehen immer weiter auseinander, so dass schliesslich eine strahlenförmige Figur mit nach aussen auseinandergelenden Strahlen entsteht. Die Nadeln werden nur aus der Hälfte der Meridionalzone herausgeschleudert und liegen fast alle in einer Ebene.

Wird jetzt das Plus eines invertirten Inductionsöffnungsschlages von gleicher Intensität gegen eine andere in derselben Richtung schwimmende Infusorie gerichtet, so macht sich an der Anodenseite wieder starke Contraction bemerkbar; das Tier nimmt eine halbmondförmige Gestalt an, die Concavität der Anode zugewandt — und zugleich erfolgt Ausschneidung des Inhalts der Trichocysten und zwar stets unter Bildung der soeben beschriebenen strahlenförmigen Figur. Der Stillstand des Tieres, die starke Formveränderung desselben, die Ausschneidung der Trichocysten und darauffolgende rasche Bewegung nach vorwärts, alles dies hängt nicht von dem Charakter der Bewegung der Paramecie — vorwärts oder rückwärts, dem Beobachter zu oder von ihm fort — noch von der Lage des Peristoms ab.

Der Process der Entleerung der Trichocysten kann an Paramecien in schleimigen und colloidalen Medien von verschiedener Consistenz beobachtet werden; am besten aber lässt sich diese Erscheinung in verhältnissmässig dünnflüssigen Medien, in denen die Bewegungen der Infusorien nur wenig verlangsamt sind, was eine notwendige Bedingung einer genaueren Beobachtung der Formveränderung der Körpers derselben ist, studiren. Dieser Formveränderung und Entleerung der Trichocysten geht ein plötzlicher Stillstand voraus, resp. begleitet dieselben, wonach eine jähe Bewegung nach vorwärts erfolgt, der der Blick in einem sehr dünnflüssigen Medium kaum, in gewöhnlichem Heuinfusum garnicht zu folgen im Stande ist. Bei einer solchen Intensität des Schlages findet stets Wiederherstellung der Form des Tieres statt, so dass nach sehr kurzer Zeit dieselbe sich in nichts von der normalen unterscheidet. Der Moment der Ausschneidung der Trichocysten aus dem Körper, den ein geübtes Auge zu-

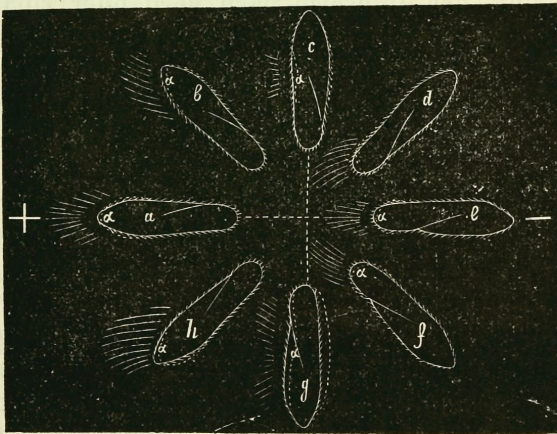


Fig. 4, a — h. Schematische Abbildung des dritten Stadiums der Reaction bei den Paramecien — Hinausschleudern homogener Nadeln aus den Trichocysten an dem Anodenseite in den verschiedenen Lagen; Veränderung der Körperform durch eine punktierte Linie bezeichnet.

weilen wahrnimmt, lässt sich am besten in schleimigen und colloidalen Medien von mittlerer Consistenz beobachten, wobei die von den ausgeschleuderten Nadeln gebildete Figur deutlicher erscheint. Sehr dickflüssige Medien, die für die Beobachtung der Wimpern geeigneter sind, eignen sich für diese Versuche nicht.

d. Ein noch grösseres Interesse bieten die Erscheinungen der Entleerung der Trichocysten bei einer schrägen Lage der Paramaecien zur Richtung des Inductionsöffnungsschlages. Es genügt, dass die Paramaecie sich ein wenig auf solche Weise wende, dass ihre Längsaxe mit der Schlagrichtung irgend einen Winkel bildet, damit die soeben beschriebene Figur durch andere Figuren ersetzt werde, die, wie besonders hervorzuheben ist, stets eine und dieselbe Gestalt haben. Diese zeichnet sich durch auffallende Beständigkeit aus, und es kann immer vorausgesagt werden, was für eine Figur die herausgeschnellten Fäden bei einer gegebenen Lage der Infusorie und einer gegebenen Intensität des Schlages bilden werden.

Bei einem Rollenabstand von 15,5—14,5 ctm. ruft der Inductionsöffnungsschlag folgende Erscheinungen hervor. Die Längsaxe der Paramaecie bildet mit der Stromrichtung einen Winkel von 45°; dabei müssen in der Lage der Infusorie in Bezug auf die Richtung des Schlages 4 Fälle unterschieden werden:

α) Die Infusorie schwimmt mit ihrem Vorderende nach oben und links <sup>1)</sup>; das Plus des Oeffnungsschlages befindet sich links, näher zur Vorderhälfte des Körpers (Fig. 4 f). Sogleich nach dem Oeffnungsschlage erfolgt merkliche Contraction an der anodischen Seite, in der Gegend der Vorderlateralseite, und plötzliche Ausschnellung der Nadeln aus den Trichocysten; dieselben werden nach der Anode hin, nach vorn und links in Bezug auf die vordere Körperhälfte ausgestossen; sie sind, einander fast parallel, mit ihrer Krümmung der Anode zugewandt (Fig. 4 f). Nach einem äusserst kurzen Stillstand, während dem die Entleerung der Trichocysten statt gefunden hat, nimmt die Paramaecie ihre normale Gestalt wieder an und schwimmt, die ausgeworfenen Fäden zurücklassend, rasch nach vorwärts.

Kommt bei derselben Richtung der Bewegung der Infusorie das Plus des Inductionsöffnungsschlages von rechts, d. h. näher zu der Hinterhälfte des Tieres, so löst sich die Wirkung desselben, wie in allen diesen Fällen (weshalb ich Kürze halber in den folgenden Fällen dessen nicht erwähnen werde) durch Contraction der hinterlateralen Gegend an der Anode und Entleerung der Trichocysten aus dieser Gegend aus; wobei eine aus parallelen, nach aussen und hinten gerichteten Nadeln gebildete Figur entsteht.

β) Die Paramaecie schwimmt mit ihrem Vorderende nach oben und rechts; das Plus des Oeffnungsschlages ist links, näher zu der hinterlateralen Gegend der Körperoberfläche. Der Inhalt der Trichocysten ist an der Anodenseite aus der hinterlateralen Körpergegend entleert, die Nadeln liegen einander parallel, nach der Anode hin etwas gekrümmt, und sind von der linken Körperseite nach aussen und hinten ausgestossen (Fig. 4 h).

Bei der Veränderung der Richtung des Schlages befindet sich das Plus rechts; die Stelle des Stromeintritts ist die vorderlaterale Fläche. Die Nadeln sind von hier aus an der anodischen Seite des Körpers, nach rechts und vorn hinsichtlich des Vorderendes der Infusorie entleert.

γ) Die Infusorie schwimmt, normal mit den Wimpern arbeitend, nach

<sup>1)</sup> Nach oben—von dem Beobachter fort, nach unten—dem Beobachter zu.

rechts und nach unten. Das Plus des Oeffnungsschlages befindet sich links, näher zu der hinterlateralen Gegend der Körperoberfläche. Sogleich nach dem Oeffnungsschlage erfolgt jähe Ausschnellung des Trichocysteninhalts an der anodischen Seite in der hinterlateralen Gegend, die Nadeln sind hinsichtlich der Hinterhälfte des Körpers nach aussen und hinten gerichtet (Fig. 4 *b*).

Die Richtung des Schlages ist verändert; die Richtung, in welcher die Infusorie sich bewegt, die frühere; folglich kommt jetzt das Plus des Schlages von rechts auf die vorderlaterale Fläche des Körpers. Der Inductionsöffnungsschlag bewirkt Entleerung der Trichocysten aus der anodischen Seite der vorderlateralen Fläche des Tieres. Die zur Anode etwas gekrümmten Fäden sind hinsichtlich der Vorderhälfte des Körpers nach aussen und nach vorn entleert.

δ) Der letzte Fall. Die Bewegungsrichtung der Infusorie ist von oben nach unten, von links nach rechts. Das Plus des Oeffnungsschlages befindet sich links, in der Gegend der vorderlateralen Fläche des Körpers. Der Oeffnungsschlag bewirkt Contraction des Ektoplasma und jähes Hinauswerfen des Inhalts der Trichocysten an der anodischen Seite der vorderlateralen Oberfläche der Paramaecie. Die Nadeln werden nach links, nach aussen und vorn hinsichtlich der Vorderhälfte des Körpers (Fig. 4 *d*) hinausgeworfenen.

Die Bewegungsrichtung der Paramaecie ist die frühere; das Plus des Oeffnungsschlages—rechts; die Eintrittsstelle des Schlages die hinterlaterale Fläche. Sogleich auf den Oeffnungsschlag folgt Ausscheidung von jäh ausgepressten Nadeln an der anodischen Seite des hinterlateralen Teils des Körpers; diese Nadeln sind nach aussen und hinten gerichtet.

e. In allen beschriebenen Lagen werden die Trichocysten, wie aus den Abbildungen (Fig. 4 *b*, *d*, *h*, *f*) ersichtlich ist, an der Seitenfläche der Vorder- oder Hinterhälfte des Körpers entleert; in den Aequatorial- und Polgegenden fehlt es ganz an Nadeln. Das Bild der Verteilung der Nadeln, resp. der Gegenden, in denen die Trichocysten ihren Inhalt hinauswerfen, verändert sich mit der Veränderung der Lage der Längsaxe der Infusorie in Bezug auf die Richtung des Schlages, und zwar: wenn die Längsaxe sich der Querrichtung nähert, beginnt die von den ausgeworfenen Nadeln gebildete Figur derjenigen ähnlicher zu werden, welche bei dem zur Bewegungsrichtung des Tieres senkrechten Schlage erhalten wird. In der in Fig. 5 (*l*, *m*, *p*, *q*) dargestellten Lage der Infusorie haben an der dem Plus des Oeffnungsschlages zugewandten Seite Trichocysten sich nicht nur an dem hinterlateralen sondern auch an dem aequatorialen Teile der Oberfläche entleert. Dasselbe wird auch beobachtet, wenn das Plus des Oeffnungsschlages sich rechts befindet; der Unterschied besteht nur darin, dass an der Hinterhälfte dieselben, wie immer, nach aussen und hinten, an der Vorderhälfte dagegen nach aussen und vorn entleert sind. Hier sind die 4 Combinationen von Fällen, von denen soeben die Rede gewesen ist, möglich. Aus Fig. 5 ersieht man leicht die Lage der Nadeln in Bezug auf das Plus des Schlages und die Körperoberfläche des Tieres. Der Charakter der Figur bleibt sich immer gleich—es kommen Nadeln aus der Aequatorialgegend zu, und die dabei erhaltene Figur wird dadurch der bei der Querlage der Infusorie entstehenden ähnlich.

Die Längsaxe der Paramecie kann gegen die Richtungslinie des Schlagcs eine noch geneigtere Lage annehmen, und dann sind wieder 4 Gruppen von Fällen in den neuen Richtungsbewegungen der Infusorie möglich.

Die Gegend, aus welcher die Trichocysten entleert werden, rückt jetzt mehr dem Vorder- oder Hinterende des Körpers zu, in Abhängigkeit davon, wo das Plus des Oeffnungsschlages sich befindet, und in der Figur gewahrt man auch schon Nadeln, die sich aus dem Vorder- oder dem Hinterende des Körpers ausgeschieden haben. Die diesbezüglichen Abbildungen erklären das soeben Gesagte.

f. Bei fernerer Steigerung der Intensität des Schlagcs bleibt der Charakter der Reaction der Paramecien auf einen einzelnen Inductionsöffnungsschlag derselbe, doch vergrössert sich das Wirkungsfeld dieses Schlagcs. Es

wurde darauf schon hingewiesen, dass bei einer gewissen Intensität des Schlagcs (für Medien von mittlerer Consistenz bei 14,5 Rollenabstand) die Contraction des Ektoplasma an der anodischen Hinterhälfte des Körpers zuweilen auch von Contraction des kathodischen Vorderendes der Infusorie begleitet ist (Fig. 5 *k*, *o*); dabei erfolgt häufig am anodischen Ende auch Hinauswerfen des Inhalts der Trichocysten. Wird der Rollenabstand noch um einige mm. vermindert, so bewirkt der aufsteigende Oeffnungsschlag rasche, energische, gleichzeitige Contraction in der Gegend der hinteren (eine kräftigere) und der vorderen Körperhälfte, die von Hinauswerfen von Nadeln aus beiden Enden begleitet ist; dabei beobachtet man den früher beschriebenen Schlag der Wimpern nach vorn; eine leichte Abstumpfung des Vorder- und Hinterendes verschwindet sogleich, und das Tier schwimmt in einer neuen Richtung fort, nachdem es seine normale Gestalt wieder angenommen hat. Wenn die Bewegungsrichtung der Infusorie mit der Stromrichtung einen Winkel bildet, so werden complicirte Figuren von hinausgeworfenen Nadeln aus unvollkommen entleerten Trichocysten erhalten, von denen beispielsweise zwei auf Fig. 5 dargestellt sind.

Bei 13,5—13 ctm. Rollenabstand bewirkt der Inductionsöffnungsschlag, unabhängig von der Richtung des Schlagcs und der Lage der Axe der Paramecie, Contraction des ganzen Ektoplasma und Entleerung der Trichocysten beinahe an der ganzen Oberfläche des Körpers. Die Infusorie nimmt momentan eine ovale Form an und setzt sowohl an der anodischen als auch an der kathodischen Seite eine grosse Menge Nadeln in Freiheit. Zuweilen gelingt es einen Schlag von solcher Intensität zu finden, welcher Entleerung von Trichocysten fast nur in der Meridionalebene hervorruft. Die Infusorie ist gleichsam von einem Kranz umgeben, und es stellen die dabei beobachteten

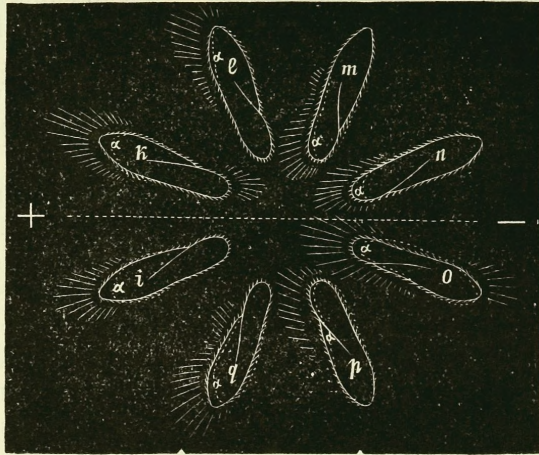


Fig. 5, *i—q*. Ib.; Verschiedenartigkeit der von den Trichocystennadeln gebildeten Figuren in Abhängigkeit von der Lage der Paramecie und der Intensität des Inductionsschlages.

Figuren symmetrische Ergänzungen der Figuren (Fig. 4 c, g) vor; dieselben sind auf (Fig. 6 a, b, c) dargestellt. Nach einem kurzem, durch Extension der Wimpern nach vorn hervorgerufenen Stillstand, resp. schneller Vorwärtsbewegung, als Folge eines energischen Schlages derselben nach hinten, bewegt sich die Infusorie schneller und nimmt nach wenigen Augenblicken ihre frühere Gestalt wieder an. Auch diese Versuche werden am geeignetsten in dünnflüssigen Medien vorgenommen.

