

Untersuchungen über die chemotaktische Reizbarkeit der Zoosporen von Chytridiaceen und Saprolegniaceen.

Von
Fritz Müller.

Einleitung.

Schon ehe Pfeffer¹⁾ seine grundlegenden Untersuchungen über die Chemotaxis der Farn-Spermatozoiden im Jahre 1884 veröffentlichte, waren in der Literatur Angaben vorhanden, die darauf hindeuteten, daß chemische Stoffe einen räumlich orientierenden Reiz auf freibewegliche Organismen auszuüben imstande seien. So beobachteten schon Ehrenberg²⁾ und später Cohn³⁾ Ansammlungen von Bakterien um bestimmte Substrate herum. Man erklärte sich dieses Verhalten als ein Drängen dieser Organismen nach Nahrungsstoffen.

Der erste, der auf die tiefere Bedeutung dieser fundamentalen Erscheinung hinwies und den Weg zu ihrer Erkenntnis anbahnte, war Engelmann⁴⁾. 1881 publizierte er seine wichtigen Untersuchungen über die Chemotaxis gewisser Bakterienformen und Infusorien gegen Sauerstoffquellen, die in Form von Luftblasen oder

1) W. Pfeffer, *Unters. a. d. Botan. Inst. zu Tübingen, Lokomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize*, 1884, Bd. 1, S. 367 u. Bd. 2, S. 654 u. *Ber. d. Bot. Gesellsch.*, 1883, S. 524.

2) Ehrenberg, *Die Infusionstiere als vollkommene Organismen*, 1838, S. 80.

3) Cohn, *Untersuchungen über Bakterien. Beiträge zur Biologie der Pflanzen*, 1872, Bd. 1, Heft 2, S. 142.

4) W. Engelmann, *Nene Methode zur Untersuchung der Sauerstoffausscheidung tierischer und pflanzlicher Organismen*. *Botan. Zeitung*, 1881, S. 440; *Pflügers Archiv f. Physiologie*, 1881, Bd. 25, S. 285, u. 1881, Bd. 26, S. 541.

Chlorophyll haltigen, assimilierenden Mikroorganismen gegeben sein können.

Aber die Mannigfaltigkeit und Gesetzmäßigkeit der chemotaktischen Reizbewegungen wies erst Pfeffer¹⁾ nach, dessen Methodik²⁾ für alle folgenden chemotaktischen Studien vorbildlich wurde. Die Arbeiten Pfeffers beziehen sich hauptsächlich auf die Spermatozoiden verschiedener Archegoniaten, insbesondere der Farne, ferner auf eine größere Zahl von Bakterien, Flagellaten, Volvocineen und die Gameten zweier Chlorophyceen. Diese Untersuchungen hatten nicht nur die Präzisierung der chemotaktisch wirksamen Stoffe zum Ziele, sondern beschäftigten sich auch mit der Frage, wie die chemotaktischen Ansammlungen zustande kommen³⁾. Bekanntlich sind die Samenfäden der Farne das klassische Objekt für die zu topo-chemotaktischen Reaktionen befähigten Mikroorganismen geworden.

Fast zu gleicher Zeit mit diesen Veröffentlichungen war eine Arbeit Stahls⁴⁾ erschienen, in der er zeigte, daß die Plasmodien der Myxomyceten durch Lohedekokt zu chemotaktischen Reizbewegungen veranlaßt werden.

Im Anschluß an die Pfefferschen Untersuchungen entwickelte sich eine sehr umfangreiche Literatur über die Chemotaxis der freibeweglichen Organismen. Es sei im Folgenden nur kurz auf einige wichtigere Arbeiten hingewiesen.

Nach Stange⁵⁾ werden die Myxamöben durch einige organische Säuren chemotaktisch gereizt, während er für die Zoosporen von *Saprolegnia* in der Phosphorsäure und ihren Salzen gute Reizstoffe entdeckte⁶⁾. Für die meisten Bakterien wurden Pepton und Kaliumsalze als sehr wirksame Reizmittel erkannt⁷⁾.

Besonders hervorheben möchte ich die interessanten Untersuchungen Rotherts⁸⁾, in denen er die physiologische Qualität der Chemotaxis der Bakterien einer eingehenden Betrachtung unter-

1) W. Pfeffer, a. a. O., Über chemotaktische Bewegungen von Bakterien, Flagellaten u. Volvocineen, 1888, Bd. 2, S. 582 u. Bd. 1, S. 363.

2) W. Pfeffer, a. a. O., Bd. 2, S. 584 u. Bd. 1, S. 367.

3) W. Pfeffer, a. a. O., Bd. 1, S. 373.

4) E. Stahl, Zur Biologie der Myxomyceten. Botan. Zeitung, 1884, S. 163.

5) B. Stange, Über chemotaktische Reizbewegungen. Botan. Zeitg., 1890, S. 155.

6) A. a. O., S. 125.

7) W. Pfeffer, Unters. a. d. Bot. Inst. zu Tübingen, Bd. 2, S. 607, 1888.

8) W. Rothert, Beobachtungen und Betrachtungen über taktische Reizerscheinungen, Flora, Bd. 88, 1901, S. 371.

zieht und auf die prinzipielle Verschiedenheit der schon von Massart¹⁾ entdeckten Osmotaxis gegenüber der Chemotaxis näher eingeht. Desgleichen gibt uns Kniep²⁾ bezüglich der Bakterien wichtige Aufschlüsse über die durch die Kulturbedingungen hervorgerufene Veränderlichkeit ihrer Sensibilität gegen einzelne Reizstoffe, sowie über deren gegenseitiges Verhältnis.

Unsere Kenntnis über die Chemotaxis der Spermatozoiden der Archegoniaten wurde seit Pfeffer erst wieder durch die Arbeiten von Vögler³⁾ gefördert, der besonders den Einfluß äußerer Faktoren auf die chemotaktische Reizempfindlichkeit studierte.

Weitere, wichtigere Untersuchungen, die speziell auf diesem Gebiete während der neueren und neuesten Zeit ausgeführt wurden, verdanken wir Buller, Shibata, Lidforss, Bruchmann und Akerman.

Nach Buller⁴⁾ üben verschiedene Stoffe, wie z. B. Kaliumsalze, Phosphate und einige organische Säuren, in relativ hohen Konzentrationen eine mäßig anlockende Wirkung auf die Farnsamenfäden aus.

Während Lidforss⁵⁾ in den Proteinkörpern ausgezeichnete Reizstoffe für die Spermatozoiden der Lebermoose erkannte, präzierte Shibata⁶⁾ in einer Reihe von Arbeiten die chemotaktisch wirksamen Stoffe der Samenfäden von *Salvinia*, *Isoetes* und *Equisetum*. Er zeigte, daß neben verschiedenen Körpern besonders

1) Massart, Sensibilité et adaption des organismes à la concentration des solutions salines, Archives de Biologie, Bd. IX, 1889, p. 529 und La sensibilité à la concentration chez les êtres unicellulaires marins, Bulletin de l'Académie Belg., 3 sér., Bd. XXII, p. 152 u. 153, (1891).

2) H. Kniep, Untersuchungen über die Chemotaxis der Bakterien. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLIII, 1906, S. 215.

3) C. Vögler, Beiträge zur Kenntnis der Reizerscheinungen. Botan. Zeitung, 1891, S. 641.

4) R. Buller, Contributions to our knowledge of the physiology of the spermatozoa of ferns. Annals of Botany, Vol. XIV, 1900, p. 543.

5) B. Lidforss, Über die Reizbewegungen der *Marchantia*-Spermatozoiden. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLI, 1905, S. 65.

6) K. Shibata, Studien über die Chemotaxis der *Isoetes*-Spermatozoiden. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLI, 1905, S. 561. — Über die Chemotaxis der Spermatozoiden von *Equisetum*. Vorläuf. Mitteil., Sonderabdruck aus The Botanical Magazine, Vol. XIX, No. 223, August 20, 1905. — Weitere Mitteilung über die Chemotaxis der *Equisetum*-Spermatozoiden. Sonderabdruck aus The Bot. Mag., Vol. XIX, No. 226, Nov. 20, 1905. — Studien über die Chemotaxis der *Salvinia*-Spermatozoiden. Vorl. Mitteil., Sonderabdruck aus d. gleich. Zeitschr., Vol. XIX, No. 219, April 20, 1905.

dem Äpfelsäureanion ein hervorragender Reizwert auf diese Organismen zuzusprechen sei.

Sehr interessant sind die Untersuchungen Bruchmanns¹⁾ über die chemotaktischen Reizbewegungen der *Lycopodium*-Spermatozoiden. Sie nehmen insofern eine Sonderstellung ein, als sie sich gegen das Äpfelsäureanion vollkommen indifferent verhalten. Nur die Zitronensäure ist imstande, sie zu chemotaktischen Reizbewegungen zu veranlassen. Desgleichen lassen sich die Samenfäden von *Marsilia* nicht durch Äpfelsäure anlocken. Der spezifische Reizstoff konnte bis jetzt noch nicht ermittelt werden.

Die neueste Arbeit, die sich mit der Chemotaxis der *Marchantia*-Spermatozoiden beschäftigt, stammt von Akerman²⁾. Er ergänzte die Resultate Lidfors's, indem er die chemotaktische Reizwirkung der K⁻, NH₄⁻ und Li⁻-Ionen auf diese Samenfäden nachwies.

Infolge dieser zahlreichen Studien sind uns jetzt die spezifischen Reizstoffe für die Spermatozoiden fast aller Archegoniaten bekannt.

Die von Pfeffer zuerst entdeckten, chemotaktischen Beziehungen der Farn-Spermatozoiden zur Eizelle haben bekanntlich in der Organismenwelt mehrfach Analoga gefunden.

So z. B. wirkt bei den Säugetieren, wie Loew³⁾ durch Versuche an Ratten, Kaninchen und Hunden nachwies, die Uterusschleimhaut positiv chemotaktisch auf die Spermatozoen.

Wir haben hier Anpassungen der einfachsten Art vor uns, die uns beweisen, welch' ungemein wichtige Rolle die chemotaktischen Reizvorgänge im Getriebe des Lebens spielen.

Weitere wertvolle Untersuchungen über die Chemotaxis auf zoologischem Gebiete verdanken wir Leber, Massart, Buchner, Metschnikoff u. a., die die chemotaktischen Eigenschaften der Leucocyten im Wirbeltierkörper feststellten. Diese Arbeiten haben die Beantwortung der hochwichtigen Frage über die Stellungnahme der Leucocyten in Beziehung zu den Infektionskrankheiten angebahnt.

1) H. Bruchmann, Von der Chemotaxis der *Lycopodium*-Spermatozoiden. Flora, 1909, S. 193 u. 197.

2) Ake Akerman, Über die Chemotaxis der *Marchantia*-Spermatozoiden. Zeitschrift f. Botanik, 2. Jahrg., II. Heft, 1910, S. 101 u. 103.

3) Loew, Die Chemotaxis der Spermatozoen im weiblichen Genitaltrakt. Sitzgs.-Ber. d. Wiener Akad. d. Wissensch., mathem.-naturwiss. Kl., Bd. 111, Abt. 3, 1902.

Auch auf zoologisch-entwicklungsgeschichtlichem Gebiete spielt die Chemotaxis der Leucocyten eine große Rolle, wie Kowalevsky¹⁾ bei Insekten mit rasch verlaufender Metamorphose gezeigt hat.

Somit ist die Chemotaxis als eine Reizerscheinung von außerordentlicher Verbreitung erkannt worden, die von Wichtigkeit sowohl für die einzelligen Organismen als auch für die aus einem Zellstaate sich aufbauenden Individuen ist.

Was unsere Kenntnis über die Chemotaxis der Schwärmzellen der Phycomyceten anbetrifft, so liegen hierüber die ersten Beobachtungen von Pfeffer²⁾ vor.

Er konstatierte, daß die Zoosporen von *Saprolegnia ferax* durch Fleischextrakt und die Muskelbündel von Fliegenbeinen energisch angelockt werden. Auf die Anregung Pfeffers hin suchte Stange³⁾ die Reizstoffe für verschiedene Saprolegniaceen näher zu ermitteln und fand in der Phosphorsäure und ihren Salzen sehr wirksame Chemotaktika.

Hingegen hat es bis dahin noch niemand unternommen, die Zoosporen der Chytridiaceen auf chemotaktische Reizbewegungen hin zu untersuchen. Wir finden zwar Angaben in der Literatur, die eine chemotaktische Sensibilität dieser Schwärmzellen fast gewiß erscheinen lassen, aber eine Präzisierung der wirksamen Reizstoffe ist bis jetzt noch nicht versucht worden.

So sind nach Rosen⁴⁾ die Schwärmsporen von *Chytridium zygnetis* durch die beim Absterben der *Zygnema*-Zellen entstehenden Zerfallsprodukte chemotaktisch reizbar. Auch Zopf⁵⁾ spricht die Vermutung aus, daß die im Wasser suspendierten Zoosporen gewisser Phycomyceten durch die aus den Pollenkörnern herausdiffundierenden Stoffe chemotaktisch gereizt würden. Auf diese Erscheinung gründete Zopf bekanntlich seine Fangmethode niederer Algenpilze. Desgleichen ist für die auf verschiedenen Saprolegniaceen parasitierenden Chytridien (*Olpidiopsis*, *Rozella*, *Woronina* usw.) die Annahme einer chemotaktischen Reizbarkeit ge-

1) Kowalevsky, Beiträge zur Kenntnis der nachembryonalen Entwicklung der Musciden. Zeitschr. f. wiss. Zool., Bd. 45, 1887, S. 543.

2) W. Pfeffer, Unters. a. d. Bot. Inst. zu Tübingen, Bd. I, 1884, S. 466—467.

3) B. Stange, Über chemotaktische Reizbewegungen. Bot. Zeitung, Bd. 48, 1890, S. 107, 125, 126.

4) Rosen, Beitrag zur Kenntnis der Chytridiaceen, S. 12, 1886.

5) W. Zopf, Über einige, niedere Algenpilze, S. 5, Halle, 1887.

rechtfertigt, denn sie werden nach Fischer¹⁾ durch ihre Wirtspflanzen deutlich angelockt. Die spezifischen Reizstoffe sind auch hier in keinem Fall ermittelt. Um diese auf reizphysiologischen Gebiete bestehende Lücke auszufüllen, sollen die nachfolgenden Untersuchungen bestimmt sein.

Die Resultate, die meine Studien über die Chemotaxis der Zoosporen von *Rhiz. poll.* zeitigten, ließen vermuten, daß auch die Schwärmzellen der saprophytisch lebenden Saprolegniaceen durch ähnliche oder die gleichen Stoffe zu lokomotorischen Richtungsbewegungen veranlaßt würden. Die Experimente bestätigten diese Vermutung im vollsten Umfange. Aus diesen Gründen wurden die Zoosporen verschiedener Saprolegniaceen mit in den Kreis meiner chemotaktischen Untersuchungen einbezogen.

Kapitel I. Material und seine Kultur.

1. Als Untersuchungsobjekt aus dem Formenkreis der Chytridiaceen diene zunächst das in den Gewässern wohl relativ am häufigsten vorkommende *Rhizophidium pollinis* (A. Braun), welches zuerst von Zopf²⁾ entwicklungsgeschichtlich eingehend studiert worden ist. Diesen Pilz isolierte ich mittels der von Zopf³⁾ begründeten Pollenmethode. Zu diesem Zweck wurden den Flußläufen und größeren Tümpeln und Teichen der Umgebung Leipzigs Wasserproben von je 1—2 l entnommen und diese wegen der nötigen Sauerstoffzufuhr in unverkorkten Gefäßen in das Laboratorium befördert. Daß aber diese Chytridiacee, wenigstens in der Leipziger Flora, nicht allzu häufig sein kann, geht daraus hervor, daß es mir erst nach vielen Bemühungen gelang, das gewünschte Material in einem großen Tümpel der der Universität Leipzig zugehörigen Besitzung „Oberholz“ zu entdecken. Deshalb diene dieser Standort, der den Pilz stets in ansehnlicher Menge zu enthalten schien, während des ganzen Verlaufes der Untersuchungen als Ausgangspunkt für sämtliche Kulturen von *Rhiz. poll.*

Die Kulturmethode gestaltete sich folgendermaßen. Das absichtlich mit etwas pflanzlichem Detritus vermengte, Schwärmsporenhaltige Wasser wurde, um die störenden, größeren Organismen

1) A. Fischer, Untersuchungen über die Parasiten der Saprolegnien. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIII, 1882, S. 286.

2) A. a. O., S. 6—14.

3) A. a. O., S. 4.

(Daphniden usw.) zu entfernen, durch mittelfeine Gaze filtriert und in flache, je $\frac{1}{2}$ l fassende Kristallisierschalen gefüllt.

Die Aussaat des Pollenstaubes erfolgte mit Hilfe eines Spachtels in Form einer dünnen, die Wasseroberfläche gleichmäßig bedeckenden Schicht. Wegen der unbedingt nötigen, reichlichen Sauerstoffzufuhr wurden die Kulturen nur locker mit Fließpapier überdeckt und an einen vor direktem Sonnenlicht geschützten Ort von mittlerer Temperatur (14—18° C.) aufgestellt. Wie wir später noch erörtern werden, ist außerdem die Giftfreiheit der Atmosphäre, vor allem das Fehlen von Kohlenoxyd, eine unerläßliche Bedingung für das Gedeihen der *Rhiz.*-Kulturen.

Der als Nährsubstrat dienende Coniferen-Pollenstaub stammte von verschiedenen *Pinus*-Arten, besonders von *Pinus montana*, ferner von *Pinus silvestris* und *Pinus Pinaster*. Er wurde in vollkommen reifem, gut stäubendem Stadium gesammelt und gewöhnlich im direkten Sonnenlicht scharf getrocknet. Auf diese Weise verhütet man eine Infektion und Zerstörung der Pollenmasse durch Schimmelpilze usw. Diesen so behandelten Pollenstaub hielt ich in gut verschlossenen Glasgefäßen für alle Kulturen bereit.

2 bis 3 Tage nach der ersten Aussaat wurden den Kulturen mittels einer Platinöse verschiedene Proben des Pollenstaubes entnommen und der mikroskopischen Untersuchung unterworfen. Es zeigte sich, daß ungefähr jedes dritte bis vierte Pollenkorn infiziert war. Der kleinere Teil der Sporangien fand sich noch im Stadium der Entwicklung, während der größere Teil von ihnen vollkommen reif oder schon entleert war. Bei genauer Durchmusterung der Präparate konnte regelmäßig konstatiert werden, daß das Aussaatmaterial niemals von fremden, zoosporenbildenden Phycomyceten befallen war, was zu Täuschungen und Fehlerquellen hätte Anlaß geben können. Es bedurfte deshalb zum Zwecke der Reinkulturen von *Rhiz. poll.* keiner weiteren Isolierungsversuche. Da sich die Zahl der freibeweglichen Zoosporen, die nach 2 bis 3-tägiger Kultur zur Entwicklung gekommen waren, für die chemotaktischen Untersuchungen noch als zu gering erwies, was bei ihrer relativ kurzen Schwärmsperiode umso störender ins Gewicht fiel, wurde das Pilzmaterial durch Aussaat von neuem Pollenstaub angereichert. Denn dieser wird naturgemäß im Gegensatz zu den ausgelaugten und daher nahrungsärmeren Pollenzellen wesentlich leichter und rascher von den Schwärmsporen des Parasiten befallen. Schon 24 bis 30 Stunden nach der zweiten Aussaat läßt sich konstatieren, daß

infolge der günstigeren Lebensbedingungen eine sehr üppige Vermehrung des Pilzes stattgefunden hat; fast jedes Pollenkorn ist mit mehreren Sporangien behaftet. Da alle möglichen Entwicklungsstadien reichlich vertreten sind, so stehen auf einen Zeitraum von 24 Stunden hin stets Zoosporen in genügender Menge zur Verfügung. Mittels einer Platinöse wurde den Kulturen ein entsprechendes Quantum des infizierten Pollenstaubes entnommen und auf den Objektträger übertragen. Nachdem unter der feuchten Glocke einige Minuten lang die Entleerung weiterer, reifer Zoosporangien abgewartet worden war, konnte zu den chemotaktischen Versuchen übergegangen werden. Die Anwendung von Deckgläschen erfolgte wegen der ungemeinen Empfindlichkeit der Zoosporen gegen Sauerstoffmangel nur in seltenen Fällen, wo es nach Maßgabe des Versuches unbedingt erforderlich erschien.

Um stets frisches Zoosporenmateriale in reichlicher Menge zur Verfügung zu haben, verfuhr ich folgendermaßen. Wenn sich die oben erwähnten Ausgangskulturen im Stadium der lebhaftesten Schwärmerbildung befanden, wurde ein Teil der Kulturflüssigkeit und infizierten Pollenmasse in ein entsprechendes Quantum Leitungswassers (nicht destilliertes Wasser!) übertragen und von neuem mit Pollenstaub beschickt. Nach 24—48 Stunden hatte wieder eine üppige Vermehrung des Pilzes Platz gegriffen, so daß die Zoosporen die Kulturflüssigkeit in großer Menge durchheilten. Zur Züchtung weiterer Kulturen wurde dieses Verfahren zum zweiten Male wiederholt. Eine öftere Wiederholung dieser fortlaufenden Überimpfungsmethode erwies sich infolge der eintretenden Dauersporangienbildung und vor allem wegen der Abnahme der chemotaktischen Reizempfindlichkeit als unratsam. Deshalb mußte nach bestimmten Zeitintervallen stets auf frisch angelegte Kulturen zurückgegriffen werden. Über diese Abstumpfung der chemotaktischen Sensibilität soll in Kap. X noch näheres berichtet werden.

2. Für die Bestimmung von *Rhiz. poll.* ist es unbedingt erforderlich, eine Messung der Schwärmsporen vorzunehmen. Während diese einen Durchmesser von 4—6 μ aufweisen, besitzen die Zoosporen der Spezies *Rhiz. sphaerotheca* nov. spec. (Zopf)¹⁾ nur einen Durchmesser von 2,5—3 μ . Im übrigen sieht diese Spezies dem *Rhiz. poll.* täuschend ähnlich. Ebenso stimmt der Entwicklungsgang der Sporangien ($d = 4—22 \mu$) vollkommen und der Bau des

1) W. Zopf, Über einige, niedere Algenpilze usw., S. 16, 17 u. S. 8, Anmerk.

Mycels und der Schwärmzellen so gut wie ganz mit dem von *Rhiz. poll.* überein.

Diese kleine Chytridiacee, die ich am Ende meiner Untersuchungen zufällig aus einem Graben des „Connewitzer Holzes“ isolierte, wurde von mir in den Kreis der chemotaktischen Studien einbezogen.

Zunächst glaubte ich, besonders kleine Schwärmer von *Rhiz. poll.* vor mir zu haben. Die genauere Bestimmung durch Messung ergab jedoch mit großer Wahrscheinlichkeit, daß es sich um *Rhiz. sphaerotheca* handelte. Zopf, der diesen Organismus zuerst entdeckte, hat ihn auf den Mikrosporen zweier *Isoetes*-Arten eingefangen und kultiviert. Ich kann konstatieren, daß er auch auf Coniferenpollen ganz vorzügliches Wachstum und rapide Vermehrung zeigte. Während *Rhiz. poll.* sehr leicht zur Bildung von Dauer-sporangien neigt, sind bis jetzt Dauerzustände von *Rhiz. sphaerotheca* noch nicht beobachtet worden; selbst nach 5-monatlicher Kultur vermochte Zopf keine Dauersporangien zu erzielen. Ich muß mich auf Grund meiner Kulturversuche, die sich freilich nur auf die Zeit von 4 Wochen erstreckten, diesen Beobachtungen anschließen. Im übrigen gilt bezüglich der Kulturmethode für *Rhiz. sphaer.* das Gleiche wie für *Rhiz. poll.*

3. Um das Ausgangsmaterial für die Saprolegniaceen zu beschaffen, wurden dem Aquarium des Botan. Instituts Wasserproben zu je 0,5 l entnommen, in flache Kristallisierschalen gefüllt und diese an einem Ort mittlerer Temperatur (14—15° C.) aufgestellt. Auf den Wasserspiegel wurden frisch getötete Stubenfliegen gebracht, die nach 2 bis 3 Tagen mit einem dichten Strahlenkranz fruktifizierender Hyphen umgeben waren. Zwecks Erlangung von Kulturen, die nur eine bestimmte Spezies enthielten, ging ich folgendermaßen vor. Zunächst wurden die üppigsten „Rasen“ der Rohkultur in langsam fließendem Wasser durch vorsichtiges Abbürsten mit einem feinen, weichen Pinsel und häufiges Schwenken von den anhaftenden Infusorien usw. befreit. Sodann wurde der mittels einer kleinen, krummen Schere abgeschnittene Hyphenkranz auf den Objektträger in einen Tropfen Leitungswassers gebracht und unter dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung mit Hilfe zweier Präpariernadeln eine mögliche Isolierung der einzelnen Hyphen angestrebt. Alle Hyphen, die sich in dem Gemisch verschiedener Saprolegniaceen als nicht der gewünschten Spezies angehörig erwiesen — was man bei genauer, morphologischer Vergleichung der fruktifizierenden Hyphen

mit ziemlicher Sicherheit entscheiden kann — wurden aus dem Präparat sorgfältig entfernt. Der Rest der ausgewählten Hyphen wurde in eine Kristallisierschale mit filtriertem und abgekochten Aquariumwasser übertragen, das nach dem Erkalten durch kräftiges Schütteln wieder mit Sauerstoff gesättigt worden war. Um die Entwicklung der Bakterien möglichst einzudämmen, wurden die als Nährsubstrat dienenden Fliegenleiber kurz vor ihrer Verwendung durch 10 Sekunden langes Eintauchen in kochendes Wasser sterilisiert. Es empfiehlt sich im Interesse einer möglichst gleichmäßigen Ausbildung des Hyphenkranzes den Fliegen zuvor die Beine dicht am Körper abzuschneiden und die flach ausgebreiteten Flügel der Wasseroberfläche anzudrücken. Hierdurch vermeidet man vor allem auch das Untersinken der Fliegenleichen. Auf diese Weise erhält man nach Verlauf von 2 bis 3 Tagen meist schon Kulturen, die nur die gewünschte Spezies aufweisen. Sollte dies aber noch nicht vollkommen gelungen sein, so führt eine Wiederholung des obigen Isolierungsverfahrens sicher zum Ziele. Diese Kulturen dienen als Ausgangspunkt für alle weiteren Spezies-Kulturen, die einfach durch Überimpfen der Zoosporen erhalten wurden.

Ich isolierte mir auf diesem Wege eine zur *Ferax*-Gruppe gehörige *Saprolegnia*-Spezies, ferner eine *Achlya*- und *Aphanomyces*-Art. Die *Saprolegnia* schien mir auf Grund ihrer morphologischen Charaktere mit ziemlicher Sicherheit mit der *Saprolegnia mixta*¹⁾ identisch zu sein. Eine absolut sichere Bestimmung ist bekanntlich äußerst schwierig. An diesem Objekt führte ich die Studien über die taktischen Reizerscheinungen eingehend durch, während mit *Achlya* und *Aphanomyces* nur einige orientierende Versuche angestellt wurden. Die Wahl fiel deswegen auf die *Saprolegnia mixta*, weil sich ihre Zoosporen durch besonders lebhaft bewegliche und hohe Reizempfindlichkeit auszeichnen. Dagegen eigneten sich die ziemlich träge beweglichen und weniger empfindlichen Zoosporen von *Saprol. Thuretii (ferax)*²⁾ nicht gut als Versuchsobjekt.

Waren die *Saprolegnia*-Kulturen in das Stadium der Schwärmerbildung eingetreten, so wurde der „Rasen“ mit Hilfe einer kleinen Schere vom Nährsubstrat getrennt und in ca. 0,25—0,5 cm breite Stücke zerteilt. Durch vorsichtiges wiederholtes Schwenken in

1) Vgl. Dr. L. Rabenhorsts Kryptogamen-Flora, IV. Abteil.: *Phycomyctes* von A. Fischer, 1892, S. 333 u. 339.

2) Vgl. Rabenhorsts Kryptogamen-Flora, 1892, IV. Abteil.: *Phycomyctes*, S. 339 u. 340.

Leitungswasser ließ sich das Mycel nach Möglichkeit von den anhaftenden Bakterien befreien. Die einzelnen Mycelstückchen wurden auf je einen Objektträger in einen größeren Tropfen Leitungswasser übertragen und unter der feuchten Glocke mehrere Stunden sich selbst überlassen. Während dieser Zeit haben fast alle Sporangien ihren Inhalt entlassen und die meisten Zoosporen sind schon in das zweite, allein empfindliche Schwärmstadium eingetreten.

Bekanntlich sind die Schwärmer aller *Saprolegnia*-Spezies diploplanetisch, d. h. die aus den Sporangien entleerten Zoosporen kommen nach sehr kurzer und träger Schwärmtätigkeit zur Ruhe, um sich nach Ablauf von 2 bis 3 Stunden zu häuten, worauf sie ihre aktive Bewegung mit erhöhter Geschwindigkeit und bedeutend verlängerter Schwärmdauer von neuem beginnen. Auch die *Achlya*- und *Aphanomyces*-Zoosporen schließen sich diesem Verhalten an, nur mit dem Unterschiede, daß sie vor der Häutung kein aktives Bewegungsvermögen besitzen, sondern an der Spitze der Sporangien entleert werden und hier bis zum Eintritt des Häutungsprozesses liegen bleiben.

Am vorteilhaftesten stellt man für jede längere Versuchsdauer eine Serie von 25 bis 30 Präparaten her. Auf diese Weise hat man nach ca. 3 Stunden frisches Zoosporenmateriale in reichlicher Menge zur Verfügung, das für 3 bis 4 Stunden den chemotaktischen Untersuchungen dienen kann.

Nur in besonderen Fällen wurden die Präparate mit Deckgläschen bedeckt.

Ich habe also nicht mit bakterienfreien Reinkulturen, sondern nur mit Spezies-Reinkulturen gearbeitet, wie es seinerzeit auch Stange getan hat. Die relativ geringe Verunreinigung der Präparate durch die Stoffwechselprodukte der Bakterien ist ohne wesentlichen Einfluß auf die Empfindlichkeit der Schwärmosporen.

Stange züchtete seine *Saprolegnia*-Spezies auf Fliegenbeinen und übertrug diese mit in den Versuchstropfen. Dies habe ich absichtlich vermieden. Denn bei der Stangeschen Methode diffundieren aus dem Nährsubstrat dauernd chemotaktisch wirksame Stoffe (Phosphate, Proteinkörper und ihre Derivate) in das Außenmedium, die die untere Reizschwelle guter Chemotaktika bis zu einem gewissen Grade nach oben verschieben müssen und eine Reaktion gegen schwache Chemotaktika vollkommen verdecken, falls die Reizunterschiedsschwelle nicht erreicht wird.

Im Anschluß hieran sei noch kurz die Kulturmethode, die Klebs¹⁾ zur Züchtung bakterienfreier Reinkulturen der *Saprolegnia mixta* anwandte, bezüglich ihrer Brauchbarkeit für den vorliegenden Zweck charakterisiert.

Trotz vielfacher Bemühungen erwies sich das nach dieser Kulturmethode gezüchtete Zoosporenmaterial für das Studium chemotaktischer Reizbewegungen unbrauchbar. Eingehenderes werde ich hierüber in Kap. X mitteilen. Der sterile, künstliche Nährboden, der mit einigen fruktifizierenden Hyphen von *Saprolegnia* geimpft wurde, setzte sich aus 5—6% Gelatine und 2% Fleischextrakt zusammen. Über die weitere Methodik verweise ich der Kürze halber auf die Arbeit von Klebs. Die schließlich erhaltenen, sterilen vegetativen Mycelscheiben wurden, nachdem sie 4—5 cm Durchmesser erreicht hatten, mit einem Spachtel aus den Petrischalen herausgeschnitten und allmählich, zur Vermeidung eines zu plötzlichen Temperaturwechsels, in 32° Leitungswasser übertragen, um sie möglichst schnell und gründlich von dem anhaftenden Gelatine-Nährboden zu befreien. Bekanntlich werden die vegetativen Hyphen durch plötzliche Entziehung des Nährsubstrates zur Zoosporangienbildung angeregt. Eine schnelle und gründliche Entfernung des Nährsubstrates ist unbedingt erforderlich, da selbst bei noch geringer Nahrungszufuhr ein wenn auch nur spärliches Weiterwachsen der Hyphen stattfindet und eine Zoosporangienbildung unterbleibt. Das schließlich erhaltene Schwärmermaterial ließ erkennen, daß durch die künstlichen Kulturbedingungen eine starke Abschwächung in der Reizempfindlichkeit eingetreten war.

Meine Erfahrungen, die ich ferner an den unter längerer Kultur gehaltenen *Saprolegnia*-Mycelien gemacht habe, decken sich nicht mit den Klebsschen Angaben. Den Grund für dieses abweichende und regelmäßig beobachtete Verhalten vermag ich allerdings nicht anzugeben, umsomehr, als ich alle Vorschriften genau einzuhalten bestrebt war. Der genannte Forscher gibt nämlich an, daß diese unter künstlichen Verhältnissen gezogenen und weiter kultivierten Mycelien sich jederzeit, selbst nach Monaten noch, durch bloße Nährbodenentziehung zu reichlicher Sporangien- und Schwärmerbildung anregen ließen. Ich habe dagegen konstatiert, daß die Hyphen schon in der dritten bis vierten Generation

1) G. Klebs, Zur Physiologie der Fortpflanzung einiger Pilze, II., *Saprolegnia mixta*. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXIII, S. 514—516, 545, 546.

eine stark verminderte Neigung zur Sporangienbildung aufweisen. Setzt man durch Abimpfen des Mycels die Kulturen noch weiter fort, so treten an den folgenden Generationen nach Entfernung des Nährsubstrates schon namhafte Degenerationserscheinungen auf, die sich darin äußern, daß die Sporangien eine oft recht eigentümliche Form annehmen und das Plasma der Hyphen zerklüftet und vakuolenhaltig erscheint. Die in geringer Zahl entlassenen Zoosporen büßen ihre normale Eigenschaft, sich zu häuten, ein. Meist aber kommt es nicht mehr zu einer Entleerung der Zoosporangien, sondern die Zoosporen keimen innerhalb ihres Behälters aus und durchbrechen mit ihrem Promycel die Sporangiumwandung. Dieses Verhalten erinnert an *Aplanes*, deren Zoosporen normalerweise überhaupt einer aktiven Eigenbewegung entbehren, sondern direkt in das Stadium der Keimung eintreten.

Ganz ähnliche, abnorm-morphologische Verhältnisse habe ich auch bei Kulturen auf natürlichem Nährsubstrat beobachtet, sobald ich diese bei relativ hohen Temperaturen sich entwickeln ließ (36° C.), wie sie in der Natur gemäß des Standortes der Saprolegniaceen wohl nur äußerst selten erreicht werden. Auch hier trat als Begleiterscheinung eine starke Abnahme der chemotaktischen Reizempfindlichkeit der Schwärmer ein.

4. *Pseudolpidium Saprolegniae*. Eine auf *Saprolegnia* parasitierende Chytridiacee, die ich öfters auf *Saprolegnia*-Rohkulturen zu beobachten die Gelegenheit hatte, wurde mit in den Kreis der chemotaktischen Untersuchungen einbezogen. Sie konnte nach ihren morphologischen Merkmalen mit Sicherheit als *Pseudolpidium Saprolegniae*¹⁾, synonym: *Olpidiopsis Sapro.*, bestimmt werden. Was ihre eingehende Morphologie und Physiologie betrifft, verweise ich auf die Originalarbeit Fischers²⁾.

Die von dem Parasiten befallenen Hyphen der Saprolegn. sind schon mit bloßem Auge deutlich zu erkennen, indem ihre Enden nahezu stecknadelkopfgroße, blasige Auftreibungen erkennen lassen. Von den Oogonien der *Saprolegnia* sind sie wegen der auffälligen Größenunterschiede leicht auseinander zu halten.

Diese infizierten Hyphen wurden mittels einer Pinzette isoliert, auf den Objektträger in einen Tropfen Wasser übertragen und

1) Vgl. Rabenhorsts Kryptogamen-Flora, IV. Abteil.: *Phycomycetes*, 1892, S. 33, 34 u. 35.

2) A. Fischer, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIII, 1882, S. 286 u. Bot. Zeitg., 1886.

mehrere Stunden unter der feuchten Glocke bis zur Sporangientleerung aufbewahrt, wonach die entlassenen Zoosporen sofort auf ihre chemotaktischen Eigenschaften hin geprüft werden konnten. Für ein Präparat sind drei bis vier große *Pseudolpidium*-Sporangien vollkommen genügend, da ein einziges Sporangium viele Hundert Zoosporen erzeugt. Um von dem Parasiten Kulturen anzulegen, wurden die entleerten Schwärmer einfach in junge *Saprolegnia*-Kulturen übertragen. Nach ca. 48 Stunden war das *Pseudolpidium* wieder in das Stadium der Fruktifikation getreten.

Leider konnten noch andere, auf verschiedenen Saprolegniaceen parasitierende Chytridiaceen, wie *Rozella*, *Woronina*¹⁾ wegen Mangels an Material nicht untersucht werden.

Kapitel II. Methodik und Fehlerquellen.

Zur Untersuchung der Chemotaxis von Mikroorganismen dient fast allgemein die von Pfeffer eingeführte Kapillarmethode, die auch bei den vorliegenden Studien zur Anwendung gelangte.

Sie besteht bekanntlich darin, daß man einseitig zugeschmolzene Glaskapillaren, deren Weite hauptsächlich von der Größe der zu untersuchenden Organismen abhängt, mit der Lösung des zu prüfenden Stoffes auf eine gewisse Strecke hin injiziert, so daß am zugeschmolzenen Ende noch ein luftgefüllter Raum übrig bleibt. Hierdurch erreicht man, daß die Kapillarflüssigkeit mit Sauerstoff versorgt wird, was besonders bei der Chemotaxis sauerstoffempfindlicher Organismen von wesentlicher Bedeutung ist.

Methoden zur Füllung der Kapillaren unter Angabe der zu vermeidenden Fehlerquellen wurden von Pfeffer²⁾ u. a. beschrieben.

Für die Untersuchung der Chytridiaceen-Zoosporen wandte ich Kapillaren mit einem lichten Durchmesser von 67—96 μ an und für die Schwärmsporen der Saprolegniaceen solche von 105—134 μ . Die Kapillaren, deren Länge zwischen 1—1,5 cm schwankte, wurden im allgemeinen, der Sauerstoffzufuhr halber, nur 5—6 mm tief injiziert. In Anbetracht der leichten Koagulierbarkeit und Zersetzlichkeit der Proteinkörper geschah dies nur durch Evakuieren unter der Wasserstrahlluftpumpe und nicht durch Erwärmung in der Versuchslösung. Die erforderlichen Lösungen wurden, um Selbst-

1) Vgl. Rabenhorsts Kryptogamen-Flora, IV. Abteil.: *Phycomycetes*, S. 69 u. 64.

2) W. Pfeffer, Unters. a. d. Bot. Inst. zu Tübingen, II. Bd., 1888, S. 585.

zersetzungen möglichst zu vermeiden, stets unmittelbar oder bei sehr schwer löslichen Stoffen mehrere Stunden vor der Versuchsanstellung zubereitet. Soweit es die Kenntnis des Molekulargewichtes gestattete, wurden die Lösungen molekular oder in Bruchteilen des Molekulargewichtes hergestellt.

Von den schwerlöslichen Proteinkörpern gelangten kaltgesättigte Lösungen zur Anwendung. Durch Wägen des Rückstandes, den ein bestimmtes Volumen der Versuchslösung beim Verdunsten im Thermostaten (56° C.) ergab, wurde jedesmal der prozentuale Gehalt der kaltgesättigten Lösung bestimmt. Ich habe diesen Wert in den Tabellen mit „c“ bezeichnet.

Als Lösungsmittel diente fast stets destilliertes Wasser. Nur in gewissen Fällen erfolgte, um die besonders geringe Löslichkeit gewisser Stoffe, z. B. der Globuline, zu erhöhen, ein Zusatz von NaCl (0,1%), das natürlich bei der Ermittlung des prozentualen Gehaltes in Abrechnung gebracht werden mußte. Desgleichen war bei gewissen Substanzen der Zusatz von Spuren von KOH angebracht; z. B. bei Casein.

Die Reinigung der Kapillaren von der anhaftenden Versuchslösung geschah durch kurzes Schwenken in destilliertem Wasser.

Um Ansammlungen durch andere Faktoren als durch die chemotaktische Reizwirkung der Kapillarflüssigkeit auszuschließen, mußte unter gewissen Vorsichtsmaßregeln gearbeitet werden.

Denn außer dem Reiz, dessen Wirkung untersucht werden soll, darf sich kein anderer auf den Organismus geltend machen, da sonst nicht nur Reaktionen ausgelöst werden können, die unter Umständen von den chemotaktischen nicht zu unterscheiden sind, sondern auch eine Abstumpfung der chemotaktischen Reizbarkeit erfolgen kann.

Die Fehlerquellen, die auf Ursachen mechanischer oder physiologischer Natur zurückzuführen sind, hat bereits Pfeffer in seinen grundlegenden Arbeiten einer eingehenden Betrachtung unterzogen und die Mittel zu ihrer Vermeidung oder Verminderung an die Hand gegeben. Ich verweise deshalb der Kürze halber auf die Pfeffersche Methodik¹⁾. Es sei mir aber gestattet, einige Reizursachen, die die Möglichkeit zu Täuschungen geben und für den vorliegenden Fall besonders in Betracht kommen, hervorzuheben.

1) Vgl. W. Pfeffer, a. a. O., *Untersuch. a. d. Bot. Inst. zu Tübingen*, II. Bd., 1888, S. 584—589.

1. Konzentrationsdifferenzen, die durch Verdunstung im Kulturtröpfchen entstanden sind, können Chemotaxis hervorrufen. Dies gilt besonders für die Bestimmungen der Reizunterschiedsschwellen, wo die Außenflüssigkeit den chemotaktisch wirksamen Stoff enthält. Deshalb darf die Versuchsdauer 1—2 Minuten nicht überschreiten. Außerdem wird durch die Verdunstung die Konzentration des Außenmediums erhöht, wodurch eine Verschiebung der Reizunterschiedsschwelle bedingt wird.

2. Differenzen des Sauerstoffgehaltes erzeugen bei sauerstoffempfindlichen Organismen sehr leicht Aerotaxis, die von der eigentlichen, durch den Reizstoff bewirkten Chemotaxis nicht zu unterscheiden ist. Zur Vermeidung dieser bei *Rhiz.* vornehmlichen Fehlerquelle müssen Versuchslösung und Kulturflüssigkeit in sauerstoffgesättigtem Zustande zur Anwendung gelangen und beide durch zweckentsprechende Versuchsbedingungen möglichst in diesem Zustand erhalten werden. Vor allem muß man mit unbedeckten Präparaten arbeiten, wodurch außerdem eine durch das häufige Anstoßen der Schwärmer an das Deckglas bewirkte vorzeitige Schwächung der Bewegungsenergie unterbunden wird. Bei der Pfefferschen Methode wird aber in der Kapillare trotz der Luftblase allmählich ein Sauerstoffmangel entstehen, da in ihr der Ersatz des Sauerstoffs durch Diffusion sehr erschwert ist. Diesem Umstande ist aber durch eine mehrere Minuten nicht überschreitende Versuchsdauer mit Erfolg zu begegnen. Eine kurze Versuchsdauer empfiehlt sich auch aus dem Grunde, weil das Konzentrationsgefälle des Versuchsstoffes besonders bei schwachen Lösungen rasch abnimmt.

Ebenso können in einzelnen Fällen rein zufällige Faktoren Anlaß zu Täuschungen geben, z. B. wenn sich bei der Untersuchung der Chemotaxis von *Rhiz.* an der Grenze zwischen Kapillar- und Kulturflüssigkeit mehrere Pollenkörner befinden, die auf die Zoosporen ihre anlockende Wirkung geltend machen. — — —

Als Lichtquelle bediente ich mich während des Mikroskopierens fast ausschließlich des Auerlichtes, das die Beobachtung der farblosen Schwärmer, deren Brechungsindex nur wenig von dem des Wassers abweicht, ganz wesentlich erleichtert.

Durch Ventilation des Laboratoriumsraumes wurde für ständige Erneuerung der Luft gesorgt, da besonders die *Rhiz.*-Zoosporen gegen Leuchtgas und dessen Verbrennungsprodukte sehr empfindlich sind.

Die Beobachtungen erfolgten bei schwacher Vergrößerung (70 : 1), weil die Stärke einer chemotaktischen Ansammlung beim Überschaun eines möglichst großen Gesichtsfeldes am besten zu beurteilen ist.

Kapitel III. Die positive Chemotaxis.

Die zur Verwendung gelangten Substanzen wurden von den Firmen Merck, Grübler u. Kahlbaum bezogen. Einige Präparate, die im Handel nicht zu erhalten waren, ließ ich mir im chemischen Laboratorium des Herrn Dr. von Heygendorff anfertigen.

Ich werde im folgenden zunächst die positive Chemotaxis der Chytridiaceen-Zoosporen behandeln und daran die positiv chemotaktischen Reizbewegungen der Saprolegniaceen-Zoosporen anschließen. —

Um allgemein festzustellen, ob die Schwärmsporen eines Pilzes zu chemotaktischen Reizbewegungen befähigt sind, empfiehlt es sich stets, von ihrem Wirt, zu dem sie in einem parasitischen oder saprophytischen Verhältnisse stehen, mit destilliertem Wasser einen kalten Auszug herzustellen und diesen auf seine chemotaktische Reizwirkung hin zu prüfen.

Von diesem Gedanken ausgehend, zog ich ein kleines Quantum frischen Pollenstaubes (ohne Zerreiben) unter häufigem Schütteln mehrere Stunden lang mit einer kleinen Menge destillierten Wassers aus, filtrierte ab, und brachte eine mit dieser Lösung beschickte Kapillare in einen *Rhiz. poll.*-Zoosporen-haltigen Tropfen. Die Wirkung war überaus gut und schnell, denn schon nach 10 - 15 Sekunden war eine massenhafte, in lebhaftester Bewegung befindliche Ansammlung der Zoosporen vor und im Munde der Kapillare eingetreten. Fast ganz denselben Effekt erzielte ich, wenn die Kapillare mit den Pollenkörnern selbst beschickt wurde.

Dies Verhalten spricht mit Sicherheit für die Diffusion chemotaktisch wirksamer Stoffe aus den Pollenkörnern in das umgebende Medium. Ebenso bewirkten kalte Auszüge von zerriebenen Spargelsprossen, Coniferennadeln, Gräsern aller Art, Wurzeln usw. sehr reichliche Chemotaxis. Diese Resultate weisen deutlich darauf hin, daß die chemotaktische Reizwirkung von Stoffen oder Stoffgruppen ausgeht, die in der Pflanzenwelt sehr verbreitet sein müssen. Durch systematisches Vorgehen bei der Prüfung der verschiedensten anorganischen und organischen Substanzen wurden schließlich in den

Proteinen, Proteiden und Fermenten vorzügliche Chemotaktika für die Zoosporen von *Rhiz. poll.* erkannt. Ich gebe nachstehend eine tabellarische Übersicht dieser Reizstoffe.

Um durch die Beschreibung der chemotaktischen Wirkung der großen Zahl von Einzelversuchen nicht zu ermüden, sind die Resultate in Form einer übersichtlichen, tabellarischen Zusammenstellung wiedergegeben. Den beobachteten Reizwirkungen ist hierbei insofern Rechnung getragen, als die positive Chemotaxis im allgemeinen mit „a“ und die Repulsion im allgemeinen mit „r“ bezeichnet ist. Die hinzugefügten Indices sollen im näheren den Grad der Anlockung, resp. der Repulsion hervorheben, und zwar bedeutet:

a ₀ schwache	}	Chemotaxis u.	{	r ₁ mäßige b. schwache	}	Re-		
a ₁ mäßige				r ₂ starke			pul-	
a ₂ starke				r ₃ sehr starke				sion
a ₃ sehr starke								
a ₄ besonders starke								

Durch a? resp. r? soll angezeigt werden, daß die positive Chemotaxis resp. die Repulsion zweifelhaft, und durch 0, daß keine Reaktion mehr zu bemerken ist. Mit „R“ sei eine eben merkliche, dem Reizschwellenwert gleichkommende Reaktion angedeutet. Durch Kombination der Zeichen „a“ und „r“ kann gleichzeitig die bei der positiven Chemotaxis event. auftretende Repulsion zum Ausdruck gebracht werden (Tab. I).

Aus dieser Tabelle geht deutlich hervor, daß den genuinen Eiweißkörpern mit geringen Ausnahmen ein ausgezeichnete Reizwert gegenüber den Zoosporen von *Rhiz. poll.* zukommt.

Der bei weitem höchste Reizwert muß von allen untersuchten Verbindungen der Proteinsubstanz aus Pflanzen und der Diastase (Grübler) zugesprochen werden, die selbst in mäßigen Konzentrationen (0,1—0,01%) noch eine sehr intensive Chemotaxis auszulösen vermögen.

Da diastatische Fermente verschiedentlich in Pollenzellen, besonders auch in Coniferenpollenzellen nachgewiesen worden sind, so dürfte es wohl keinem Zweifel unterliegen, daß diesen Körpern auch unter natürlichen Verhältnissen eine nicht unwichtige Rolle als chemotaktisch wirksamer Agentien zufällt. Die übrigen Fermente, pflanzlicher und tierischer Herkunft, besitzen geringere und annähernd gleiche Reizwirkungen; die untere Reizschwelle liegt im Durchschnitt bei 0,0014%.

Tabelle I.

Stoffe		Die Kapillarflüssigkeit enthält den Reizstoff in %						Reizschwelle in %
I. Proteinstoffe:								
A. Albumine	Albumin aus Blut c = 0,13 %	0,130 a ₂ r ₁	0,026 a ₂	0,013 a ₂ -a ₁	0,0026 a ₂ -a ₁	0,0013 a ₁	0,00086 a ₀ -a? ²	0,00086
	Albumin aus Eigelb c = 0,133 %	0,133 a ₁ -a ₂	0,0133 a ₁	0,0026 a ₀ -a?	0,00133 0			0,0026
	Albumin aus Eiern c = 1,585 %	1,585 a ₁ -a ₀	0,798 a ₀ -a?	0,1585 0				0,792
	Albumin aus Pflanz. c = 0,44 %	0,44 a ₁	0,088 a ₁ -a ₀	0,044 a ₀ -a?	0,022 0			0,044
B. Globuline	Globulin (Kristallin) c = 0,121 %	0,121 a ₃ r ₁	0,0242 a ₃ r ₁	0,0121 a ₃ -a ₂	0,00605 a ₂ -a ₁	0,00242 a ₁ -a ₀	0,0020 a ₀ -a?	0,002
	Legumin c = 0,0625 %	0,0625 a ₃ -a ₄	0,0125 a ₃ -a ₄	0,00625 a ₃	0,00125 a ₂	0,000625 a ₂ -a ₁	0,000312 a ₁	0,00021
	Conghlin c = 0,0535 %	0,0535 a ₁ -a ₂	0,0107 a ₁	0,00535 a ₀	0,00267 a ₀ -a?	0,00107 0		0,00267
	Vitelin aus Pflanzen c = 0,0245 %	0,0245 a ₁	0,0061 a ₀ -a?	0,00245 0				0,0061
C. Alkohol-lösl. Proteinstoffe	Gluten (Kleber) c = 0,055 %	0,0550 a ₂	0,0055 a ₁ -a ₃	0,0018 a ₀ -a?	0,0011 0			0,0018

Fortsetzung der Tabelle I.

Stoffe	Die Kapillarflüssigkeit enthält den Reizstoff in %							Reizschwelle in %
	$a_2 I_1$	a_2	$a_2 - a_1$	a_1	$a_0 - a?$	$a_0,00018$ 0	$0,00027$ 0	
D. Coagulierte Proteinstoffe								$0,00027$
Fibrin aus Blut $c = 0,027 \%$	$0,0270$ $a_2 I_1$	$0,0027$ a_2	$0,0013$ $a_2 - a_1$	$0,0005$ a_1	$0,00027$ $a_0 - a?$	$0,00018$ 0		$0,00027$
Fibrin aus Pflanzen $c = 0,081 \%$	$0,081$ $a_2 I_1$	$0,0081$ a_1	$0,0016$ $a_0 - a?$	$0,00081$ 0				$0,0016$
II. Proteide:								
A. Chromoproteide								
Hämoglobin 5%	$5,0$ $a_2 I_1$	$1,0$ $a_2 - a_1$	$0,2$ a_1	$0,1$ $a_1 - a_0$	$0,05$ $a_0 - a?$	$0,01$ 0		$0,050$
Chlorophyll ¹⁾ $c = 0,195 \%$	$0,195$ $a_3 I_1$	$0,0195$ $a_3 - a_2$	$0,0039$ a_2	$0,00195$ $a_1 - a_0$	$0,0013$ $a_0 - a?$	$0,00097$ 0		$0,0013$
B. Glykoproteide								
Mucin aus Galle kaltges. Lös. = $c \%$	c $a_0 - a?$	$c : 2$ 0						c
C. Nucleoproteide								
Nuclein aus Hefe $c = 0,042 \%$	$0,0420$ $a_3 I_1$	$0,00804$ $a_3 - a_2$	$0,0042$ a_2	$0,000804$ a_1	$0,00042$ a_0	$0,00028$ $a_0 - a?$	$0,00021$ 0	$0,00028$
Nucleohiston $c = 0,071 \%$	$0,0710$ $a_3 I_1$	$0,014$ a_3	$0,0071$ a_2	$0,0014$ $a_2 - a_1$	$0,00071$ a_0	$0,00035$ $a_0 - a?$	$0,00023$ 0	$0,00035$
D. Para- nucleoproteide								
Casein aus Pflanz. $c = 0,573 \%$	$0,5730$ $a_3 I_1$	$0,05730$ a_2	$0,01140$ $a_2 - a_1$	$0,00573$ a_1	$0,00286$ $a_0 - a?$	$0,00191$ 0		$0,00286$
Proteinsabs. a. Pflanz. $c = 0,235 \%$	$0,235$ a_4	$0,0235$ $a_4 - a_3$	$0,0047$ a_3	$0,00235$ a_3	$0,00047$ $a_3 - a_2$	$0,000235$ a_2	$0,000047$ $a_2 - a_1$	$0,0000235$ $a_0 - a?$

III. Fermente:

a) pflanzlicher Herkunft	Diastase (Grübler) c = 1,133 %	1,1330 a ₄	0,0226 a ₄ -a ₃	0,01133 a ₃	0,00566 a ₃	0,00226 a ₃ -a ₂	0,001133 a ₂	0,000226 a ₂ -a ₁	0,0001133 a ₀ -a ₁ ?	0,0001133
	Invertase c = 0,1425 %	0,1425 a ₃	0,01425 a ₃ -a ₂	0,00285 a ₂ -a ₁	0,001425 a ₀ -a ₁ ?	0,000712 0	0,000712 0			0,001425
	Emulsin c = 0,1625 %	0,1625 a ₂	0,01625 a ₂ -a ₁	0,00325 a ₀ -a ₁	0,00203 a ₀	0,001625 a ₀ -a ₁ ?	0,001625 0	0,00081 0		0,001625
	Taka-Diastase c = 3,55 %	3,55 a ₁	0,177 a ₀	0,088 a ₀ -a ₁ ?	0,0710 0					0,088
b) tierischer Herkunft	Papayotin c = 0,672 %	0,672 a?	0,0672 0							0,672
	Trypsin c = 0,272 %	0,272 a ₄ -a ₃	0,0272 a ₃	0,0054 a ₃ -a ₂	0,00272 a ₂ -a ₁	0,00136 a ₁	0,00068 a ₀	0,00045 a ₀ -a ₁ ?	0,000272 0	0,00045
	Pepsin 1 %	1,0 a ₁ -a ₃	0,2 a ₃	0,1 a ₃ -a ₂	0,02 a ₂	0,01 a ₂ -a ₁	0,0025 a ₁ -a ₀	0,0016 a ₀	0,001 a?	0,0016
	Lipase in Glycerin (Volumina)	1 : 1 a ₃ F ₁	1 : 10 a ₃ -a ₂	1 : 50 a ₂	1 : 100 a ₂	1 : 200 a ₁	1 : 400 a ₀ -a ₁ ?	1 : 400 a ₀ -a ₁ ?	1 : 500 0	1 : 400
Fibrinferment c = 0,0175 %	0,0175 a ₂	0,00175 a ₁	0,0007 a ₀ -a ₁ ?	0,00035 0						0,0007

1) Vgl. I. König, Die menschlichen Nahrungs- u. Genußmittel, 1904, II. Bd., S. 38, wo die Verwandtschaft zwischen Hämoglobin und Chlorophyll dargelegt ist.

Aus der Klasse der eigentlichen Proteinkörper gebührt den Nucleoproteiden mit $R = 0,0003$ ‰ der relativ höchste Reizwert; dagegen sind die Glykoproteide, die für die *Marchantia*-Spermatozoiden die vorzüglichsten Reizstoffe repräsentieren, völlig oder fast völlig wirkungslos.

Beachtenswert ist das Verhalten der Chromoproteide. Während dem Chlorophyll ein hoher Reizwert zukommt ($R = 0,001$ ‰), übt das Hämoglobin, das weitverbreitete Chromoproteid des Tierreiches, nur in hohen Konzentrationen (5 ‰) eine mäßige chemotaktische Wirkung aus; deren untere Reizschwelle ist schon mit 0,05 ‰ erreicht.

Desgleichen zeigen die Albumine bezüglich ihrer Reizwirkung ein recht verschiedenes Verhalten. Albumin aus Pflanzen und besonders Albumin aus Eiern sind sehr mäßige Reizstoffe. Die Möglichkeit einer Verunreinigung durch fremde, die Reizempfindlichkeit stark beeinträchtigende Stoffe ist nicht ausgeschlossen. Dies gilt besonders für Albumin aus Pflanzen, das auch auf die übrigen untersuchten Zoosporen nur eine schlechte bezw. mäßige Reizwirkung ausübte. Dagegen muß dem Albumin aus Blut ein ausgezeichneter Reizwert zugesprochen werden.

Es liegt nun nahe, die Frage aufzuwerfen, ob auch Körper aus der Gruppe der Albuminate und Albumosen imstande seien, eine chemotaktische Reizbewegung der Zoosporen auszulösen. In dieser Richtung angestellte Versuche, die verschiedentlich mit sehr empfindlichem Schwärmermaterial wiederholt wurden, lieferten stets ein negatives Resultat. So vermochten Alkali-Albuminat (Merck), Protalbumose und Dysalbumose in keiner Konzentration einen räumlich orientierenden Reiz auf die Zoosporen auszuüben. Nur eine 1-proz. Peptonlösung erzeugte eine sehr schwache, rasch wieder verschwindende Chemotaxis, die wohl auf Rechnung geringer Beimengungen von genuinen Eiweißkörpern zu setzen ist. Während sich die angeführten Präparate völlig indifferent verhielten, ließ die Hemialbumose eine deutliche Giftwirkung erkennen, die in einem baldigen Absterben der Schwärmer oder in einer Verlangsamung ihrer Bewegung zum Ausdruck kam. Ebenso vermochten die zahlreichen Produkte der regressiven Eiweißmetamorphose (Amidosäuren usw.) in keinem Falle eine chemotaktische Reizbewegung der Zoosporen zu veranlassen. Allerdings bewirkte ein altes Präparat von Nukleinsäure unbekannter Herkunft eine gute Chemotaxis ($R = 0,005$ ‰); dagegen verliefen die Versuche mit einem frischen Prä-

parat dieser Verbindung (Grübler) völlig ergebnislos. Die Wirkung des alten Präparates ist entweder auf eine Verwechslung oder eine starke Beimischung von Eiweißstoffen — wahrscheinlich von Nuclein — zurückzuführen.

Ich will mich nun der Frage zuwenden, ob auch andere Stoffe aus dem organischen und anorganischen Gebiete imstande sind, einen chemotaktischen Reiz auf die Zoosporen auszuüben.

Ich gebe im folgenden eine kurze Zusammenstellung der Präparate, die je in mehreren Konzentrationen auf ihre Reizwirkung hin geprüft wurden.

Tabelle II.