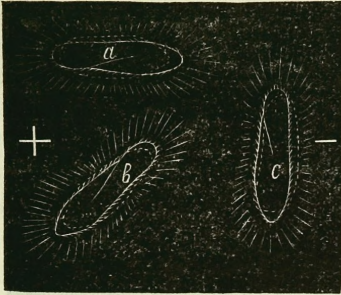


Fig. 6, a — c. Paramecien; ein ziemlich starker Inductionsschlag — die hinausgeworfenen und vom Körper losgetrennten Trichocysten bilden eine regelmässige strahlenförmige Figur.

des Ektoplasma und danach Hinauswerfen von Trichocysten in folgender Weise:

α) Zwei conjugirende Individuen schwimmen senkrecht zu der Stromrichtung; sogleich nach dem Inductionöffnungsschlag erfolgt, wie auf Fig. 7 zu sehen ist, Contraction der anodischen Seitenfläche des Körpers nur bei der linken Paramecie und findet Entleerung von Trichocysten nur aus dieser Gegend statt; wird die Richtung des Schlages umgekehrt, so beobachtet man eine solche Entleerung von Trichocysten nur an der Seitenfläche der rechten Infusorie. Der aufsteigende Oeffnungsschlag bewirkt Contraction und Ausschnel-

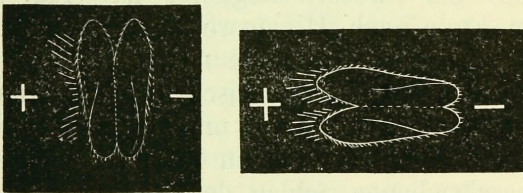


Fig. 7 u. 8. Conjugirende Paramecien; die Nadeln der Trichocysten an der Anodenseite herausgeschmellt.

sowohl bei aufsteigendem als bei absteigendem und auch bei einem Querschlage, Contraction des Ektoplasma und Entleerung von Trichocysten an der anodischen Seite, wie in Fig. 9 u. 10 dargestellt ist.

Folglich wiederholen sich die bei der Reizung von zwei conjugirenden oder sich querteilenden Paramecien mit einem einzelnen Inductionöffnungsschlag beobachteten Erscheinungen mit erstaunlicher Gesetzmässigkeit auch hinsichtlich der Erregbarkeit conjugirender oder in Teilung begriffener Individuen.

Wenn wir uns alles Gesagte vergegenwärtigen und uns noch einmal die den Protocollen meiner zahlreichen Versuche entnommenen Abbildung ansehen, so müssen wir die strenge Gesetzmässigkeit in diesen Erscheinungen localer Entleerungen der Trichocysten unter dem Einflusse eines Inductionöffnungsschlages von bestimmter Intensität anerkennen; alle diese zahlreichen

g. Sehr interessant ist das Verhalten conjugirender oder sich querteilender Individuen einem Inductionöffnungsschlag von solcher Intensität gegenüber. Eine minimale Reizung ruft nur übereinstimmende Bewegung oder einen rapiden Ruck beider Individuen nach hinten hervor. Wird die Reizung verstärkt, so beobachtet man schon Contraction und Ausschnel-

lung von Trichocysten aus den beiden anodischen Hinterenden des Körpers der Paramecien wie aus Fig. 8 ersichtlich ist, und der absteigende Inductionsschlag — dieselben Erscheinungen an den beiden Vorderenden derselben.

β) Bei der Reizung sich querteilender Individuen mit einem einzigen Schlage beobachtet man stets,

Fälle sind eigentlich einem Gesetze, welches sich sehr leicht formuliren lässt, unterworfen. In allen Fällen entleeren sich die Trichocysten an der Anode: in welcher Lage, in der Längen- oder Querlage oder in schräger Lage hinsichtlich der Richtung des Schläges die Paramecie sich auch befinde, der Inhalt der Trichocysten wird immer nach der Anode hin entleert, und eine jede einzelne Nadel, oder jeder Faden, d. h. der Inhalt einer jeden einzelnen Trichocyste, erscheint immer senkrecht zu einem jeden gegebenen Punkt der Körperoberfläche des Tieres, wie aus den Abbildungen deutlich zu ersehen ist. Das Gesetz der beschriebenen Erscheinung lässt sich folgendermaassen kürzer formuliren:

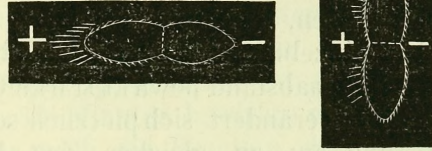


Fig. 9 u. 10. Eine sich querteilende Paramecie; an der Anode—Trichocystennadeln.

*Ein einzelner Inductionsöffnungsschlag von bestimmter Intensität ruft jähe locale Entleerung der Trichocysten normal zur Körperoberfläche und immer an der anodischen Körperseite der Infusorie hervor.*

#### 4. Zerstörung des Protoplasma.

Nachdem ich nun die Beschreibung der verschiedenen Reactionen, die in strenger Gezetzmässigkeit, in Abhängigkeit von der vergrösserten Intensität des Inductionsschlages, beobachtet werden, zu Ende geführt habe, muss ich bemerken, dass man, um diese Reactionen zu erhalten, mit den virulentesten Objecten experimentiren muss. Eine Reihe von Veränderungen, die bei Protisten, welche in sehr dickflüssige schleimige oder colloidale Medien gebracht werden, auf natürliche Weise eintreten, lassen sie auch weniger erregbar werden; vom 5-ten Tage an reagiren sie auf die Reizung schon schwächer, und Infusorien aus sehr dickflüssigen Medien reagiren nach 7—9 Tagen nicht mehr auf 2—3 starke Reizungen, während sie auf die 3-te oder 4-te Reizung sogleich durch momentane, nicht einmal sehr starke Contraction und Entleerung der Trichocysten reagiren; danach geht der Protist zu Grunde und reagirt nicht mehr auf die intensivsten Schläge.

Sogar in Medien von mittlerer Consistenz stellte ich einen jeden Versuch, besonders in Bezug auf die Reaction der Contraction und Entleerung der Trichocysten, mit einem neuen Tropfen an. Die Form und Grösse des Körpers, der Charakter der Thätigkeit der Wimpern, der Zustand des Protoplasma (H. Wallengren, 23) lassen auf die Tauglichkeit des Objects für den Versuch schliessen. An einem frischen Individuum können alle aufeinander folgenden Stadien der Reaction der Paramecien auf einen einzelnen Inductionsschlag vorzüglich demonstrirt werden. Sowohl die Herren Prof. Morochowetz und Ogniew als alle anderen Herren, die in unserem Institut gearbeitet, haben immer die strenge Gesetzmässigkeit der vor ihnen demonstrirten Versuche beobachtet.

Eine Reihe von gleichmässig aufeinander folgenden Schlägen rufen jedoch *Ermüdungserscheinungen* hervor, die sich durch Abschwächung oder gänzlichen

Verlust der Erregbarkeit ausdrücken. Die Infusorie reagirt nicht mehr auf einen Reiz von derselben Stärke, oder die Reaction bekommt einen andern Charakter. Dieser Umstand muss in Betracht gezogen und der Versuch mit Pausen, wenn auch nur kurzen, ausgeführt werden. Diese Veränderung der Erregbarkeit hat eine besonders grosse Bedeutung bei den Versuchen mit intensiven Schlägen, zu denen ich jetzt übergehe.

Ein einzelner Oeffnungsschlag bei 12 ctm., bei sehr dicker Constistenz — 9 ctm., Rollenabstand bewirkt starke Contraction des ganzen Ektoplasma; die Form des Körpers verändert sich plötzlich sehr bedeutend; derselbe nimmt eine ovalkugelige Gestalt an; zu gleicher Zeit beobachtet man sehr reichliche Entleerung der Trichocysten in Form von Nadeln, die nach allen Richtungen hinausgeworfen werden, wie an Fig. 11 *a* ersichtlich ist. Nach

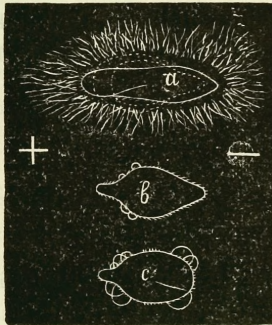


Fig. 11, *a*—*c*. Paramecien; Einfluss intensiver Schläge: regelloses Hinausschleudern der Trichocystennadeln; starke Veränderung der Körperform bei *a*—durch eine Punktlinie bezeichnet; *b* u. *c*—verschiedene Stadien der Ektoplasma- und Formveränderungen.

1—2 Minuten streckt sich der Körper wieder etwas, und einzelne Exemplare schwimmen wieder frei umher, zuerst langsam, bald aber wird die Arbeit der Wimpertegmente wieder eine normale; die Stäbchenschicht der Trichocysten ist nicht in allen Teilen des Protoplasma deutlich wahrzunehmen. Bei einigen Paramecien wird bei einer solchen Intensität des Schlages, bei allen aber bei 11 ctm. (wenn der Anfang der Reaction, d. h. die Veränderungen der Bewegung bei 17—16 ctm. stattgefunden hatte) plötzliche energische Contraction des Körpers, regellose Entleerung der Trichocysten nach allen Seiten hin beobachtet; die Form des Körpers verändert sich stark, an dem Hinterende erscheint der von Verworn beschriebene Zipfel (Fig. 11 *b*), an den Seitenflächen zeigen sich hyaline Blasen mit zarten Umrissen; die Bewegungen der Infusorien sind sehr unregelmässig; nach einiger Zeit zerplatzt das Ektoplasma, am häufigsten unweit des Zipfels, und das Pro-

toplasma zerfällt. Mit einem Worte, ein Inductionsöffnungsschlag ruft plötzliche, zefftige Contraction des Ektoplasma hervor, welches, da das Entoplasma nicht husammengepresst werden kann, platzt, infolgedessen letzteres zerfliesst.

Der Einfluss einer mehr oder weniger frequeten Reihenfolge von Inductionsschlägen giebt sich in folgenden Erscheinungen kund. Als Beobachtungsobject dient ein sehr dünnflüssiger Tropfen, in welchem 25—30 Paramecien sich lebhaft hin und her bewegen; dieselben werden jede Secunde durch Inductionsschläge bei 14 ctm. Rollenabstand gereizt, wobei nur der Oeffnungsschlag eine Wirkung ausübt. Als Reaction auf jede Stromöffnung erfolgen Veränderungen in der Bewegung, Contraction an der Anode und Entleerung von Trichocysten bei diesen oder jenen Paramecien; jeder Schlag ist von immer neuer Entleerung der Trichocysten aus verschiedenen Körpergegenden bei den Infusorien, die der Anode zugewandt sind, begleitet. Nach einigen Schlägen hören die unruhig im Tropfen umherschwimmenden Infusorien auf, den Inhalt der Trichocysten auszuwerfen; die Stäbchenschicht dieser ist nicht mehr deutlich zu sehen. Der untersuchte Tropfen wird für 3—5 Stun-

den in eine feuchte Kammer gebracht und dann aufs neue der Reizung durch eine Reihe von Schlägen unterworfen; es erweist sich, dass einige Infusorien ihre Trichocysten wieder entleeren.

Bei einem stärkeren Schläge (12 ctm.) nimmt man bei der beobachteten Infusorie Entleerung der Trichocysten an der ganzen Körperoberfläche wahr. Nach dem ersten Schläge lässt man jede Secunde noch drei Schläge einwirken, wobei jedesmal eine Ausscheidung aus den Trichocysten erfolgt, welche noch immer nur wenige betrifft und nur stellenweise zu bemerken ist. Die Paramaecie erholte sich bald, der Körper nahm seine fast normale Form an, die Wimpern arbeiteten normal. Nach 30 Minuten bewirkte ein Inductionsöffnungsschlag von derselben Intensität nur noch die Reaction der Bewegung nach rückwärts.

Aus diesen Versuchen folgt: 1) dass *der Inhalt der Trichocysten successiv aus den verschiedenen Stellen des Ektoplasma entleert werden kann*; 2) dass *bei einem verhältnissmässig schwachen einzelnen Inductionsöffnungsschläge aus einer und derselben Gegend nicht der gesammte Inhalt der entsprechenden Trichocysten auf einmal ausgeschieden wird und* 3) dass *der aus den Trichocysten ausgeworfene Inhalt sich in deren Bläschen wiederherstellt*; als Beweis dieser letzteren Thatsache dienen die deutlicheren Umrisse der Stäbchenschicht des Ektoplasma bei den Paramaecien 3—5 Stunden nach der Reizung, sowie die Fähigkeit derselben aufs neue structurlose Nadeln aus den Trichocysten hinauszuschleudern.

Endlich bleibt mir noch übrig, einige Worte über den Einfluss der Inductionsschläge mit sehr kurzen Pausen zwischen denselben—25-50 Schläge in der Secunde—zu sagen; Heff's Unterbrecher, Rollenabstand = 13—12,5 ctm.; der Schlüssel der primären Spirale wird sehr rasch mit der Hand geschlossen und geöffnet. Auf eine grosse Anzahl frequenter Inductionsschläge reagiren die Protisten momentan durch Hinausschleudern von Nadeln durch die ganze Oberfläche des Ektoplasma und eine geringe Veränderung der Körperform; 2—3 nachfolgende sehr kurze Schliessungen und Oeffnungen des Stromes der primären Spirale mit der Hand alle 5 Secunden bewirken eine neue Entleerung von Trichocysten in sehr geringer Anzahl, aber häufig eine bedeutende Formveränderung des Körpers und sogar Zerfall desselben. Eben solche frequente Unterbrechungen bei 12,5—11 ctm. Rollenabstand rufen augenblicklich Hinausschleudern von Nadeln und Verunstaltung des Körpers, Bildung eines Zipfels und Erscheinen hyaliner Blasen hervor; darauf zerplatzt am Hinterende das Ektoplasma, und das Endoplasma zerfliesst unausbleichlich. Nur solche scharfe Veränderungen unter der Einwirkung frequenter Inductionsschläge von grosser Intensität wurden, wie schon erwähnt, von Wrzesniowski beobachtet. Zuweilen ist bei rapider Veränderung der Körperform, welche zuletzt Platzen des Ektoplasma herbeiführt, Bewegung und Andrücken an den Körper aller Wimpern in gleicher Richtung zu beobachten, jedoch bleibt deren Spiel gewöhnlich auf die Aequatorialzone beschränkt. (Fig. 11 c). Nur in sechs Fällen aus meinen zahlreichen Versuchen sah ich, dass nach einer starken Reizung des Körpers alle Wimpern der vorderen Hälfte nach vorn, die der hinteren Hälfte nach hinten gedrückt wurden. Doch wird beides nach starken Reizungen bei zu Grunde gehenden Individuen beobachtet.