KCl	Ameisensaures Natrium	Harnstoff	
NaCl	Essigsäures "	Coffein	
NH ₄ Cl	Propionsäures "	Theobromin	
KClO ₃	Buttersäures "	Kreatin	
KBr	Valeriansäures "	Kreatinin	
KJ	Milchsaures "	Carnin	
CaCl ₂	Milchsaures Eisen	Guanin	
MgCl ₂	Oxalsäures Kalium	—	
K ₂ SO ₄	Bernsteinsaures Natrium	Xylose	} Pentosen
Na ₂ SO ₄	Weinsaures Kalium	Arabinose	
MgSO ₄	Zitronensaures Natrium	Dextrose	} Hexosen
KNO ₃	Zitronensaures Ammonium	Lävulose	
NaNO ₃	Fumarsäures Natrium	Galaktose	
LiNO ₃	Maleinsaures Kalium	Laktose	} Disaccharide
RbCl	Äpfelsäures Natrium	Saccharose	
CaSO ₄	—	Stärke	} Polysaccharide
Sr(NO ₃) ₂	Ölsäure	Inulin	
KH ₂ PO ₄	Triolein	Dextrin	
K ₂ HPO ₄	—	—	
K ₃ PO ₄	Aceton	Methylalkohol	
Na ₂ HPO ₄	Acetamid	Äthylalkohol	
—	Propionamid	Glycerin	
	Lactamid	Mannit	
	Glykokoll	Urethan	
	Alanin	Äpfelsäure - Äthylester	
	Leucin	Petroleumäther	
	Asparagin	—	
	Asparaginsäure		
	Taurin		
	Glykosamin		
	Lecithin		
Benzol	Vanillin	Kampfer	
Naphthalin	Amygdalin	Saccharin	
Toluol	Arbutin	Coniferin	
Phenolnatrium	Salicin	—	
Phenacetin	Cumarin	Bittermandelöl	
Hippursäure	Pyridin	Eukalyptusöl	
Salicylsäure	Morphium	Mohnöl	
Tannin	Cocain	Zitronenöl	
Chinagerbsäure	Chininsulfat	—	

Von diesen Präparaten vermochte kein einziges auch nur die geringste chemotaktische Reaktion auszulösen.

Wir sind somit zu dem Schlusse berechtigt, daß wesentlich nur die genuinen Proteinkörper (inkl. Fermente) imstande sind, die Zoosporen von *Rhiz. poll.* chemotaktisch zu reizen.

2. *Rhizophidium Sphaerotheca*. Die Vermutung, daß die Schwärmsporen dieser kleinen Chytridiacee sich nach Analogie von *Rhiz. poll.* gleichfalls von den genuinen Eiweißstoffen chemotaktisch reizen ließen, hat sich durch die Untersuchungen vollkommen bestätigt.

Es zeigte sich, daß diese Schwärmsporen gegen die Proteinkörper außerordentlich empfindlich sind und zwar in höherem Maße als die von *Rhiz. poll.* Soweit ich die Chemotaktika der Tabelle I geprüft habe, ergaben sich für die Reizschwellen Konzentrationen, die durchweg tiefer lagen — zum Teil erheblich tiefer — als die entsprechenden Grenzwerte für die Zoosporen von *Rhiz. poll.* So bewirkte z. B. die kaltgesättigte Lösung von Albumin aus Eiern (Merck) eine sehr gute und schnelle Chemotaxis; die Reizschwelle wurde zu $\frac{1}{400}$ % bestimmt, während sie bei *Rhiz. poll.* fast mit der Ausgangslösung selbst (0,8 %) zusammenfiel.

Desgleichen erzeugte Mucin (Merck) eine gute und momentane Chemotaxis; die Reizschwelle ergab sich zu $\frac{1}{200}$ %. Bekanntlich war dieses Präparat gegenüber den Zoosporen von *Rhiz. poll.* fast völlig wirkungslos. Auch Hämoglobin, das für die Schwärmsporen von *Rhiz. poll.* nur in hohen Konzentrationen ein mäßiges Chemotaktikum repräsentierte, ließ noch bei 0,001 % eine deutliche, wenn auch schwache Reizwirkung erkennen; in stärkeren Konzentrationen wirkte es ausgezeichnet. Hervorheben möchte ich noch, daß Albumin aus Pflanzen auch bei diesen Organismen nur eine minimale Chemotaxis auszulösen imstande war.

Bei der Prüfung der Produkte der regressiven Eiweißmetamorphose ergab sich wider Erwarten die interessante Tatsache, daß diese Körper fast ohne Ausnahme eine vorzügliche Reizwirkung auf die Schwärmsporen von *Rhiz. sphaerotheca* ausübten, während sie sich gegenüber den Zoosporen von *Rhiz. poll.* vollkommen indifferent verhielten.

Ich gebe im folgenden mit Ausnahme der genuinen Proteinkörper (vgl. Tab. I) eine tabellarische Zusammenstellung der ermittelten spezifischen Reizstoffe.

Da die Untersuchungen über diesen Organismus erst kurz vor Abschluß der Gesamtuntersuchungen angestellt werden konnten, so mußte leider aus Mangel an Zeit auf eine Bestimmung der Reizschwellen der in nachstehender Tabelle angeführten Chemotaktika verzichtet werden; ich will mich deshalb mit einer kurzen Charakteristik ihrer Reizwirkung in den angewandten höheren Konzentrationen begnügen.

Tabelle III.

I. Produkte der leichteren Spaltung der Eiweißstoffe.

A. Albuminate:		
	Alkalbuminat, kaltges. Lösung	} besonders starke Chemotaxis
B. Albumosen:		
	Pepton, 0,25 %	} gute und schnelle Chemotaxis
	Protalbumose, kaltges. Lös. . .	
	Hemialbumose, " " . . .	
	Dysalbumose, " " . . .	

II. Produkte der tiefer gehenden Spaltung der Eiweißstoffe.

A. Aliphatische Spaltprodukte:		
1. 1-basische Monoamidosäuren:		
	Amido-essigsäure (Glykokoll) . .	} je 0,20 Mol; besonders starke Chemotaxis
	α -Amido-propionsäure (Alanin) . .	
	α -Amido-buttersäure	
	α -Amido-iso-buttersäure	
	δ -Amido-n-valeriansäure	
	α -Amido-iso-valeriansäure	
	α -Amido-isobutyllessigsäure (Leucin)	
2. 2-basische Monoamidosäuren:		
	Asparaginsäure	} je 0,20 Mol; besonders starke Chemotaxis
	Asparagin	
	α -Amidoglutarsäure	
	Nucleinsäure, kaltges. Lös.	} besonders starke Chemotaxis
	Betain, 0,10 Mol	
B. Aromatische Spaltprodukte:		
	Tyrosin, kaltges. Lös.	gute und schnelle Chemotaxis
	Phenylalanin, kaltges. Lös.	zweifelhafte Chemotaxis.

Von den genuinen Proteinkörpern der Tabelle I erzielten momentane, sehr intensive Chemotaxis:

- Nuclein, kaltges. Lös.
- Nucleohiston, kaltges. Lös.

sowie fast alle Fermente.

Gute und schnelle Chemotaxis bewirkten folgende Präparate:

- Albumin aus Eiern, 0,1 %
- Vitellin aus Pfl., kaltges. Lös.
- Casein " " " "
- Mucin " Galle " "

Nur zweifelhafte Chemotaxis lieferte:

Albumin aus Pfl., kaltetes. Lös.

Aus diesen Beobachtungen geht deutlich hervor, daß sowohl den genuinen Proteinkörpern als auch ihren zahlreichen Spaltprodukten die Rolle vorzüglicher Reizstoffe zufällt.

3. *Pseudolpidium Saprolegniac.* Auf die Tatsache, daß die Schwärmer dieser Chytridiacee energisch von den *Saprolegnia*-Hyphen angelockt werden, hat schon Fischer, der zuerst die Entwicklungsgeschichte der verschiedenen, spezifisch angepaßten Parasiten der Saprolegniaceen eingehend studiert hat, mit Nachdruck hingewiesen.

Die Vermutung liegt nahe, daß der chemotaktische Reiz von Stoffwechselprodukten ausgeht, die von der lebenden Zelle des Wirtes in das umgebende Medium diffundieren. Als solche kommen in erster Linie Eiweißstoffe selbst oder die Produkte ihrer mehr oder weniger weit getriebenen regressiven Metamorphose in Betracht. Diese Vermutung erhielt durch die Befunde, die an den beiden zum gleichen Formenkreise gehörigen Chytridiaceen *Rhiz. poll.* und *Rhiz. sphaer.* gemacht worden waren, eine starke Stütze.

Die verschiedenen, geprüften Präparate, die der Klasse der nativen Proteinkörper und Fermente (Albumin aus Eiern, Pepsin), sowie den einzelnen Gruppen der Eiweißspaltprodukte (Pepton, Alanin, Glykokoll) angehörten, vermochten selbst in mäßigen Konzentrationen eine vorzügliche und rasche Chemotaxis auszulösen. Hingegen verhielten sich andere Körper, wie sie in Tabelle II aufgeführt sind, ganz indifferent, besonders auch die Phosphorsäure und ihre Salze.

Wir haben somit bei den Zoosporen von *Pseudolpidium Sapro.* und *Rhiz. sphaer.* hinsichtlich ihrer chemotaktischen Reizstoffe eine vollkommene Übereinstimmung.

4. *Saprolegnia mixta.* Als Ergebnis seiner Untersuchungen über die taktischen Reizbewegungen der Zoosporen von *Saprolegnia* hatte Stange die Sensibilität dieser Schwärmzellen gegen freie Ortho-Phosphorsäure und deren Alkali-Metallsalze (K, Na, [NH₄], Li) festgestellt.

Stange schreibt nun das Zustandekommen der chemotaktischen Reizbewegungen, wie sie durch Fleischextrakt und Fliegenleichen hervorgerufen werden, allein ihrem Gehalt an Phosphaten zu.

Man kann sich aber leicht überzeugen, daß diese beim Zustandekommen der Chemotaxis bei weitem nicht allein beteiligt sind. Entfernt man nämlich aus einer 1-proz. Fleischextraktlösung oder aus einem kalten, wässerigen Auszuge frisch getöteter Fliegen die anwesenden phosphorsauren Salze auf qualitativem Wege¹⁾ und prüft darnach beide Lösungen wieder auf ihren chemotaktischen Reizwert hin, so kann man konstatieren, daß ihr Wirkungsgrad gegenüber den zuvor phosphorsalzhaltigen Lösungen nicht oder kaum merklich vermindert ist.

Aber auch noch auf anderem Wege läßt sich diese Tatsache beweisen. Eine 1-proz. Liebigsche Fleischextraktlösung repräsentiert als solche zugleich eine Lösung von 0,0518% Phosphorsäure, an verschiedene Metalle gebunden²⁾.

Da nun eine 0,001-proz. Fleischextraktlösung noch eine sehr deutliche Chemotaxis hervorruft, so müßte nach Stange dieser Effekt dem 0,0000518-proz. Gehalt dieser Lösung an Phosphorsäure resp. an deren Salzen zugeschrieben werden. Nach meinen Untersuchungen liegt aber die untere Reizschwelle für H_3PO_4 und ihre Salze bei 0,00001 Mol, welcher Wert in bezug auf H_3PO_4 einer 0,0001-proz. Lösung entspricht. Man sieht, daß diese Konzentration für den Reizschwellenwert höher liegt, als der Gehalt der 0,001-proz. Fleischextraktlösung an Phosphorsäure beträgt.

Es liegt also die Notwendigkeit vor, anzunehmen, daß die Wirkung des Fleischextraktes nur bis zu einem gewissen Grade auf den Gehalt an Phosphaten zurückzuführen ist. Deshalb muß dem Gros der übrigen Bestandteile des Fleischextraktes die hauptsächlichste chemotaktische Reizwirkung zugeschrieben werden.

Die organische Substanz des Fleischextraktes, 64%, besteht vorwiegend aus den Purinderivaten, wie: Xanthin, Hypoxanthin (Nucleinbasen), Carnin und den Amido-Derivaten der Kohlensäure, wie Kreatin, Kreatinin, ferner aus Albumosen (10%) und der Phosphorfleischsäure, die in sehr naher Beziehung zu den Nucleinsäuren und Nucleinen steht.

Verschiedene Stoffe, die aus den eben genannten Gruppen geprüft wurden, riefen eine ausgezeichnete chemotaktische Wirkung

1) Vgl. J. König, Die menschl. Nahrungs- u. Genußmittel, 1904, II. Bd., S. 59.

2) Vgl. J. König usw., II. Bd., S. 555—556; der Liebigsche Fleischextrakt enthält insgesamt 7,25% Phosphorsäure, wovon 5,18% anorganisch und 2,07% organisch gebunden sind, wovon letztere hier nicht in Betracht kommt.

hervor, womit die Vermutung, daß im Fleischextrakt und den natürlichen Nährsubstraten den Phosphaten bei weitem nicht allein die Rolle der chemotaktischen Reizwirkung zufällt, zur Tatsache erhoben ist. —

Ich will zunächst wiederum eine tabellarische Zusammenstellung (Tab. IV, S. 449—456) aller Stoffe geben, die sich für die Zoosporen der *Sapro. mixta* als Chemotaktika erwiesen haben.

Als augenfälligstes Resultat dieser Versuchsreihen erkennen wir, daß nicht nur der Ortho-Phosphorsäure und ihren Salzen die Rolle vorzüglicher Chemotaktika gegenüber den *Saprolegnia*-Zoosporen gebührt, sondern daß diese Schwärmsporen auch ungemein empfindlich sind gegen die nativen Proteinkörper (einschließlich der Enzyme) wie gegen die Produkte ihrer leichteren als tiefer gehenden Spaltung. Ein ähnlicher Reizwert kommt auch den meisten anderen verwandten, N-haltigen Verbindungen zu.

Als Maß für die Reizempfindlichkeit beachte man die außerordentlich tiefen Reizschwellenwerte für die Proteine, Proteide und Enzyme. Mit Ausnahme des Albumins aus Pflanzen ($R = 0,0022\%$) und des Emulsins ($R = 0,0054\%$) ergab sich für die ca. 20 untersuchten Körper dieser drei Stoffgruppen als höchste Reizschwelle $0,00065\%$ (Albumin aus Blut) und als tiefste $0,0000245\%$ (Vitellin aus Pflanzen). Lidforss¹⁾ hatte seinerzeit in der Diastase, dem Albumin aus Eiweiß und dem Hämoglobin die vorzüglichsten Chemotaktika für die *Marchantia*-Spermatozoiden ermittelt und ihren unteren Reizschwellenwert zu $0,0005\%$ bestimmt. Diese Konzentration entspricht — in bezug auf die nativen Eiweißkörper und Enzyme — nahezu dem für die *Saprolegnia*-Zoosporen ermittelten höchsten Reizschwellenwert ($0,00065\%$), wodurch ihre außerordentliche Empfindlichkeit deutlich zum Ausdruck gebracht wird.

Besondere Erwähnung verdient die Tatsache, daß Mucin aus Galle, ein Vertreter der Glykoproteide, keine oder nur eine minimale chemotaktische Reizwirkung hervorzurufen vermag, während die Glykoproteide (Submaxillarismucin, Mucinalkali) für die *Marchantia*-Spermatozoiden die kräftigsten Chemotaktika repräsentieren.

Aus der Angabe der Reizschwellenwerte für die nativen Proteinkörper ist leicht ersichtlich, daß die von ihnen ausgeübte Reizwirkung keineswegs gleichwertig ist; und doch läßt sich bei genauerer

1) B. Lidforss, Über die Reizbewegungen der *Marchantia*-Spermatozoiden. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLI, 1905, S. 76.

Tabelle IV.

Stoffe	Die Kapillarflüssigkeit enthält den Reizstoff in % resp. in Mol										Reizschwelle in %
I. Organische Verbindungen.											
* 1. Einfache Proteinstoffe:											
A. Albumine	Albumin aus Eiern c = 1 %	1,0 a ₃ r ₁ -a ₄ r ₁	0,1 a ₃	0,02 a ₃ -a ₂	0,01 a ₂	0,005 a ₁	0,001 a ₀	0,0005 a ₀ -a?	0,0001 0	0,0005	
	Albumin aus Blut c = 0,13 %	0,13 a ₃ -a ₄	0,065 a ₃	0,013 a ₃	0,0026 a ₂	0,0013 a ₁	0,00086 a ₀	0,00065 a ₀ -a?	0,00033 0	0,00065	
	Albumin aus Pflanz. c = 0,44 %	0,44 a ₂ -a ₃	0,22 a ₂	0,044 a ₂ -a ₁	0,088 a ₁ -a ₀	0,044 a ₀	0,0022 a ₀ -a?	0,0011 0	0,0022	0,0022	
	Globulin (Kristallin) c = 0,121 %	0,121 a ₄ r ₁	0,06 a ₄	0,0121 a ₄	0,00121 a ₃ -a ₂	0,0006 a ₂ -a ₁	0,0003 a ₁	0,00015 a ₀	0,00012 a ₀ -a?	0,00012	
B. Globuline ¹⁾	Legumin c = 0,0625 %	0,0625 a ₄ r ₁	0,0312 a ₄	0,00625 a ₃	0,00125 a ₂	0,000625 a ₂ -a ₁	0,000312 a ₁	0,000156 a ₀	0,000078 a ₀ -a?	0,000078	
	Conglutin c = 0,0535 %	0,0535 a ₄ r ₂	0,02675 a ₄	0,00535 a ₃	0,00107 a ₂	0,000267 a ₂ -a ₁	0,000134 a ₁ -a ₀	0,000067 a ₀ -a?	0,000053 0	0,000067	
	Vitellin aus Pflanz. c = 0,0245 %	0,0245 a ₄	0,0122 a ₄	0,00245 a ₃ -a ₄	0,00049 a ₃ -a ₂	0,000245 a ₂ -a ₁	0,000122 a ₁ -a ₀	0,000061 a ₀	0,0000245 a ₀ -a?	0,0000245	
C. Koagulierte Protein- stoffe ¹⁾	Fibrin aus Blut c = 0,027 %	0,027 a ₃	0,013 a ₃	0,0027 a ₃ -a ₂	0,00054 a ₂ -a ₁	0,00027 a ₁ -a ₀	0,00013 a ₀ -a?	0,00006 0	0,00013		
	Fibrin aus Pflanzen c = 0,081 %	0,081 a ₄	0,0405 a ₄	0,0081 a ₄ -a ₃	0,0016 a ₂ -a ₁	0,00081 a ₁ -a ₀	0,00054 a ₀	0,0004 a ₀ -a?	0,0002 0	0,0004	

1) Der besseren Löslichkeit halber wurde als Lösungsmittel eine 0,5-proz. NaCl-Lösung benutzt.

Fortsetzung der Tabelle.

Stoffe	Die Kapillarflüssigkeit enthält den Reizstoff in % resp. in Mol										Reizschwelle in %
2. Zusammengesetzte Proteinstoffe (Proteide):											
A. Chromoproteide	Hämoglobin c = 5 %	5,0 a ₁ r ₂	0,5 a ₁ r ₁	0,1 a ₄ -a ₃	0,02 a ₃	0,01 a ₃ -a ₂	0,002 a ₁	0,001 a ₀	0,00062 a ₀ -a ₂ ?	0,00062	
B. Glykoproteide	Mucin aus Galle c %	c a ₀ -a?	c : 2 0							c %	
C. Nucleoproteide	Nuclein aus Hefe c = 0,042 %	0,042 a ₄	0,021 a ₄	0,0042 a ₃ -a ₂	0,00084 a ₁	0,00042 a ₁ -a ₀	0,00028 a ₀	0,00021 a ₀ -a ₂ ?	0,00010 0	0,00021	
	Nucleohiston c = 0,071 %	0,071 a ₄	0,036 a ₄	0,0071 a ₃ -a ₄	0,0014 a ₃	0,00071 a ₂	0,00036 a ₁ -a ₀	0,00023 a ₀ -a ₂ ?	0,00012 ?	0,00023	
D. Paramucleoproteide	Casein aus Pflanzen c = 0,007 %	0,007 a ₃ -a ₂	0,0035 a ₂	0,0007 a ₁	0,00035 a ₀	0,00018 a ₀ -a ₂ ?	0,00014 ?			0,00018	
3. Enzyme:											
A. Proteolytische Enzyme	Pepsin c = 1 %	1,0 a ₄ r ₁	0,1 a ₄	0,02 a ₃	0,01 a ₂	0,002 a ₂ -a ₁	0,001 a ₁	0,0005 a ₁ -a ₀	0,0004 a ₀ -a ₂ ?	0,0004	
	Trypsin c = 0,272 %	0,272 a ₄ r ₁	0,136 a ₄	0,0054 a ₃ -a ₂	0,00272 a ₃ -a ₁	0,00054 a ₁ -a ₀	0,000272 a ₀	0,00014 a ₀ -a ₂ ?	0,00007 ?	0,00014	
	Papayotin c = 0,672 %	0,672 a ₄ r ₂	0,168 a ₄ r ₁	0,0672 a ₄ -a ₃	0,00672 a ₂ -a ₁	0,0013 a ₁ -a ₀	0,000672 a ₀	0,00033 a ₀ -a ₂ ?	0,00016 0	0,00033	

B. Amylytische Enzyme	Diastase c = 0,42 %	0,42 a ₄	0,042 a ₂ -a ₃	0,0084 a ₂ -a ₃	0,0042 a ₂	0,00084 a ₁	0,00042 a ₀	0,00026 a ₀ -a ₁ ?	0,00021 ?	0,00026
	Invertase c = 0,1425 %	0,1425 a ₃ -a ₄	0,0712 a ₃	0,01425 a ₃ -a ₄	0,0028 a ₂	0,001425 a ₂ -a ₁	0,00028 a ₁ -a ₀	0,0001425 a ₀ -a ₁ ?	0,00007 0	0,0001425
C. Glykosid-spaltende Enzyme	Emulsin c = 0,1625 %	0,1625 a ₃	0,0812 a ₃	0,01625 a ₂ -a ₃	0,00325 a ₂	0,001625 a ₁	0,000812 a ₀	0,00054 a ₀ -a ₁ ?		0,00054
	Lipase in Glycerin, Volumina	1 : 4 a ₄ , a ₂	1 : 10 a ₄ , a ₁	1 : 100 a ₄ -a ₃	1 : 500 a ₃	1 : 1000 a ₂	1 : 10000 a ₁	1 : 20000 a ₀	1 : 25000 a ₀ -a ₁ ?	1 : 25000
E. Koagulierende Enzyme	Fibrinferment c = 0,0175 %	0,0175 a ₁	0,00175 a ₀	0,00035 a ₀ -a ₁ ?	0,00017 0					0,00035

4. Denaturierte Proteinstoffe:

A. Albuminate	Alkali-Albuminat c = 0,5 %	0,5 a ₄	0,1 a ₃ -a ₄	0,02 a ₂	0,01 a ₂ -a ₁	0,002 a ₁ -a ₀	0,001 a ₀	0,0008 a ₀ -a ₁ ?	0,0006 ?	0,0008
	Protalbumose c = 0,5 %	0,5 a ₄	0,1 a ₃ -a ₄	0,02 a ₂ -a ₃	0,01 a ₂	0,002 a ₂ -a ₁	0,001 a ₀ -a ₁	0,0005 a ₀	0,0004 a ₀ -a ₁ ?	0,0004
B. Proteosen und Peptone	Dysalbumose c = 0,505 %	0,505 a ₂ -a ₃	0,0505 a ₁ -a ₂	0,0101 a ₀	0,00505 a ₀	0,004 a ₀ -a ₁ ?	0,002 0	0,0005 0		0,004
	Hemialbumose c = 0,39 %	0,39 a ₂ -a ₁	0,039 a ₁	0,019 a ₁ -a ₀	0,0097 a ₀	0,0078 a ₀ -a ₁ ?	0,0039 0	0,0005 a ₀ -a ₁ ?		0,0078
	Pepton c = 1 %	1,0 a ₄ , a ₁	0,1 a ₄	0,02 a ₃	0,01 a ₂	0,002 a ₂ -a ₁	0,001 a ₁ -a ₀	0,0005 a ₀ -a ₁ ?	0,00025 0	0,0005

c) Harnstoff und Derivate	Methylguanidinessigsäure, $\text{NH}_2\text{C}(\text{NH})\text{-N}(\text{CH}_3)_2(\text{CH}_2\text{-COOH})$ Glykolylmethylguanidin, $\text{C}_4\text{H}_7\text{N}_3\text{O}$	Kreatin in Mol Kreatinin in % Fleischextrakt in %	0,1	0,02	0,01	0,002	0,001	0,0005	0,001 Mol Wurde nicht best.	
			a_3	$a_3 \rightarrow a_2$	$a_3 \rightarrow a_1$	$a_1 \rightarrow a_0$	$a_0 \rightarrow a^?$	0		0,0005
			1,0 $a_2 \rightarrow a_1$							
			2,0 a_4, r_2	1,0 a_4, r_1	0,1 a_3	0,02 a_2	0,01 $a_2 \rightarrow a_1$	0,005 $a_1 \rightarrow a_2$	0,002 $a_1 \rightarrow a_0$	0,001 $a_0 \rightarrow a^?$
D. Amido-Verbindungen.										
a) Aliphatische Spaltprodukte:										
ein-basische Mono- amidosäuren	Glykokoll, $\text{CH}_2(\text{NH}_2) \cdot \text{COOH}$	Amidoessigsäure in Mol	0,5 a_4, r_1	0,1 a_4	0,02 a_3	0,01 $a_3 \rightarrow a_2$	0,002 $a_2 \rightarrow a_1$	0,001 a_1	0,0005 a_0	0,00025 Mol
	Alamin, $\text{CH}_3 \cdot \text{CH} \cdot (\text{NH}_2) \cdot \text{COOH}$	α -Amido-propionsäure in Mol	0,1 a_4	0,02 a_3	0,01 $a_3 \rightarrow a_2$	0,002 a_2	0,001 $a_1 \rightarrow a_2$	0,0005 $a_1 \rightarrow a_0$	0,00025 a_0	0,00012 Mol
	$\text{CH}_3 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}(\text{NH}_2) \cdot \text{COOH}$	α -Amido-n-buttersäure in Mol	0,1 $a_4 \rightarrow a_3$	0,02 a_3	0,01 $a_3 \rightarrow a_2$	0,002 a_2	0,001 a_1	0,0005 $a_1 \rightarrow a_0$	0,00025 a_0	0,00012 Mol
	$\text{CH}_3 \cdot \text{C}(\text{NH}_2) \cdot \text{COOH}$ CH ₃	α -Amido-iso- buttersäure in Mol	0,1 a_0	0,02 a_0	0,01 $a_0 \rightarrow a^?$	0,005 0				0,01 Mol
	Valin, $\text{CH}_2 \cdot (\text{NH}_2) \cdot \text{COOH}$ $\cdot \text{CH}_3 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{COOH}$	γ -Amido-n- valeriansäure in Mol	0,1 a_4	0,02 a_3	0,01 $a_3 \rightarrow a_2$	0,002 a_2	0,001 $a_1 \rightarrow a_2$	0,0005 $a_1 \rightarrow a_3$	0,00025 a_0	0,00012 bis 0,00010 Mol
	$\text{CH}_3 \cdot \text{CH} \cdot \text{CH}(\text{NH}_2) \cdot \text{COOH}$ CH ₃	α -Amido-iso- valeriansäure in Mol	0,1 $a_0 \rightarrow a_1$	0,02 a_0	0,01 a_0	0,005 $a_0 \rightarrow a^?$	0,002 0	0,001	0,0005 a_1	0,005 Mol
	α -Amido-iso-butylessigsäure $(\text{CH}_3)_2\text{CH-CH}_2\text{-CH}(\text{NH}_2)\text{-COOH}$	Leucin in Mol	0,1 a_4	0,02 $a_4 \rightarrow a_4$	0,01 a_3	0,002 a_2	0,001 $a_1 \rightarrow a_1$	0,0005 a_1	0,00025 a_3	0,0001 $a_0 \rightarrow a^?$

1) Zusatz von Spuren von KOH.

2) Der Gehalt der kaltes. Lösung an Hypo- resp. Amino-xanthin wurde nicht bestimmt.

Fortsetzung der Tabelle.

		Stoffe	Die Kapillarflüssigkeit enthält den Reizstoff in % resp. Mol										Reiz- schwelle
zwei-basische Mono- amidosäuren	Amido-bernsteinsäure, $(\text{COOH} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{COOH}$ $\text{COOH} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}(\text{NH}_2)_2 \cdot \text{COOH}$	Asparaginsäure in Mol	0,05 a_3, r_2	0,025 a_4, r_1	0,01 $a_4 - a_3$	0,002 a_2	0,001 $a_2 - a_1$	0,0005 $a_1 - a_0$	0,00025 a_0	0,00016 $a_0 - a_2?$	0,00016 Mol		
		α -Amido-glutarsäure in Mol	0,025 a_3, r_1	0,01 $a_4 - a_3$	0,002 a_2	0,001 $a_2 - a_1$	0,0005 $a_1 - a_0$	0,00025 a_0	0,00016 $a_0 - a_2?$	0,00016 bis 0,00012 Mol			
b) Homocyclische Spaltprodukte: $\text{CH} \cdot \text{C}_6\text{H}_5(\text{NH}_2) \cdot \text{COOH}$ Phenylalanin, $\text{C}_6\text{H}_5 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}(\text{NH}_2) \cdot \text{COOH}$	Phenyl-amidoessigsäure c % kaltges. Lös. Phenyl-amidopropion- säure c % kaltges. Lös.	Phenyl-amidoessigsäure c % $a_1 - a_0$	c : 2 a_0								Wurde nicht bestimmt		
		Tyrosin in Mol	0,0022 $a_1 - a_2$	0,00022 a_1	0,00014 $a_1 - a_0$	0,00022 a_0	0,000011 $a_0 - a_2?$			0,000011 Mol			
E. Sonstige durch Alkalien und Fäulnis aus den Proteinstoffen entstehende N-haltige u. N-freie Verbindungen	$\text{NH}(\text{CH}_2)_2$	Dimethylamin in %	0,5 a_1, r_2	0,1 a_1, r_1							Wurde nicht bestimmt		
		Trimethylamin in %	0,5 a_1, r_2	0,1 a_1, r_1									
	$\text{CH}_3 \cdot \text{COOH}$	Essigsäure in Mol	0,1 a_1, r_2	0,025 a_1, r_1	0,0125 a_2	0,01 $a_2 - a_1$	0,005 a_1	0,0025 a_0	0,002 $a_0 - a_2?$	0,002 Mol			
		Bernsteinsäure in Mol	0,1 a_1, r_2	0,01 a_1, r_1	0,0066 a_1, r_1	0,0033 $a_1 - a_0$	0,0016 a_0	0,0011 $a_0 - a_2?$	0,001 $a_2?$	0,0011 Mol			

6. Sonstige N-Verbindungen des Tier- und Pflanzenreiches:

Amidoäthansulfonsäure, $C_2H_4 \cdot (NH_2) \cdot SO_2 \cdot OH$	Taurin in Mol	0,2 $a_3 - a_4$	0,1 a_3	0,02 a_2	0,01 $a_2 - a_1$	0,002 $a_1 - a_0$	0,001 a_0	0,00085 $a_0 - a?$	0,00085 Mol
Trimethylhydroxyglykokoll, $OH \cdot (CH_2)_3 \cdot N \cdot (OH \cdot COOH)$	Betain in Mol	0,2 $a_3 - a_4$	0,1 a_3	0,02 a_2	0,01 $a_2 - a_1$	0,002 a_1	0,001 a_0	0,0006 $a_1 - a?$	0,0006 Mol

7. Säureamide:

α. ein- basischer Säuren	$CH_3 \cdot CO(NH_2)$	Acetamid in Mol	0,05 $a_1 - a_2$	0,02 $a_1 - a_0$	0,01 a_0	0,006 $a_0 - a?$	0,005 $a?$	0,005 $a?$	0,006 = 1:150 Mol
	$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CO(NH_2)$	Propionamid in Mol	0,05 $a_1 - a_2$	0,02 a_1	0,01 a_1	0,005 $a_1 - a_0$	0,0025 a_0	0,00125 $a_0 - a?$	0,00125 = 1:800 Mol
	$CH_3 \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CO(NH_2)$	Butyramid in Mol	0,05 $a_1 - a_2$	0,02 $a_1 - a_2$	0,01 a_1	0,002 $a_1 - a_0$	0,001 $a_1 - a_0$	0,00066 $a_3 - a_1$	0,0005 $a_0 - a?$
β. zwei- basischer Säuren	Amidobernsteinsäure-Halbamid, $COOH \cdot CH_2 \cdot CH(NH_2) \cdot CO \cdot (NH_2)$	Asparagin in Mol	0,1 a_2	0,05 $a_2 - a_1$	0,02 a_1	0,01 a_0	0,0055 $a_0 - a?$	0,005 a_0	0,0055 = 1:160 Mol
	Bernsteinsäure-amid, $(COOH \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CO \cdot (NH_2))$	Succinaminsäure ¹⁾ in Mol	0,1 a_1	0,05 $a_1 - a_0$	0,025 a_0	0,014 $a_0 - a?$	0,0125 $a_1 - a?$	0,01 a_0	1:70 - 1:80 Mol
	$(NH_2) \cdot OC \cdot CH_2 \cdot CH_2 \cdot CO \cdot (NH_2)$	Succinamid in Mol	0,1 a_0	0,05 a_0	0,033 $a_0 - a?$	0,025 $a_0 - a?$	0,02 $a_0 - a?$	0 a_0	1:30 - 1:40 Mol
	$\begin{matrix} CH_2 - CO & & NH \\ & & / \\ CH_2 - CO & & \end{matrix}$	Succinimid in Mol	0,1 0	0,05 0					In jeder Konzentrat. völlig wirkunglos

1) Dieses Präparat wurde in chemisch reinen Zustände hergestellt und gelangte sofort nach seiner Fertigstellung zur Untersuchung, da es schon nach 2—3 Tagen beginnt, sich in Bernsteinsäure und Ammoniak zu spalten.

Fortsetzung der Tabelle.

Stoffe	Die Kapillarflüssigkeit enthält den Reizstoff in % resp. in Mol										Reizschwelle
H_3PO_4	1:10	1:20	1:50	1:100	1:1000	1:10000	1:50000	1:100000	1:100000	1:100000	1:100000
	I_3	$a_2 I_2$	$a_3 I_1$	a_3	a_2	a_1	$a_1 - a_0$	$a_0 - a?$			Mol
	Ortho-Phosphorsäure in Mol										
KH_2PO_4	1:10	1:20	1:50	1:500	1:1000	1:10000	1:50000	1:100000	1:100000	1:100000	1:100000
	$a_3 I_2$	$a_3 I_1$	a_3	$a_3 - a_2$	a_2	a_1	$a_1 - a_0$	$a_0 - a?$			Mol
	Mono-Kaliumphosphat in Mol										
Salze von H_3PO_4	1:10	1:20	1:50	1:500	1:1000	1:10000	1:50000	1:100000	1:100000	1:100000	1:100000
	$a_3 I_2$	$a_3 I_1$	a_3	$a_3 - a_2$	a_2	a_1	$a_1 - a_0$	$a_0 - a?$			Mol
	Di-Kaliumphosphat in Mol										
K_3PO_4	1:10	1:20	1:50	1:500	1:1000	1:10000	1:50000	1:100000	1:100000	1:100000	1:100000
	$a_3 I_3$	$a_3 I_1$	a_3	$a_3 - a_2$	a_2	a_1	$a_1 - a_0$	$a_0 - a?$			Mol
	Tri-Kaliumphosphat in Mol										
K_2HPO_3	1:10	1:20	1:50	1:100	1:200	1:1000	1:10000	1:50000	1:100000	1:100000	1:100000
	I_2	$a_2 I_1$	a_2	a_2	a_2	$a_2 - a_1$	$a_1 - a_0$	a_0			Mol ¹⁾
	Phosphorigsaures Kalium in Mol										
KH_2PO_2	1:10	1:200	1:400	1:800	1:800	1:1000	1:2000	1:3000	1:4000	1:4000	1:4000
	I_3	I_2	I_1	$a_1 - a_0$	a_0	a_0	a_0	$a_0 - a?$			Mol
	Unterphosphorigsaures K. in Mol										

1) Obwohl die Reizschwelle des Kaliumphosphites mit denen der Ortho-Phosphorsäure und ihren drei Salzen übereinstimmt, so gleicht doch seine Reizwirkung nicht der, wie sie von den Ortho-Verbindungen hervorgerufen wird. Diese Tatsache äußert sich bei der ganzen Versuchsreihe mit Kaliumphosphit in einer deutlich geringeren Stärke der Ansammlung.

Prüfung erkennen, daß bestimmte Stoffgruppen der Eiweißkörper in chemotaktischer Hinsicht besonders wirksam sind. Dies gilt in hohem Maße für die Gruppe der Globuline, sowohl tierischer als pflanzlicher Abkunft, die sich insgesamt durch eine glänzende Chemotaxis und eine ungemein tiefe Reizschwelle auszeichnen ($R = 0,00012\%$ [Globulin] bis $R = 0,000025\%$ [Vitellin aus Pflanzen]). Den Globulinen schließt sich hinsichtlich der Reizwirkung zunächst die Gruppe der Nucleoproteide inkl. der Paranucleoproteide an ($R = 0,00021\%$ [Nuclein] bis $R = 0,00018\%$ [Casein]). Es folgt sodann die Gruppe der Enzyme mit $R = 0,0004\%$ (Pepsin) bis $R = 0,00014\%$ (Trypsin), während den eigentlichen Albuminen die relativ geringste Reizwirkung unter den genuinen Eiweißkörpern zufällt ($R = 0,0022\%$ [Albumin aus Pflanzen] bis $R = 0,0005\%$ [Albumin aus Eiweiß]).

Immerhin darf man diesem Sachverhalt nicht allzu großen Wert beimessen, da Ausgangsmaterial, Herstellungsverfahren der Präparate und andere Faktoren ohne Zweifel einen Einfluß auf den auszulösenden, chemotaktischen Effekt haben werden.

Ein ähnlicher Reizwert wie den eigentlichen Albuminen gebührt den denaturierten Proteinstoffen mit einem Schwellenwert von $0,0004\%$ (Protalbumose) bis $0,0008\%$ (Alkali-Albuminat). Nur die Dysalbumose und Hemialbumose zeigen mit $0,004\%$ bzw. $0,0078\%$ relativ hohe Reizschwellen.

Aber nicht nur die hochmolekularen genuinen und denaturierten Proteinkörper, deren Konstitution mehr oder weniger in Dunkelheit gehüllt ist, spielen die Rolle glänzender Chemotaktika gegenüber den *Saprolegnia*-Zoosporen, sondern auch die Spaltprodukte und verwandte Körper, deren Molekulargewicht und Konstitution uns genau bekannt sind, üben zum größten Teile eine vorzügliche Reizwirkung aus, z. B. die Nucleinsäure ($R = 0,00033\%$) und ihre Spaltprodukte, die Nucleinbasen, ferner die Körper aus der Gruppe des Harnstoffs und vor allem die ein- und zweibasischen Monoamid säuren der aliphatischen Reihe. Im übrigen verweise ich auf Tabelle IV. — Zu erwähnen ist die Tatsache, daß auch der Harnstoff, das Endprodukt der tierischen Spaltung der Eiweißkörper, eine chemotaktische Reizwirkung auszulösen vermag.

Durchmustern wir die stattliche Zahl der in Tabelle IV unter I. aufgeführten, organischen Verbindungen auf ein gemeinsames Merkmal hin, so fällt sofort als solches der Gehalt an Stickstoff auf. Nur zwei Verbindungen, die Essigsäure und Bernsteinsäure, stehen

außerhalb dieses gemeinsamen Kennzeichens. Sie sind unter den geprüften Stoffen die einzigen organischen Stickstoff-freien Körper, die eine chemotaktische Wirkung, wenn allerdings auch nur eine sehr mäßige, hervorzurufen imstande sind.

Die Essigsäure wirkt zwischen den Werten 0,1—0,002 Mol und die Bernsteinsäure zwischen $\frac{1}{80}$ — $\frac{1}{900}$ Mol positiv chemotaktisch. Andere ein- und zweibasische Säuren der Fettreihe (Glutarsäure), ferner die verschiedenen Oxysäuren, wie Milchsäure, Äpfelsäure, Weinsäure, Zitronensäure vermochten in keiner Konzentration eine positive Chemotaxis, sondern wegen der abdissoziierten H-Ionen nur negative Chemotaxis hervorzurufen. Nach Stange¹⁾ soll aber eine 0,012-proz. Weinsäurelösung eine anlockende Wirkung auf die *Saprolegnia*-Zoosporen ausüben. Ich kann mich auf Grund eingehender und vielfach wiederholter Versuche diesem Befunde Stanges nicht anschließen.

Sehr wahrscheinlich spielen die Anionen $(\text{CH}_3 \cdot \text{COO})'$ und $(\text{OOC} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{COO})''$ ²⁾ die Rolle des chemotaktisch wirksamen Agens der Essigsäure bzw. Bernsteinsäure, da die Salze dieser beiden Säuren eine ähnliche Reizwirkung ausüben.

Die mäßige chemotaktische Wirkung der beiden Säuren erklärt sich vielleicht aus der geringen Konzentration der vorhandenen Essigsäure- bzw. Bernsteinsäure-Anionen, denn der dissoziierte Anteil einer Essigsäurelösung von $\frac{1}{128}$ Mol beträgt nur 4,68 %³⁾. Außerdem müssen wir bedenken, daß der chemotaktische Effekt in diesen beiden Fällen die Resultante darstellt zwischen den in negativem Sinne wirkenden H-Ionen und den positiv chemotaktisch wirksamen Anionen.

Das Verhalten der Essigsäure und Bernsteinsäure, chemotaktisch wirksam zu sein, findet vielleicht seine Erklärung in der Tatsache, daß diese beiden Säuren regelmäßig bei der Fäulnis der Proteinstoffe im Vereine mit den übrigen, zahlreichen, stickstoffhaltigen Körpern auftreten; und wie letztere vorzügliche Reizmittel für die Zoosporen sind, so hat sich auch den beiden stickstoff-freien Säuren gegenüber eine chemotaktische Reizempfindlichkeit entwickelt. —

1) B. Stange, Über chemotaktische Reizbeweg. Bot. Ztg., Bd. 48, 1890, S. 125.

2) Es ist nicht unmöglich, daß auch das Anion $(\text{HCOO} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{COO})'$ chemotaktisch wirksam ist.

3) Vgl. W. Ostwald, Über die Affinitätsgrößen organischer Säuren. Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. 3, 1889, S. 170; S. 418 (Naehtrag).

Im Anschluß an diese Diskussion über die organischen Chemotaktika möchte ich noch einige Beziehungen zwischen ihrer chemischen Konstitution und ihren chemotaktischen Reizwirkungen darlegen. Es handelt sich um die ein- und zweibasischen Monoamidosäuren und die Säureamide.

Eine sehr wichtige Rolle spielt der Gehalt an N, in Form der einwertigen Amidogruppe NH_2 , sowie ihre Stellung im Molekül. Während die Essigsäure selbst nur ein mäßiges Chemotaktikum (0,1—0,002 Mol) repräsentiert und ihre Homologen überhaupt keine positive Chemotaxis auslösen, so wird durch die Substitution eines H-Atomes der unverzweigten Alkylgruppe durch (NH_2) eine gewaltige Steigerung des chemotaktischen Effektes herbeigeführt. Man vergleiche:

Amido-essigsäure	R = 0,00025 Mol
α -Amido-propionsäure	R = 0,00012 „
α -Amido-n-buttersäure	R = 0,00012 „
δ -Amido-n-valeriansäure	R = 0,00012—0,00010 Mol

Aus diesen Werten für R erkennt man außerdem, daß mit steigendem Molekulargewicht der Amidosäuren eine gewisse Erniedrigung der Reizschwelle Hand in Hand geht.

Ganz das analoge Verhalten können wir bei den zweibasischen Säuren, der Bernsteinsäure und Glutarsäure beobachten:

Bernsteinsäure	R = 0,0011 Mol	}
Amidobernsteinsäure	R = 0,00016 „	
Glutarsäure	R = 0 Mol	}
α -Amidoglutarsäure	R = 0,00016—0,00012 Mol	

Aus der folgenden Zusammenstellung erkennen wir ferner, daß es für die chemotaktische Reizwirkung durchaus nicht gleichgültig ist, ob wir die Amido-Verbindung der normalen Säure mit unverzweigter Kohlenstoffkette oder die der Iso-Säure mit verzweigter Kette zur Anwendung bringen:

α -Amido-n-buttersäure	R = 0,00012 Mol	}
α -Amido-iso-buttersäure	R = 0,01 „	
δ -Amido-n-valeriansäure	R = 0,00012 Mol	}
α -Amido-iso-valeriansäure	R = 0,005 „	

Hat man nicht gut empfindliches Schwärmermaterial zur Verfügung, so erzielt man selbst bei höheren Konzentrationen der Amido-Iso-Säuren keine chemotaktische Wirkung.

Hieraus geht deutlich hervor, daß den Iso-Körpern ein bei weitem geringerer Reizwert gebührt als den normalen Verbindungen.

Der Perzeptionsapparat der Zoosporen ist also wohl befähigt, den Konstitutionsunterschied zwischen den normalen und den isomeren Amido-Verbindungen zu empfinden.

Diese Erscheinung erinnert sofort an das Verhalten der Farnsamenfäden, die nach Pfeffer¹⁾ auf Maleinsäure positiv chemotaktisch reagieren, während das Stereoisomer der Maleinsäure, die Fumarsäure, gänzlich wirkungslos ist. Gerade das umgekehrte Verhältnis waltet bekanntlich nach Shibata²⁾ bei den Isoetes-Spermatozoiden ob. —

Ebenso wie die Einführung der Amido-Gruppe in das Säuremolekül, so ist auch ihre Stellung in diesem auf die chemotaktische Reizwirkung von wesentlicher Bedeutung.

Hiervon können wir uns leicht überzeugen, wenn wir die Säureamide ($C_nH_{2n+1} \cdot CONH_2$), die durch den Ersatz des Hydroxyls (OH) der Carboxyl-Gruppe $-\overset{O}{\parallel}C-\overset{OH}{\backslash}$ durch NH_2 charakterisiert sind, auf ihre chemotaktische Wirkung hin prüfen. Wir rekapitulieren:

Acetamid	R = $\frac{1}{150}$ Mol
Propionamid	R = $\frac{1}{800}$ „
Butyramid	R = $\frac{1}{1400}$ — $\frac{1}{1600}$ Mol.

Diese Reizschwellen stehen weit zurück hinter denen der entsprechenden Amido-Säuren; ebenso kann die von den Säureamiden selbst in den höheren Konzentrationen ($\frac{1}{20}$ Mol) hervorgerufene chemotaktische Wirkung nicht im mindesten mit dem Reizeffekt der Amidosäuren verglichen werden. Dies zeigen am deutlichsten die spez. Beobachtungen.

Es sei darauf hingewiesen, daß auch in diesem Falle mit zunehmendem Molekulargewicht der Homologen eine Erniedrigung der Reizschwelle zu konstatieren ist.

Ein anderes Beispiel, das die Abhängigkeit der chemotaktischen Reizwirkung von der Stellung der Amido-Gruppe im Molekül besonders deutlich illustriert, ist in der Bernsteinsäure gegeben.

Sie selbst löst zwischen den Werten $\frac{1}{80}$ — $\frac{1}{900}$ Mol (= R) eine mäßige, positive Chemotaxis aus, hingegen gebührt der Amido-Bernsteinsäure (Asparaginsäure) $COOH \cdot CH_2 \cdot CH \cdot (NH_2) \cdot COOH$

1) W. Pfeffer, Unters. a. d. Bot. Inst. zu Tübingen, Bd. I, S. 382.

2) Shibata, Studien über die Chemotaxis der *Isoetes*-Spermatoziden. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLI, 1905, S. 571 u. 603.

ein glänzender chemotaktischer Wirkungsgrad, $R = 0,00016$ Mol. In einem auffällig starken Gegensatze steht hierzu das Bernstein-säure-amid (Succinaminsäure) $\text{COOH} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CO} \cdot (\text{NH}_2)$, das nur eine schwache Chemotaxis bewirkt; die untere Reizschwelle ist schon bei dem Werte $\frac{1}{70} - \frac{1}{80}$ Mol erreicht. Kombinieren wir nun die verschiedene Stellung der Amido-Gruppe der Asparagin- und Succinaminsäure in einem Molekül, so erhalten wir das Halb-amid der Amido-Bernsteinsäure, das Asparagin: $\text{COOH} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}(\text{NH}_2) \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)$. Seine chemotaktische Wirkung stellt gewissermaßen die Resultante zwischen der Wirkung der Amido-Bernsteinsäure und der Succinaminsäure dar: das Asparagin repräsentiert ein gutes Chemotaktikum, besonders in höheren Konzentrationen, dessen Reizschwelle allerdings auch schon mit $\frac{1}{150}$ Mol gegeben ist. Führen wir aber in das Molekül der Succinaminsäure an Stelle des Hydroxyls des zweiten Carboxyls noch eine (NH_2) -Gruppe ein, so erhalten wir das Succinamid: $(\text{NH}_2)\text{OC} \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CO}(\text{NH}_2)$. Dessen Reizwirkung ist nur sehr schwach und findet schon bei $\frac{1}{30} - \frac{1}{40}$ Mol ihre Grenze.

Somit ist mit fortschreitender NH_2 -Substitution in die Carboxylgruppen eine beträchtliche Schwächung der chemotaktischen Wirkung

verbunden. Das Succinimid: $\begin{array}{l} \text{CH}_2 - \text{CO} \\ | \\ \text{CH}_2 - \text{CO} \end{array} \rangle \text{NH}$ ist völlig wirkungslos.

Die chemotaktischen Reizbewegungen der *Saprolegnia*-Zoosporen gegen die Ortho-Phosphorsäure und ihre ein- und zwei-basischen Salze der Alkalimetalle ermittelt zu haben, ist das Verdienst Stanges.

Ich habe die Untersuchungen auf das drei-basische K-Salz der Ortho-Phosphorsäure, sowie auf das Kaliumphosphit und Kaliumhypophosphit ausgedehnt.

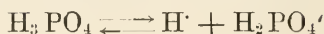
Stange hat seinerzeit (1889) mit prozentualen Lösungen gearbeitet und aus leicht begreiflichen Gründen in keiner Weise den Ionisationsverhältnissen dieser anorganischen Körper Rechnung getragen.

Es sei mir deshalb gestattet, diese chemotaktischen Reizvorgänge im Lichte der Dissoziationstheorie zu beleuchten.

Zunächst die freie Ortho-Phosphorsäure H_3PO_4 . Sie trägt völlig den Charakter einer starken Säure, sie ist jedoch beträchtlich weniger ionisiert wie die Salzsäure, denn eine $\frac{1}{10}$ -molare Lösung von H_3PO_4 enthält nur $\frac{1}{1}$ soviel H^+ -Ionen als eine $\frac{1}{10}$ -molare Lösung von HCl ¹⁾. Die Dissoziation liefert hauptsächlich H^+ - und

1) W. Ostwald, Grundlinien der anorgan. Chemie, 1904, S. 376.

$\text{H}_2\text{PO}_4'$ -Ionen, deren Masse von dem durch den Verdünnungsgrad gegebenen, jeweiligen Gleichgewichtszustand:



abhängig ist. Da nun schon eine Lösung von $1/6400$ Mol H_3PO_4 fast vollkommen, nämlich zu 97,9%, ionisiert ist¹⁾ und diese noch eine gut-chemotaktische Reizwirkung auslöst, so müssen wir den Schluß ziehen, daß das wirksame Agens das $\text{H}_2\text{PO}_4'$ -Ion ist. Infolge der in negativem Sinne wirksamen H^+ -Ionen stellt diese Chemotaxis eine Resultante dar aus zwei in verschiedenem Sinne wirkenden Kräften.

Die Reaktion des primären Kaliumphosphates ist sauer, die des sekundären schwach basisch und die des tertiären stark basisch. Die Ursache hiervon verdient wegen der chemotaktischen Interferenzerscheinungen etwas näher betrachtet zu werden.

Die saure Reaktion des Salzes KH_2PO_4 ist darin zu suchen, daß sein Anion $\text{H}_2\text{PO}_4'$ noch imstande ist, sich in sehr geringem Maße in H^+ und HPO_4'' zu ionisieren, wodurch freie H^+ -Ionen in die Lösung kommen²⁾. Wir haben es in diesem Falle gleichzeitig mit den repulsiv wirkenden H^+ -Ionen und den attraktiv wirkenden $\text{H}_2\text{PO}_4'$ - und HPO_4'' -Ionen zu tun. Das Kation K^+ ist unbeteiligt, da alle übrigen K-Salze indifferent sind.

Die schwach alkalische Reaktion des Salzes K_2HPO_4 muß seiner Hydrolyse zugeschrieben werden. Dieses Salz ist in verdünnter Lösung größtenteils in 2K^+ und HPO_4'' ionisiert. Da die HPO_4'' -Ionen in geringem Maße die Tendenz besitzen, sich mit H^+ -Ionen, deren Quelle das Wasser ist, zu $\text{H}_2\text{PO}_4'$ zu vereinigen, so müssen die nunmehr entstehenden, freien OH^- -Ionen des Wassers ihre alkalische Reaktion zur Geltung bringen. Es treten also bei vollkommener Dissoziation, d. h. bei genügend starker Verdünnung ausschließlich die folgenden, chemotaktisch wirksamen Ionen auf: HPO_4'' , $\text{H}_2\text{PO}_4'$ und OH^- ; die beiden letzten einwertigen Anionen stehen aber den HPO_4'' -Ionen bei weitem an Masse nach. Wie aus den spez. Beobachtungen erhellt, kommt diesem Salze die gleiche Reizschwelle wie dem einbasischen zu. Wir sind somit zu dem Schlusse berechtigt, daß auch dem zweiwertigen HPO_4'' -Ion derselbe Reizwert gebührt wie dem einwertigen $\text{H}_2\text{PO}_4'$ -Ion. Wie

1) Vgl. O. F. Tower, Studien über Superoxyd-Elektroden. Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. 18, 1895, S. 32, Tabelle 21.

2) W. Ostwald, Grundlinien der anorgan. Chemie, 1904, S. 376, 377.

bei der freien Phosphorsäure und ihrem einbasischen Salze die H^+ -Ionen, so wirken bei dem zweibasischen Salze die OH^- -Ionen in negativem Sinne auf die positive Chemotaxis ein. Ganz analog ist die Erklärung für die sehr stark alkalische Reaktion des Salzes K_3PO_4 .

In seiner Lösung befinden sich die Ionen PO_4^{3-} , die eine bei weitem kräftigere Vereinigungstendenz mit H^+ -Ionen besitzen als die HPO_4^{2-} -Ionen, also die Anwesenheit von einer noch größeren Anzahl nicht durch H^+ kompensierter OH^- -Ionen des Wassers verursachen. Schon eine $1/50$ molare Lösung von K_3PO_4 ist beinahe vollkommen im Sinne der Gleichung



hydrolysiert¹⁾. Somit finden auch die starken Repulsionserscheinungen des K_3PO_4 in höheren Konzentrationen ihre Erklärung. Das wirksame Agens ist auch hier wieder das HPO_4^{2-} -Ion, weshalb auch die Reizschwelle dieses dreibasischen Salzes mit dem des zweibasischen übereinstimmen muß. —

Das normale phosphorigsaure Kalium K_2HPO_3 — denn die Säure H_3PO_3 ist nur zweibasisch — liefert bei seiner Dissoziation vorwiegend HPO_3^{2-} -Ionen²⁾. Da die Reizschwelle dieses Salzes bei 0,00001 Mol liegt, also bei einer Verdünnung, wo völlige Dissoziation eingetreten ist, so müssen wir den Schluß ziehen, daß die Rolle des chemotaktisch wirksamen Agens dem normalen Phosphition HPO_3^{2-} zufällt. Obwohl seine Reizschwelle der des Phosphations gleichkommt, so steht doch die Stärke der Reizwirkung deutlich hinter der der Phosphationen zurück.

Schließlich wollen wir noch die Chemotaxis des Kaliumhypophosphites KH_2PO_2 näher präzisieren.

Aller Wahrscheinlichkeit nach haben wir es mit dem wirksamen Hypophosphition $H_2PO_2^-$ zu tun³⁾. Dessen positiv chemotaktische Reizwirkung ist sehr gering und wird durch die Schwellenwerte $1/400$ und $1/3000$ Mol begrenzt. Die starken Repulsionserscheinungen dieses Salzes, die selbst noch bei $1/200$ Mol deutlich zu konstatieren sind, dürften wohl in der Resultantenwirkung der sehr schwach anlockenden $H_2PO_2^-$ -Ionen und der stark repulsiv wirkenden H^+ -Ionen ihre Erklärung finden.

1) Vgl. John Shields, Über Hydrolyse in wässrigen Salzlösungen. Zeitschr. f. physik. Chemie, 12. Bd., 1893, S. 180, 187.

2) W. Ostwald, a. a. O., S. 380.

3) W. Ostwald, a. a. O., S. 383.

Aus diesen Erörterungen entnehmen wir, daß den Ionen $\text{H}_2\text{PO}_1'$ und HPO_1'' ein vorzüglicher und gleicher Reizwert gebührt, hingegen dem HPO_3'' -Ion ein etwas schwächerer und dem $\text{H}_2\text{PO}_2'$ -Ion ein sehr schwacher. Die Frage, ob diese Stufenfolge der chemotaktischen Effekte mit der Abnahme der O-Atome in den wirksamen Ionen in Verbindung zu bringen ist, will ich nur ausgesprochen haben.

Kapitel IV. Physiologische Qualität der Chemotaxis.

Ein chemischer Reiz, der in bestimmter Richtung auf eine freibewegliche Zelle einwirkt, kann eine zweifache Reaktion des Organismus veranlassen, erstens eine solche, die in Beziehung zur Richtung des Reizes steht, und zweitens eine Reflexbewegung, die nur von dessen Qualität und Intensität abhängig ist.

Das Konzentrationsgefälle eines Reizstoffes kann aber einen derart richtenden Reiz auf die Zelle nur dann ausüben, wenn diese auch befähigt ist, die Richtung der stärksten Konzentrationszunahme bzw. Abnahme wahrzunehmen; anderenfalls wirkt es als diffuser Reiz, der nur eine Reflexbewegung auszulösen vermag.

Diese beiden prinzipiell verschiedenen Arten der Chemotaxis hat Rothert¹⁾ als strophische und apobatische unterschieden, während Pfeffer²⁾ hierfür die Bezeichnung Topo-Chemotaxis und Phobo-Chemotaxis vorgeschlagen hat.

Bei den chemotaktisch reizbaren Organismen finden sich bekanntlich beide Arten der Reaktion; die Spermatozoiden der meisten Archegoniaten sind Vertreter der zu topo-chemotaktischen Reaktionen befähigten Organismen³⁾, während die Bakterien, Flagellaten und Infusorien auf chemische Reize phobo-chemotaktisch reagieren⁴⁾.

Gelangt ein topistisch reagierender Organismus in das Konzentrationsgefälle eines Reizstoffes, so ändert er plötzlich durch Drehung seiner Körperachse die innegehabte Bewegungsrichtung, stellt sich in die Richtung der Diffusionsradialen ein und schwimmt

1) Rothert, Beobachtungen und Betrachtungen über taktische Reizerscheinungen. Flora, Bd. 88, 1901, S. 393.

2) W. Pfeffer, Pflanzen-Physiologie, II. Bd., 1904, II. Aufl., S. 755.

3) W. Pfeffer, ebenda, S. 801, 812.

4) Vgl. Rothert, a. a. O., Kap. VI, S. 388; ferner Jennings: On the movements and motor reflexes of the flagellata and ciliata. Amer. Journ. of Physiology, Vol. 3, 1900; Jennings and Crosby, The manner, in which bacteria react to stimuli, especially to chemical stimuli. Amer. Journ. of Phys., Vol. 6, 1901.

so direkt nach dem Orte der optimalsten (höheren) Konzentration, wenn die Reaktion positiv ist (Pros-Chemotaxis nach Rotherth); ist sie dagegen negativ, so schwimmt der Organismus nach der Stelle niedrigerer Konzentration.

Meist ruft jeder Reizstoff in geringerer Konzentration positive und in höherer negative Chemotaxis hervor, deren Zustandekommen allerdings wegen der zu geringen Löslichkeit des Reizstoffes oder aus anderen Gründen oft unterbunden sein kann. Meine Beobachtungen geben hierfür Belege ab.

Daß aber nicht jedes positive Chemotaktikum mit genügender Erhöhung der Konzentration negative Chemotaxis hervorrufen muß, geht aus dem Verhalten der Moos-Spermatozoiden hervor, die selbst durch eine 15-proz. Rohrzuckerlösung noch nicht abgestoßen werden¹⁾).

Das Konzentrations-Optimum, d. h. die Konzentration, bei welcher der Übergang von der positiven zur negativen Reaktion stattfindet, liegt bei den einzelnen Organismen für die verschiedenen Reizstoffe verschieden; bei manchen Reizstoffen liegt es sogar unterhalb der Grenze der Wahrnehmbarkeit, sie lösen also nur negative Chemotaxis aus, wie es z. B. die H⁺- und OH⁻-Ionen den Chytridiaceen- und Saprolegniaceen-Zoosporen gegenüber tun, während das H⁺-Konzentrationsoptimum für die Schwärmsporen der Myxomyceten nach Kusano²⁾ durch eine $\frac{1}{600}$ molare Lösung einer gut dissoziierten Säure gegeben ist.