### 5. Reaction der Paramaecien in Meerwasser und in 0,5%-iger NaCl-Lösung.

Die Anpassungsfähigkeit der Infusorien an verschiedene chemische Medien ist eine festgestellte Thatsache. Schon im Jahre 1854 constatirte C o h n (24), dass Euplotes anscheinlich ungefährdet in Meerwasser leben konnte, dessen Kochsalzgehalt langsam und allmähig bis auf 12% gebracht worden war. F a b r e - D o m e r g e fand, dass Süßwasserstylonychien und-paramaecien sich einem 2,5%-igen Gehalt an NaCl anpassten. Dasselbe constatirten auch V e r w o r n, M a s s a r t, I a s u d a (25) u. a. Um positive Resultate erhalten zu können, darf man eine chemische Substanz nur ganz allmähig zugeben. Die letzten Untersuchungen von G o l d b e r g e r (26) haben gezeigt, dass eine rasche Zugabe selbst geringer Mengen anorganischer Salze, z. B. 0,3% NaCl, R i g e r'scher oder H o w e l l'scher Lösung, rasche morphologische Veränderung des Protoplasma und den Tod der verschiedenen Protisten zur Folge hat.—Die galvanotaxischen Untersuchungen von B i r u k o f f (10, S. 581), welcher kategorisch behauptete, dass in physiologischer Kochsalzlösung die Paramaecien unter der Einwirkung frequenter Inductionsschläge sich gegen die Anode hin bewegten, wurden unter unmittelbarem Zusatz von NaCl zum untersuchten Tropfen angestellt, wie auch früher L o e b und B u d g e t t <sup>1)</sup> (27, S. 532) gethan hatten. H. J e n n i n g s (31), G o l d b e r g e r (26) u. and. wiesen darauf hin, dass unter diesen Bedingungen sofort eine bestimmte ziemlich complicirte Reaction der Infusorien auf den eingeführten chemischen Reiz eintritt; deshalb bediente ich mich bei meinen Versuchen nur solcher Infusorien, die sich einem bestimmten chemischen Medium längere Zeit angepasst hatten, so dass die Thätigkeit ihres Wimperapparats eine ganz normale war.

Zu einem bestimmten Volum einer Kultur von Paramaecien in Heuaufguss wurde im Laufe einer Woche tropfenweise ein gleiches Volum Wasser aus dem Schwarzen Meere zugegeben. Die Paramaecien passten sich diesem neuen Medium vorzüglich an. Auf dieselbe Weise wurden zu irgend einem Volum Infusorien enthaltenden Infusums tropfenweise gleiche Volumina 1%-iger Kochsalzlösung in einer Dauer von 24—48 Stunden zugesetzt. 2-3 cc. solcher Kulturen wurden in kleine Probierrgläschen gebracht und im Interesse der Verlangsamung der Wimperbewegung eine der schleimigen oder colloidalen

<sup>1)</sup> Die Analyse des Wassers aus dem Schwarzen Meere ergab folgende Zahlen: der Gehalt an anorganischen Salzen auf 1000 Teile Wasser (28, S. 429—430) betrug:

Chlornatrium.....	14.19
Chlorkalium.....	0.18
Chlormagnesium.....	1.30
Schwefelsaure Magnesia.....	1.47
Schwefelsaurer Kalk.....	0.10
Doppeltkohlensaure Magnesia.....	0.20
Doppeltkohlensaurer Kalk.....	0.36
Brommagnesium.....	Spuren

Substanzen zugesetzt. Aus diesen Gläschen oder unmittelbar aus den Salzlösungen genommene Tropfen wurden der Einwirkung einzelner Inductionsöffnungsschläge ausgesetzt.

*Der Charakter und die verschiedenen Stadien der Reaction in Meerwasser oder 0,5%-iger Kochsalzlösung befindlicher Paramaecien sind ganz dieselben wie die für Süßwasserparamaecien beschriebenen*, — es wird nicht der geringste Unterschied beobachtet. Es muss hervorgehoben werden, dass bei diesen Infusorien die Reizschwelle bei Schlägen von weit grösserer Intensität als bei den Süßwasserparamaecien, beginnt; die erste Reaction, der Ruck nach rückwärts, trat erst bei einem Rollenabstand von 11,5—10 ctm. ein, während die Süßwasserparamaecien schon bei 19—18 ctm. zu reagiren begannen. Dieser Versuch weist auf Verminderung der Erregbarkeit dem Strome gegenüber in Salzlösungen hin. Zur Erklärung dieses wichtigen Umstands werde ich bei der Beschreibung meiner Beobachtungen über die Galvanotaxis zurückkehren.

### Paramaecium bursaria.

Diese Paramaecie ist etwas kleiner als *Paramaecium caudatum* und besitzt eine mehr ovale Gestalt; die Trichocystenschicht ist deutlicher ausgedrückt und übertrifft an Dicke diejenige von *Paramaecium caudatum* oder *aurelia*. Die Reaction auf einen einzelnen Inductionsöffnungsschlag ist ganz dieselbe wie bei *Param. caudatum*; zugleich mit der Steigerung der Intensität des Schlages beobachtet man diese in strenger Gesetzmässigkeit successiven Erscheinungen: 1) Zurückzucken infolge eines Schlags aller Wimpern nach vorn, 2) Contraction des Ektoplasma, stets an der anodischen Seite localisirt, aber nicht so deutlich wie bei *Paramaecium caud.* ausgedrückt; die ovale Körperform dieser Paramaecie gestattet keine so weitgehenden Veränderungen der Umrisse wie der langgestreckte Körper von *Param. caudat.*; 3) rapides Hinausschleudern des Inhalts der Trichocysten zuerst an der anodischen Seite, wonach die Infusorie sich nicht so schnell wie *Param. caud.* erholt; 4) das Zerfliessen des Körpers der Infusorie infolge von Zerplatzen des Ektoplasma tritt schon bei einem schwächerem Schlage ein, wenn bei *Param. caud.* erst Entleerung der Trichocysten an der Anode statt hat. Die Entleerung der Trichocysten erfolgt gleichzeitig an der ganzen Oberfläche des Körpers, der beim zweiten Schlage zerfällt. Ueberhaupt ist *Paramaecium bursaria* durch die Inductionsschläge erregbarer; der Schwellenwert liegt höher als bei *Param. caudatum*.

### Lacrymaria olor.

Diese hübsche Infusorie [*Trachelocerca*—Synonym nach Kent's (29, S. 514—516) Nomenclatur] fand ich in den Teichen des moskauer Agronomischen Instituts und cultivirte sie nach meiner eignen Methode 2½ Monate lang in Gelatine. Das Medium stellte eine ziemlich dünnflüssige, zitternde Masse vor, in welcher die anmutige Infusorie ihren langen geschmeidigen Körper frei hin und her bewegte (Fig. 12). Der leichtbewegliche, biegsame, ziemlich ge-

streckte, rüsselförmige Hals bewegt sich energisch hin und her und giebt dem Körper seine Richtung nach vorn und seitwärts infolge der Arbeit seiner zarten Wimpern nach hinten. Der Hals ist sehr contractil. Der Hinterteil des Körpers ist abgerundet, öfters aber zugespitzt, und der ganze Körper hat die Form einer langhalsigen Flasche mit zugespitztem Ende. Der Hals trägt einen kegelförmigen Kopf, der auf demselben wie ein Pfropf sitzt. Der Kopf ist vom Halse durch eine Einschnürung getrennt und von einem Kranz von grösseren Wimpern als an den andern Körperteilen umgeben. Unter dem Ektoplasma befindet sich eine äusserst contractile Schicht von sog. Corticalplasma (W. Schewiakoff 30, S. 139). Das ganze Ektoplasma ist von schrägläufigen (Bütschli 2, S. 1683) Streifen von rechts nach links und von links nach rechts durchzogen (contractile Elemente?), welche sehr deutlich mit den Systemen D und F Zeiss wahrzunehmen sind. Dieselben ziehen, wie gesagt, in zwei Richtungen (Kent 29, S. 515) unter einem Winkel zu der Längsaxe des Körpers hin und bilden ein aus einer grossen Menge rhomboidaler Maschen bestehendes Netzwerk. Die Infusorien sind in ausgestreckter Lage 0,5 mm. und sogar bis 1 mm. lang.

Einzelne Inductionsschläge rufen bei *Lacrymaria olor* bestimmte charakteristische Reactionen hervor, die denjenigen der Paramaecien in vielem gleichen, weshalb ich sie nur kurz beschreiben will.

### 1. Veränderung der Wimperbewegung.

a. Der Anfang der Reaction ist schon bei 17 ctm. Rollenabstand bemerkbar. Wir wählen ein mit dem Vorderende der Anode zuschwimmendes Individuum; sogleich nach dem Inductionsöffnungsschlag wird infolge des momentanen Schlags aller Wimpern nach vorn ein leichter, doch wahrnehmbarer Ruck nach hinten beobachtet; danach functioniren die Wimpern sogleich wieder normal, und die Infusorie schwimmt, wie gewöhnlich, nach vorn.

b. Wir legen um und senden durch den Tropfen einen aufsteigenden Schlag; es wird dabei keine Reaction wahrgenommen. Indem man den Versuch an einer und derselben *Lacrymaria*, sowie an vielen andern wiederholt, gewinnt man die Ueberzeugung, dass diese minimale Intensität des Reizes nur bei absteigender Richtung eine Reaction hervorruft. Damit ein aufsteigender Oeffnungsschlag eine solche Reaction bewirke, muss der Rollenabstand um 1 ctm., sogar um 1,5 ctm. vermindert werden.

c. Unter denselben Bedingungen, d. h. bei 16—15,5 ctm. Rollenabstand senden wir einen Längsöffnungsschlag durch eine ausgetreckte fast cylinderförmige Infusorie und nehmen sogleich, infolge eines jähen Schlags aller Wimpern nach vorn, einen ziemlich bedeutenden Ruck des Tiers nach hinten wahr; besonders schlagen die den Kopf umgebenden Wimpern um und drücken sich für einen Moment an den Kopf an. Dieser Ruck nach hinten macht sogleich wieder der gewöhnlichen Bewegung der Infusorien nach vorwärts und dem normalen Spiel des Wimperapparats Platz. Bald darauf senden wir aufs neue, jetzt aber einen aufsteigenden Schlag aus und beobachten nur kaum merkliches Rückwärtszucken der Infusorien, während der absteigende Oeffnungsschlag

von gleicher Intensität einen bedeutenden Ruck des Protisten nach hinten bewirkt.

d. Nach einer kurzen Pause erfassen wir den Moment, wo dieselbe Infusorie, auf welche wir mittels eines auf- und absteigenden Längsöffnungsschlages bei 16—15,5 ctm. einwirkten, die Querlage einnimmt. Ein einzelner Querschlag von derselben Intensität von rechts nach links oder umgekehrt, bringt keinerlei Wirkung hervor; wollten wir einen kaum bemerkbaren Ruck nach hinten beobachten, so müssten wir den Rollenabstand noch auf 1 ctm. vermindern, dagegen auf 1,5 ctm., um ein deutlich ausgesprochenes Abprallen auf eine gewisse Körperlänge der Infusorie nach hinten zu bemerken.



Fig. 12.  
Lacrymaria olor.

Aus allen diesen Versuchen folgt, dass die erste Reaction *Lacrymariae olor* auf einen einzelnen Inductionsöffnungsschlag sich als jähe Bewegung aller Wimpern nach vorn auslöst, infolgedessen ein Ruck des Protisten nach hinten erfolgt; zahlreiche Beobachtungen erlauben uns festzustellen, dass die Reizschwellen für die absteigende, aufsteigende und quere Richtung des Schlages verschieden sind: höher für den absteigenden und am niedrigsten für den in einer Querrichtung ausgesandten Schlag, d. h. der Protist ist durch den absteigenden Schlag, wenn die Anode auf das Vorderende desselben kommt, erregbarer. Die beschriebenen Erscheinungen legen eine Gesetzmässigkeit vor Augen.

## 2. Contraction des Corticalplasma.

a. Das durch einen absteigenden Oeffnungsschlag bei 16—15,5 ctm. Rollenabstand bewirkte Rückwärtszucken der Infusorie wird in einigen Fällen von kaum merklicher Formveränderung der *Lacrymaria olor* begleitet. Der gestreckt-cylinderförmige, nach hinten leicht ellipsoïdale Körper ist in dieser Gegend etwas verdickt, wobei der Hals sich kaum merklich verkürzt. Diese Reaction ist deutlicher ausgedrückt und wird bei einem absteigenden Schlage bei 15 ctm. Rollenabstand bei allen Individuen beobachtet. Sogleich nach dem Schlage zuckt die Infusorie zurück, indem sich ihre Körperform in oben beschriebener Weise, wie auf Fig. 13 dargestellt ist, verändert.

b. Um denselben Grad von Contraction bei der aufsteigenden Richtung des Schlages zu erhalten, muss man den Rollenabstand noch um 1 ctm. vermindern; dann wird der energische Ruck nach hinten von der erwähnten Contraction des Corticalplasma, besonders in der der Anode zunächst gelegenen Gegend begleitet; das Hinterende nimmt bei einem aufsteigenden Schlag eine ovalere Form an, das im normalen Zustande zugespitzte Ende rundet sich ein wenig ab; schwächer ist die Contraction des Halses ausgedrückt (Fig. 13 g).

c. Bei einer Querdurchströmung von gleicher Intensität wird nur ein Ruck der Infusorie nach rückwärts beobachtet. Um eine Contraction des Körpers zu bewirken, muss man den Reiz verstärken und einen Schlag bei

13,5—13 ctm. Rollenabstand aussenden. Von welcher Seite die Anode des Oeffnungsschlages auch komme, der Charakter der Contraction bleibt sich gleich.

*d.* Die Lage des Halses allein übt keinen ausschliesslichen Einfluss auf den Charakter der Contraction des Corticalplasma aus. Wie beschrieben, beobachtet man stets nach einem Schlage von mittlerer Intensität (circa 14 ctm.). Contraction des ganzen Körpers des Protisten, welche deutlicher an der Anode hervortritt. Wir wählen ein Individuum, dessen Hals mit dem Körper einen rechten Winkel bildet, senden einen in Bezug auf den Hinterteil des Körpers absteigenden, auf den Hals senkrechten Oeffnungsschlag bei 15 ctm. Rollenabstand (Fig. 13 *e*) aus; es erfolgt allgemeine Contraction, welche deutlicher an der Stelle, wo der Hals in den Körper übergeht, ausgedrückt ist, und nur unbedeutende Contraction des Halses.

Wir legen die Wippe um, suchen dieselbe Lage des Protisten auf: die Richtung des Schlages ist eine umgekehrte, hinsichtlich des Halses wieder eine senkrechte, aber dem Körper gegenüber eine aufsteigende; es wird nur leichtes Rückwärtszucken beobachtet (Fig. 13 *l*). Ein Querschlag durch die Infusorie, deren ganzer Körper sich senkrecht zu der Stromrichtung befindet, ruft ausserdem ein kaum merkliches Rückwärtszucken hervor. Die in diesen Fällen beobachteten Reactionen nehmen betreffs der Schärfe, mit der sie ausgesprochen sind, die Mitte zwischen den im ersten Falle durch den absteigenden und quergehenden Schlag und den im zweiten—durch den aufsteigenden und queren Schlag hervorgerufenen Reactionen ein.

Der absteigende Inductionsöffnungsschlag bewirkt eine Contraction des Körpers der Infusorie, wobei diese Contraction am deutlichsten in der Halsgegend ausgeprägt ist; ein Querschlag bei demselben Rollenabstand (15 ctm.) bringt keine Wirkung, oder nur einen unbedeutenden Ruck nach rückwärts hervor; ein hinsichtlich des Körpers absteigender, und den Hals querdurchströmender Schlag bedingt weniger deutliche Contraction hauptsächlich an der Eintrittsstelle des Stroms in den Körper der Infusorie; der in Querlage befindliche Hals contrahirt sich jetzt schwächer. Folglich ist die Reaction schwächer als bei dem absteigenden Strom, und stärker als bei der Querdurchströmung.