Ganz anders reagieren die Organismen, die einen chemischen Reiz in phobo-chemotaktischer Weise beantworten. Jennings³⁾ bezeichnet diese Art der Reaktion kurz mit „Motorreflex“. Beim Eintritt in eine bestimmte Konzentration des Reizstoffes erfolgt eine Reflexbewegung, die ganz unabhängig von der Richtung des stärksten Konzentrationsgefälles ist. Sie besteht meist in einem plötzlichen Rückwärtsschwimmen, mit folgendem Anhalten, einer Drehung, deren Richtung wohl durch den Bau des Organismus bestimmt ist und schließlich in einem erneuten Vorwärtsschwimmen usw., wobei wahrscheinlich der Austritt aus dem Konzentrations-

1) Vgl. W. Pfeffer, *Unters. a. d. Bot. Inst. zu Tübingen*, Bd. I, 1884, S. 432.

2) S. Kusano, *Studies on the chemotactic and other related reactions of the swarm-spores of Myxomycetes*. *Journ. of the College of Agriculture, Imperial-University of Tokyo*, 1909, Vol. II, No. 1, p. 79.

3) Jennings, *On the movement and motor reflexes of the flagellata and ciliata*. *Amer. Journ. of Physiology*, Vol. 3, 1900.

optimum als Reizanlaß wirkt. Diese Phobotaxis (Motorreflex) ist positiv, wenn sie beim Eintritt in weniger konzentriertes Medium, negativ, wenn sie beim Eintritt in höher konzentriertes erfolgt.

Topo- und phobo-taktische Reaktionsfähigkeit können bei demselben Organismus dem gleichen Reizstoff gegenüber ausgebildet sein. Pfeffer¹⁾ z. B. gibt für die topochemotaktisch reagierenden Farnspermatozoiden an, daß sie vielfach beim Übergang von der konzentrierteren in die verdünntere Lösung des Reizstoffes „zurückprallen“²⁾.

Die gleiche Beobachtung habe ich besonders bei den *Saprolegnia*-Zoosporen machen können, die durch eine mäßige Konzentration eines guten Reizstoffes in die Kapillare eingefangen wurden. Bei ihrem Bestreben nach gleichmäßiger Verteilung an die Kapillarmündung gelangt, reagierten die meisten Individuen mit einem plötzlichen, stoßartigen Rückwärtsschwimmen nach dem Inneren der Kapillare.

Soweit meine Untersuchungen und Beobachtungen reichen, habe ich mit Ausnahme des letztgeschilderten Falles niemals Anhaltspunkte für eine phobochemotaktische Reaktion der Chytridiaceen- und Saprolegniaceen-Zoosporen finden können, wohl aber solche, die für die topotaktische Reaktion sprechen. Immerhin ist eine solche auf direkter Beobachtung des Bewegungsmodus beruhende Entscheidung nicht leicht zu treffen, besonders wenn es sich um so kleine und rasch bewegliche Organismen handelt, wie sie die *Rhiz. sphaer.*- und *Pseudolpidium*-Schwärmer repräsentieren. Dieser Entscheidung werden noch umso mehr Schwierigkeiten bereitet, als nach Rotherth³⁾ für die phobo-taktische Reaktion die „wimmelnde“ Bewegung der Organismen und die zunächst stets vor der Kapillarmündung entstehende Ansammlung — auch wo keine Repulsivwirkung vorliegt — besonders typisch sind.

Diese beiden Charakteristika sind bei dem untersuchten Schwärmermaterial oft sehr deutlich wahrzunehmen. Doch dürfte die wimmelnde Bewegung der Schwärmer und die Ansammlung vor der Kapillarmündung mit Sicherheit auf die Repulsivwirkungen des zu konzentriert gebotenen Chemotaktikums zurückzuführen sein. Denn diese Merkmale sind nicht mehr zu konstatieren, wenn die

1) W. Pfeffer, Pflanzen-Physiologie, 1904, S. 757.

2) Vgl. auch K. Shibata, Weit. Mitteil. über die Chemotaxis der *Equisetum*-Spermatozoiden. Sonderabdr. aus: „The Botan. Magazine, Vol. XIX, No. 226, 1905, p. 129.

3) Rotherth, a. a. O., S. 390.

Konzentration des Reizstoffes hinreichend erniedrigt wird; es erfolgt auch dann noch eine rasche und sehr reichliche Ansammlung in der Kapillare. —

Ganz ähnlich, wie Lidforss¹⁾ habe auch ich direkte Beobachtungen gesammelt, die unbedingt für die topotaktische Reaktion der untersuchten Chytridiaceen- und Saprolegniaceen-Zoosporen sprechen²⁾.

So sei in erster Linie darauf hingewiesen, wie außerordentlich rasch und massenhaft die Schwärmsporen bei gewissen Reizstoffen in die Kapillare eindringen. Wenn z. B. eine Kapillare, die mit einer kaltgesättigten Lösung von Proteinsubstanz oder Diastase beschickt ist, innerhalb 20 Sekunden auf eine Strecke von 1,5 bis 2 mm mit einem dichten Pfropf von *Rhiz. poll.*-Zoosporen erfüllt ist, so kann eine derartige Ansammlung nicht phobotaktischer Natur sein, da sie unmöglich in einem zufälligen Hineingeraten der Schwärmer in die Kapillare, sondern nur in einer räumlich orientierenden Reizwirkung des Konzentrationsgefälles ihre Erklärung findet.

Ebenso spricht der Reaktionsverlauf bei den übrigen Chytridiaceen- und besonders den *Saprolegnia*-Zoosporen sehr deutlich für die topistische Natur ihrer Ansammlungen. So beobachtete ich in einem konkreten Falle, daß eine mit 0,42% Diastase-Lösung beschickte Kapillare nach 30 Sekunden auf eine Länge von 2 bis 3 mm mit *Saprolegnia*-Zoosporen dicht vollgepfropft war.

Eine weitere Beobachtung, die den topistischen Charakter der Chemotaxis der untersuchten Schwärmszellen als gewiß erscheinen läßt, ist folgende. Es steuerten nämlich die Zoosporen, die zufällig die Bewegungsrichtung nach der Kapillarmündung inne hatten und in das Konzentrationsgefälle des Reizstoffes gerieten, direkten Weges in die Kapillare hinein. Ferner war oft zu sehen, wie die Schwärmer, die in einer die Diffusionsradien schneidenden Richtung in das Konzentrationsgefälle gelangten, mit einer plötzlichen, scharfen Wendung auf den gebotenen Reiz reagierten und sich mit ihrer Längsachse in die Linie der stärksten Konzentrationszunahme einstellten. Dies Phänomen ist besonders dann gut zu beobachten, wenn die Zoosporen aus inneren oder äußeren Gründen ihre Be-

1) B. Lidforss, Über die Reizbewegungen der *Marchantia*-Spermatozoiden. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLI, S. 65.

2) Vgl. Rothert, a. a. O., S. 373, 388, wo die positive Chemotaxis der *Saprolegnia*-Zoosporen gegen Fleischextrakt als topistisch charakterisiert ist.

wegung etwas verlangsamt haben und das Präparat nicht zu zahlreiche Individuen enthält.

Auch das tiefe und rasche Eindringen der Zoosporen in die Kapillare, wie es bei entsprechenden Konzentrationen des Reizstoffes stattfindet, spricht unbedingt für eine Richtungsbewegung und nicht für eine phobistische Reaktion.

Kapitel V. Das Verhalten der osmotisch wirksamen Stoffe.

Neben dem eben erörterten spezifisch chemischen Reiz kann eine Lösung auch einen solchen ausüben, der allein der osmotischen, also der physikalischen Leistung des Stoffes zu verdanken ist. Diese Reaktion, bekanntlich als Osmotaxis bezeichnet, wurde schon von Pfeffer¹⁾ bei den Farnspermatozoiden und von Stahl²⁾ bei den Myxomyceten-Plasmodien beobachtet, aber erst von Massart³⁾ eingehend an zwei Bakterienarten studiert und in ihrem Wesen erfaßt.

Aus meinen Beobachtungen gegenüber Lösungen von Elektrolyten (KNO_3 , NaCl , Na_2SO_4) und Nichtelektrolyten (Rohrzucker), die in den verschiedensten Konzentrationen zur Anwendung gelangten, glaube ich mit Sicherheit schließen zu können, daß den Chytridiaceen- und Saprolegniaceen-Zoosporen eine osmotaktische Reizbarkeit abgeht.

So steuerten die Zoosporen bei ihrem Bestreben nach gleichmäßiger Verteilung ohne Anstand in eine Kapillare, die nacheinander eine molare Lösung von KNO_3 (= 10,1%), NaCl (= 5,85%), Na_2SO_4 (= 14,2%) und Rohrzucker (= 34,2%) enthielt, in oder vor der sie fast augenblicklich ihren Tod fanden. Irgendwelche Repulsionserscheinungen wurden hierbei niemals beobachtet. Ihr Fehlen konnte noch dadurch einwandfrei konstatiert werden, daß eine Kapillare, die eine hochkonzentrierte Lösung eines Elektrolyten oder Nichtelektrolyten enthielt, gleichzeitig mit einer schwachen Lösung eines guten Chemotaktikums beschickt wurde. Unter der Reizwirkung des Chemotaktikums fand eine vollkommen normale Ansammlung in der Kapillare statt, nur sistierten die Zoosporen

1) W. Pfeffer, Lokom. Richtungsbew. d. chem. Reize. Unters. a. d. Bot. Inst. Tübingen, Bd. I, S. 386 und Über chemot. Beweg. von Bakterien usw., Bd. II, S. 626.

2) Stahl, Zur Biologie der Myxomyceten. Bot. Ztg., 1884, S. 166.

3) Massart, Sensibilité et adaption des organismes à la concentration des solutions salines. Arch. de Biologie, 1889, T. 9, S. 529.

infolge der Wasser entziehenden Wirkung der hochkonzentrierten Lösung sehr rasch ihre Bewegung.

Das Ausbleiben der Repulsivwirkungen kann nur auf einen Mangel an osmotaktischer Reizempfindlichkeit der Chytridiaceen- und *Saprolegnia*-Zoosporen zurückgeführt werden, es sei denn, daß die Plasmahaut dieser Zoosporen für die in Rede stehenden Körper vollkommen permeabel ist und somit eine Wasserentziehung (Depression des Turgors), die Grundbedingung für den osmotaktischen Reizvorgang, unmöglich eintreten kann¹⁾.

Gegen diese Annahme sprechen aber wieder die deutlich zu beobachtenden Schrumpfungen des Plasmakörpers.

Nach Rotherth²⁾ kommt allerdings den *Saprolegnia* Zoosporen neben der positiven Chemotaxis eine deutliche Aposmotaxis zu, die sich darin äußert, daß die Zoosporen in eine Kapillare mit 1% Fleischextrakt nicht eindringen, sondern sich vor der Kapillarmündung ansammeln.

Nach meinen Erfahrungen erscheint mir der Hinweis nicht unangebracht, ob die beobachteten Repulsionserscheinungen nicht in erster Linie auf die hohe Konzentration des stark chemotaktisch wirksamen Stoffgemisches und die abdissoziierten H⁺- und OH⁻-Ionen der Phosphate zurückzuführen seien.

Kapitel VI. Die Repulsion durch die freien Säuren und Alkalien.

Schon in Kapitel III über die positive Chemotaxis haben wir konstatiert, daß die freie Ortho-Phosphorsäure und ihre drei Salze in höheren Konzentrationen stark repulsiv wirken, und daran die Behauptung geknüpft, daß wir es bei diesen chemotaktisch reizenden Elektrolyten mit einer Resultantenwirkung zu tun hätten, deren positiv chemotaktisch wirkende Komponente durch die Phosphorsäure-Ionen und deren negative Komponente durch die H⁺- resp. OH⁻-Ionen gegeben seien.

Bei $\frac{1}{50}$ Mol freier Ortho-Phosphorsäure ist das Reizoptimum gelegen, bei dem sich Anziehung und Abstoßung das Gleichgewicht halten; es äußert sich in einer sehr starken Ansammlung der Zoosporen dicht vor der Kapillarmündung, in die sie nur nach

1) Vgl. Massart, a. a. O., S. 528 und Rotherth, Beobachtungen und Betrachtungen über taktische Reizerschein. Flora, Bd. 88, 1901, S. 406 (Kap. VIII) u S. 409.

2) Rotherth, Über die Wirkung des Äthers und Chloroforms auf die Reizbeweg. der Mikroorganismen. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXIX, S. 31.

langem Widerstreben einzudringen versuchen. Bei nur wenig höheren Konzentrationen ist eine deutliche Repulsivwirkung unverkennbar.

Ebenso ergaben orientierende Versuche, daß die Schwärmsporen der Chytridiaceen vor der Mündung einer Kapillare, die neben der Lösung eines guten Chemotaktikums mit einer mäßigen Konzentration einer freien, starken Säure oder Base beschickt war, stark zurückprallten.

Überhaupt scheint die Reizbarkeit durch die Wasserstoff- und Hydroxyl-Ionen eine fast allgemeine Eigenschaft der frei beweglichen Mikroorganismen zu sein, und meist auf der Ausbildung einer spezifischen Sensibilität für diese beiden Ionen zu beruhen. So wurde von den verschiedensten Forschern für eine große Zahl von Bakterien, Rhizopoden, Flagellaten, Ciliaten sowie für die Spermatozoiden aller untersuchten Archegoniaten die Empfindlichkeit gegen die H^+ - und OH^- -Ionen konstatiert. Während das Reizoptimum für die Hydroxyl-Ionen — soweit bekannt — stets unterhalb der Reizschwelle gelegen ist, also diese nur negative Chemotaxis auszulösen vermögen, gilt dies für die H^+ -Ionen nur mit Einschränkungen.

So zeigte Shibata¹⁾, daß die Spermatozoiden von *Equisetum* durch freie H^+ -Ionen in geringen Konzentrationen (z. B. $\frac{1}{600}$ Mol H_2SO_4) positiv chemotaktisch gereizt werden und zwar werden diese durch denselben Perzeptionsakt wahrgenommen wie die Kationen. Ebenso konnte Kusano²⁾ in den freien H^+ -Ionen das chemotaktisch wirksame Agens gegenüber den Schwärmsporen der Myxomyceten nachweisen und bestimmte das Reizoptimum bei $\frac{1}{600}$ Mol einer gut dissoziierten Säure.

Bekannt sind die Repulsiverscheinungen von sauren und alkalischen Verbindungen schon durch die grundlegenden Untersuchungen Pfeffers³⁾ über die Chemotaxis der Farnspermatozoiden; so beobachtete er, daß die Repulsivwirkung einer 0,01 % Äpfelsäurelösung durch Zugabe von Zitronensäure (0,2 %) oder Natriumkarbonat (0,5 %) eine wesentliche Steigerung erfuhr.

1) K. Shibata, Weitere Mitteilungen über die Chemotaxis der *Equisetum*-Spermatozoiden. Sonderabdr. aus The Botanical Magazine, Vol. XIX, No. 226, 1905, p. 128.

2) S. Kusano, Studies on the chemotactic and other related reactions of the swarm-spores of Myxomycetes. Journ. of the College of Agriculture, Imperial University of Tokyo, Vol. II, No. 1, 1909, p. 17 u. 79.

3) W. Pfeffer, Untersuch. usw., Bd. 1, S. 387.

Aber erst später vermutete man auf Grund der elektrolytischen Dissoziationstheorie, daß allein den abdissoziierten H^+ - resp. OH^- -Ionen die Rolle der negativ chemotaktischen Reizwirkung gebühre. Diese Vermutung wurde denn auch durch entsprechend angestellte Versuche zur Tatsache erhärtet.

Ein experimenteller Nachweis, daß die H^+ -Ionen einer starken Säure der wirksame Bestandteil des Reizstoffes sind, läßt sich nach Shibata zunächst dadurch erbringen, daß man durch geeignete Mittel die Anzahl der freien H^+ -Ionen ändert und zeigt, daß die jeweilige Repulsivwirkung proportional den freien H^+ -Ionen ist. Ein solches Mittel besteht im Hinzufügen eines indifferenten Salzes von einer schwachen Säure, wodurch die Menge der H^+ -Ionen der starken Säure unter Bildung der schwachen, wenig dissoziierten Säure zurückgedrängt wird.

Eine andere, generellere Versuchsmethode, wie sie gleichfalls von Shibata¹⁾ angegeben wurde und deren ich mich zum Zwecke der Untersuchungen der Repulsivwirkungen bediente, besteht unter Berücksichtigung einer kleinen Änderung in folgendem.

Als Chemotaktikum gelangte für die Zoosporen von *Saprolegnia mixta* eine $1/20$ % Pepsinlösung zur Verwendung, während den Schwärmporen von *Rhiz. poll.* eine 0,117 % Lösung von Protein-substanz aus Pfl.²⁾ als Reizmittel geboten wurde. In beiden Fällen sind solche Konzentrationen gewählt worden, bei denen ein sehr rasches, reichliches und vor allem sehr tiefes Einschwärmen der Zoosporen in die Kapillare stattfindet. Diesen Lösungen wurden nun verschiedene anorganische und organische Säuren sowie mehrere Basen in allmählich abnehmenden Konzentrationen hinzugegeben und durch Vergleich der Wirkung mit der allein durch die Pepsin- resp. Proteinsubstanz-Lösung erzielten Chemotaxis von jeder Säure und Base diejenige, kritische Konzentration ermittelt, bei welcher sich gerade noch eine schwache, aber deutliche Repulsivwirkung von seiten der Säuren oder Basen geltend machte.

Zur leichteren Beurteilung wurde stets die säuren- resp. basenfreie Vergleichskapillare gleichzeitig in das Präparat eingebracht.

Bekanntlich setzte Shibata³⁾ als Kriterium diejenige Konzentration fest, bei welcher sich ein dichtes Getümmel der Organis-

1) K. Shibata, Studien über die Chemotaxis der *Isoetes*-Spermatozoiden. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLI, 1905, S. 577 n. 578.

2) Vgl. Tabelle I, S. 440, Proteinsubst. aus Pfl., c = 0,235 %.

3) Shibata, a. a. O., 1905, S. 579.

men eben an der Mündung der Kapillare entwickelte. Meiner Ansicht nach ermöglicht diese Modifikation der Shibataschen Versuchsmethode eine genauere Bestimmung der fraglichen Konzentrationen.

Die Resultate der Versuchsreihen sind in den beiden folgenden Tabellen zusammengestellt, und zwar seien die kritischen Konzentrationen für die *Rhiz. poll.*-Zoosporen mit „ r_r “ und die für die *Suprolegnia*-Zoosporen mit „ r_s “ bezeichnet.

Tabelle V.

Repulsionswirkungen der Säuren.

Bezeichnung der Säuren	Dissoziations- konstante ¹⁾ 100 k = K	Kritische Konzentrationen in Mol	
		r_r	r_s
Anorganische Säuren:			
Salzsäure HCl	—	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{1500}$
Salpetersäure HNO ₃	—	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{1500}$
Schwefelsäure $\frac{H_2SO_4}{2}$	—	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{1500}$
Ortho-Phosphorsäure ²⁾ H ₃ PO ₄	—	$\frac{1}{800}$	—
Organische Säuren:			
Ameisensäure H • COOH	0,02140	$\frac{1}{150}$	$\frac{1}{300}$
Essigsäure CH ₃ • COOH	0,0018	$\frac{1}{30}$	—
Propionsäure C ₂ H ₅ • COOH	0,0013	$\frac{1}{30}$	$\frac{1}{50}$
Milchsäure C ₂ H ₄ • OH • COOH	0,0138	$\frac{1}{125}$	$\frac{1}{200}$
Malonsäure CH ₂ (COOH) ₂	0,163	$\frac{1}{450}$	$\frac{1}{900}$
Bernsteinsäure (CH ₂) ₂ • (COOH) ₂	0,0065	$\frac{1}{60}$	—
Äpfelsäure CH • OH • CH ₂ • (COOH) ₂	0,0395	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{450}$
Weinsäure (CH • OH) ₂ • (COOH) ₂	0,097	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{700}$

1) Vgl. W. Ostwald, Über die Affinitätsgrößen organischer Säuren. Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. 3, 1889, S. 170 u. 418 (Nachtrag mit Übersicht).

2) Bekanntlich verhält sich H₃PO₄ wie eine 1-basische Säure.

Fortsetzung der Tabelle V.

Bezeichnung der Säuren	Dissoziations- konstante 100 k = K	Kritische Konzentrationen in Mol	
		r _r	r _s
Maleinsäure (CH ₂) ₂ · (COOH) ₂	1,17	$\frac{1}{700}$	$\frac{1}{1200}$
Citronensäure C ₃ H ₄ · OH · (COOH) ₃	—	$\frac{1}{350}$	$\frac{1}{600}$

Tabelle VI.

Repulsionswirkungen der Basen.

Bezeichnung der Basen	Kritische Konzentrationen in Mol	
	r _r	r _s
Kaliumhydroxyd K · OH	$\frac{1}{450}$	$\frac{1}{1500}$
Natriumhydroxyd Na · OH	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{1500}$
Bariumhydroxyd $\frac{\text{Ba} \cdot (\text{OH})_2}{2}$	$\frac{1}{450}$	$\frac{1}{1500}$
Ammoniumhydroxyd NH ₄ · OH	$\frac{1}{125}$	$\frac{1}{350}$

Aus den in Tabelle V erhaltenen kritischen Konzentrationen ergibt sich zunächst, daß diese für die starken anorganischen Säuren, HCl, HNO₃, H₂SO₄, H₃PO₄, welche bei einer Verdünnung von 0,001 Mol schon total¹⁾ — H₃PO₄ allerdings noch nicht ganz²⁾ — in den Ionenzustand übergegangen sind, einander vollkommen gleich sind und zwar betragen sie für r_r ¹/₁₀₀₀ und für r_s ¹/₁₅₀₀ Normal, d. h. die Repulsion ist stets dann eine gleich starke, wenn die Kapillarflüssigkeit die H⁺-Ionen in der gleichen Konzentration enthält.

Überblicken wir die kritischen Konzentrationen für die organischen Säuren, so erkennen wir unschwer, daß r_r und r_s parallel mit dem Werte ihrer Dissoziationskonstanten 100 k = K gehen. Also steht auch hier die Stärke der Repulsionswirkung im engsten Zusammenhang mit der Masse der abdissoziierten H⁺-Ionen.

Wir sind also zu dem Schlusse berechtigt, daß auch hier — wie freilich vorauszusehen war — die negativ chemotaktische

1) Vgl. H. C. Jones, Über die Bestimmung der Gefrierpunkte von verdünnten Lösungen usw. Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. 12, 1893, S. 628—630.

2) Vgl. O. F. Tower, a. a. O., Zeitschr. f. physik. Chemie, Bd. 18, 1895, S. 32, Tabelle 21.

Reizwirkung der freien Säuren auf die Chytridiaceen und Saprolegniaceen - Zoosporen allein ihrem Gehalt an H^+ -Ionen zuzuschreiben ist.

Aus Tabelle VI ist ebenfalls leicht ersichtlich, daß die kritischen Konzentrationen r_1 und r_3 für die normalen Lösungen der drei ersten gleich stark dissoziierten Basen wiederum einander vollkommen gleichen. Infolge der bedeutend geringeren Dissoziation des Ammoniumhydroxydes liegt auch der gefundene kritische Wert der Repulsion wesentlich höher als bei den vorgenannten Hydroxyden. Auf größere Genauigkeit kann dieser Wert überhaupt nicht Anspruch machen, da besonders das Ammoniumhydroxyd ein sehr starkes Absorptionsvermögen für die Kohlensäure der Luft besitzt, wodurch die Masse der wirksamen OH' -Ionen nicht unwesentlich zurückgedrängt wird.

Es geht aber mit einer an die Gewißheit grenzenden Wahrscheinlichkeit aus diesen Resultaten hervor, daß das negativ chemotaktisch reizende Agens der Basen durch nichts anderes als durch die freien OH' -Ionen repräsentiert wird.

Ich möchte nicht verfehlen, darauf hinzuweisen, daß natürlich mit den erhaltenen kritischen Konzentrationen nicht die absolute, der unteren Reizschwelle gleichkommende, sondern nur die relative Empfindlichkeit der *Rhizophidium*- und *Saprolegnia*-Zoosporen gegen die H^+ - und OH' -Ionen gegeben ist. Es handelt sich nur um einen Gleichgewichtszustand zwischen der anlockenden Wirkung der 0,1 % Pepsin- und 0,117 % Proteinsubstanz-Lösung einerseits und den repulsiv wirksamen H^+ - resp. OH' -Ionen andererseits. Durch genügende Konzentrationserniedrigung der beiden anlockenden Reizlösungen werden also die beobachteten kritischen Konzentrationen für die H^+ - und OH' -Ionen gleichfalls entsprechend herabgedrückt werden. Es liegt auf der Hand, daß man auf diese Weise den unteren Reizschwellenwert für die H^+ - und OH' -Ionen für die *Rhizophidium*- und *Saprolegnia*-Zoosporen bestimmen kann. Versuche wurden jedoch in dieser Hinsicht nicht angestellt.

Die im vorstehenden dargetanen, negativ-chemotaktischen Reizbewegungen der untersuchten Schwärmosporensorten beruhen höchstwahrscheinlich auf der Ausbildung eines spezifischen Perzeptionsvermögens für die H^+ - und OH' -Ionen.

Eine nähere Vergleichung der für die starken Säuren und Basen gefundenen kritischen Konzentrationen lehrt folgendes.

Zunächst können wir konstatieren, daß sich die chemotaktischen Reizwirkungen der H^+ - und OH^- -Ionen auf die *Rhizophidium*-Zoosporen zueinander wie 2 : 1 verhalten, denn r_1 beträgt für die Säuren $1/1000$ und für die Basen $1/500$ Normal. Dagegen stehen die Repulsivwirkungen für die *Saprolegnia*-Zoosporen auf Grund der Werte $r_s = 1/1500$ (Säuren) und $r_s = 1/1500$ (Basen) Normal genau im Verhältnis 1 : 1. Natürlich ist hierbei vorausgesetzt, daß die starken Säuren und Basen bei $1/500$ Normal vollkommen dissoziiert sind, was allerdings nicht ganz der Fall ist; die Abweichung vom Werte 100 % ist aber nur unbedeutend.

Garrey¹⁾ hatte seinerzeit nachgewiesen, daß die starken Säuren und Basen in der Konzentration $1/1000$ und $1/500$ Normal auf das Infusorium *Chilomonas paramecium* eine gleich starke Repulsionswirkung ausüben. Es liegt also bei diesem Organismus bezüglich der negativen, chemotaktischen Reizwirkung durch die H^+ - und OH^- -Ionen auffälligerweise das gleiche Verhältnis wie für die Schwärmsporen von *Rhiz. poll.* vor.

Da sich fernerhin die 0,1 % Pepsin- und 0,117 % Protein-substanz-Lösung hinsichtlich ihres auslösenden, chemotaktischen Effektes auf die *Saprolegnia*- resp. *Rhizophidium*-Zoosporen vollkommen entsprechen, so können die beobachteten, kritischen Konzentrationen zugleich annähernd ein Maß für die Empfindlichkeit der beiden Schwärmsporensorten gegen die gebotenen H^+ - resp. OH^- -Ionen abgeben. Die *Rhiz.*-Zoosporen sind sowohl gegen die H^+ - wie gegen die OH^- -Ionen weniger empfindlich als die *Saprolegnia*-schwärmer, denen für beide Ionen ein höheres und gleich starkes Empfindungsvermögen zukommt. Während sich die Empfindlichkeiten der *Saprolegnia*- und *Rhizophidium*-Zoosporen gegen die H^+ -Ionen wie 1500 : 1000 oder wie $1\frac{1}{2}$: 1 verhalten, läßt sich für die OH^- -Ionen das Verhältnis 1500 : 500 oder 3 : 1 konstatieren.

Noch ein Wort über die physiologische Qualität dieser negativ chemotaktischen Reizbewegungen der beiden Schwärmsporensorten.

Bringt man eine Kapillare, die mit einer mäßigen Konzentration (0,02 bis 0,01 Mol) einer starken Säure oder Base beschickt ist, zu dem schwärmerhaltigen Kulturtropfen, so kann man bei genauer Beobachtung feststellen, daß der Reiz durch die H^+ - resp. OH^- -Ionen mit negativ-topistischer Reaktion beantwortet wird;

1) W. F. Garrey, The effects of ions upon the aggregation of flagellated Infusoria. Amer. Journ. of Physiology, Bd. 3, 1900, S. 299.

denn in die Diffusionssphäre gelangt, reagieren die Zoosporen mit einer deutlichen Drehung ihrer Körperachse und entfernen sich in der Richtung der stärksten Konzentrationsabnahme.

Kapitel VII. Das Verhalten der Schwermetallionen.

Die ersten Beobachtungen über die Wirkungen der Schwermetallsalze auf die freibeweglichen Zellen wurden bekanntlich von Pfeffer¹⁾ an den Farn-Spermatozoiden gemacht. Er konstatierte, daß ein Kapillargemisch von je 0,01 % Äpfelsäure und Sublimat eine geringe Repulsion auf die Farnsamensäden ausübte, und sprach die Vermutung aus, daß dieser Erscheinung eine spezifische, abstoßende Reizwirkung von seiten des Quecksilberchlorides zugrunde liegen könne.

Diese Vermutung Pfeffers vermochte Shibata²⁾ durch seine Untersuchungen über die *Isoetes*-Spermatozoiden vollkommen zu bestätigen. Er wies nach, daß die Lösungen vieler Metallsalze schon in sehr starken Verdünnungen eine sehr deutliche, negativ-chemotaktische Reizwirkung auf die Samensäden ausüben, die mit großer Wahrscheinlichkeit auf Rechnung der Schwermetall-Ionen zu setzen ist. Hierbei fand er zwischen der Stärke der Repulsion und der Giftwirkung der Metallionen einen auffallenden Parallelismus.

Desgleichen stellte Garrey³⁾ ähnliche Verhältnisse bei *Chilomonas* und Frank⁴⁾ bei *Euglena gracilis* fest, die durch 0,1 bis 0,5 % CuSO_4 deutlich abgestoßen wird.

Auf Grund dieser Ergebnisse wurden auch die *Rhizophidium*- und *Saprolegnia*-Zoosporen hinsichtlich ihres Verhaltens gegen die Schwermetallionen einer genauen Prüfung unterzogen.

Zu diesem Zwecke bediente ich mich eines Kapillargemisches, das sich aus einer $\frac{1}{500}$ % Pepsin- resp. $\frac{1}{500}$ % Proteinsubstanzlösung als anlockender Komponente und einer Schwermetallsalzlösung von wechselnder Konzentration zusammensetzte. Es gelangten von mir folgende Schwermetallsalze zur Anwendung:

1) W. Pfeffer, *Untersuch. a. d. Bot. Inst. zu Tübingen*, Bd. 1, S. 388.

2) K. Shibata, *a. a. O.*, 1905, Bd. 41, S. 584.

3) Garrey, *a. a. O.*, *Amer. Journal of Physiology*, 1900, Bd. 3, S. 291.

4) Th. Frank, *Kultur und chemische Reizerscheinungen der *Chlamydomonas tingens**. *Botan. Zeitung*, 1904, S. 183.

Silbernitrat, AgNO_3	Nickelsulfat, NiSO_4
Quecksilberchlorid HgCl_2	Eisenoxydulsulfat, FeSO_4
Kupfersulfat, CuSO_4	Mangansulfat, MnSO_4 ,
Zinksulfat, ZnSO_4	

jede Verbindung zwischen den Konzentrationen $\frac{1}{50}$ — $\frac{1}{1000000}$ Mol in stufenweiser Abnahme¹⁾).

Die Untersuchungen lieferten ein vollkommen negatives Resultat, sowohl für die Zoosporen von *Rhizophidium* wie für die Schwärmer von *Saprolegnia*. Bei keinem Metallsalze und in keiner Konzentration vermochte ich die geringste Repulsivwirkung zu konstatieren. Die Schwärmsporen eilten unter der anlockenden Wirkung der Pepsin- resp. Proteinsubstanz-Lösung stets anstandslos in das Kapillargemisch hinein, wo sie je nach der Konzentration des Metallsalzes sofort oder etwas später ihren Tod fanden.

Wir müssen also den Schluß ziehen, daß die beiden Schwärmsporensorten eines Perzeptionsvermögens für die Schwermetallionen überhaupt entbehren, oder daß die Reizschwelle für diese unterhalb der Grenze der Wahrnehmbarkeit gelegen ist.

Es überschreitet den Rahmen dieser Untersuchungen, auf die toxischen Verhältnisse dieser Metallsalze näher einzugehen, doch halte ich es nicht für unangebracht, einige Beobachtungen hierüber mitzuteilen. So konnte ich konstatieren, daß das Kapillargemisch einer $\frac{1}{200}$ ‰ Pepsin- und einer $\frac{1}{400000}$ molaren Lösung von HgCl_2 noch eine deutliche Giftwirkung auf die *Saprolegnia*-Zoosporen ausübte; in die Kapillare eingeschwärmt, sistierten sie nach 8 bis 10 Sekunden unter eigentümlichen Zuckungen und Drehungen an Ort und Stelle ihre Bewegung. Während dem Silbernitrat annähernd der gleiche Giftwert zugesprochen werden muß, ist der toxische Effekt des Kupfersulfats schon bedeutend geringer und entspricht mit $\frac{1}{4000}$ Mol der Wirkung des Sublimates. Noch geringer ist die Giftwirkung der übrigen Metallsalze, denen mit abnehmender Giftigkeit folgende Reihenfolge gebührt: Zink-, Nickel-, Eisen- und Mangan-Sulfat. So lösen Zinksulfat erst in einer Konzentration von $\frac{1}{300}$ Mol, Nickelsulfat bei $\frac{1}{200}$ Mol und die beiden Salze der Eisengruppe in einer Konzentration von $\frac{1}{100}$ Mol eine der Quecksilberchloridlösung ($\frac{1}{400000}$ Mol) gleiche Giftwirkung aus.

1) In den Formeln ist das Kristallisationswasser weggelassen worden, da es auch bei der Zubereitung der molaren Lösungen in Abrechnung gebracht werden mußte.

Vergleichende Versuche an den *Rhizophidium*-Zoosporen ergaben in diesen Punkten keine wesentlichen Unterschiede, nur traten hier die letalen Wirkungen bei Anwendung der gleichen Konzentrationen rascher ein, als bei den *Saprolegnia*-Zoosporen, wonach die Metallionen eine stärkere Giftwirkung auf die *Rhizophidium*-Schwärmer auszuüben scheinen.

Wir müssen bei diesen Versuchen in Betracht ziehen, daß die beobachteten Konzentrationen in Wirklichkeit tiefer anzusetzen sind, da wir es in dem Kapillargemisch mit Proteinkörpern und Schwermetallsalzen zu tun haben, also die Bedingungen für die Bildung komplexer, salzartiger Metall-Eiweißverbindungen gegeben sind, wodurch die toxisch-wirksamen Metallionen notwendigerweise zurückgedrängt werden müssen. In der Tat konnte ich bei Vermeidung des anlockenden Agens konstatieren, daß die zufällig in die Kapillare eingedrungenen Schwärmer von *Saprolegnia* selbst noch in einer $\frac{1}{2000000}$ molaren Lösung von HgCl_2 und einer $\frac{1}{50000}$ molaren Lösung von CuSO_4 nach 5 bis 10 Sekunden ihren Tod fanden.

Bei der Prüfung anderer Verbindungen auf ihre eventuelle Repulsivwirkung hin, die aber in keinem Falle zutage trat, hatte ich noch weitere Gelegenheit, Giftwirkungen auf die untersuchten Schwärmsporen beobachten zu können. Ich halte es für unnötig, hieran weitere Erörterungen zu knüpfen. —

Kapitel VIII. Das Verhältnis zwischen Reizintensität und Reaktionsgröße.

Das Webersche oder psychophysische Gesetz ist zuerst für gewisse menschliche Empfindungen, z. B. für die Druckempfindung, nachgewiesen worden und unterrichtet uns über die Beziehungen zwischen Reiz und Empfindung (Reaktionsgröße).

Es lautet bekanntlich folgendermaßen: Befindet sich ein Organismus schon in einem Reizzustand, so muß, um bei ihm wieder eine eben merkliche d. h. die Unterschiedsschwellen-Reaktion auszulösen, der schon vorhandene Reiz und der neue Reizzuwachs stets in einem konstanten Verhältnis stehen, oder nach der Fechnerschen Formulierung¹⁾ können wir es kürzer fassen: Die Empfindungen (Reaktionsgrößen) wachsen proportional den Logarithmen der Reize.

1) Vgl. W. Wundt, Grundriß der Psychologie, Leipzig 1907, S. 317.

Dieses Gesetz hat auf den verschiedensten Gebieten der Reizphysiologie eine weitgehende, jedoch nicht allgemeine Bestätigung gefunden.

Auf botanischem Gebiete wurde seine Gültigkeit zuerst von Pfeffer¹⁾ an den Farn-Spermatozoiden erbracht. Er zeigte, daß bei Anwendung verschiedener Konzentrationen Äpfelsäure als Außenmedium jedesmal eine 30fache Konzentrations-Steigerung der Kapillarflüssigkeit gegenüber der umgebenden Kulturflüssigkeit nötig war, um die Grenze der Reizunterschiedsschwelle zu erreichen. Zugleich aber führte er den Beweis, daß das Webersche Gesetz weder bei zu hohen noch bei zu niedrigen Konzentrationen seine Gültigkeit bewahrt, denn nur solchen zwischen 0,0005 % und 0,05 % Äpfelsäure als Außenmedium stand jedesmal bei Eintritt der Unterschiedsschwelle die 30fache Konzentration der Kapillarflüssigkeit gegenüber.

Seitdem hat das Webersche Gesetz noch durch Untersuchungen an manchen anderen freibeweglichen, chemotaktisch reizbaren Organismen seine Bestätigung gefunden.

Desgleichen konnte Miyoshi²⁾ für den Chemotropismus der Pilzfäden und Pollenschläuche und Massart³⁾ für den Phototropismus der Sporangienträger von *Phycomyces* den experimentellen Nachweis der Gültigkeit des Gesetzes erbringen. Czapek⁴⁾ bestätigte es für den Geotropismus.

Die Bestimmung des Verhältnisses vom Reiz zur Reaktionsgröße wurde von mir für die Schwärmsporen von *Rhiz. poll.*, *Rhiz. sphaerotheca*, *Pseudolpidium Saprolegniae* und *Saprolegnia mixta* durchgeführt. Das experimentelle Verfahren gestaltete sich für die beiden Rhizophidien folgendermaßen.

Eine 1 cm lange Glasröhre von 5 mm lichtigem Durchmesser wurde mit ihrer einen Öffnung auf ein kleines Glasscheibchen senkrecht und wasserdicht aufgekittet und ihr Volumen durch Anbringung einer Marke in halber Höhe in zwei gleiche Teile geteilt. Mittels einer kleinen Pipette wurden der schwärmsporenhaltigen Kulturflüssigkeit von *Rhiz. poll.* und *Rhiz. sphaer.* einige Tropfen,

1) W. Pfeffer, Ber. d. Botan. Gesellsch., 1883, S. 524, und Unters. a. d. Bot. Inst. zu Tübingen, 1884, Bd. 1, S. 395 u. 1888, Bd. 2, S. 633.

2) Miyoshi, Bot. Ztg., 1894, S. 21, und Flora, 1894, S. 81.

3) Massart, La loi de Weber etc. Bulletin de l'Académie royale de Belgique, 1888, 3. sér., Bd. 16, No. 12.

3) Czapek, Jahrb. f. wiss. Bot., 1898, Bd. 32, S. 191, u. 1895, Bd. 27, S. 305.

die zugleich mit reifen Sporangien besetzte Pollenkörner enthielten, entnommen und der Hohlzylinder bis zur Marke gefüllt, während sein übriges Volumen mit der reizstoffhaltigen Flüssigkeit beschickt wurde, jedesmal aber in der doppelten Konzentration; denn nach der Mischung, die durch Schütteln und Rühren mit einem Platindraht erreicht wurde, stellte sich dann die als Außenmedium dienende Flüssigkeit in der gewünschten Konzentration her. Mittels der Pipette erfolgte ihre Übertragung auf den Objektträger. Durch Bereithalten der injizierten Kapillaren von verschiedenem Konzentrationsgehalt schlossen sich die einzelnen Versuchsreihen sofort an. Das Bedecken der Kulturtröpfen mit Deckgläschen ist zu vermeiden.

Einfacher gestalteten sich die Experimente mit *Pseudolpidium Saprolegniae* und *Saprolegnia mixta*.

Die reifen Zoosporangien dieser Pilze wurden direkt in die reizstoffhaltige Flüssigkeit auf den Objektträger übertragen und durch mehrmaliges Absaugen und Erneuern des umgebenden Mediums eine Entfernung des den Hyphen anhaftenden reinen Wassers zu erreichen versucht. Um die nötige Menge frischen Schwärmsporen-Materials im Präparat zur Verfügung zu haben, wurden die Objektträger in den mit Wasserdampf gesättigten Raum einer feuchten Kammer gebracht und 1 bis 2 Stunden sich selbst überlassen. Nach dieser Zeit fanden sich stets infolge weiteren Sichöffnens reifer Sporangien resp. der Häutung der *Saprolegnia*-Zoosporen eine reichliche Menge von Schwärmern im Versuchströpfen.

Ich will nun im folgenden die einzelnen Versuchsreihen und ihre Resultate für die untersuchten Schwärmsporen in tabellarischer Form wiedergeben (s. Tab. VII bis XI).

Die Tabellen lehren folgendes. Zunächst geht deutlich hervor, daß das Webersche Gesetz in allen Fällen seine Gültigkeit bewiesen hat. Wie aus der ersten Vertikalreihe jeder Tabelle zu ersehen ist, bewegen sich die Konzentrationen des Außenmediums in mittleren Werten. Die Grenzen der Gültigkeit des Weberschen Gesetzes für höhere wie für niedrigere Konzentrationen wurden der Kürze halber nicht ermittelt.

Wenden wir uns den Werten der Reizunterschiedsschwellen zu. Sie beträgt für die Zoosporen von *Rhiz. poll.* in bezug auf Pepsin 30. Sie kommt also der Unterschiedsschwelle der Farn-Spermatozoiden für Äpfelsäure und ihre Salze völlig gleich und steht

Tabelle VII. *Rhizophidium pollinis*.

Das Außenmedium enthält Pepsin in %	Die Kapillarflüssigkeit besitzt die			
	10 -	20 -	30 -	40 -fache
	Konzentration und enthält an Pepsin in %			
1	1	1	1	1
2000	200	100	70	50
1	1	1	1	1
1000	100	50	35	25
1	1	1	1	1
800	80	40	30	20
1	1	1	1	1
400	40	20	15	10
1	1	1	1	1
200	20	10	7	5
1	1	1	1	1
100	10	5	3	2
Effekt	Chemotaxis gleich Null	Chemotaxis sehr schwach bis zweifelhaft	Chemotaxis deutlich	Chemotaxis schon ziemlich kräftig

Tabelle VIII. *Rhizophidium sphaerotheca*.

Das Außenmedium enthält Pepton in %	Die Kapillarflüssigkeit besitzt die			
	5 -	10 -	15 -	20 -fache
	Konzentration und enthält an Pepton in %			
1	1	1	1	1
1200	240	120	80	60
1	1	1	1	1
600	120	60	40	30
1	1	1	1	1
300	60	30	20	15
Effekt	Chemotaxis gleich Null	Chemotaxis zweifelhaft	Chemotaxis sehr deutl.	Chemotaxis gut

Tabelle IX. *Pseudolpidium Saprolegniae*.

Das Außenmedium enthält Albumin in %	Die Kapillarflüssigkeit besitzt die		
	10 -	15 -	20 -fache
	Konzentration und enthält an Albumin in %		
1	1	1	1
900	90	60	45
1	1	1	1
300	30	20	15
1	1	1	1
150	15	10	7
Effekt	Chemotaxis gleich Null, z. T. ?	Chemotaxis deutlich	Chemotaxis kräftig

Tabelle X. *Saprolegnia mixta*. (Proteinkörper.)

Das Außenmedium enthält Pepsin resp. Hämoglobin in %	Die Kapillarflüssigkeit besitzt die		
	2 -	5 -	10-fache
	Konzentration und enthält Pepsin resp. Hämoglobin in %		
$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{100}$
$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{50}$
$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{125}$	$\frac{1}{50}$	$\frac{1}{25}$
$\frac{1}{125}$	$\frac{1}{60}$	$\frac{1}{25}$	$\frac{1}{12}$
Effekt	Chemotaxis gleich Null	Chemotaxis sehr deutlich und rasch	Chemotaxis sehr kräftig und rasch

Tabelle XI. *Saprolegnia mixta*. (KH_2PO_4 .)

Das Außenmedium enthält KH_2PO_4 in Mol	Die Kapillarflüssigkeit besitzt die			
	5 -	25 -	50 -	100-fache
	Konzentration und enthält an KH_2PO_4 in Mol			
$\frac{1}{20000}$	$\frac{1}{4000}$	$\frac{1}{800}$	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{200}$
$\frac{1}{10000}$	$\frac{1}{2000}$	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{100}$
$\frac{1}{5000}$	$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{50}$
$\frac{1}{1000}$	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{40}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{10}$
$\frac{1}{500}$	$\frac{1}{100}$	$\frac{1}{20}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{5}$
Effekt	Chemotaxis gleich Null	Chemotaxis gleich Null	Chemotaxis eben merklich	Chemotaxis mäßig

gegenüber der Unterschiedschwelle 20, wie sie Akerman¹⁾ bei den *Marchantia*-Spermatozoiden für Proteinstoffe feststellte, nur um wenig höher.

Beachtenswert erscheint die Tatsache, daß die beiden Chytridiaceen-Zoosporen *Rhiz. sphaerotheca* (Tabelle VIII) und *Pseudolpidium Saprolegniac* (Tabelle IX), welche — soweit meine Unter-

1) Ake Akerman, Über die Chemotaxis der *Marchantia*-Spermatozoiden. Zeitschrift f. Bot., 2. Jahrg., II. Heft, 1910, S. 101 u. 103.

suchungen reichen — sich hinsichtlich ihrer chemotaktischen Reizbarkeit gleich verhalten, auch bezüglich ihrer Reizunterschiedsschwellen für Proteinkörper den gleichen Wert „15“ aufweisen. Die Unterschiedsschwelle ist also nur halb so groß als bei *Rhiz. poll.*

Bei der Bestimmung der Reizunterschiedsschwelle bei *Saprolegnia mixta* für Pepsin (Tabelle X) überraschte, daß eine ziemlich geringe Konzentrationsdifferenz zwischen Außenmedium und Kapillarflüssigkeit genügte, um eine Anlockung der Zoosporen zustande zu bringen. In der Tat vermochte schon eine vier- bis fünffache Steigerung der Konzentration der Kapillarflüssigkeit eine deutliche Chemotaxis auszulösen. Die Reizunterschiedsschwelle liegt demnach auffällig tief und erinnert mit diesem Wert an *Bacterium termo*¹⁾, bei welchem gleichfalls eine vierfache Steigerung des Reizes (Fleischextrakt) zur Erzielung der Unterschiedsschwelle ausreichte. Bekanntlich fand Miyoshi seinerzeit, daß für die Mycelfäden von *Saprolegnia* ungefähr die 10-fache Konzentration nötig ist, um die chemotropische Schwellenreaktion zu bewirken. Sie liegt demnach doppelt so hoch als die chemotaktische Schwellenreaktion für die Zoosporen.

Ganz anders gestaltet sich das Verhältnis zwischen Reiz und Reizzuwachs gegenüber dem Monokaliumphosphat KH_2PO_4 (Tabelle XI), resp. dem H_2PO_4^- -Ion.

Hier macht sich stets eine 50-fache Konzentrationsdifferenz zwischen Innen- und Außenmedium erforderlich, um eine eben merkliche Chemotaxis zu erzielen. Die Reizunterschiedsschwelle für die Phosphate übertrifft somit die für die Proteinstoffe um den 10-fachen Betrag.

Den gleichen Wert „50“ hatte Shibata²⁾ bei den *Salvinia*- und *Equisetum*-Spermatozoiden als Unterschiedsschwelle für die Äpfelsäure nachgewiesen, während neuerdings Akerman³⁾ für die *Marchantia*-Spermatozoiden zeigte, daß sich bezüglich der chemotaktisch wirksamen Kaliumsalze Reiz und Reizzunahme wie 1:40 verhalten müssen, um einen eben merklichen Effekt auszulösen. Also kommt auch dieser letzte Wert unserer Reizunterschiedsschwelle für Phosphate recht nahe.

1) W. Pfeffer, Unters. a. d. Bot. Inst. zu Tübingen, Bd. 2, S. 634.

2) K. Shibata, Studien über die Chemotaxis der *Salvinia*-Spermatozoiden. Vorl. Mittlg., Sonderabdr. aus The Botanical Magazine, Vol. XIX, No. 219, 1905, p. 40. — Derselbe, Über die Chemotaxis der Spermatozoiden von *Equisetum*. Vorl. Mittlg. aus der gleichen Zeitschr., Vol. XIX, No. 223, 1905, p. 81.

3) Ake Akerman, a. a. O., S. 101 u. 103.

Ich will mich nun kurz der Frage zuwenden, ob das Webersche Gesetz auch für andere als in den Tabellen aufgeführten Reizstoffe seine Gültigkeit behauptet.

Orientierende Versuche, die an *Rhiz. poll.* mit Nuclein und Proteinsubstanz angestellt wurden, ergaben, daß auch in diesen beiden Fällen sich das Verhältnis zwischen Reiz- und Reaktionsgröße als konstant erwies und die Unterschiedsschwelle stets dann erreicht wurde, wenn die Kapillarflüssigkeit 30-mal so konzentriert war als das Außenmedium. Dasselbe Resultat dürften wohl mit Bestimmtheit die Versuche mit den übrigen Proteinstoffen zeitigen.

Desgleichen vermochte ich bei der Prüfung der denaturierten Proteinstoffe (Pepton) und der Amido-Verbindungen (Alanin) an *Saprolegnia* weder eine Abweichung vom Weberschen Gesetze noch vom Unterschiedsschwellenwert „5“ wahrzunehmen. Weitere Versuche mit Verbindungen der Tabelle IV hielt ich für unnötig, da diese mit sehr großer Wahrscheinlichkeit die früheren Befunde an *Saprolegnia* nur bestätigen würden.

Nach diesen Erfahrungen erscheint wohl auch der Schluß zulässig, daß für die Zoosporen von *Rhiz. poll.* und *Pseudolpidium Saprolegniae* bezüglich ihrer anderen, übrigens gleichen Reizstoffe dasselbe Verhältnis zwischen Reiz- und Reaktionsgröße vorliegt.

Im Anschluß hieran sei es mir gestattet, mit wenigen Worten auf die Frage einzugehen, ob die Sensibilität der Schwärmosporen für ein Chemotaktikum durch die gleichzeitige Reizung durch ein anderes Chemotaktikum alteriert wird, d. h. also, ob die vorhergehende Reizung eine Abstumpfung der Sensibilität zur Folge hat oder nicht.

Ich habe diese Frage durch Untersuchungen an den Zoosporen von *Rhiz. poll.* und *Saprolegnia* in bejahendem Sinne beantworten können und glaube nach Analogieschluß das gleiche Verhalten den Schwärmosporen von *Rhiz. sphaerotheca* und *Pseudolpidium Saprolegniae* zusprechen zu müssen.

So vermochte ich bei *Rhiz. poll.* durch Kombination einer 0,0235-proz. Proteinsubstanzlösung als Außenmedium mit einer 0,042-proz., chemotaktisch gleich stark reizenden Nucleinlösung¹⁾ als Kapillarflüssigkeit eine vollkommene Unempfindlichkeit der Zoosporen gegen das Innenmedium festzustellen, und es war auch in diesem Falle eine 30-fache Steigerung der Konzentration der

1) Vgl. Tabelle I.

Nucleinlösung erforderlich, um eine deutliche, eben merkbliche Chemotaxis hervorzurufen. Ganz das gleiche Verhalten konstatierte ich bei der Kombination Leguminlösung als Außenmedium und Proteinsubstanzlösung als Kapillarflüssigkeit, natürlich auch hier die Anwendung von Konzentrationen chemotaktisch gleicher Reizstärke vorausgesetzt.

Unter denselben Bedingungen wurden zur Feststellung der Sensibilitätsverhältnisse bei den *Saprolegnia*-Zoosporen folgende Kombinationen je zweier verschiedener Stoffe geprüft.

Tabelle XII.

Außenmedium	Konzentration	Kapillarflüssigkeit	Konzentration	Chemotaktischer Effekt	Untere Reizschwelle der Kapillarflüssigkeit
Pepsin	$\frac{1}{200}$ ‰	Hämoglobin	$\frac{1}{150}$ ‰	0	0,00062 ‰
Pepsin	$\frac{1}{200}$ ‰	Pepton	$\frac{1}{200}$ ‰	0	0,0005 ‰
Pepsin	$\frac{1}{200}$ ‰	Alanin	$\frac{1}{500}$ Mol	0	0,00012 Mol
Alanin	$\frac{1}{500}$ Mol	Pepsin	$\frac{1}{200}$ ‰	0	0,0004 ‰

Diese Tabelle läßt klar erkennen, daß die Sensibilität der *Saprolegnia*-Zoosporen für die Proteinstoffe nicht nur durch Körper nächster Verwandtschaft auf Null herabgedrückt wird, sondern daß sich auch genuine und denaturierte Proteinkörper (Pepton), sowie native Eiweißkörper und Amido-Verbindungen (Alanin) hinsichtlich ihrer chemotaktischen Reizwirkung gegenseitig vollkommen abstumpfen, natürlich wiederum chemotaktisch äquivalente Konzentrationen von Außenmedium und Kapillarflüssigkeit vorausgesetzt. Ich brauche wohl nicht erst näher darauf hinzuweisen, daß in diesen Fällen zur Erzielung der Unterschiedsschwelle zwischen Reiz und Reizzuwachs das früher gefundene Verhältnis (1 : 5) erreicht sein mußte.

Aus dieser wechselseitigen Herabdrückung der Sensibilität durch die genannten Verbindungen dürfen wir den wichtigen Schluß ziehen, daß die chemotaktische Reizwirkung der genuine und denaturierten Proteinkörper sowie der nahe verwandten Amido-Verbindungen auf dem gleichen Perzeptionsvorgang beruht. Ebenso

dürften die stattliche Anzahl der übrigen Produkte der regressiven Eiweißmetamorphose und die ihnen chemisch nahestehenden Verbindungen durch denselben Perzeptionsakt wahrgenommen werden.

Nach dem experimentellen Befunde an den Schwärmsporen von *Rhiz. poll.* kann die gegenseitige Herabsetzung der Sensibilität durch die verschiedenen Proteinstoffe nur dadurch ihre Erklärung finden, daß der Perzeptionsapparat der Schwärmsporen durch einen schon vorhandenen, in gleicher Richtung wirkenden Reiz in Anspruch genommen ist, also daß — mit anderen Worten — der Chemotaxis auf die Proteinstoffe derselbe Perzeptionsvorgang zugrunde liegt.

Für die Schwärmsporen von *Rhiz. sphaerotheca* und *Pseudopidium Saprolegniae* wurden zwar derartige Versuche mit kombinierten Reizstofflösungen nicht angestellt, doch dürfte nach Analogie mit dem Vorausgegangenen der Schluß, daß die beiden Organismen gemeinsamen Chemotaktika — Proteinstoffe und ihre Spaltprodukte — durch einen und denselben Perzeptionsakt wahrgenommen werden, seine große Berechtigung haben.

Kapitel IX. Über die spezifischen, voneinander unabhängigen Sensibilitäten der *Saprolegnia*-Zoosporen für die Proteinkörper und die Phosphat-Ionen.

Ich wende mich nun der Frage zu, ob bei den *Saprolegnia*-Zoosporen die chemotaktische Reizbarkeit durch die Phosphorsäure und ihre Salze auf den gleichen Perzeptionsvorgang zurückzuführen ist, wie die Empfindlichkeit für die Proteinstoffe und ihre Derivate.

Nach den Erfahrungen, die durch die Untersuchungen an den Spermatozoiden von *Salvinia*¹⁾, *Equisetum*¹⁾ und *Marchantia*²⁾ vorliegen, müssen wir von vornherein die Frage mit großer Wahrscheinlichkeit verneinen. Natürlich bedarf diese Behauptung noch des experimentellen Beweises.

Hierbei machen sich aber gewisse Schwierigkeiten geltend, da ein direkter Vergleich zwischen äquimolekularen Lösungen von Proteinstoffen und solchen von Phosphaten wegen der Unkenntnis

1) K. Shibata, a. a. O., Studien über die Chemotaxis der *Salvinia*-Spermatozoiden. Vorläuf. Mittlg., 1905, S. 41 u. 42, und Über die Chemotaxis der Spermatozoiden von *Equisetum*. Vorläuf. Mittlg., 1905, S. 81.

2) Ake Akerman, a. a. O., S. 101—103.

in bezug auf die Molekulargewichte der Proteinstoffe völlig ausgeschlossen ist. Auch unter der Voraussetzung, daß die außerordentlich hohen Molekulargewichte der Proteinstoffe genau bekannt seien (z. B. Hämoglobin, Mol.-G. 14800), so ist leicht ersichtlich, daß trotzdem ein direkter Vergleich von äquimolekularen Kaliumphosphat- und Proteinstoff-Lösungen wegen der überaus hohen Konzentration der letzteren unmöglich ist.

Ich habe mich deshalb, um vergleichbare Werte zu erhalten, des gleichen Prinzips bedient, wie es Akerman¹⁾ bei den *Marchantia*-Spermatozoiden anwandte, und bin von den unteren Reizschwellenwerten des Pepsins und des Monokaliumphosphates ausgegangen.

Da die Reizschwelle für Monokaliumphosphat $\frac{1}{100000}$ Mol und für Pepsin $\frac{1}{2500}$ ‰ (= 0,0004 ‰) beträgt, so läßt sich erwarten, daß diese Reizstofflösungen auch bei Erhöhung ihrer Konzentration um den zehnfachen Betrag noch einen annähernd gleichen chemotaktischen Effekt auslösen werden, was in der Tat auch der Fall ist. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, indem man 2 Kapillaren, von denen die eine mit einer $\frac{1}{10000}$ molaren Monokaliumphosphat — und die andere mit einer $\frac{1}{250}$ ‰ Pepsin-Lösung beschickt ist, gleichzeitig in das Präparat einlegt. Allerdings beginnen die Zoosporen der Kaliumphosphat-Kapillare diese nach 2—3 Minuten wegen des rasch verschwindenden Konzentrationsgefälles zum Teile wieder zu verlassen, während sie in der Pepsin-Kapillare fast alle zur Ruhe kommen.

Um zu entscheiden, ob die Sensibilität für die Proteinstoffe durch die gleichzeitige Anwesenheit von Phosphat-Ionen alteriert wird, wurde der Versuch so ausgeführt, daß eine $\frac{1}{10000}$ molare Monokaliumphosphatlösung als Außenmedium diene, während die Kapillarflüssigkeit $\frac{1}{10000}$ Mol Monokaliumphosphat + $\frac{1}{250}$ ‰ Pepsin enthielt.

Bei dieser Versuchsanordnung fand nun eine vollkommen normale Ansammlung in der Kapillare statt, als wenn überhaupt keine Kaliumphosphat-Lösung zugegen wäre.

Aus diesem Befunde muß man schließen, daß die Sensibilität der Zoosporen für die Proteinkörper und ihre Derivate durch die Gegenwart der Phosphat-Ionen nicht beeinträchtigt wird.

1) Ake Akerman, a. a. O., Zeitschr. f. Bot., 1910, S. 102.

Zu demselben Ergebnisse führte der umgekehrte Versuch, wonach also das Außenmedium durch eine $\frac{1}{250}$ ‰ Pepsinlösung repräsentiert wurde, während die Kapillarflüssigkeit $\frac{1}{250}$ ‰ Pepsin + $\frac{1}{10000}$ Mol Monokaliumphosphat enthielt. Auch hier vermochte ich den gleichen Reizeffekt zu konstatieren.

Infolgedessen kann wohl der Beweis, daß die *Saprolegnia*-Zoosporen zwei spezifische, voneinander unabhängige Sensibilitäten besitzen, nämlich eine für die Proteinstoffe inkl. ihrer Derivate und eine für die Phosphat-Ionen, als erbracht angesehen werden.