Der aufsteigende Schlag (15 ctm.) ruft meist keine Contraction hervor, nur manchmal wird eine sehr geringe beobachtet; ein Schlag von dieser Intensität bewirkt starke Erregung des Wimperapparats und einen merklichen Ruck nach hinten bei der Längsdurchströmung des ganzen Körpers; der aufsteigende Schlag für den Körper und der Querschlag für den ausgestreckten Hals (Fig. 13 *l*) bewirkten nur ein etwas ausgeprägteres Zurückzucken, als bei einem Querschlag derselben Intensität, wenn die ganze Infusorie sich senkrecht zu dem Schlage bewegte. Auch hier ist die Reaction schwächer, als bei dem aufsteigenden und stärker als bei dem Querschlage.

Mit der Zunahme der Intensität des Schlages ist auch die Reaction stärker ausgeprägt. Ein Oeffnungsschlag bei 14 ctm. Rollenabstand in der Richtung Fig. 13 *e* ruft die beschriebene Contraction und eine ziemlich bedeutende, 2—3 Secunden währende, Rückwärtsbewegung, in der Richtung Fig. 13 *l*—nur deutliches Rückwärtszucken hervor.

*e.* Wir wählen einen Moment (Fig. 13 *c*), wenn der absteigende Schlag den langen Hals der Länge nach, den kurzen Teil des Körpers aber quer

durchströmt (14,5 ctm.); sogleich erfolgt eine starke Zusammenziehung des Halses und eine weniger starke des Körpers; ein Schlag in entgegengesetzter Richtung ruft denselben Effect erst bei 14—13 ctm. Rollenabstand hervor.

Um die Abhängigkeit der Reaction der Zusammenziehung der verschiedenen Körperteile der Infusorien von deren Lage hinsichtlich der Stromrichtung besser zu veranschaulichen, will ich noch folgenden Versuch anführen. Die Lage der Infusorie ist in Fig. 13 *f* u. *h* dargestellt. Auf den Schlag folgt augenblicklich Contraction fast nur in der der Anode zunächst gelegenen Körpergegend, die Biegungsstelle wird dicker und rundet sich ab; der der Kathode zugewandte Hals contrahirt sich sehr schwach. Bei der Inversion des Stroms (Fig. 13 *b* u. *m*) beobachtet man bei derselben Lage der Infusorie starke Contraction des ganzen Halses und des Körpers.

*f.* Die beständigen Bewegungen des langen biegsamen Halses der *Lacrymaria* nach allen Seiten hin ermöglichen, die Infusorie in mannigfachen Lagen leicht zu beobachten und Oeffnungsschläge bei den verschiedensten Lagen des Halses und des Körpers derselben auszusenden.

Durch die vorhergehenden Versuche wurde festgestellt, dass durch den Längsöffnungsschlag, namentlich den absteigenden, die Infusorien erregbarer sind, als durch den quergehenden Schlag, weshalb die Reaction sich um so intensiver kund giebt, ein je grösserer Teil der Infusorie sich in der Längsrichtung befindet, und umgekehrt.

Der Hals als solcher, resp. das Ende desselben, der sog. Mundzapfen, in dessen kegelförmiger Spitze sich die runde Mundöffnung befindet, übt keinen merklichen Einfluss auf das Auftreten und den Stärkegrad der Reaction aus. Dieser Schluss hätte schon auf Grund der beschriebenen Versuche gezogen werden können, doch giebt es ausser diesen auch unmittelbare Beobachtungen. Wir stellen genau die Reizschwelle des Querschlages fest, wenn nur eben leichtes Rückwärtszucken der in senkrechter Richtung zum Strom schwimmenden Infusorie erfolgt; wir verringern den Rollenabstand um 2—1 ctm., wenn der aufsteigende Schlag einen Ruck nach hinten, und der absteigende auch noch eine unbedeutende Contraction, hauptsächlich des Halses, bewirkt, und reizen durch diesen Schlag eine zu der Stromrichtung senkrecht schwimmende *Lacrymaria* in den Momenten, wenn sie bald der Anode, bald der Kathode fast nur das Ende des lang ausgestreckten Halses mit dem kegelförmigen Zapfen, in welcher die Mundöffnung sitzt, zuwendet (Fig. 13 *d*). In beiden Fällen findet gar keine Reaction statt. Wir vermindern den Rollenabstand noch um 2 ctm.

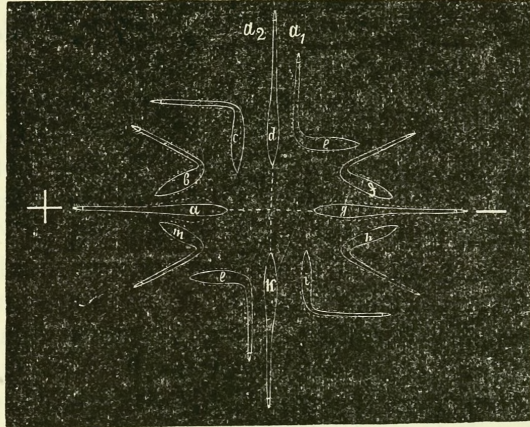


Fig. 13 *a—m*. Schematische Darstellung der Intensität der Contraction *Lacrymariae oloris* in Abhängigkeit von den verschiedenen Lagen gegen die Richtung des Inductionsschlages; *d*—ein Protist, der senkrecht zu dem Schläge steht und den Hals mit dem Mundzapfen bald der Anode—*a*<sub>1</sub>, bald der Kathode—*a*<sub>2</sub> zuwendet.

und lassen den Schlag einwirken, wenn das Halsende der Infusorie bald gegen die Anode, bald gegen die Kathode des einwirkenden Querschlagel gerichtet ist; jedesmal beobachten wir nur unbedeutendes Rückwärtszucken; die Reaction bleibt sich ihrem Charakter und ihrer Intensität nach gleich, wohin der Mundzapfen auch gerichtet sei,—nach der Anode oder nach der Kathode hin.

g. Ein Oeffnungsschlag von etwas grösserer Intensität (14,5 ctm. für den absteigenden, 14—13,5 für den aufsteigenden Schlag, circa 13,5—13 ctm. für den Querschlag) bewirkt auch stärker ausgeprägte Formveränderung und länger andauernde Bewegung nach rückwärts. Sogleich nach der Reizung beobachtet man nicht nur einen Ruck, sondern auch, obgleich die Reizung aufgehört hat, Fortsetzung der Bewegung nach hinten. Letztere dauert 3—5 Secunden infolge der Arbeit der Wimpern in der entgegengesetzten Richtung, d. h. nach vorn, fort, und macht erst nach Verlauf dieser Zeit der normalen Bewegung nach vorn Platz, wobei die Form des Körpers eine flaschenähnliche bleibt und die gestreckt-cylinderrörmige Gestalt noch lange nicht annimmt. Eine ziemlich starke Reizung bewirkt keinen einzelnen Schlag der Wimpern, sondern eine ganze Reihe von Bewegungen nach vorn, die noch lange nach dem Aufhören der Reizung fortdauern; folglich wird in diesen Fällen so zu sagen eine *Nachwirkung der Reizung* beobachtet, welche nach einigen Secunden ein Ende nimmt.

Bei der Reizung einer frei umherschwimmenden Infusorie durch einen absteigenden Oeffnungsinductionsschlag bei 14 ctm. Rollenabstand wird rapide

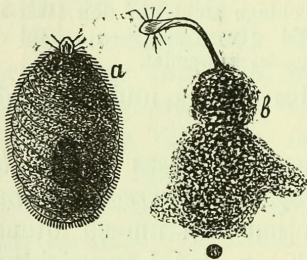


Fig. 14 a—b. *Lacrymaria olor* a—im Contractionsstadium; b—starke Contraction, Bildung zweier Kugeln, einer Grobkörnigkeit des Entoplasma. Zerfall des Entoplasma. Abschnürung des Mundzapfens mit einem Teil des Halses.

Contraction der ganzen Infusorie beobachtet; dieselbe nimmt eine ovale Gestalt an, wie auf Fig. 14 a dargestellt ist. Besonders starke Contraction wird an dem anodischen Teil des Halses bemerkt; derselbe ist ganz eingezogen, nur der kegelförmige Mundzapfen steht etwas hervor. Das hintere Ende des Körpers ist abgerundet. Nach 3—4 Secunden fängt die Infusorie an, den Hals auszustrecken; ein neuer Schlag bewirkt aufs neue bedeutende Contraction der Vorderhälfte des Körpers und gleichsam Einziehung des Halses; ein aufsteigender Schlag ruft bei einer solchen sich wieder ausdehnenden Infusorie nur Rückwärtszucken hervor. Folglich besitzt der Hals sehr bedeutende Contractilität.

In allen Fällen bedeutender Contraction des Körpers der *Lacrymariae oloris* verändern dessen Längsschrägstreifen ihre Lage, indem sie fast die Querrichtung einnehmen. Die Streifen charakterisiren eine bestimmte Anordnung und Bewegung der Wimpern, deren normale Arbeit die Bewegung der Infusorie nach vorwärts bezweckt; bei der Reizung mit dem Inductionsschlag beobachtet man Rückwärtsbewegung. Eine intensive Reizung ruft auch eine nach dem Aufhören derselben fortdauernde Erregung, d. h. Arbeit der Wimpern nach vorn, hervor; bei der Querlage der Streifen infolge starker Contraction des Körpers bewirken die Wimpern, die noch immer fortfahren von hinten nach vorn, aber schon senkrecht zur Längsaxe des Körpers, zu schlagen, Drehung dieses letzteren um seine Längsaxe.

Die Querlage der Streifen und das Schlagen der Wimpern von hinten nach vorn erklären die Drehung des stark contrahirten Körpers der Infusorie (Fig. 14 a) in der Richtung des Uhrzeigers eine Zeitlang nach erfolgter starker Reizung.

Aus allem Dargelegten folgt somit, dass *der Vorderteil des Körpers Lacrymariae oloris—der Hals—, welcher grössere Contractilität besitzt, erregbarer als der übrige Teil desselben ist; die ganze Infusorie ist am erregbarsten durch den absteigenden Schlag und am wenigsten erregbar durch den Querschlag... Die Lage der Mundöffnung übt auf die Intensität der Reaction keinen Einfluss aus.*

Die Zeichnung Fig. 13 a—m giebt eine schematische Darstellung der allmähigen Abschwächung der Intensität der Contraction des Corticalplasma in Abhängigkeit von der Lage des Körpers der Infusorie und dessen Teilen zu der Richtung der einwirkenden Schläge.

### 3. Der Einfluss starker Inductionsöffnungsschläge.

Starke Oeffnungsschläge bei 12—10 ctm. Rollenabstand bewirken momentan eine starke Contraction des sämtlichen Corticalplasma und eine bedeutende Formveränderung des Protisten. Die Reaction tritt wieder früher bei dem absteigenden Schlage ein. Der ausgestreckte cylinderförmige Körper zieht sich augenblicklich zusammen und nimmt eine ovale Gestalt an, wie auf Fig. 14 a ersichtlich ist. An dem mehr zugespitzten Ende tritt nur der Mundzapfen mit den krampfhaft angedrückten Wimpern des Kranzes hervor; dem es an Contractilität zu fehlen scheint. Der Mundzapfen erscheint eingezogen oder, richtiger gesagt, die durchsichtige, homogene Corticalschicht des Halses überzieht das Entoplasma; der ganze Körper erscheint dunkelbraun infolgedessen, dass das stark contrahirte Corticalplasma das sämtliche bräunliche Entoplasma umgiebt; die Schrägstreifen sind jetzt fast zu Querstreifen geworden; und ist dies die Ursache dass die Infusorie eine Zeitlang sich um ihre Längsaxe dreht. Bald nach der Wirkung der Reizung erholt sich der Protist wieder und fängt an, seinen Hals auszustrecken, wobei er, das Ektoplasma nach hinten drängend, sein früheres homogenes Aussehen mit den schräglaufenden Streifen wieder annimmt. Ein neuer Schlag bewirkt wieder eine Contraction des Halses, und die Infusorie nimmt aufs neue die soeben beschriebene Gestalt an.

Ein sehr intensiver einzelner Schlag bei 6—5 ctm., oder 2—3 Schläge bei 8—7 ctm. Rollenabstand bewirken starke Deformation des Körpers, und das Tier geht zu Grunde. Am häufigsten nimmt es die Gestalt zweier unregelmässig kugelig, durch eine Einschnürung von einander getrennter Körper an (Fig. 14 b). Der Mundzapfen tritt gewöhnlich ein wenig hervor; in seltenen Fällen erscheint er von dem übrigen Körper gleichsam abgeschnürt. Das Ektoplasma zerplatzt selten; häufiger werden an verschiedenen Stellen des Körpers von aussen in geringer Anzahl körnige Gebilde beobachtet, welche hauptsächlich aus zerfallenen Wimpern zu bestehen scheinen.

### *Colpidium colpoda*, *Colpoda cucullus*, *Chilodon cucullulus*.

Die Reaction dieser drei Infusorien auf einen einzelnen Inductionsschlag ist eine ganz analoge, weshalb dieselbe, Kürze halber, zugleich für alle drei beschrieben ist. Sogleich nach dem Inductionsöffnungsschlage — die Reizschwellen unterscheiden sich verhältnissmässig wenig — erfolgt Unterbrechung der Vorwärtsbewegung und ein Ruck der Infusorie nach hinten, worauf plötzlich noch raschere Bewegung nach vorn folgt. Dieser Ruck ist die Folge eines momentanen Schlags der Wimpern nach vorn, wobei an dieser Reaction auf den Inductionsschlag alle Wimpern teilnehmen. Das ist auch die einzige Wirkung, die ein einzelner Inductionsöffnungsschlag auf *Colpidium Colpoda*, *Colpoda cucullus* und *Chilodon cucullulus*, in welcher Richtung derselbe die Infusorien auch durchströme, ausübt. Diese Infusorien sind durch die Inductionsschläge weniger erregbar, als z. B. *Paramecium*, besonders *Colpidium colpoda*.



Fig. 15. *Colpidium Colpoda*.

Diese Infusorie reagirt erst bei 9—8 ctm. Rollenabstand, während die Reizschwelle für *Paramecium* viel höher liegt (17 ctm.). Intensivere Schläge bewirken auch stärkere Rückwärtsbewegung; doch wird nach einem Schlage bei 4 ctm. Rollenabstand kein Ruck nach hinten, sondern längerer Stillstand der Infusorie und Drehen derselben um ihre Längsaxe beobachtet; öfters aber beschreibt der Körper des Protisten die Seitenfläche eines Kegels, dessen Spitze von dem Hinterende des Tieres gebildet wird (Fig. 15); seltener dreht sich die Infusorie im Kreise herum; in diesem Falle bewegt sie sich nach rechts, das Peristom ist nach dem Innern des Kreises gerichtet, folglich bewegt sich die Infusorie in der Richtung des Uhrzeigers mit dem Vorderende nach vorn; häufig macht diese Bewegung der Drehung um die Längsaxe Platz. Eine solche Nachwirkung der Reizung lässt sich am besten an *Colpidium colpoda* beobachten. Ein sehr starker Schlag (8—5 ctm.) ruft bei diesen Infusorien gleichsam Lähmung der Wimpertegumente hervor; nach 1—2 starken Schlägen bleiben sie regungslos stehen, die Wimpern sind senkrecht zur Körperoberfläche gerichtet, und ein Spiel derselben wird nur am Peristom beobachtet. Neue Schläge rufen schon keine Bewegung derselben hervor; eine Reihe von Schlägen bewirkt Aufquellen des Protoplasma; der Körper nimmt eine eckige Gestalt an, nach einiger Zeit zerplatzt die Pellicula am hinteren Ende, und das Entoplasma zerfliesst nach und nach. Diese Zerstörung des Körpers findet bei *Colpoda cucullus* und *Chilodon cucullulus* bei einem etwas weniger starken Schlage (5—4 ctm.), als bei *Colpidium colpoda* (2—1 ctm.), statt. Folglich setzen diese Infusorien, besonders *Colpidium colpoda*, der zerstörenden Wirkung der Inductionsschläge einen bedeutenden Widerstand entgegen; ihre Pellicula ist resistenter, als das Ektoplasma der *Paramecien*, deren Körper schon durch Schläge bei 13—12 ctm. Rollenabstand zerstört wird.