Zur Kontrolle wurden noch einige Versuche mit folgenden, einander entsprechenden Konzentrationen angeschlossen:

Außenmedium		Kapillarflüssigkeit	
KH_2PO_4	$\frac{1}{20000}$ Mol	KH_2PO_4	$\frac{1}{20000}$ Mol + $\frac{1}{400}$ ‰ Pepsin
"	$\frac{1}{5000}$ Mol	"	$\frac{1}{5000}$ Mol + $\frac{1}{150}$ ‰ "
"	$\frac{1}{1000}$ Mol	"	$\frac{1}{1000}$ Mol + $\frac{1}{50}$ ‰ "

Die Anwendung höherer Konzentrationen als 0,001 Mol KH_2PO_4 für das Außenmedium ist unbedingt zu vermeiden, da die Schwärmsporen schon bei dieser Konzentration eine sehr deutliche Verlangsamung ihrer Beweglichkeit erkennen lassen. Bei weiterer Steigerung der Konzentration würde sich dieser Übelstand in noch entsprechend höherem Maße geltend machen.

So konnte ich beobachten, daß von einer großen Anzahl reifer Zoosporangien, die in eine Kaliumphosphatlösung von $\frac{1}{10}$ Mol gebracht und in der feuchten Kammer sich selbst überlassen wurden, nach 3–4 Stunden nur einige teilweise und die übrigen ihre Schwärmsporen noch gar nicht entlassen hatten, was auch nach Ablauf weiterer Stunden nicht stattfand. Soweit überhaupt eine Entleerung der Sporangien eintrat, erfolgte die Bewegung der Schwärmer äußerst träge und währte nur einige Augenblicke. Als wichtigstes Moment ist aber hervorzuheben, daß die Häutung der Zoosporen, die diese in die Phase der Sensibilität überführt, vollkommen unterdrückt wurde.

Daß hierbei Giftwirkungen von seiten der von dem sauren Salze KH_2PO_4 abdissoziierten H^+ -Ionen im Spiele sind, halte ich nicht ganz für ausgeschlossen¹⁾.

Kapitel X. Die Inkonstanz der chemotaktischen Sensibilität.

Im Anschlusse an diese chemotaktischen Untersuchungen halte ich es für angebracht, der Inkonstanz der chemotaktischen Sensibilität, einer Eigenschaft, die ich an meinem Material sehr oft zu beobachten Gelegenheit hatte, ein besonderes Kapitel zu widmen.

Sie macht sich beim Arbeiten mit solchen Organismen als ein außerordentlich störender Faktor bemerkbar und kann die Resultate in weitestgehendem Maße beeinflussen.

Diese schwankenden Sensibilitätsverhältnisse sind schon von mehreren Forschern, wie Pfeffer²⁾, Vögler³⁾, Rothert⁴⁾ und anderen beobachtet worden; die Differenzen der Resultate verschiedener Forscher dürfen wohl vielfach auf Rechnung dieser Inkonstanz gesetzt werden. Deshalb ist die Feststellung der Faktoren, die diese bedingen, von nicht geringem Interesse. Natürlich kann es sich hierbei lediglich um die Bestimmung der äußeren Faktoren handeln, denn die Gründe für die Inkonstanz aus inneren Ursachen entziehen sich naturgemäß vollkommen unserer Einsicht.

Was die Zoosporen der untersuchten Chytridiaceen betrifft, so habe ich nur bei *Rhiz. pollinis* Erfahrungen über den Einfluß der äußeren Faktoren auf die Sensibilität sammeln können, während *Rhiz. sphaerotheca* und *Pseudolpidium Saprolegniae* für zu kurze Zeit den Gegenstand meiner Untersuchungen bildeten, als daß ich diesen Fragen hätte näher treten können.

Von wesentlichster Bedeutung für eine normale, chemotaktische Sensibilität der *Rhiz. poll.*-Schwärmer ist das Gedeihen der Kulturen in möglichst reiner, atmosphärischer Luft. Selbst die relativ sehr geringen Verunreinigungen der Laboratoriumsluft, wie sie durch die Verbrennungsprodukte einer Auergaslampe und das spurenweise

1) L. Kahlenberg u. R. H. True, On the toxic action of dissolved salts and their electrolytic dissociation. Botanical Gazette, Vol. 22, 1896, S. 91.

2) W. Pfeffer, Pflanzen-Physiologie, II. Bd., 1904, S. 808, Anm. 5.

3) C. Vögler, a. a. O., Bot.-Zeitg., 1891, S. 641.

4) Rothert, a. a. O., Flora, 1901, Bd. 88, S. 416 (Kap. IX). — Vgl. auch B. Stange, a. a. O., Bot. Zeitg., 1890, S. 139.

Entweichen von Leuchtgas aus den Rohrleitungen ¹⁾ herbeigeführt werden, bedeuten für den Pilz eine sehr schwere Schädigung. Deshalb wurden sämtliche Pilzkulturen niemals in einem Laboratoriumsraum, sondern stets in einem gut ventilierten Gewächshause gezüchtet. Desgleichen wurde während der Untersuchungen selbst durch Öffnen der Fenster für einen ständigen Luftaustausch gesorgt. Daß tatsächlich diesen Verunreinigungen der schädigende Einfluß zugeschrieben werden muß, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man normal empfindliche *Rhizophidium*-Kulturen durch Abgießen halbiert und je eine Hälfte unter den günstigen Verhältnissen beläßt und die andere in den geschlossenen, mit schädlichen Gasen geschwängerten Laboratoriumsraum (bei geschlossenen Fenstern) bringt.

Schon nach 24 Stunden läßt sich durch den Vergleich der Kulturen in den beiden verschiedenen Räumen der Einfluß der „giftigen“ Laboratoriumsluft als unverkennbar nachweisen.

Während sich die Kulturen im Gewächshause in jeder Beziehung vollkommen normal erhalten hatten, ließen die Kulturen im anderen Raume schon äußerlich erkennen, daß ihre Lebensfunktionen stark beeinträchtigt waren. Nur relativ wenige Sporangien hatten ihre Schwärmer entlassen, obwohl die Behälter vollkommen reif erschienen. Die normale, mit außerordentlicher Lebhaftigkeit sich vollziehende Entleerung der Sporangien war einem langsamen und einzeln erfolgenden Austreten der Zoosporen gewichen. Hierbei konnte ich öfters ein Zusammenkleben und Hängenbleiben der Cilienenden an den Sporangienöffnungen konstatieren. Unter diesen Umständen war natürlich die Zahl der sich frei bewegenden Zoosporen recht gering. Ihre Bewegung erfolgte äußerst träge und wurde schon nach 15—30 Sekunden sistiert. Bei der Prüfung ihrer chemotaktischen Sensibilität zeigte sich, daß sie beinahe vollkommen verloren gegangen war. Denu selbst eine kaltgesättigte Lösung von Diastase, Nuklein usw. vermochte nur einen sehr schwachen positiv chemotaktischen Effekt hervorzurufen, Substanzen, denen normal empfindlichen Zoosporen gegenüber ein außerordentlich starker Reizwert gebührt.

Aus diesen Tatsachen geht mit Deutlichkeit hervor, welch' hoher Einfluß dem Gehalte der umgebenden Atmosphäre an giftigen Bestandteilen beizumessen ist.

1) Gummischlauchleitungen sind möglichst ganz zu vermeiden, da diese das Leuchtgas in einer schon für den Geruchssinn leicht wahrnehmbaren Menge durchlassen.

Die Frage über den Einfluß unreiner Laboratoriumsluft auf physiologische Reizvorgänge ist schon von anderer Seite behandelt worden, so von Molisch¹⁾, Richter²⁾ und v. Guttenberg³⁾, die ihre Einwirkung auf die tropistischen Erscheinungen der Pflanze studierten; Jost⁴⁾ will infolge dieser Ergebnisse die Frage nach dem Zusammenwirken von Geotropismus und Heliotropismus von Grund aus völlig neu untersucht wissen.

Die Temperatur übt — soweit meine Erfahrungen reichen — keinen sehr wesentlichen Einfluß auf die chemotaktische Reizbarkeit der Zoosporen aus. Das Optimum für die Reizempfindlichkeit wie für ihre Beweglichkeit glaube ich bei den Temperaturen 16—18° C. legen zu müssen. Niedrigere Temperaturen, z. B. 8° C., bewirken unter sonst gleichen Bedingungen eine gewisse Herabsetzung der Lebhaftigkeit der Bewegung und zugleich eine schwache, jedoch merkbliche Abstumpfung der Zoosporen gegen gebotene Reizstoffe. Temperaturen, die über dem Optimum liegen, z. B. 26° C., wirken in gleicher Weise ein.

Ähnliche Beobachtungen liegen bezüglich der Farn-Spermatozoiden (*Dicksonia*) von Vögler⁵⁾ vor, der mit steigender und fallender Temperatur — vom Reizoptimum (15—28° C.) aus gerechnet — eine Abnahme ihrer Reizempfindlichkeit gegen Äpfelsäure konstatierte. — —

Es ist eine bekannte Tatsache, daß Bakterien, Flagellaten usw., die aus ihrem natürlichen Medium isoliert und auf künstlichem Nährboden gezüchtet werden, bei fortdauernder Kultur eine allmähliche Abnahme ihrer Reizbarkeit gegen bestimmte Stoffe erkennen lassen. Diese Erscheinung wurde z. B. von Pfeffer⁶⁾ und von Rothert⁷⁾ an verschiedenen Bakterien (*Amylobakter*, *Bacillus Solmsii*) nachgewiesen.

Die gleiche Abhängigkeit der chemotaktischen Reizempfindlichkeit von der Länge der Kulturdauer konnte auch ich regelmäßig

1) H. Molisch, Über Heliotropismus, indirekt hervorgerufen durch Radium. Ber. d. deutsch. Bot. Ges., Bd. 23, 1905, S. 7.

2) Richter, Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Mathem.-Naturwiss. Klasse, Wien, Bd. 115, I. Abtlg., S. 265.

3) H. Ritter v. Guttenberg, Über das Zusammenwirken von Geotropismus und Heliotropismus und die tropistische Empfindlichkeit in reiner und unreiner Luft. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLVII, 1910, S. 462—492.

4) L. Jost, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1908, II. Aufl., S. 565.

5) C. Vögler, a. a. O., Bot. Ztg., Bd. 49, 1891, S. 673 (Kap. V) u. S. 717.

6) W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, II. Bd., 1904, S. 763.

7) Rothert, a. a. O., Flora, Bd. 88, 1901, S. 417 u. 419.

an den *Rhizophidium*-Kulturen konstatieren. Während die nach dem Prinzip der Anreicherung gewonnene Ausgangskultur sich ausgezeichnet chemotaktisch erwies, war schon die dritte oder vierte, durch Überimpfen auf frischen Pollenstaub gezüchtete Generation wesentlich in ihrer chemotaktischen Reizempfindlichkeit beeinträchtigt, so daß es zur Auslösung der Reaktion einer bedeutend höheren Konzentration bedurfte, als bei normaler Empfindlichkeit. Eine Herabsetzung der Beweglichkeit der Zoosporen fand ich jedoch mit der beginnenden Abstumpfung der Sensibilität nicht vereinigt.

Erst bei noch weiter fortgesetzten Kulturen war die immermehr zunehmende Reizunempfindlichkeit mit einer mäßigen Verminderung der Lebhaftigkeit der Zoosporen kombiniert. Zu gleicher Zeit trat die Tendenz zur Bildung von Dauersporangien auf.

Mit dem Eintreten der Abstumpfung der chemotaktischen Sensibilität mußte natürlich stets auf eine frische Ausgangskultur des Pilzes zurückgegriffen werden.

Aber sehr oft erwies sich auch das Schwärmermaterial der Ausgangskulturen trotz lebhafter Beweglichkeit als nicht genügend empfindlich. Die Ursache hierfür ist wohl auf eine individuell verminderte Reizempfindlichkeit der eingefangenen Pilzkeime zurückzuführen. Überhaupt repräsentiert *Rhiz. poll.* in chemotaktischer Beziehung einen äußerst subtilen Organismus.

Was die allmählich zunehmende Abstumpfung der Sensibilität durch die sukzessiven Kulturen anbetrifft, so dürfte sie ihre Erklärung wahrscheinlich in den sehr reichlichen und günstigen Nahrungsverhältnissen finden. Denn die Beobachtungen Rotherts¹⁾ an Bakterien (*Amylobakter*) und Flagellaten (*Trepomonas*) haben gezeigt, daß diese Organismen durchaus nicht unter den günstigsten Lebensbedingungen, die ihnen in künstlicher Kultur geboten sind, die höchste Reizempfindlichkeit besitzen; es lehrt vielmehr die Erfahrung, daß unter solchen Umständen die Empfindlichkeit gegen Reizstoffe teilweise oder sogar ganz verloren gehen kann; andererseits kann eine mäßige Verschlechterung der Lebensbedingungen eine Steigerung des Reizzustandes herbeiführen.

Auf Grund dieser Tatsachen ist die Annahme nicht von der Hand zu weisen, daß die in sehr ansehnlicher Menge aus den Pollenstaubmassen herausdiffundierenden Proteinstoffe den Pilz in

1) Rothert, a. a. O., Flora, Bd. 88, 1901, S. 417 (Kap. IX).

den Zustand einer gewissen Überernährung bringen, deren Folge die Verminderung der Reizempfindlichkeit gegen die Protein-stoffe ist.

Eine schädigende Wirkung durch sich anhäufende Stoffwechselprodukte im Kulturmedium von seiten des Pilzes oder anderer Organismen erscheint wegen der Kulturmethode ausgeschlossen.

Ich wende mich nun der Inkonstanz bei den *Saprolegnia*-Zoosporen zu.

Bekanntlich ist für sie die Erscheinung der Diplanie charakteristisch. In der ersten Phase ihrer Schwärmperiode, die nur wenige Minuten umfaßt, sind die träge beweglichen Zoosporen chemotaktisch vollkommen unempfindlich und zwar nicht nur gegen die Phosphate, resp. den Fleischextrakt, wie schon Stange konstatiert hat, sondern nach meinen Untersuchungen auch gegen alle Proteinkörper und ihre Derivate wie verwandte Verbindungen. Erst einige Stunden später, nachdem sie in die zweite Phase ihrer Schwärmtätigkeit eingetreten waren, erwiesen sie sich vorzüglich chemotaktisch. Wir haben hier also eine aus inneren Ursachen erfolgende Änderung der chemotaktischen Reizbarkeit vor uns.

Daß mit dem Alter eines Organismus dessen taktische Reizbarkeit abnimmt, ist sowohl für heliotaktische Schwärmzellen (*Pandorina morum*)¹⁾ als für die chemotaktischen Farn-Spermatozoiden²⁾, Bakterien usw. von verschiedenen Forschern konstatiert wurden.

Ich kann mich diesen Beobachtungen bezüglich der *Saprolegnia*-Zoosporen vollkommen anschließen. Denn schon nach $\frac{1}{2}$ - bis 1-stündiger Schwärmtätigkeit der Zoosporen vermochte ich eine Abstumpfung der Reizempfindlichkeit zu beobachten; die Abnahme der Sensibilität war gegenüber den Proteinkörpern nur sehr gering oder nicht merklich, um so beträchtlicher aber für die Phosphationen. In einem konkreten Falle war nach etwa 2-stündiger Schwärmdauer der Zoosporen die Reizschwelle für KH_2PO_4 im Vergleich zu dem Werte für das Reizoptimum (0,00001 Mol) um den 200-fachen Betrag nach oben verschoben worden, so daß erst eine 0,002 molare Lösung eine eben merkliche Anlockung hervor-

1) Rothert, a. a. O., Flora, Bd. 88, 1901, S. 419 (Kap. IX).

2) C. Vögler, Beiträge zur Kenntnis der Reizerscheinungen. Bot. Ztg., Bd. 49, 1891, S. 659 (Kap. IV).

zurufen vermochte. Die Reizschwelle für Pepsin war dagegen nicht alteriert¹⁾.

Wir sehen also, daß die beiden voneinander unabhängigen, spezifischen Sensibilitäten der Zoosporen bezüglich der Stärke ihrer Abnahme durchaus nicht gleichen Schritt halten.

Da Stange diesem Einfluß des Alters der Schwärmer auf die Reizempfindlichkeit anscheinend nicht genügend Rechnung getragen hat, so dürften die Differenzen der von ihm bestimmten Reizschwellenwerte für die Phosphorsäure und ihre Salze durch Nichtbeachtung dieses Faktors ihre Erklärung finden²⁾.

Es ist deshalb erforderlich, die chemotaktischen Untersuchungen möglichst sofort, nachdem die Zoosporen den Häutungsprozeß vollzogen haben, — also mit dem Eintritt des Reizoptimums — vorzunehmen und die Versuche nicht zu lange Zeit auszudehnen. — —

Die Einwirkung der Temperatur auf die chemotaktische Reizbarkeit der *Saprolegnia*-Zoosporen ist seinerzeit von Stange³⁾ studiert worden. Ich muß mich seinen Ergebnissen anschließen. Er hat aber nur in dem Temperaturintervall von 7—20° C. seine diesbezüglichen Untersuchungen angestellt und höhere Temperaturen unberücksichtigt gelassen. Bei 18—20° C. liegt ungefähr das Optimum für die Reizempfindlichkeit. Während 23° schon deutlich schädigend wirken, werden bei 25—27° Bewegung und Reizempfindlichkeit der Zoosporen derartig beeinträchtigt, daß chemotaktische Studien völlig ausgeschlossen sind. Denn selbst eine 1/50 proz. Pepsinlösung war nicht imstande, einen sichtbaren Reiz auf die Schwämsporen auszuüben.

Deshalb mußten die Untersuchungen im Mikroskopiersaale, in dem mit Eintritt der sommerlichen Wärme oft Temperaturen von 23—28° C. herrschten, abgebrochen und in einem Raume des Souterrains des Institutes fortgesetzt werden, woselbst das Thermometer niemals über 19° C. zeigte.

In Rücksicht auf den Standort in der Natur erscheint für die

1) Vgl. C. Vögler, a. a. O., S. 662, wo gezeigt ist, daß die Reizschwelle der Farnsamensfäden (*Dicksonia*) für Äpfelsäure nach 25 Minuten langem Aufenthalt in Leitungswasser bis zu 0,1% vorgerückt wurde.

2) Man braucht nur die Stangeschen Werte für die Reizschwellen (‰) in Mol umzurechnen, woraus sich leicht die Differenzen seiner Reizschwellenwerte — die einander gleich sein müßten — ergeben.

3) B. Stange, a. a. O., Bot. Ztg., 1890, Bd. 48, S. 139.

wasserbewohnenden Saprolegniaceen der schädliche Einfluß dieser relativ nicht zu hohen Temperaturen durchaus leicht erklärlich. —

Am Schlusse dieses Kapitels sei es mir noch gestattet, mit einigen Worten das chemotaktische Verhalten des mittels der Klebsschen Kulturmethode¹⁾ gezüchteten Schwärmermaterials zu beleuchten.

Da ich am Beginn dieser Untersuchungen mich zur Züchtung von Reinkulturen der *Saprolegnia* dieses künstlichen Gelatine-Fleischextrakt-Nährbodens bediente, so hatte ich Gelegenheit, die Unbrauchbarkeit dieser Methode zu konstatieren, sobald es sich darum handelt, reizempfindliches Zoosporenmateriel zu kultivieren. Trotz wochenlanger Bemühungen gelang es mir nicht, normal empfindliche Schwärmsporen zu züchten. Regelmäßig waren schon die Zoosporen der ersten, artreinen Kultur, wie ich sie durch Übertragen von einigen *Saprolegnia*-Sporangien auf den sterilen Nährboden erzielte, in ihrer chemotaktischen Reizbarkeit gegen die Phosphorsäure und ihre Salze außerordentlich abgestumpft.

So stellte ich fest, daß die diesbezüglichen unteren Reizschwellen der Zoosporen, die den Ausgangskulturen verschiedener Zeiten entstammten, auf die Werte: $\frac{1}{90}$, $\frac{1}{200}$, $\frac{1}{40}$, $\frac{1}{75}$, $\frac{1}{180}$, $\frac{1}{240}$, $\frac{1}{50}$ Mol KH_2PO_4 gestiegen waren, was einem durchschnittlichen Schwellenwert von $\frac{1}{125}$ Mol entspricht. Dies bedeutet aber eine fast 1000-fache Erhöhung des Reizschwellenwertes gegenüber den normalen Verhältnissen.

Zu gleicher Zeit machte ich an solchem Material die interessante Beobachtung, daß die Sensibilität für die Proteinstoffe und ihre Derivate anscheinend nicht im geringsten durch die künstlichen Kulturbedingungen gelitten hatte. Eine Verschiebung der unteren Reizschwellen für Pepsin, Hämoglobin, Pepton konnte nicht konstatiert werden.

Wir sehen also, daß auch hier unter den künstlichen Kulturverhältnissen die beiden spezifischen Sensibilitäten der *Saprolegnia*-Zoosporen ein durchaus verschiedenes Verhalten erkennen lassen. Während die eine sich ungeschwächt erhalten hat, ist die andere unverhältnismäßig stark abgestumpft worden.

Das Schwärmermaterial der nächstfolgenden Kulturen, die nach Klebs durch Überimpfen des Mycels der Ausgangskulturen

1) G. Klebs, Zur Physiologie der Fortpflanzung einiger Pilze, II. *Saprolegnia mixta*. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXIII, 1899, S. 514—516.

auf einen neuen Nährboden erhalten wurden, hatte seine Reizempfindlichkeit gegen Phosphat-Ionen vollständig eingebüßt, so daß keine Konzentration der Phosphorsäure und ihrer Salze imstande war, eine chemotaktische Bewegung der Zoosporen auszulösen.

Bei weiterer Dauer dieser sukzessiven Kulturen machte sich schließlich — wie zu erwarten war — auch eine deutliche Abnahme der Sensibilität gegen die Proteinstoffe bemerkbar, so daß die Reizschwellenkonzentrationen eine 2 bis 3-fache Steigerung erfahren mußten.

Wir dürften wohl nicht fehlgehen, wenn wir, ähnlich wie bei *Rhiz. poll.*, auch in diesem Falle die Erklärung für die Abstumpfung der Sensibilitäten in den überaus reichlichen und günstigen Ernährungsbedingungen suchen. Warum aber und durch welche Faktoren die Sensibilität für die Phosphat-Ionen zuerst und so rasch zur Abstumpfung gebracht wird, entzieht sich natürlich völlig unseren Betrachtungen.

Aus den Untersuchungen Knieps¹⁾ an Bakterien wissen wir, daß die chemotaktischen Reizerscheinungen in hohem Maße von der Reaktion des Kulturmediums resp. des Kulturbodens beeinflusst werden.

Von der Annahme ausgehend, daß auch die *Saprolegnia*-Zoosporen durch Änderung der Reaktion des Nährbodens ähnlichen Reizumstimmungen unterworfen sein könnten, wurde der unter normalen Umständen sauer reagierende Fleischextrakt durch Zusatz von Na_2CO_3 bis zur schwach alkalischen Reaktion neutralisiert. Das Zoosporenmateriale, das auf solchem alkalischen Gelatinenährboden gezüchtet war, ergab aber in chemotaktischer Beziehung keine Abweichung von dem Materiale, das auf saurem Nährboden kultiviert worden war. —

Daß es auch in den vollkommen normal reizempfindlichen Präparaten der verschiedenen Schwärmosporensorten stets eine gewisse Anzahl von Individuen gab, die gegen die kräftigsten Chemotaktika optimaler Konzentration wenig empfindlich oder völlig indifferent waren, glaube ich nicht besonders hervorheben zu müssen.

1) H. Kniep, Untersuchungen über die Chemotaxis der Bakterien. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLIII, 1906, S. 215.

Kapitel XI. Die Aerotaxis der untersuchten Schwärmsporen.

Das Verhalten der freibeweglichen Organismen gegen Sauerstoff ist bekanntlich äußerst wechselnd. Während sehr viele Bakterien, jedoch nicht alle, durch Sauerstoff sehr stark chemotaktisch gereizt werden, entbehren die Spermatozoiden der Farne¹⁾ völlig der Aerotaxis. Dagegen kommt den Samenfäden von *Marchantia* nach Lidforss²⁾ und Akerman³⁾ eine deutliche Reizbarkeit gegen Sauerstoff zu.

Da manche aerotaktische Organismen (*Euglena*) keine anderweitige chemotaktische Reizbarkeit aufweisen und andererseits chemotaktisch reizbaren Organismen die Aerotaxis vollkommen abgeht, so muß man offenbar Chemotaxis und Aerotaxis als gesonderte Sensibilitäten betrachten.

Was wir über die Beziehung des Sauerstoffs zu den Schwärmsporen der Chytridiaceen wissen, erstreckt sich auf die kurze Notiz von Zopf⁴⁾: „Gegen Sauerstoffabschluß zeigen sich die Zoosporen von *Rhizophidium pollinis* so empfindlich, daß sie alsbald zur Ruhe kommen und vollständig zerfließen“. Die andere Beobachtung stammt von Rosen⁵⁾, der gleichfalls die große Empfindlichkeit der Zoosporen von *Chytridium Zygnematis* gegen Sauerstoff hervorhebt.

In der Tat erweisen sich die Zoosporen von *Rhiz. poll.* ungemein empfindlich gegen Sauerstoff; das gleiche gilt für die Schwärmzellen von *Rhiz. sphaerotheca*, über die bis jetzt in dieser Richtung noch keine Beobachtungen vorlagen.

Unter diesen Verhältnissen ist es ein unerläßliches Erfordernis, alle chemotaktischen Untersuchungen mit unbedeckten Präparaten auszuführen. Bedeckt man einen schwärmsporenhaltigen Tropfen mit dem Deckglas, so sieht man alsbald die Zoosporen den Rändern des Tropfens zueilen. Befinden sich im Kulturtropfen mehrere Luftblasen, so gestaltet sich die Erscheinung der Aerotaxis besonders deutlich. Mit der Abnahme des Sauerstoffgehaltes der Flüssigkeit ziehen die Schwärmer ihre Kreise immer enger, bis sie schließlich, wie bei einer chemotaktischen Ansammlung, einen lebhaften Tanz an der Peripherie der Luftblasen aufführen. Ist es aber den Schwärmsporen aus mechanischen Gründen, wie z. B. durch die

1) Vgl. W. Pfeffer, a. a. O., Untersuch., 1884, S. 372.

2) Lidforss, a. a. O., Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLI, 1905, S. 85.

3) Ake Akerman, a. a. O., Zeitschr. f. Bot., 1910, 2. Heft, S. 103.

4) W. Zopf, Über einige niedere Algenpilze usw., 1887, Halle, S. 9.

5) Rosen, Beitrag zur Kenntnis der Chytridiaceen, 1886, S. 12.

umschließende Pollenstaubmasse unmöglich gemacht, ihrem ausgesprochenen Sauerstoffbedürfnis Rechnung zu tragen, so beginnt schon nach ca. 1 Minute die lebhafteste Bewegung der Zoosporen sich sehr deutlich zu verlangsamen; kurz darauf tritt völlige Sistierung der Bewegung und der Tod ein, denn nach Abheben des Deckglases waren die Zoosporen nicht wieder zur Aufnahme ihrer Schwärmtätigkeit zu bringen.

Ähnlich wie durch die Luftblasen läßt sich die aerotaktische Reizbarkeit dieser Zoosporen mit Hilfe einer relativ weitlumigen Kapillare nachweisen, die nur eine sehr kurze Flüssigkeitssäule (0,1 mm) Leitungswassers und im übrigen Luft enthält. Schiebt man diese Kapillare in die Mitte eines bedeckten Kulturtropfens, wo die Schwärmsporen infolge der mangelnden Sauerstoffzufuhr schon in einen gewissen Grad der „Dyspnoë“ geraten sind, so kann man sich leicht von der besagten, aerotaktischen Ansammlung überzeugen.

Die Frage nach ihrer physiologischen Qualität, ob phobotaktisch oder topotaktisch, will ich dahingestellt sein lassen.

Im Beginn meiner chemotaktischen Studien über die Schwärmsporen von *Rhiz. poll.* habe ich regelmäßig eine schwache, aber deutliche Ansammlung um Tröpfchen von Terpentinöl konstatiert und sie ohne Bedenken für chemotaktisch gehalten; jedoch nach dem Abschluß der Untersuchungen habe ich auf Grund der vorliegenden Resultate die Überzeugung gewonnen, daß jene beobachteten Ansammlungen sehr wahrscheinlich nicht chemotaktischer, sondern rein aerotaktischer Natur seien. Denn das Terpentinöl hat die Eigenschaft, den Sauerstoff der Luft zu absorbieren, wobei es zu einer Aktivierung des Sauerstoffes kommt. Dieser Körper würde also lediglich die Rolle eines Sauerstoffträgers spielen und infolgedessen bei den Schwärmsporen eine aerotaktische Reaktion auslösen.

Im Gegensatz zu den Zoosporen dieser beiden Chytridiaceen scheinen die Schwärnzellen von *Pseudopodium Saprolegniae* in erheblich geringerem Maße gegen Sauerstoffmangel empfindlich zu sein. Denn ich habe bei ihnen niemals Beobachtungen machen können, die für das Vorhandensein einer aerotaktischen Reizbarkeit sprächen. In dem mit einem Deckglas und Luftblasen haltigen, bedeckten Kulturtropfen behielten sie nach der Entleerung aus den Sporangien ihre Beweglichkeit eine Stunde lang ungeschwächt bei, wobei das Präparat stets eine gleichmäßige Verteilung der Schwärmer aufwies.

Wir müssen also schließen, daß das Konzentrationsgefälle des Sauerstoffs unter den herrschenden Bedingungen nicht steil genug war, um eine Aerotaxis herbeizuführen, oder daß ihnen eine aerotaktische Reizbarkeit völlig abgeht. Entschieden kann diesen Zoosporen eine geringe Empfindlichkeit gegen Sauerstoffmangel nur von Vorteil sein, da sie in Anpassung an ihren Wirt oftmals an Stellen leben müssen, die nicht gerade als sauerstoffreich zu bezeichnen sind.

Die Einwirkung des Sauerstoffs auf die *Saprolegnia*-Zoosporen ist von Stange¹⁾ einer eingehenden Prüfung unterzogen worden. Er stellte fest, daß mäßiger Sauerstoffmangel auf sie von nur geringem Einfluß ist.

Kapitel XII. Über die Wirkung der Narcotica auf die Chemotaxis der Zoosporen von *Rhiz. pollinis* und *Rhiz. sphaerotheca*.