### *Opalina ranarum*.

Die Versuche wurden an ganz frischen, aus dem Dünn- und Dickdarminhalt von Fröschen erhaltenen Infusorien angestellt. In einer 0,5% neutralen Koch-

salzlösung schwimmen diese grossen Infusorien langsam und träge in verschiedenen Richtungen umher, indem sie mit ihren Wimpern gleichmässig nach hinten schlagen. Zwei-drei Individuen wurden mittels einer Pipette aus dem Uhrglase in die Kammer gebracht und der Wirkung von Inductionsschlägen ausgesetzt.

a. Die Reaction *Opalinae ranarum* auf einen einzelnen Inductionsschlag ist immer eine und dieselbe und besteht nur in dem Schlage aller Wimpern nach dem Vorderende des Körpers hin sogleich nach der Reizung; die Folge davon ist ein mehr oder weniger deutlicher Ruck oder einer schwache Bewegung nach hinten. Die Energie und Amplitude dieser plötzlichen Bewegung der Wimpern nach vorn, resp. der Grad der Ortsveränderung nach hinten, befinden sich im geraden Verhältniss zu der Stärke des Schlages; wenn die Stärke der Reizung eine gewisse Grenze erreicht hat, so erfolgt das Optimum der Wirkung. Sehr starke Schläge (von 12 ctm. Rollenabstand beginnend) bedingen plötzlichen Stillstand, starke Gestaltveränderung der Infusorie, Bildung von Vacuolen und nach 3—4 Schlägen—Zerreißen des Körpers an der Anode des einwirkenden Stromes.

b. Die Reaction der Infusorie auf einen Inductionsschlag von minimaler Intensität hängt von der Lage derselben zur Stromrichtung ab. Durch zahlreiche Versuche wurde ein bedeutender Unterschied in den Reizschwellen bei den verschiedenen Lagen von *Opalinae ranarum* festgestellt; am höchsten liegt dieselbe bei der absteigenden Richtung des Inductionsöffnungsschlages, wenn dessen Anode auf das Vorderende des Körpers kommt. In diesen Fällen tritt eine Reaction des Zurückzuckens der Infusorie—von 22—21 ctm. Rollenabstand beginnend—ein, während der aufsteigende Schlag noch unwirksam ist.

Ein absteigender Schlag bei 20 ctm. Rollenabstand bedingt plötzliches Umschlagen aller Wimpern nach vorn, wie immer ohne jegliche Formveränderung, und Rückwärtsbewegung des Tieres, während ein aufsteigender Schlag eine einmalige ziemlich träge Bewegung der Wimpern nach vorn erst bei 20—19 ctm. Rollenabstand hervorruft; ein energischer Schlag derselben nach vorn tritt nach einem aufsteigenden Schlage erst bei 19—18,5 ctm. ein.

Noch niedriger liegt die Reizschwelle bei der Querdurchströmung der Infusorie, d. h. wenn die *Opalina* senkrecht zu der Stromrichtung schwimmt. Die Verminderung des Rollenabstands bis 18-17 ctm. bringt noch keine Wirkung hervor; kaum merkliche Bewegung der Wimpern nach vorn tritt erst bei grösserer Intensität des Schlags ein, wenn der Rollenabstand bis 16 ctm. vermindert ist. Ein energischer Schlag der Wimpern nach vorn und ein Ruck der Infusorie nach hinten wird erst bei 15,5—15 ctm. Rollenabstand unter der Einwirkung eines Querschlages erhalten.

Inductionsschliessungsschläge fangen erst bei 5—3 ctm. Rollenabstand an, eine Wirkung hervorzubringen. Die *Opalinae* reagiren somit auf einen einzelnen Inductionsöffnungsschlag nur durch Erregung des Wimperteguments, durch eine Bewegung der Wimpern nach vorn und einen Ruck der Infusorie nach hinten; die Differenz zwischen den Schwellenwerten bei den verschiedenen Lagen des Tieres ist eine bedeutende; dessen Wimpertegument ist am erregbarsten bei absteigender Längsdurchströmung, weniger erregbar bei aufsteigen der und am wenigsten bei der Querdurchströmung. Starke Schläge bewirken Deformation des Körpers und dessen Zerfall, der an der Anode des auf denselben einwirkenden Schlags beginnt.

## Holophrya.

Der ellipsoïdale Körper ist mit zarten, in meridionalen Furchen angeordneten Wimpern bedeckt. Das Entoplasma ist grobkörnig, der Nucleus—gross und enthält ein Nucleolum. Die runde Mundöffnung liegt an dem weniger abgerundeten Vorderpol und führt in den Schlund, dessen Wand mit einem gut entwickelten Stäbchenapparat ausgestattet ist; der Schlund besitzt die Fähigkeit sich bedeutend zu erweitern und beim Verschlingen der Nahrung sich gut zu contrahiren. An dem Hinterende befinden sich eine grosse und 3—4 kleine contractile Vacuolen.

Die Reaction auf einen einzelnen Inductionsöffnungsschlag fängt bei 9 ctm. Rollenabstand (Fadenelektroden) an und besteht in plötzlichem Stillstand und Drehbewegung von rechts nach links, wonach die Infusorie ihre ziemlich raschen Bewegungen wieder aufnimmt, indem sie sich um ihre Längsaxe dreht. Eine etwas stärkere Reizung ruft ausser dem Stillstehen des Protisten, infolge des Umschlagens der Wimpern nach vorn, auch starke Contraction des Schlundes hervor; das Vorderende rundet sich mehr ab, und die Mundöffnung wird etwas eingezogen. Unmittelbar nach einem intensiven Schläge zerplatzt das Ektoplasma, und das Entoplasma zerfliesst. Der Körper dieser Infusorie besitzt keine Myonemen,—Inductionsschläge bewirkten keine Contraktionen, wie unter denselben Umständen bei *Holophrya discolor* (W. S c h e w i a k o f f 30, S. 56), welche gut differencirte contractile Elemente besitzt, beobachtet werden.

## Hypotricha.

Alle Hypotrichae geben auf einen einzelnen Inductionsschlag eine höchst charakteristische Reaction, die sehr leicht beobachtet werden kann. Bei diesen Infusorien gewährte ich zu allererst die Reaction auf eine momentane Reizung durch die Welle eines einzelnen Inductionsschlags. In dem Wasser aus Seeaquarien, welches mir liebenswürdigst von Herrn S. Z e r n o f f, Director der Biologischen Station in Sebastopol, zugesandt wurde fand ich eine Hypotricha, deren Art noch nicht bestimmt gewesen war. Die Reaction dieser grossen Infusorie demonstirte ich meinem Lehrer, Herrn Prof. M o r o c h o w e t z, im April 1902,—d. h. einige Monate vor der Veröffentlichung der Arbeit E. R o e s l e's (8), der blos die Reaction von *Oxytricha parallela* und *Stylonichia mytilus* beschrieben hat. Die Beobachtung der Wirkung des Inductionsöffnungsschlags wurde gewöhnlich an diesen Infusorien in den Medien, See-oder Süswasser, in denen sie sich gewöhnlich aufhalten, seltener in schleimig-collöidalen, angestellt.

## Stylonichia mytilus.

a. Die Reaction auf einen einzelnen Inductionsöffnungsschlag beginnt bei 29—26—25 ctm. Rollenabstand und besteht in momentanem Abprallen nach hinten infolge des Schlagens der vorderen Sprungwimpern nach vorn, wobei es,

unwandelbar nach einer jeden Reizung sich wiederholend, wieder dem normalen Laufen auf dem Glase oder einem Detrithaufen Platz macht.

Eine solche Reaction wird durch die Einwirkung schwacher und mittelstarker Oeffnungsschläge hervorgerufen, wobei mit der Verstärkung der Reizung bis zu einer gewissen Grenze auch die Reaction an Intensität zunimmt, d. h. die Bewegung der vorderen Sprungwimpern energischer vor sich geht und, infolgedessen, die Infusorie auf eine ziemlich grosse Strecke nach hinten abbrallt.

b. Die Lage der Infusorie zu der Schlagrichtung übt auf den Eintritt und die Intensität der Reaction einen entscheidenden Einfluss aus. Der absteigende Oeffnungsschlag, d. h. wenn das Plus auf das Vorderende kommt, ruft eine Reaction am ehesten hervor; für den aufsteigenden Schlag liegt die Reizschwelle niedriger und für den Querschlag noch niedriger. In dieser Hinsicht bestätigen meine Versuche die von F. Roesle (8) erhaltenen Ergebnisse. Die Differenz zwischen den Schwellenwerten ist eine ziemlich bedeutende. Ist z. B. ein absteigender Oeffnungsschlag schon bei 29 ctm. Rollenabstand wirksam, so ruft ein aufsteigender Schlag ein leichtes Zurückzucken erst bei 27 ctm. hervor, wenn ein absteigender Schlag von derselben Intensität schon merkliches Abprallen nach hinten bewirkt; ein Querschlag bringt noch gar keine Reaction hervor, und beginnt eine solche erst nach einer Verminderung des Rollenabstands noch um 4—5 ctm. Zuweilen beträgt die Differenz der Schwellenwerte der Längs- und Querschläge nur 2 ctm.

Wenn man durch einen Tropfen, der viele Stylonichien enthält, in Pausen von 30 Secunden bis zu 1 Minute eine Reihe Inductionsschläge von solcher Intensität sendet, dass nur erst der aufsteigende Strom wirkt, so stellen sich die meisten Infusorien quer zu der Stromrichtung, d. h. nehmen eine solche Lage ein, bei welcher ein Schlag von entsprechender Intensität ohne sichtbare Wirkung bleibt.

Ohne hier Roesle's Hauptsatz, dass das Peristom grössere Reizbarkeit besitzt, einer Prüfung zu unterwerfen, muss ich jedoch darauf hinweisen, dass ein etwas energischeres Zurückzucken beobachtet wird, wenn das Plus des Querschlages in der Sagittalrichtung auf das Peristom, resp. die Ventralfläche der Infusorie kommt als bei der entgegengesetzten Richtung des einwirkenden Schlages; doch ist die Differenz der Schwellenwerte in diesen Fällen eine sehr unbedeutende.

c. Die Energie des Schlages der vorderen Sprungwimpern nimmt mit der Intensität des Reizes zu; aber bei der Einwirkung von starken Schlägen, 15—12 ctm. Rollenabstand, trägt die sogleich auf den Oeffnungsschlag folgende Reaction schon einen anderen Charakter. Die frei umherlaufende Stylonichia, die eine etwas convexe Dorsalfläche besitzt, steht momentan still; die Ventralfläche hat sich bedeutend contrahirt, die vorderen und hinteren Sprungwimpern und die Laufwimpern sind an diese Fläche angedrückt; die Dorsalfläche ist stark gewölbt, das ganze Entoplasma der Infusorie ist durch die contrahirte Ventralseite zusammengedrängt (Fig. 16), folglich bewirkt ein intensiver Schlag schon eine andre Reaction, nämlich, starke Contraction der in der Ventralfläche der Infusorie befindlichen Elemente und, infolgedessen, Veränderung der Ge-

stalt des Protisten—unbedeutende Concavität der Ventralfläche und bedeutende Convexität der Dorsalfläche. Es entsteht gleichsam ein Tetanus der contractilen Elemente, der einige Zeit nach der Reizung fort dauert, während nach der

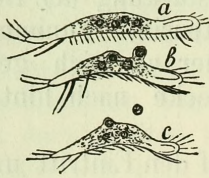


Fig. 16 a — c. *Stylonichia mytilus*; a—normales Aussehen; b — Contractionsstadium—Concavität der Abdominalfläche, Convexität und höckeriges Aussehen der Dorsalfläche; c—Abschnürung der Vacuolen und Schliessung des Ektoplasma.

Reaction auf einen schwachen Inductionsschlag die Infusorie sogleich ihre gewöhnlichen Sprünge macht, zu laufen oder zu kriechen fortfährt. Nach einem starken Schlage nimmt sie nicht bald ihre frühere Gestalt an. 2—3 neue Oeffnungsschläge bewirken noch grössere Contraction des Tieres, und die Dorsalfläche nimmt eine kuppelförmige Gestalt an. Dasselbe erfolgt auch bei der Einwirkung eines noch stärkeren Schlages (8 ctm). In diesen Fällen drückt das zur Dorsalfläche fortgedrängte Entoplasma auf das Ektoplasma; auf letzterem erscheinen locale Ausbuchtungen, durch welche sich eine, zwei oder drei Blasen (Nahrungsvacuolen, Einschliessungen), durchdrängen; das Ektoplasma bekommt ein höckeriges Aussehen (Fig. 16 b u. c), was deutlich zu sehen ist, wenn die Infusorie im Profil steht. Die allmählig durch das Ektoplasma herausgepressten Blasen werden von dem Körper abgeschnürt und das Ektoplasma schliesst sich gleichsam wieder. Nach 1-2 Minuten fangen die Wimpern des Peristoms an zu arbeiten, und wenn die Reizung nicht zu stark (nicht über 10 ctm.) gewesen ist, so nimmt die Infusorie ihre frühere Gestalt wieder an, sogar wenn 1—2 Blasen herausgepresst worden sind; sie bewegt sich langsam vorwärts und reagiert auf neue Reize. Sehr intensive Schläge bewirken Verlust der Erregbarkeit, starke Deformation und Zerfall des Körpers.

### *Oxytricha platystoma*.

Der Charakter der Reaction dieser Infusorie auf die Reizung durch einen einzelnen Inductionsschlag ist ganz derselbe wie bei *Stylonichia mytilus*; die Verhältnisse der Reizschwellen bei der absteigenden, aufsteigenden und queren Richtung der Schläge sind dieselben; deshalb will ich, um Wiederholungen zu vermeiden, dieselben nicht beschreiben. Der Reiz beginnt bei einem stärkeren Schlage als bei *Stylonichia*, was von der Grösse der Infusorie abhängen könnte.

Eine Reihe von Inductionsschlägen, die in 3'', 2'', 1'', 0,5'' aufeinander folgen, bewirkt nach jedem Schlage Abprallen der Infusorie nach hinten; diese Reaction der Infusorie ist ganz *isorythmisch* mit den Inductionsschlägen, da auf jeden Schlag momentan ein Sprung der Infusorie nach hinten folgt. Bei einer bestimmten Intensität des Schlags bestrebt sich die Infusorie die Querlage zu der Stromrichtung einzunehmen, bei welcher der Schlag schwächer wirkt, resp. gar keine sichtbare Wirkung ausübt. Dieser Versuch liefert ein anmutiges Bild und ist für die Demonstration der momentanen Wirkung der Inductionsschläge auf den Wimperapparat der Infusorien durch Projiciren sehr geeignet. Die *Oxytricha* springt im Bereiche des Sehfelds hin und her, jedesmal auf den Schlag reagierend. Sehr intensive Inductionsschläge bewirken starke Deforma-

tion der Infusorie, höckerige Ausbuchtungen und körnigen Zerfall. Nach der Einwirkung mehrerer Schläge von mittlerer Intensität macht sich schon schwächere oder gar keine Reaction bemerkbar, was ein Anzeichen von verminderter Erregbarkeit infolge von Ermüdung ist. Durch Chloroform getötete Infusorien reagieren auf den Reiz nicht.

### **Uronychia transfuga, Euplotes charon, Holosticha flava.**

Diese drei Infusorienarten wurden in Wasser aus dem Schwarzen Meer cultivirt. Der allgemeine Charakter der Reactionen dieser Seewasserinfusorien ist wieder derselbe wie bei *Stylonychia mytilus*.

*Uronychia transfuga* reagirt auf einen jeden einzelnen Inductionsschlag durch einen energischen Sprung nach hinten infolge eines plötzlichen Schlags aller Sprungcirren nach vorn. Dieser Sprung rückwärts oder seitwärts ist ein so bedeutender, dass die Infusorie sich momentan über die Hälfte des Sehfelds schwingt, resp. dem Blicke ganz entschwindet. (Ocular 4, Objectiv BB Zeiss).

*Euplotes charon* (S. Kent, 29 S. 799) reagirt auf den Reiz ebenfalls durch einen Schlag mit seinen vorderen cirrenartigen Cilien (sog. Bauchwimpern, Stein), was einen ziemlich weiten Sprung nach hinten bewirkt. Ein starker Inductionsöffnungsschlag (10—8 ctm) ruft eine complicirtere Reaction hervor: auf einen momentanen Sprung nach hinten folgt rapide Vorwärtsbewegung des Tieres auf einer steilen Spirallinie, welche aufs neue 2—3 Sprüngen nach hinten und rapiden Bewegungen nach vorn Platz macht, wonach die Infusorie sich beruhigt und normal kriecht oder springt. Einige schnell aufeinander folgende Schläge von geringerer Intensität (12—10 ctm.), lassen die Infusorie mit ihrem Hinterende rasche Bewegungen in einem Kreise von verhältnissmässig kleinem Radius von links nach rechts, d. h. in der Richtung des Uhrzeigers, ausführen (das Peristom nach links); diese rapide kreisförmige Bewegung wird durch energische Schläge der hakenförmig gebogenen Sprungcirren des Vorderendes bedingt und befindet sich natürlich in Abhängigkeit von der anatomischen Anordnung derselben.

Das Ektoplasma der Seewasserinfusorien ist ziemlich resistent; erst bei 5—3 ctm Rollenabstand bewirken energische Inductionsschläge den Zerfall der Infusorie.

*Holosticha flava* (S. Kent, 29 S. 769) hat einen langen, cylinderförmigen Körper mit abgerundetem Vorder- und Hinterende; der in sagittaler Richtung etwas abgeplattete Körper ist ziemlich biegsam, doch nicht contractil; die Wimpern sind nicht scharf differencirt. Die Reaction der Wimpern auf einen Inductionsschlag ist eine sehr einfache und tritt gewöhnlich schon bei 16 ctm. Rollenabstand ein. Sogleich nach dem Schlage beobachtet man einen sehr leichten, unbedeutenden, doch wahrnehmbaren Ruck nach hinten, der die ziemlich rasche Bewegung der Infusorie vorwärts oder seitwärts unterbricht. Eine Reihe von Inductionsschlägen ruft, infolge des Schlagens der nur auf einer Seite befindlichen Wimpern, Bewegung des Protisten im Kreise von kleinem Radius hervor. Nach sehr starken Inductionsschlägen (zuweilen bei vollständigem Zusammenrücken der Spiralen) bleiben die Infusorien stehen, und einige Zeit darauf erfolgt Zerstörung des Protoplasma, meist am Vorderende des Körpers.

## Heterotricha.

### Halteria grandinella.

Diese kleine Infusorie hat eine nahezu kugelige Gestalt; deren Bewegungen sind sehr charakteristisch. Infolge des Spiels der Peristomwimpern schwimmt sie langsam vorwärts oder steht regungslos; zuweilen macht sie einen rapiden Sprung nach hinten infolge eines plötzlichen Schlags der Sprungwimpern, die über dem Rumpf zu einem äquatorialen Kranz zusammengeordnet sind, nach vorn; nach einem solchen Sprung kehrt sie wieder zur Ruhelage zurück.

Auf einen einzelnen Inductionsöffnungsschlag reagirt *Halteria grandinella* durch einen plötzlichen energischen Rückwärtssprung, der sogleich auf den Reiz folgt. Eine Reihe von Inductionsschlägen ruft auch eine Reihe von Sprüngen hervor. Indem man mittels eines Heff'schen Unterbrechers den Rythmus der erregenden Schläge ändert, kann man auch den Rythmus der Reaction ändern; nach einem jeden Schlage beobachtet man sogleich einen Sprung der Infusorie auf eine neue Stelle. Diese Sprünge sind mit den Inductionsschlägen isorythmisch. Bei der Reizung der Protisten durch eine Reihe von Inductionsschlägen, die in Pausen von 1 Secunde auf einander folgen, beobachtet man ein sehr anmutiges Bild; der Versuch wird noch interessanter, wenn derselbe Tropfen *Stylonychia mytilus* oder *Oxytricha platistoma* enthält; man hat so zu sagen einen *künstlichen Tanz der Infusorien* vor Augen: nach jedem Schlage rücken die letztgenannten nach hinten, während die Halterien grosse Sprünge über das ganze Sehfeld machen. Dieser Versuch eignet sich besonders zur Demonstration vor einem grossen Auditorium durch Projiciren.

### Balantidium entozoon und Nyctoterus cordiformis.

Diese beiden Infusorien wurden in dem unteren Abschnitt des Dünndarms von *Ranae temporariae* gefunden und in einer 0,5% Kochsalzlösung untersucht. Ein Inductionsöffnungsschlag bewirkt nur die Bewegung der Wimpern nach vorn und einen unbedeutenden Ruck des Tieres nach hinten.

Das sich ziemlich rasch nach vorwärts bewegende *Balantidium entozoon* steht einen Moment lang still und setzt dann seine Vorwärtsbewegung fort.

*Nyctoterus cordiformis* giebt mehrere Typen von Reactionen der Erregung der Wimpern: *a*) bei jeglicher Lage des Protisten zu der Stromrichtung (16 ctm.) beobachtet man einen Schlag der Wimpern nach vorn und eine unvollkommene Drehung der Infusorie um ihre Längsaxe in der aboralen Richtung; *b*) als Reaction auf die Reizung (16—15 ctm.) schlägt die Infusorie mit ihren Wimpern nach vorn und dreht sich, einen Bogen von  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  eines Kreises beschreibend, nach links, infolge der prävalirenden Wirkung der convexen Seite der Wimpern, wonach sie unter beschleunigterem Rythmus der Wimpern nach hinten, wieder nach vorwärts schwimmt; *c*) ein schwächerer Reiz (17 ctm.) ruft bei einer träge mit dem Wimpern arbeitenden thygmotaxischen Infusorie einen an der Aboralseite schärfer ausgedrückten Schlag nach vorn hervor; danach folgen eine Zeitlang lebhaftere Bewegungen der Wimpern nach hinten, worauf

dieselben, sich senkrecht zu der Körperoberfläche stellend, wieder träge zu arbeiten anfangen; *d*) intensive Inductionsöffnungsschläge (5 ctm.) bewirken Bewegung der Wimpern nach vorn, welche raschen und energischen Schlägen nach hinten und rascheren Vorwärtsbewegungen Platz machen; dieselbe Reaction wird zuweilen auch bei vollständigem Zusammenrücken der Rollen erhalten, doch ruft ein zweiter Schlag keinen Effect mehr hervor,—nach intensiver Reizung ist die Erregbarkeit des Wimperapparats stark herabgesetzt; einige Zeit darauf erholt sich die Infusorie wieder und reagirt auf eine Reizung; nach der Einwirkung von 3—4 intensiven Inductionsschlägen beobachtet man starke Deformation des Protisten; derselbe bekommt eine halbmondförmige Gestalt mit höckerigen Ausbuchtungen oder feinkörnigem Zerfall an der Peripherie.

### Stentor polymorphus.

Diese morphologisch hoch differencirte Infusorie stellt ein sehr geeignetes Object für viele physiologische Versuche vor. Infolge einer besonderen Differencirung der Wimpern ist das Peristom derselben sehr erregbar, der Körper—sehr contractil, da das Endoplasma von zahlreichen contractilen Elementen in Gestalt von Muskelfibrillen, den sog. Myonemen, durchzogen ist. Versuche mit derartigen Objecten erfordern, wie solche mit Vorticellen, eine besondere Methodik.

Die Wirkung einzelner Inductionsschläge auf die Stentoren wurde von W. Schewiakoff (32, S. 32) untersucht und in ganz letzter Zeit von E. Roesle sehr eingehend studirt.

Frei umherschwimmende Stentoren bleiben sogleich nach dem Inductionsöffnungsschlage einen Moment lang stehen und contrahiren ihren Körper. Ihre kleinen zarten Wimpern schlagen nach vorn.

Ein Stentor, der sich mit seinem Stielende festgesetzt und röhrenförmig ausgestreckt hat, reagirt sogleich durch plötzliche rasche Contraction des ganzen Körpers, der eine eiförmige oder kugelige Gestalt annimmt. Die Reaction fängt bei 38—35 ctm. Rollenabstand an, folglich ist diese Infusorie im Vergleich zu den übrigen weit erregbarer. Die Lage des Protisten zu der Stromrichtung übt auf den Eintritt der Reaction einen entscheidenden Einfluss aus. Die Differenz der Schwellenwerte für die verschiedenen Stromrichtungen, der Längs-Quer- und Schrägrichtung, ist ein sehr bedeutender. Wenn z. B. ein absteigender Längsschlag bei 35 ctm. wirksam ist, so ruft ein aufsteigender erst bei 32,5—30 ctm. und ein Querschlag erst bei 28—25 ctm. Rollenabstand eine Reaction hervor; folglich ist der *Stentor bei einer Reizung durch den Inductionsöffnungsschlag dann am erregbarsten, wenn die Anode des einwirkenden Schlags auf das Peristom kommt*. In dieser Beziehung stimmen meine Versuche vollständig mit den von E. Roesle (8) erhaltenen Ergebnissen überein.

Wenn man einen nach der Reizung contrahirten und noch nicht wieder ausgestreckten Stentor durch einen neuen schwachen Inductionsöffnungsschlag reizt, so ist die Contraction seines eiförmigen Körpers immer bedeutender an dem der Anode zugewandten Ende, sei es das Hinter- oder das Vorderende; bei der Inversion des Schlags ist die *Contraction wieder deutlicher* an der Eintrittsstelle des Stroms, d. h. *an der Anode*, zu bemerken.

## Thygmotaxis und Reizung durch den Inductionsschlag.

Die Reaction thygmotaktischer Infusorien ist, dem Charakter ihrer Auslösung nach, dieselbe wie diejenige von frei umherschwimmenden, tritt aber meist erst bei einem intensiveren Schlage ein. Bei einer frei umherschwimmenden *Paramecie* findet schon eine locale Reaction an der anodischen Seite des Körpers statt, wenn eine thygmotaktische erst durch leichtes Zurückzucken reagirt oder dem Reiz gegenüber noch ganz unempfindlich bleibt. Eine gleiche Herabsetzung der Reaction wird auch bei anderen Infusorien. z. B. bei *Colpidium colpoda*, *Chilodon cucullulus*, *Stylonychia mytilus* u. a., beobachtet, wenn dieselben thygmotaktisch geworden sind. Thygmotaktische Infusorien beginnen kaum zu reagiren bei einer Oeffnungsschlage von solcher Intensität, welcher bei frei umherschwimmenden Infusorien eine deutliche Reaction bewirkt; oder die ersteren reagiren gar nicht auf schwache Schläge, die bei frei schwimmenden Individuen schon Rückwärtszucken oder Rückwärtssprünge bewirken.

Wie aus allen beschriebenen Versuchen zu ersehen ist, ruft ein einzelner Inductionsöffnungsschlag unfehlbar irgend ein Stadium der Reaction, in Abhängigkeit von der Intensität des Stromes, hervor. Wird bei einer gegebenen Reizschwelle keine Reaction beobachtet, so ist der Schlag von dieser Intensität unwirksam. Wenn in einem und demselben Tropfen bei einigen *Paramecien* das zweite Stadium der Reaction — Contraction des Ectoplasma — bei andern dagegen erst das erste Stadium — das Umschlagen der Wimpern nach vorn — beobachtet wird, — so bedeutet das, dass auf die ersteren ein Schlag von geringerer Intensität wirksam ist als auf die letzteren: eine andere Deutung der Ursache der schwächeren Wirkung des Schlages auf diese ist nicht möglich. Ein gewisses Reactionsstadium wird stets bei einer bestimmten Intensität des Schlags erhalten. Reagirt eine thygmotaktische Infusorie bei einer gewissen Reizschwelle schwächer als eine frei umherschwimmende, so ist es so fern zu verstehen, dass auf dieselbe ein Schlag von geringerer Intensität einwirkt.

Die *Detrithäufchen*, neben denen die thygmotaktischen Protisten sich aufhalten, sind gewöhnlich von ziemlich bedeutendem Umfange, fast immer ungleich grösser als diese; in der Nähe derselben beobachtet man fast immer grosse Mengen Infusorien. Gerade in solchen Fällen, d. h. wenn die Infusorien neben grösseren *Detrithäufchen* thygmotaktisch sind, reagiren sie in der Regel garnicht, sogar auf einen Schlag von solcher Intensität, welcher bei frei umherschwimmenden *Paramecien* Contraction bewirkt; das bedeutet, dass ein *Detrithäufchen* mit thygmotaktischen *Paramecien* von einem weniger intensiven Schlag durchströmt wird. Wir erinnern daran, dass wenn die Tropfenschicht dick genug ist, die *Detrithäufchen* meist an der Oberfläche schwimmen; die Sache ist etwas anders gestaltet, wenn der Tropfen mit einem Deckgläschen bedeckt ist. In diesen Fällen stellen die Tropfen kein gleichartiges Medium, sondern Flüssigkeit und *Detrithäufchen* vor. Der Strom, der eine Ebene in der sich ein *Detrithäufchen* befindet durchströmt, verzweigt sich: der eine Zweig dringt durch die Flüssigkeit, der andre durch das *Detrithäufchen*. Selbstverständlich geht durch das

Detritthäufchen mit den thymotaktischen Infusorien ein schwächerer Strom, als durch den flüssigen Teil des ganzen Tropfens; man begreift nun, warum thymotaktische Infusorien, da sie durch einen schwächeren Schlag gereizt werden, entweder garnicht oder nur sehr schwach reagiren.

Um die schwächere Wirkung des constanten Stroms auf thymotaktische Infusorien zu erklären, nehmen H. Jennings (34) und A. Pütter (33) eine etwaige «Interferenz» der Thymotaxis mit der Galvanotaxis an. In meiner Arbeit über die Galvanotaxis werde ich den Beweis führen, dass hier keine «Interferenz» statt hat; an dieser Stelle will ich mich nur mit der Behauptung begnügen, dass sich alles durch die Verzweigung des Stroms leicht erklärt.

#### IV. Zusammenfassung und Erklärung der Ergebnisse.

1. Alle Erscheinungen, die bei den Ciliata bei der Einwirkung eines einzelnen Inductionsöffnungsschlages von verschiedener Intensität beobachtet werden, und in dem vorigen, Kapitel beschrieben worden sind, können, besserer Uebersichtlichkeit halber, in zwei Gruppen geteilt werden; dieser Einteilung liegt der Unterschied sowohl in der physiologischen Reaction als auch in dem morphologischen Bau der Protisten zu Grunde.

Zu der *ersten Gruppe* gehören die Veränderungen der Bewegung, d. h. der Arbeit des Wimperapparats; diese Reaction haben alle siebzehn Infusorienarten mit einander gemein (S. 10).

Zu der *zweiten Gruppe* gehört die Reaction der Veränderung der Gestalt der Infusorien, infolge der Contraction der in der äusseren Körperschicht befindlichen Elemente; diese Erscheinungen werden bei *Paramecium caudatum*, *Lacrymaria olor*, *Stylo-nichia mytilus*, *Oxytricha platystoma* und *Stentor polymorphus* beobachtet, wobei bei den *Parameecien* eine neue Erscheinung, die Entleerung der Trichocysten, hinzutritt.

2. Die *erste Reaction* auf eine minimale Reizung mit dem Inductionsöffnungsschlag löst sich (wie aus den dargelegten Thatsachen ersichtlich ist) durch Veränderung der Richtung und der Energie des Schlages der Wimpern aus (S. 11). Anstatt der normalen, eine Vorwärtsbewegung des Körpers bedingenden Arbeit von vorn nach hinten, schlagen alle Wimpern nach der Reizung momentan von hinten nach vorn, infolgedessen eine Rückwärtsbewegung der Infusorie erfolgt. Diese Erscheinung wird bei allen Infusorien, mit denen experimentirt wurde, beobachtet und kann besonders gut an *Paramecium caudatum*, allen *Hypotricha* und an *Halteria grandinella* studirt werden. Infolge der verlangsamten und gleichmässigen Bewegungen der Protisten in schleimig-colloidalen Medien gewinnt man die Möglichkeit sehr deutlich wahrzunehmen, dass die Welle des momentanen Schlages aller Wimpern nach vorn, sowohl bei dem aufsteigenden als bei dem absteigenden Schlag stets an der Anode beginnt. Die erste Reaction des Protisten auf die minimale Reizschwelle eines wirksamen Inductionsöffnungsschlages giebt sich aber auch nur durch diese Erscheinung unfehlbar kund, es werden keine anderen beobachtet.

Eine jede neue Reizung ruft ein einzelnes plötzliches Umschlagen der Wimpern nach vorn hervor, welches wieder durch ihr normales Spiel nach hinten ersetzt wird (stets bei *Colpidium colpoda*, *Colpoda cucullus*). Folgen aber 3-4 Schläge nach Pausen von 1 Secunde, so fahren nach dem letzten Schläge die Wimpern fort nach vorn zu arbeiten und die Paramaecien, bei denen diese Erscheinung am leichtesten beobachtet wird, schwimmen eine Zeitlang nach rückwärts—eine *Nachwirkung der Reizung*. Folglich erregt ein Inductionsöffnungsschlag von minimaler Intensität die sensiblen Organoiden der Protisten, deren Existenz wir anzunehmen genötigt sind. Auf jede Reizung erfolgt dieselbe Reaction—ein Schlag der Wimpern nach vorn—und nach einer Reihe von Reizungen bewegt die Infusorie sich schliesslich nach rückwärts; die Richtung der Bewegung der Wimpern bleibt eine Zeitlang dieselbe, wie sie unmittelbar nach der Reizung gewesen war. Eine jede andere Art von Reizung, eine mechanische oder chemische, ruft bei den Infusorien dieselbe Rückwärtsbewegung hervor. H. Jennings (34) nannte diese Reaction «Motorreaction» oder «Motorreflex»; es ist die gewöhnliche Bewegung, durch welche die Infusorie einem auf ihr Aussentegument einwirkenden Reize zu entgehen suchen; auch der Inductionsschlag bewirkt eine solche Reaction. Auf Grund der beschriebenen Versuche nehme ich an, dass der Inductionsschlag auf die Oberfläche der Infusorien einwirkt und bei den Protisten vor allem dieselbe Reaction wie chemische oder mechanische Reize hervorruft, oder, mit andern Worten, irgend welche Elemente des Ektoplasma, resp. das sämtliche Ektoplasma erregt, welches folglich Empfindungsvermögen besitzen muss. Was den Einfluss des constanten Stroms anbelangt, so.... «ist jeder Teil des Protoplasma, wie es scheint, in ganz gleichem Maasse reizbar» (M. Verworn, 35, S. 130).

Fast bei allen Infusorien ist das Vorderende reizbarer als das Hinterende; der ganze Körper der meisten Ciliaten ist durch die absteigende Längsdurchströmung am erregbarsten und am wenigsten erregbar durch die Querdurchströmung.

3. *Die zweite Reaction* besteht bei gewissen Infusorien in einer localen Veränderung der Körpergestalt, infolge von Reizung der contractilen Organoiden. Nach plötzlicher Contraction nimmt der Protist bald wieder seine anfängliche Gestalt an. Bei den Paramaecien wird locale Contraction des Ektoplasma (S. 15—20) und bei den Hypotricha (S. 40), Stentoren (S. 45)—allgemeine Contraction aller das Ektoplasma durchziehenden Myonemen beobachtet; die Contraction bei *Lacrymaria olori* nimmt eine mittlere Stellung ein, indem sie eine theils locale, theils allgemeine ist. Folglich löst sich die Contraction als Reaction auf die Reizung durch einen Inductionsöffnungsschlag, in Abhängigkeit von dem Bau der Infusorie, auf zweierlei Weise aus: entweder als locale Contraction nur einiger Elemente des Ektoplasma (Paramaecien) oder als allgemeine Contraction aller in dem Ektoplasma befindlichen contractilen Elemente (Stentor) <sup>1)</sup>. Die Wirkung der Reizung selbst ist in diesen beiden Fällen eine verschiedene.

<sup>1)</sup> Die Contraction bei den Hypotricha, Stentoren, Vorticellen und Spirostomum habe ich bisher nicht genügend studirt, weshalb dieselbe auch noch nicht analysirt werden kann.

Ich habe nicht gefunden, dass bei den Paramaecien die Erregung durch den absteigenden Schlag *immer* schwächer sei als durch den aufsteigenden, und stimme nicht im mindesten E. Roesle's (8) Satz bei, dass das Peristom dieser Infusorien am reizbarsten ist.

Bei den Hypotricha und Stentoren tritt, wie durch Versuche vollkommen festgestellt ist, die Reaction früher, d. h. bei einem schwächeren Schläge des absteigenden Stroms, ein; bei diesen mit sehr hoch differencirten sensiblen Elementen des Peristoms und contractilen Elementen des Ectoplasma ausgestatteten Infusorien, sind sowohl die Reizschwelle als auch der Charakter der Auslösung der Contraction andere, als bei den Paramaecien. Eine Reaction wird durch einen so schwachen Schlag hervorgerufen, wie er bei den Paramaecien noch gar keinen Effect hervorbringt. Diese hohe Empfindlichkeit dem Strom gegenüber ausschliesslich mit der Grösse der Infusorie in Verbindung zu setzen, wie es Roesle (8) thut, wäre wohl kaum möglich. Die Unzulänglichkeit der gewonnenen Thatsachen erschwert die Erklärung der Ursachen der Erregung dieser hochdifferencirten contractilen Elemente bei den Stentoren, und besonders bei den Vorticellen, und fordert zu neuen Beobachtungen in einer neuen Richtung vermittelt einer speciellen Methodik auf.

Die plötzliche Gestaltveränderung der untersuchten Hypotricha hängt von der Gegenwart von Myophanestreifen ab, deren Vorhandensein bei einigen Oxytricha in dem Ektoplasma V. Sterki (35, S. 31) bewiesen hat.

4. Viel bestimmter und einfacher tritt die Contraction bei den Paramaecien an den Tag (S. 19 u. 20). Mit erstaunlicher Beständigkeit und in strenger Gesetzmässigkeit fängt die Contraction des Ektoplasma, wie wir gesehen, sowohl bei dem aufsteigenden als bei dem absteigenden Schläge zuerst an der Anode an; die Contraction ist immer eine locale und entspricht genau der Anlegestelle der physiologischen Elektroden, der der Anode zunächst liegenden Eintrittsstelle des Stroms; die Ausbreitung der Contraction hängt direct von der Intensität des Inductionsschlags ab, von welcher auch der Grad der Contraction abhängt. Nachdem die Contraction sofort nach dem Schläge an der Anode erfolgt ist, schwindet sie sogleich wieder, und die Paramaecie nimmt ihr normales Aussehen, ohne irgend eine Formveränderung an. Im Moment der Contraction beobachtet man einen Ruck der Infusorie nach hinten infolge eines plötzlichen Schlags der Wimpern nach vorn.

Bei diesen Versuchen beobachtet man Thatsachen von hohem Interesse. Man sieht, dass ein Inductionsschlag von einer gewissen Intensität schon Erregung der Elemente des Ektoplasma bewirkt und, was bemerkenswert ist, dass diese Erregung immer genau an der Anode localisirt ist; die Welle des Inductionsöffnungsschlags ruft bei den Paramaecien directe Erregung der im Ektoplasma gelegenen contractilen Elemente hervor. Das ist keine blosser Annahme, sondern ein aus beobachteten Thatsachen gezogener Schluss; die locale Contraction an der Anode weist darauf hin, dass in diesem Falle nur die Anode reizt, und dass der Einfluss eines momentanen Schlags sich als Erregung der Elemente auslöst, die sich in nächster Nähe von der Eintrittsstelle des Stromes befinden. Bei der Wendung des Schlags tritt die Reaction am dem andern Ende oder an einer der Lateralflächen der Infusorie auf, wo jetzt die neue Anode

hinkommt. Die Contraction ist die directe Reaction auf die Reizung, da dieselbe nur in dem Moment der Reizung eintritt und sogleich nach dem Aufhören derselben ein Ende nimmt. Eine frei umherschwimmende Infusorie kann durch eine Reihe von Schlägen, die in Zwischenräumen von je 1"—2" auf einander folgen, gereizt werden, und jedesmal wird Contraction des Ektoplasma an immer neuen Stellen wahrgenommen, nämlich an denjenigen, welche die Infusorie der Anode zuwendet.

Die nächste Ursache dieses erregenden Einflusses des Stromes auf die lebendige Substanz bleibt noch immer in Dunkel gehüllt.

5. Die Energie der localen Reaction bei den Paramaecien und bei *Lacrymaria olori* steigt mit der Intensität der Reizung. Das an der anodischen Seite stark contrahirte Ektoplasma bewirkt bei den Paramaecien in der Gegend der Anode jähres Hinausschleudern des Inhalts der Trichocysten in Gestalt von mehr oder weniger langen Fäden oder Nadeln; die hinausgeworfenen Nadeln machen sich augenblicklich von der Körperoberfläche los; dieselben bestehen aus einer homogenen, colloidalen, in dem sie umgebenden Medium nicht löslichen Substanz; die Fäden oder Nadeln ordnen sich immer zu irgend einer bestimmten Figur, stets in normaler Richtung zu der Körperoberfläche, zusammen (Fig. 4, 5, 6, 7 u. 8; S. 21 u. 27).

Versuchen wir nun zu erklären, warum jede Trichocystennadel normal zu der Körperoberfläche hinausschiesst und warum bei einer gewissen Intensität des Schlages bei den Paramaecien locale Contraction des Ektoplasma beobachtet wird. Die Antwort auf diese Fragen ist eine sehr einfache, wenn wir in einigen Worten an die morphologische Structur des Ektoplasma der Paramaecien erinnern.

Das Ektoplasma der Paramaecien ist nach aussen durch eine ziemlich dicke, dunkle, structurlose Hülle—die Pellicula und die Alveolarschicht—begrenzt, welche nach aussen Verdickungen bildet, die in gleichen Zwischenräumen von einander liegen. Die äussere Hülle zwischen diesen ist concav ausgebogen, und die Verdickungen selbst sind nichts anderes als die Stellen, in denen die drei gemeinschaftlichen Seiten dreier nächstgelegener Flächen zusammenstossen; denn die ganze Alveolarschicht besteht aus hexagonalen Flächen, aus deren Centrum je eine Wimper hervorragt, welche die homogene Membran und die Pellicula so zu sagen durchbohrt. Unter der Pellicula liegen die Trichocysten—besondere Gebilde in Gestalt von stäbchenförmigen oder nadelförmigen Körperchen, die unter ziemlich starker Vergrösserung spindelförmig erscheinen und an ihren Enden fein zugespitzt sind; dieselben sitzen fest unter der Pellicula, gewöhnlich rechts und links von der Basis jeder Flimmercilie, so dass jede hexagonale Fläche 2 Trichocysten besitzt (S. Fig. 12, Taf. 26; K. Kölsch, 22). Das distale Ende der Trichocyste stösst an die Pellicula, das proximale liegt an der inneren Grenze des Ektoplasma. Die Ektoplasmaschicht ist bei den Paramaecien so dick, dass die ganze Trichocyste, deren Länge 4  $\mu$ . beträgt, darin eingeschlossen ist (K. Kölsch, 22, S. 281—284). Eine jede Trichocyste endigt nach aussen mit einem Stäbchen von gleichmässiger Dicke, dessen Länge ungefähr  $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{5}$  der allgemeinen Länge der Trichocyste ausmacht. Diese erscheinen viel dunkler und stärker lichtbrechend als das umgebende

Plasma, sind jedoch stets ungefärbt, d. h. sie haben den bläulich-grünen Ton des Plasma (Bütschli 2. S. 1459).

Alle Trichocysten sind senkrecht zu der Oberfläche angeordnet (Fig. 17). Bei dieser Veranlassung schreibt Bütschli: «Innerhalb des Corticalplasma sind die Trichocysten fast ausnahmslos deutlich senkrecht zur Oberfläche und stets in einfacher Lage neben einander orientirt». (2, S. 1462)

Feinere innere Strukturverhältnisse sind bisher selbst mit den stärksten Objectiven nicht beobachtet worden.

Die chemische Natur dieser Gebilde ist bis jetzt unbekannt; dieselben scheinen aus plasmaähnlicher Substanz zu bestehen, also vornehmlich Eiweiss (2, S. 1464) zu enthalten.

Die Länge der entleerten nadelförmigen Gebilde erreicht bei den Trichocysten circa 33  $\mu$  (2, S. 1464).

Die Fähigkeit der Trichocysten ihren Inhalt hinauszuschleudern berechtigt zu der Annahme, dass dieselben contractil sind, doch ist bis jetzt in dieser Beziehung noch gar nichts bekannt. Sowohl die Function als auch die Bestimmung der Trichocysten gehören bisher zu den wenig aufgeklärten Fragen. Man sieht dieselben für Verteidigungs- und Angriffsorgane an, die eine giftige, den Feind oder die Beute tötende Flüssigkeit gegen diese schleudern. Von diesem Gesichtspunkte aus ist jedoch schwer zu verstehen, weshalb die Trichocysten bei den Paramecien über den ganzen Körper verbreitet sind, und ganz unklarlich ist das Vorhandensein nicht ausnehmbarer Trichocysten bei gewissen Infusorien.

Es ist nunmehr begreiflich, dass die Richtung, in welcher der Inhalt der Trichocysten entleert wird, von deren anatomischer Stellung abhängt. Die Nadeln derselben können nur normal zu der Oberfläche herauschnellen, da die Bläschen der Trichocysten senkrecht zu der Innenfläche der Pellicula angeordnet sind. Obgleich bei der momentanen Ausschnehlung des Inhalts der Trichocysten der Process selbst nicht wahrnehmbar ist, darf man dennoch behaupten, dass er eine gewisse Zeit dauert. Dies beweist erstens der Umstand, dass der aus einer schmalen Oeffnung des Trichocysten herausgeschossene Inhalt die Gestalt eines langen cylinderförmigen Körpers annimmt, zweitens derjenige, dass die Richtung, in welcher der Inhalt der Trichocyste hinausgeschleudert wird, mit der raschen Veränderung der Lage von deren Axe, deren Ende bei der Contraction des Ektoplasma des Vorder- oder Hinterendes des Körpers rasch nach vorn oder hinten rückt—in Verbindung steht; in diesem Falle nimmt die von dem

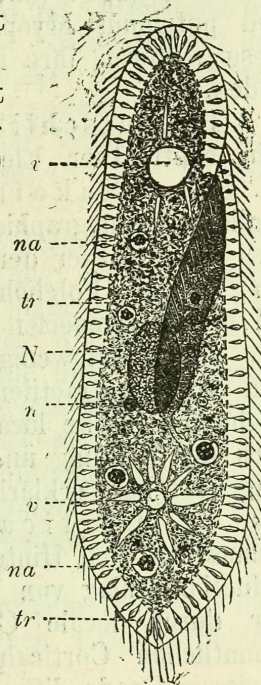


Fig. 17. Paramecium caudatum. Anordnung der Trichocysten und des Kerns in einem nach R. Mag-nitzky's (Moskau) Methode fixirten und gefärbten Präparat. N—Makronucleus, n—Mikronucleus, p—Peristom, tr—Trichocysten, v—contractile Vacuolen, na—Nahrungsvacuolen.

hinausgeschleuderten Inhalt der Trichocysten genommene Bahn die Form einer Parabel an—die Concavität der Anode zugewandt (Fig. 4 *b, d, f, h*).

Weniger bestimmt lässt sich die locale anodische Contraction des Ectoplasma erklären. Die in der einschlägigen Literatur enthaltenen Angaben über die Fähigkeit der Paramaecien ihre Körperform zu verändern zeichnen sich durch erstaunliche Widersprüche aus. In den Lehrbüchern von A. Lang (11, S. 59), M. Marschall & Herbst (37, S. 5), N. Zograf (38, S. 33) und W. Haller (39, S. 49) ist geradezu gesagt, dass bei *Paramaecium aurelia* und *putrinum* Myophanienstreifen vorhanden sind; die Arbeiten, auf welche diese Autoren ihre Behauptung gründen, ist, es mir jedoch nicht gelungen zu finden.

Bei Bütschli (2) dagegen finden wir keine Hinweise auf das Vorhandensein contractiler Elemente bei den Paramaecien; der russische Protistolog W. Schewiakoff (30, S. 338), Bütschli's Schüler, behauptet in seiner vorzüglichen Monographie: «Die Organisation und Systematik Infusoriae Holotrichae», dass «der Körper der Paramaecien elastisch und biegsam, doch nicht contractil ist». (S. 338). Folglich muss die Frage nach dem Vorhandensein von Myophanien bei den Paramaecien vorläufig für offen angesehen werden.

Nichtsdestoweniger zeugen meine Versuche (S. 15—20) für das Vorhandensein einer contractilen Plasmaschicht bei *Paramaecium caudatum*, da nur eine solche die rasche locale Veränderung der Körpergestalt an der Anode sogleich nach der Reizung und die Annahme der früheren Gestalt, wenn die Reizung aufgehört hat, erklärlich macht. Es ist anzunehmen, dass das contractile Plasma, das sog. *Corticalplasma*, zwischen dem Ektoplasma und dem Entoplasma an den Hinterenden der Trichocysten liegt; dasselbe reagirt auf einen Inductionsschlag von bestimmter Intensität, infolge von Reizung an der Anode, nur durch locale Contraction; starke Reizungen bewirken Contraction des sämtlichen *Corticalplasma*. Die Frage, ob letzteres homogen oder in einem gewissen Grade differencirt ist, hat eher eine morphologische Bedeutung.

Wenn die Paramaecien Myophanien besäßen, welche, wie z. B. bei *Holophrya discolor* (W. Schewiakoff, 30, S. 56), in meridionaler Richtung hinzögen, so würde die Reizung irgend eines Punktes des Streifens Contractions-erregung des ganzen Streifens, wie es bei *Stentor* der Fall ist, nach sich ziehen und würde die Folge davon Veränderung der Körperform längs des ganzen Meridians sein, was jedoch bei einer gewissen Reizschwelle nicht der Fall ist.

6. Das *Corticalplasma* ist bei *Lacrimariae olori* (S. 33—37) stärker entwickelt und besitzt die Fähigkeit über den ganzen Körper hin sich zu contrahiren; bei einer gewissen Intensität des Oeffnungsschlages ist die Contraction jedoch stärker an der Anode ausgedrückt.

7. Die conjugirenden und sich querteilenden Individuen (S. Seite 26) stellen in Bezug auf ihre Erregbarkeit ein Ganzes vor.

8. Die Reaction in Kochsalz und Seewasser cultivirter Paramaecien und *Seehypotrichae* unterscheidet sich in nichts von derjenigen der Süßwasserparamaecien.

9. Ein einzelner Inductionsöffnungsschlag mittlerer Intensität ruft Erscheinungen von Nachwirkung der Reizung hervor: der Protist

reagirt durch mehrere Schläge der Wimpern nach vorn, infolgedessen kein einzelner Ruck oder Sprung nach hinten, sondern längere Rückwärtsbewegung beobachtet wird.

Einige Schläge mittlerer Intensität (nach einer bestimmten Reaction) vermindern oder heben für eine Zeitlang die Erregbarkeit der Ciliata auf — Ermüdungserscheinungen; auf eine neue ziemlich starke Reizung reagirt der Protist entweder gar nicht oder ganz regellos. Tote Protisten reagiren auf einzelne Inductionsschläge nicht. Die Zerstörung des Protoplasma bei solchen Infusorien, denen die Fähigkeit sich zu contrahiren abgeht, findet gewöhnlich nicht momentan nach einem, sondern erst nach mehreren Inductionsschlägen statt und ist eine Folge electrolytischer Processe.

10. Thygmotaktische Infusorien, die infolge der Verzweigung des Stroms durch einen schwächeren Schlag gereizt werden (S. 46), reagiren schwächer als frei umherschwimmende Infusorien.

11. Die Resultate meiner Experimente mit den Ciliata stehen somit im Widerspruch mit dem Pflüger'schen Gesetz der Polarerregung; die momentane Welle eines Inductionsöffnungsschlages ruft bei 17 Arten Ciliata eine anodische Erregung hervor, die sich durch bestimmte Reactionen auslöst. Als beste Objecte für das Studium der Reaction betrachten wir *Paramecium* und *Lacrymaria*.

Wenn man sich vergegenwärtigt, dass ähnliche Abweichungen von dem Pflüger'schen Gesetz unter der Einwirkung des constanten Stroms auch bei einigen von Kühne (40) und Verworn (1) untersuchten Rhizopoda beobachtet worden sind, so stimmt man letztgenanntem Forscher bei: <dass sich kein allgemein gültiges Gesetz der polaren Erregung für alle lebendige Substanz aufstellen lässt> (41, S. 441).

12. Der Unterschied in der morphologischen und chemischen Structur der verschiedenen Ciliata ist die Hauptursache des verschiedenen Charakters der Reactionen derselben auf die elektrische Reizung.

Moskau, 1902, 17 November.

## Literaturverzeichnis.

1. M. Verworn: a) Die polare Erregung durch den galvanischen Strom. Arch. f. ges. Phys. Bd. 45. S. 1—36 und Bd. 46. S. 267—303. 1889 u. 1890.
- „ b) Untersuchungen über die polare Erregung der lebendigen Substanz durch den constanten Strom. Arch. f. ges. Phys., Bd. 62. S. 415—450. 1896.
- „ c) Die polare Erregung der lebendigen Substanz durch den constanten Strom. Arch. f. ges. Phys., Bd. 65, S. 47—62. 1897.

2. O. Bütschli. Protozoa, in Bronn's „Klassen u. Ordnungen des Thierreichs“, Bd. I, Abth. III, Infusoria. Leipzig. 1887—1889.
3. Kühne: Untersuchungen über Bewegungen und Veränderungen der contractilen Substanzen. Arch. f. Anat. u. Phys. in Wissenschaft. Med. 1859.
4. G. Schwalbe. Ueber die contractilen Behälter der Infusorien. Arch. f. mikros. Anat. Bd. II. S. 351—371. 1866.
5. A. Wrzeźniowski. Ein Beitrag zur Anatomie der Infusorien. Arch. f. mikros. Anat. Bd. V, S. 25—48. 1869.
6. Th. Engelmann. Beiträge zur Physiologie des Protoplasma. Arch. f. ges. Phys. Bd. II. S. 307—322. 1869.
7. J. Rossbach. Die rhythmischen Bewegungserscheinungen der einfachsten Organismen und ihr Verhalten gegen physikal. Agentien und Arzneimittel. Arb. Zool. Inst. Würzburg. V. 1—2. S. 9—72. 1872.
8. E. Roesle. Die Reaction einiger Infusorien auf einzelne Inductionsschläge. Zeitschrift f. Allg. Phys. Bd. II, Hef. I. S. 139—168. 1902.
9. H. Jennings. Studies on Reactions to Stimuli in unicellular Organisms. V On the Movements and motor Reflexes of the Flagellata and Cilata Amer. Journ. of Phys. Vol. III. № 6. P. 229—260. 1900.
10. B. Birukoff. Untersuchungen über Galvanotaxis. Arch. f. ges. Phys. Bd. 77. S. 555—585.
11. A. Lang. Lehrbuch der vergleichenden Anatomie der wirbellosen Thiere. Lief. II. Protozoa. Jena 1901.
12. W. Biedermann. Elektrophysiologie. Ergebnisse der Physiol., herausgeg. von L. Asher u. K. Spiro. Jahr. I. Abt. II. S. 169—196. Wiesbaden, 1902.
13. K. Ludloff. Untersuchungen über den Galvanotropismus. Arch. f. ges. Phys. Bd. 59, S. 525—554. 1895.
14. R. Pearl. Reaction of Certain Infusoria to Electric Current. Amer. Jour. of Phys. Vol. IV. № III. S. 96—123. 1900.
15. H. Wallengren. Zur Kenntnis der Galvanotaxis. Zeitschr. f. Allg. Physiol. Bd. II. Hef. 2, S. 341—384. 1902.
16. E. Stahl. Zur Biologie der Myxomyceten. Bot. Zeitung, 1884, S. 12.
17. P. Jensen. Methode der Beobachtung und Vivisection von Infusorien in Gelatinelösung. Biol. Centralblt. Bd. XII. S. 558.
18. A. Kunkel. Elektrische Untersuchungen an pflanzlichen und thierischen Gebilden. Arch. f. ges. Phys. Bd. XXV. S. 362. 1881.
19. T. Wiesemsky. Elektrische Erscheinungen bei den Pflanzen. Moskau. 1901.
20. L. Morochowetz. Chemisch-physikalische Grundzüge der Untersuchungsmethoden im Gebiete der Biologie und Medicin. Moskau 1897. Bd. II (russisch).
21. S. Proważek. Ueber Vitalfärbung mit Neutralroth. Biol. Centralblt. Bd. 17. 1897.
22. K. Kölsch. Untersuchungen über die Zerfliessungserscheinungen der ciliaten Infusorien. Zoolog. Jahrbüch. Bd. 16. Heft. 2. S. 273—422. 1902.
23. H. Wallengren. Inanitionserscheinungen der Zelle. Zeitschr. f. Allgem. Physiol. Bd. I. Hf. I. S. 67—128. 1902.
24. F. Cohn. Nova Acta Ac. Caes. L. Carol. S. 135. 1854.
25. A. Yasuda. On the Accomodation of some Infusoria to the Solutions of certain Substances in various Concentrations. Annotations Zool. Japon. Tokio. Vol. I. Part. II. 1897.

26. H. Goldberger. Die Wirkung von anorganischen Substanzen auf Protisten. Zeitschrift. f. Biol. Bd. 25 (Neue Folge). S. 503—581. 1902.
27. J. Loeb u. S. Budgett. Zur Theorie des Galvanotropismus. IV Mittheilung. Arch. f. ges. Physiol. Bd. 65. 1897.
28. P. Regnard. Recherches expérim. sur les condit. physiques de la vie dans les eaux. Paris. 1891.
29. S. Kent. A Manual of the Infusoria. London. 1881—2. Vol. II.
30. W. Schewiakoff. Organisat. u. Systematik der Infusoria Aspirotricha (Holotricha auctorum). Mem. de l'Acad. Impér. des Sciences St. Pétersbourg. Série VIII. T. IV. № 1. S. 1—395. 1896.
31. H. Jennings. Studies on Reactions to Stim. in unicell. Organisms. I. React. to chem., osmot., and mechan. Stimuli in the ciliate Infusoria. Journ. of Phys. V. XXI. 257—321. 1897.
32. W. Schewiakoff. Zur Biologie der Protisten. Mem. de l'Acad. Imp. des Scien. de St. Pétersbourg. T. 75. P. 1—90. 1895.
33. A. Pütter. Studien über Thygmotaxis bei Protisten. Arch. f. Anat. u. Phys., Phys. Abt., Suppl. Band. S. 243—302. 1900.
34. H. Jennings. II. The Mechanism of the motor Reactions of Paramecium. Amer. Journ. of Physiol. Vol. II. 311—341.
35. M. Verworn. Psycho-physiologische Studien. Jena. 1889.
36. V. Sterki. Beiträge zur Morphologie der Oxytrichen. Zeitschr. f. wissensch. Zoolog. Bd. 31. S. 29—55. 1878.
37. M. Marshall. a. H. Hurst. A junior Course of practical Zoology. London. 1895.
38. N. Zoograf. Lehrbuch der Zoologie. Moskau 1898—1900 (russisch).
39. B. Haller. Lehrbuch d. vergl. Anatomie. Lief. I. Jena 1902.
40. Kühne. Untersuchungen über das Protoplasma und die Contractilität. Leipzig. 1864.
41. M. Verworn. Allgemeine Physiologie. Drit. Aufl. Jena. 1901.

---

### Druckfehlerberichtigung.

- S. 2, Zeile 9 von oben lies „Gruithuisen (1809) und Ehrenberg (1838)“ anstatt „Eh ren erg“.
  - S. 6, Zeile 7 von unten lies „im Principe drücken sie dasselbe aus, was die Phrase B. Birukoff's“ anstatt „bei B. Birukoff folgendermassen periphphasirt sind“.
  - S. 7, Zeile 18, S. 8, Zeile 19 von oben, S. 9, Zeile 13 von unten, S. 10, Zeile 13 von unten, S. 15, Zeile 14, S. 22, Zeile 4, S. 27, Zeile 21, S. 30, Zeile 1 von unten lies „Schleimig-colloidale“ anstatt „Schleimig und colloidale“.
  - S. 26, Zeile 7 von unten lies „da in Bezug auf die Erregbarkeit conjugirende oder in Teilung begriffene Individuen ein Ganzes vorstellen“ anstatt „auch hinsichtlich der Erregbarkeit etc.“.
-