Bekanntlich ist es das Verdienst Rotherts²⁾, zuerst eine systematische, von allgemeinen Gesichtspunkten ausgehende Untersuchung über die Wirkung der Narcotica, des Äthers und des Chloroforms, auf die Reizbewegungen verschiedener, schwärmender Mikroorganismen angestellt zu haben. Als wichtigstes Resultat fand er, daß viele, jedoch nicht alle untersuchten Mikroorganismen aus verschiedenen Verwandtschaftskreisen durch Äther- und Chloroform-Lösungen geeigneter Konzentration anästhesiert werden, d. h. daß sie das ihnen normalerweise zukommende Empfindungsvermögen für äußere Reize zeitweise einbüßen und deshalb auf die dargebotenen Reize nicht reagieren, obwohl ihnen die Beweglichkeit gestatten würde, jene mit entsprechender Reaktion zu beantworten. Dieses Verhalten konnte Rothert für mehrere Fäulnisbakterien (Termo I, II u. III), zwei *Spirillum*-Arten, *Bacillus Solmsii* (hier nur durch Chloroform, nicht durch Äther), *Amylobacter* (Chemo-, Aero- und Osmotaxis) und ferner für *Gonium* und *Pandorina* (Phototaxis) nachweisen. Dagegen fand er die Erwartung, nämlich daß sich die Empfindlichkeit für äußere Reize durch die Narcotica würde eher aufheben lassen als die Bewegung, bei *Trepomonas* (Chemotaxis), *Chlamydomonas* (Phototaxis) und *Saprolegnia* (Chemo-

1) B. Stange, a. a. O., Bot. Ztg., 1890, Bd. 48, S. 139. Vgl. ebenfalls Rothert, Colns Beiträge zur Biologie, 1892, Bd. 5, S. 341.

2) Rothert, Über die Wirkung des Äthers und Chloroforms auf die Reizbewegungen der Mikroorganismen. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. IXL, 1904, S. 1.

taxis) nicht bestätigt, denn bei diesen Organismen wird die Beweglichkeit eher aufgehoben als die Empfindlichkeit für äußere Reizanlässe.

Da Rothert aus dem großen Formenkreise der Phycomyceten nur die Saprolegniaceen prüfen konnte, so erscheint es mir nicht unangebracht, wenn ich die Untersuchungen dieses Forschers durch meine Beobachtungen über die Einwirkung der Narcotica auf einige Chytridiaceen-Zoosporen ergänze, umsomehr, da die Resultate verschiedene Eigentümlichkeiten erkennen lassen.

Die Versuche wurden in folgender Weise durchgeführt.

Als Ausgangslösungen dienten stets gesättigte Lösungen von Chloroform resp. Äther in Leitungswasser, welche mit einem beträchtlichen Überschuß von Chloroform resp. Äther im Dunkeln aufbewahrt wurden. Kurz vor jedem Versuche erfolgte in einem kleinen Meßzylinder die Dosierung des Narcoticums stets in der doppelten Konzentration, als wie sie für das Außenmedium bestimmt war. Mittels einer kleinen Pipette wurde dem Meßgefäß schnell ein geringes Quantum entnommen und dem schon zur Hälfte mit der Kulturflüssigkeit beschickten kleinen Zylinder — wie er auf S. 479 beschrieben ist — das gleiche Volumen des Narcoticums hinzugegeben. Als bald stellte sich die gewünschte Konzentration des Narcoticums her. Hiervon wurden nun mit Hilfe einer kleinen Pipette rasch 2—3 Tropfen entnommen, auf den Objektträger gebracht und sofort mit einem bereitgehaltenen Deckglase bedeckt. Die augenblicklich zugeschobenen Kapillaren wurden aus leicht erklärlichen Gründen mit ihrer Mündung möglichst in die Mitte des Tropfens gebracht. Auf diese Weise wurden die Fehlerquellen, die aus der großen Flüchtigkeit der Narcotica entstehen, nach Möglichkeit vermieden und die Konzentration des Narcoticums im Zentrum des Präparates für genügend lange Zeit unverändert erhalten. Als Kriterium für die eingetretene Anästhesie galt der völlige Indifferentismus der Zoosporen von *Rhiz. poll.* bzw. *Rhiz. sphaerotheca* gegen die zugeschobenen Kapillaren, welche eine Lösung von 0,117% Proteinsubstanz aus Pflanzen bzw. 0,1% Pepton enthielten. Vor jeder Versuchsreihe wurde stets das zur Untersuchung gelangende Schwärmermaterial auf seine normale, chemotaktische Empfindlichkeit hin genau geprüft.

Ich gebe im folgenden zunächst die Resultate der Versuchsreihen für die Zoosporen von *Rhiz. poll.* und dann für die von *Rhiz. sphaerotheca*.

Versuchsreihen
für die Zoosporen von *Rhizophidium pollinis*.

I. (Chloroform)			II. (Äther)		
Gehalt des Außenmediums an Chloroform in Mol	Bewegung	Reaktion	Gehalt des Außenmediums an Äther in Mol	Bewegung	Reaktion
	der Zoosporen			der Zoosporen	
0,00150 (= 2,5 % C.-W.) ¹⁾	nicht merkbar	normal	0,042 (= 5 % Ä.-W.) ¹⁾	kann oder nicht merkl.	sehr mäßig bis schwach
0,0030 (= 5 % C.-W.)	nur mäßig	normal	0,083 (= 10 % Ä.-W.)	nur mäßig	fast nicht merklich
0,0045 (= 7,5 % C.-W.)	sehr deutlich	normal	0,126 (= 15 % Ä.-W.)	stark	gleich Null
0,006 (= 10 % C.-W.)	stark	normal	0,166 (= 20 % Ä.-W.)	noch stärker	gleich Null
0,009 (= 15 % C.-W.)	fast mom. völlig	unmöglich	Die Kapillarflüssigk. enthält 0,117 % Proteinsubst. a. Pfl.	gehemmt	
Die Kapillarflüssigk. enthält 0,117 % Proteinsubst. a. Pfl.	gehemmt			~	

Rhiz. poll. zeigte also das exzeptionelle Verhalten, daß sich bei ihm die chemotaktische Empfindlichkeit wohl durch Äther, aber nicht durch Chloroform aufheben ließ. Wegen dieser überraschenden Eigentümlichkeit wurden die vergleichenden Versuche über die Einwirkung des Chloroform- und Ätherwassers mit verschiedenen Kulturen und zu verschiedenen Zeiten mehrere Male wiederholt, doch stets mit dem gleichen Erfolge.

Ein ganz ähnliches Verhalten hat Rothert²⁾ seinerzeit bei *Bacillus Solmsii* konstatiert, nur daß hier gerade das umgekehrte Verhältnis obwaltete, indem sich bei ihm die chemotaktische Sensibilität wohl durch Chloroform, nicht aber durch Äther ausschalten ließ.

Wir könnten also geneigt sein, anzunehmen, daß dieser Protoplast durch die beiden Narcotica in verschiedener Weise affiziert wird. Diese Annahme ergibt sich nach Rothert³⁾ durchaus nicht

1) Es ist unter % C.-W. resp. % Ä.-W. immer der Gehalt des Außenmediums an gesättigtem Chloroform- resp. Äther-Wasser gemeint.

2) Rothert, a. a. O., Jahrb. f. wiss. Bot., 1904, Bd. XXXIX, S. 27, 28 u. 59.

3) Rothert, a. a. O., S. 59.

mit zwingender Notwendigkeit, umso mehr, da dieser Forscher unterlassen hat, stärkere Ätherlösungen als 30 % A.-W. (= 0,252 Mol Äther, $(C_2H_5)_2 \cdot O$), wodurch die Beweglichkeit schon stark geschwächt wurde, zur Anwendung zu bringen. Es könnte demnach sehr wohl die Möglichkeit vorliegen, daß das spezifische Verhältnis der Resistenz dieses Organismus gegen die beiden Narcotica sehr zu Ungunsten des Äthers verschoben ist. Eine analoge Erklärung erscheint a priori auch für die Zoosporen von *Rhiz. poll.* plausibel, doch davon später.

Versuchsreihen
für die Zoosporen von *Rhizophidium sphaerotheca*.

I. (Chloroform)			II. (Äther)		
Gehalt des Außenmediums an Chloroform in Mol	Bewegung	Reaktion	Gehalt des Außenmediums an Äther in Mol	Bewegung	Reaktion
	der Zoosporen			der Zoosporen	
0,0015 (= 2,5 % C.-W.)	eben merklich	mäßig	0,022 (= 2,5 % Ä.-W.)	nicht	mäßig
0,003 (= 5 % C.-W.)	deutlich	fast nicht merklich ¹⁾	0,045 (= 5 % Ä.-W.)	eben merklich	zweifelhaft
0,0045 (= 7,5 % C.-W.)	stark	gleich Null	0,09 (= 10 % Ä.-W.)	ziemlich stark	gleich Null
0,006 (= 10 % C.-W.)	fast mom. völlig	gleich Null	0,18 (= 20 % Ä.-W.)	sehr stark	gleich Null
Die Kapillarflüssigk. enthält 0,1 % Pepton	gehemmt		0,27 (= 30 % Ä.-W.)	fast mom. völlig	gleich Null
			Die Kapillarflüssigk. enthält 0,1 % Pepton	gehemmt	

Während sich also die Zoosporen von *Rhiz. poll.* wohl durch Äther, nicht aber durch Chloroform anästhesieren lassen, wird bei seinem nahen Verwandten, dem *Rhiz. sphaerotheca*, durch beide Narcotica die Empfindlichkeit für chemische Reize früher aufgehoben als die Bewegung.

Schon Rother²⁾ hebt besonders hervor, daß die Anästhesierbarkeit weder in einem Zusammenhang mit der systematischen Stellung der Organismen noch mit der Art der verschiedenen

1) Mehrere Kontroll-Versuche! — Das Deckglas 4 Min. lang gelüftet: reichliches Einschwärmen in die Kapillare! —

2) Rother, a. a. O., S. 50.

Reizanlässe steht, für die sie sensibel sind. *Rhiz. sphaer.* schließt sich demnach an die Gruppe der Organismen an, bei denen Rothert¹⁾ durch beide Narcotica völlige Anästhesie zu erzielen vermochte.

Bemerkenswert ist nun, daß durchgängige Anästhesie der Präparate von *Rhiz. sphaer.* erst durch eine relativ hohe Konzentration des C.-W. (7,5 Proz.) erreicht wurde, bei der die Beweglichkeit der Zoosporen schon stark verlangsamt war.

Diese Tatsache läßt nun die Wahrscheinlichkeit einer prinzipiell verschiedenen Wirkungsweise des Chloroforms und Äthers auf die Schwärmsporen von *Rhiz. pollinis* wieder geringer erscheinen, da dieses exceptionelle Verhalten auch in einer nur graduellen Verschiedenheit der Wirkung des Chloroforms auf die beiden Schwärmsporen-Arten seine Erklärung finden kann. Denn während bei den Zoosporen von *Rhiz. sphaerotheca* die Abstumpfung und Aufhebung ihrer Empfindlichkeit für chemische Reizanlässe früher eintritt als die Sistierung der Ortsbewegung, erhält sich bei den Zoosporen von *Rhiz. pollinis* das Reaktionsvermögen zwar ungeschwächt bis zur Einstellung der Schwärmtätigkeit, doch ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß die chemotaktische Sensibilität dieser Schwärmsporen infolge ihrer erhöhten Resistenz gegen Chloroform erst durch stärkere Konzentrationen des Narkotikums zur Abstumpfung gebracht wird. Derzeit fehlen uns die Mittel, den Nachweis für diese Annahme zu erbringen.

Wir müssen immer bedenken, daß diese Versuche nicht die Unterdrückung der Empfindlichkeit überhaupt, sondern nur die Aufhebung der Empfindlichkeit ohne gleichzeitige Sistierung der Ortsbewegung konstatieren können.

Rothert hat durch seine Untersuchungen auch nachgewiesen, daß die Empfänglichkeit der verschiedenen Organismen für die Anästhesie spezifisch ungleich ist. Am leichtesten vermochte er Anästhesie an Bakterium Termo III²⁾ hervorzurufen. Bei diesem Bazillus ließ sich Chemotaxis und Aerotaxis schon durch 5 Proz. C.-W. völlig aufheben. Die gleiche Empfänglichkeit für die Anästhesie durch Chloroform konstatierte Shibata³⁾ an den Samen-fäden von *Isoetes*.

1) Rothert, a. a. O., S. 49.

2) Rothert, a. a. O., S. 24 u. 55, II. Abschnitt.

3) K. Shibata, a. a. O., Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLI, S. 600 u. 601.

In dieser Beziehung schließen sich die Zoosporen von *Rhiz. sphaerotheca* an die beiden genannten Organismen an, da sowohl durch 5 Proz. C. W. als durch 5 Proz. Ä. W. ausgesprochene Anästhesie der Schwärmzellen zu erzielen ist. Sie zählen also bezüglich ihrer Anästhesierbarkeit mit zu den empfindlichsten Lebewesen, die bis jetzt bekannt sind.

Für die Zoosporen von *Rhiz. pollinis* sind dagegen erst 10 bis 15 Proz. Ä.-W. mit der physiologischen Wirkung von 5 Proz. Ä.-W. auf die Schwärmzellen von *Rhiz. sphaerotheca* gleichwertig.

Ich möchte nicht verfehlen, noch darauf hinzuweisen, daß Chloroform, Äther und Äthylalkohol in keiner Konzentration einen räumlich orientierenden Reiz auf die untersuchten Chytridiaceen- und *Saprolegnia*-Zoosporen auszuüben vermögen. Sie wirken weder attraktiv noch repulsiv¹⁾. Daß aber dieser chemotaktische Indifferentismus gegen diese Narkotika nicht für alle Organismen charakteristisch ist, zeigen die Beobachtungen Rotherts²⁾. Er wies für *Amylobakter* und ein *Thermo*-artiges Bakterium eine ausgesprochene, positive Chemotaxis gegen Lösungen von Äthyl-Äther nach; Chloroform dagegen fand er in beiden Fällen völlig wirkungslos. Dieses Verhalten spricht wieder zugunsten der Möglichkeit, daß das Plasma — als Begriff der lebendigen Substanz überhaupt — in prinzipiell verschiedener Weise durch die beiden Narkotika affiziert werden kann. — —

Über den Einfluß der Narkotika auf die *Saprolegnia*-Zoosporen brauche ich mich nicht näher zu verbreiten, da sie bereits von Rothert³⁾ in den Kreis seiner Untersuchungen einbezogen worden sind. Er fand, daß weder durch 10 Proz. C. W. noch durch 20 Proz. Ä. W. die chemotaktische Empfindlichkeit der Zoosporen von *Saprolegnia spec.*⁴⁾ gegen Fleischextrakt aufgehoben wurde, obwohl bei diesen Dosierungen der Narkotika die Bewegung schon sehr stark verlangsamt war.

Nach meinen Beobachtungen an den beiden Rhizidien erscheint es nicht ausgeschlossen, daß *Saprolegnia mixta*, *Achlya*, *Aphanomyces* bezüglich ihrer Empfänglichkeit gegen die Anästhesie ein abweichendes Verhalten zeigen. — —

1) Vgl. über die Methodik zur Füllung von Kapillaren usw., Rothert, a. a. O., Flora, Bd. 88, 1901, Kap. IV, S. 380.

2) Rothert, a. a. O., Kap. IV, S. 380.

3) Rothert, a. a. O., Jahrb. f. wiss. Bot., 1904, Bd. XXXIX, S. 31, 32.

4) Syn.: *Saprol. torulosa*, vgl. Rabenhorsts Kryptogamen-Flora, IV. Abteilung, *Phycomycetes*, S. 340.

Von den übrigen Narkotika wurde noch der Äthyl-Alkohol, der bekanntlich hinsichtlich seiner anästhesierenden Wirkung bei weitem dem Äther und Chloroform nachsteht, einer eingehenderen Prüfung bezüglich seines Einflusses auf die chemotaktischen Reizerscheinungen der Zoosporen von *Rhiz. poll.* unterworfen.

Als Kriterium für die eingetretene Anästhesie galt auch hier wieder der völlige Indifferentismus der Zoosporen gegen Kapillaren, die eine 0,117 proz. Lösung von Proteinsubstanz aus Pfl. enthielten.

Versuchsreihe für die Zoosporen
von *Rhizophidium pollinis* (Äthyl-Alkohol).

Gehalt des Außenmediums an $C_2H_5 \cdot OH$ in Mol	Bewegung	Reaktion
	der Zoosporen	
$\frac{1}{30}$	nicht merklich	normal
$\frac{1}{20}$	eben merklich	fast normal
$\frac{1}{10}$	nur mäßig	fast normal
$\frac{1}{4}$	deutlich	deutlich vermindert
$\frac{1}{2}$	stark	gleich oder fast gleich Null
1,0	momentan völlig	gleich Null
Die Kapillarflüssigkeit enthält 0,117 % Proteinsubstanz	gehemmt	

Wir sehen also, daß die chemotaktische Reizempfindlichkeit durch Alkohol früher aufgehoben wird als die Ortsbewegung, und zwar wird der völlige Indifferentismus der Zoosporen gegen den gebotenen Reizstoff erst durch $\frac{1}{2}$ Mol $C_2H_5 \cdot OH$ (= 2,3 Proz.) als Außenmedium erzielt; bei dieser Konzentration ist freilich die Beweglichkeit der Zoosporen auch schon sehr träge. Der Äthyl-Alkohol schließt sich demnach in seinem Verhalten gegenüber den Zoosporen von *Rhiz. pollinis* dem Äther an.

Ähnlich wie durch die Narkotika, so wird auch durch andere Körper, die sich im Außenmedium befinden, die chemotaktische Reizbarkeit der Organismen in hohem Maße beeinflusst.

Die Studien von Kniep¹⁾ an Bakterien haben uns über diese Verhältnisse wichtige Aufschlüsse gebracht. Desgleichen hat Shibata²⁾ an den Isoetes-Spermatozoiden entsprechende Beobachtungen gemacht.

Es kann sich um Reizumstimmungen (Kniep) handeln oder, wie es häufiger der Fall ist, nur um eine Abschwächung der chemotaktischen Sensibilität.

Meine Untersuchungen, die ich in dieser Richtung an den *Saprolegnia*-Zoosporen anstellte, haben folgende Resultate ergeben.

Es vermochten die Zoosporen gegen eine Kapillarflüssigkeit, die 0,001-proz. Pepsinlösung enthielt, nicht mehr zu reagieren, wenn das Außenmedium in Form einer $\frac{1}{2000}$ molaren Lösung von HCl, HNO₃ oder $\frac{\text{H}_2\text{SO}_4}{2}$ gegeben war. Erst eine 0,01 proz. Pepsinlösung war imstande, eine eben merkliche Reaktion auszulösen, was einer etwa 20-fachen Steigerung des Reizschwellenwertes unter normalen Bedingungen (R = 0,0004 Proz.) gleichkommt.

Ebenso verursachten andere Elektrolyte, wie NaCl, KNO₃ und K₂SO₄, schon in schwacher Konzentration eine Änderung der chemotaktischen Reizstimmung der Zoosporen.

Rohrzucker, ein Nicht-Elektrolyt, ließ dagegen in äquimolekularer Lösung ($\frac{1}{2000}$ Mol) keine Verschiebung der Reizschwellen erkennen, wohl aber in höheren Konzentrationen. Wahrscheinlich machen dann die plasmolytischen Wirkungen des Rohrzuckers ihren Einfluß auf die chemotaktische Reizstimmung geltend. Desgleichen konnte man bei diesen höheren Konzentrationen eine deutliche Verminderung der Lebhaftigkeit der Schwärmersporen wahrnehmen.

Kapitel XIII. Phototaxis der Schwärmersporen von *Rhiz. pollinis*.

Bekanntlich sind die meisten chlorophyllführenden Schwärmer³⁾ ferner *Euglena* und andere grüne Flagellaten, Volvocineen usw. mehr oder weniger phototaktisch empfindlich.

1) H. Kniep, Untersuchungen über die Chemotaxis der Bakterien. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XLIII, 1906, S. 215.

2) K. Shibata, a. a. O., Jahrb. f. wiss. Bot., 1905, Bd. XLI, S. 602.

3) Vgl. Strasburger, Wirkung des Lichtes und der Wärme auf Schwärmersporen, Jena, 1878.

Dieses Verhalten hat aber nicht ausnahmslose Gültigkeit, denn die chlorophyllhaltigen Schwärmsporen von *Vaucheria*¹⁾ entbehren der phototaktischen Reizbarkeit.

Daß aber die Eigenschaft, auf Licht mit einer Änderung der Bewegungsrichtung zu reagieren, nicht unbedingt an die chlorophyllhaltigen, freibeweglichen Organismen gebunden sein muß, hat zuerst Strasburger gezeigt, dem wir die grundlegenden Arbeiten über dieses Gebiet verdanken. So fand er, daß die farblosen Schwärmsporen von *Chytridium vorax*, einem Parasiten des Hämatococcus, und von *Polyphagus Euglenae* sehr wohl dazu befähigt sind, Lichtreize zu perzipieren und sie mit entsprechender Reaktion zu beantworten.

Diesen beiden Fällen vermochte Rothert²⁾ einen dritten aus der Klasse der Flagellaten anzureihen. Er konstatierte nämlich, daß eine Bodo-Art, die sich von *Chlamydomonas multifilis* nährte, ausgezeichnet phototaktisch war und zwar in höherem Maße als die chlorophyllhaltigen Wirtszellen selbst. Da Rothert diese phototaktischen Versuche nur bei gleichzeitiger Anwesenheit der *Chlamydomonas* ausgeführt hat, so äußere ich die Vermutung, daß von ihrer Seite chemotaktische Reizeinflüsse ausgehen können, die dazu beitragen würden, die Bodo-Parasiten besonders stark phototaktisch erscheinen zu lassen.

Nach Fischer³⁾ sollen sich auch die Schwärmsporen von *Synechytrium Taraxaci* an den Stellen intensivster Beleuchtung ansammeln.

Ich bin nun in der Lage, die kleine Gruppe der phototaktischen, farblosen Organismen weiter zu vervollständigen, indem ich auch an den Schwärmzellen von *Rhiz. pollinis* deutliche Phototaxis festgestellt habe. Ich möchte aber vorausschicken, daß diese Erscheinung ziemlich starken Schwankungen unterworfen ist. Ihren Ursachen bin ich nicht nähergetreten. Ich habe nur regelmäßig konstatieren können, daß die Abnahme der phototaktischen Reizbarkeit parallel mit der Abstumpfung der chemotaktischen Sensibilität ging.

Besonders deutlich trat der Einfluß des Lichtes auf die Schwärmsporen hervor, wenn man eine Serie von Präparaten, die

1) Strasburger, a. a. O., S. 42; desgl. vgl. Thuret, Annales d. scienc. naturelles, 1850, III. sér., Vol. 14, p. 246.

2) Rothert, a. a. O., Flora, Bd. 88, 1901, S. 372.

3) A. Fischer, a. a. O., Jahrb. f. wiss. Bot., 1882, Bd. 13, S. 298.

gut empfindliches Schwärmermaterial enthielten, unter die feuchte Glocke brachte und bei Vermeidung des Tageslichtes der Bestrahlung einer Auerlampe aussetzte. Nach einigen Minuten hatte sich in jedem Präparate die Hauptmasse der Zoosporen an dem dem Lichte zugekehrten Rande des Tropfens angesammelt. Bei Drehung der Präparate um 180° war nach einigen Minuten wieder der gleiche Effekt zu beobachten.

Natürlich fehlte es auch in diesen Fällen nicht an Schwärmern, die entweder vollkommen indifferent gegen die Einwirkung des Lichtes waren oder deren graduell verschiedenes Reaktionsvermögen sie zur Einnahme eines anderen Gleichgewichtszustandes nötigte.

Auch im diffusen Tageslicht ist die phototaktische Gruppierung zu beobachten, allerdings nicht so deutlich wie bei obiger Versuchsanstellung. Hierauf beruht es vielleicht, daß Zopf, der das *Rhiz. pollinis* zuerst eingehend studiert hat, die phototaktische Reizbarkeit dieser Zoosporen entgangen ist. Außerdem kann Material mit geringer Sensibilität vorgelegen haben.

Der Frage, ob die Schwärmerzellen von *Rhiz. sphaerotheca* heliotaktisch sind, habe ich leider aus Mangel an Material nicht nähertreten können. Doch ist die Wahrscheinlichkeit, daß auch ihnen eine phototaktische Reizbarkeit zukommt, sehr groß, und die flüchtigen Beobachtungen, die ich in dieser Richtung während der chemotaktischen Studien über diese Chytridiacee gemacht habe, sprechen desgleichen für diese Annahme. Daß die Zoosporen der Saprolegniaceen des phototaktischen Reaktionsvermögens völlig entbehren, ist schon seit langem bekannt und von Strasburger¹⁾ und andern bestätigt worden.

Bei den Zoosporen von *Pseudolpidium Saprolegniae* habe ich keine phototaktischen Gruppierungen beobachten können; ihnen scheint desgleichen die phototaktische Reizbarkeit abzugehen.

Kapitel XIV. Allgemeine und biologische Betrachtungen.

Wir sind zweifellos berechtigt, die Fähigkeit der Organismen, chemotaktische Reaktionen auszuführen, als eine äußerst vorteilhafte Anpassung aufzufassen. Sie setzt in unserem Fall die

1) Strasburger, a. a. O., S. 19; vgl. Cohn, Bot. Ztg., 1867, S. 171, und ferner A. Fischer, a. a. O., Bd. XIII, 1882, S. 297.

Schwärmsporen der Parasiten in den Stand, mit Erfolg ihre Opfer aufzusuchen und bringt dadurch die sich entwickelnde, heterotrophe Pflanze auf Kosten des Wirtes in möglichst günstige Lebensbedingungen. Allerdings sind die untersuchten Pilze mit Ausnahme des *Pseudolpidium Saprolegniae* auch befähigt, eine saprophytische Lebensweise zu führen, indem sie ihre Wirte auch in totem Zustande befallen, doch davon später.

Mit einer an die Gewißheit grenzenden Wahrscheinlichkeit können wir behaupten, daß es allein die aus den Pollenkörnern herausdiffundierenden, nativen Proteinstoffe sind, welche die Zoosporen von *Rhiz. pollinis* zu chemotaktischen Reizbewegungen veranlassen. Bei *Rhiz. sphacrotheca* üben außerdem noch die Produkte der regressiven Eiweißmetamorphose eine chemotaktische Reizbarkeit auf die betreffenden Schwärmsporen aus. Daß tatsächlich von den Pollenzellen in relativ großer Menge Proteinkörper abgegeben werden, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man ein Quantum Pollenstaub 24 Stunden lang bei gewöhnlicher Temperatur mit einer kleinen Menge Leitungswassers auszieht, abfiltriert und die Molischsche Eiweißreaktion zur Anwendung bringt¹⁾. Die Reaktion ist außerordentlich schön und zeugt von der reichlichen Menge der abgegebenen Proteinstoffe.

Dieser Austritt von Proteinstoffen wird nun dadurch außerordentlich begünstigt, daß die Koniferenpollenkörner als Sexualzellen anemophiler Pflanzen ungeschützt und sehr empfindlich gegen die Benetzung mit Wasser sind²⁾. Wenn ich auch ein Platzen der Pollenzellen, wie es z. B. für *Zea Mays* charakteristisch ist, nur in ganz seltenen Fällen beobachtet habe, so kann doch, wie Lidforss³⁾ hervorhebt, der Tod gegen Wasser empfindlicher Pollenkörner auch durch Entstehung sehr kleiner Löcher in der Membran und durch allmähliches Aufreißen herbeigeführt werden. Letzteres Verhalten kommt jedenfalls dem Koniferenpollenstaub zu, obwohl ich spezielle Angaben hierüber nicht habe finden können.

Wenden wir uns dem *Pseudolpidium Saprolegniae*, dem streng auf *Saprolegnia* beschränkten Parasiten, zu. Auch diese Chytridiacee

1) Vgl. Verworn, Allgemeine Physiologie, 1909, V. Aufl., S. 115, Anm. 5; vgl. ferner B. Lidforss, Weitere Beiträge zur Biologie des Pollens, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXXIII, 1899, S. 304 (Eiweißgehalt des anemophilen Pollens) u. bes. S. 306.

2) Vgl. Lidforss, Zur Biologie des Pollens. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XXIX, 1896, S. 7.

3) Lidforss, a. a. O., S. 7.

ist gegen Proteinstoffe (inkl. Enzyme) und ihre Spaltprodukte, wie Peptone, Amidosäuren chemotaktisch außerordentlich empfindlich. Wir werden also den Schluß ziehen dürfen, daß es diese oder chemisch verwandte Körper sind, welche von dem Protoplasma der *Saprolegnia*-Hyphen in das umgebende Medium abgegeben werden und die Zoosporen des Parasiten zu chemotaktischen Reizbewegungen veranlassen. Die Richtigkeit dieser Annahme findet in den tatsächlichen Beobachtungen eine gute Stütze, denn es ist nachgewiesen worden, daß die lebenden Zellen von Pilzen unter normalen Umständen neben verschiedenen Körpern vielfach auch Eiweißstoffe, Enzyme, Peptone usw. in die umgebende Flüssigkeit exosmotisch abgeben¹⁾.

Schon Fischer²⁾, der die ersten, eingehenden Untersuchungen über die verschiedenen Parasiten der Saprolegniaceen gemacht hat, spricht die Vermutung aus, daß es die Stoffwechselprodukte der Saprolegniaceen seien, welche die Schwärmsporen der Parasiten veranlassen, sich auf ihren Wirtspflanzen festzusetzen. Die Erscheinung aber des streng beschränkten Parasitismus, wonach also der Schmarotzer zur Erlangung seiner Vegetationsbedingungen auf eine ganz bestimmte Gattung angewiesen ist, wie z. B. *Pseudolpidium* (*Olpidiopsis*) auf *Saprolegnia*, *Rozella simulans* auf *Achlya* usw. sucht Fischer³⁾ durch die Abscheidung ganz spezifischer Stoffwechselprodukte zu erklären, die allein imstande seien, mit den Schwärmsporen des für die betreffende *Saprolegnia*-Gattung charakteristischen Parasiten in Wechselwirkung zu treten. Diese Annahme dürfte aber wohl nicht richtig sein, denn Fischer⁴⁾ hat selbst beobachtet, daß zahlreiche *Saprolegnia*-Schläuche von den Schwärmern des Parasiten *Rozella simulans*, der nur auf *Achlya* schmarotzt, bedeckt wurden, allerdings ein Eindringen der Zoosporen hat er niemals nachweisen können. Diese Tatsache zeigt aber, daß die parasitischen Schwärmsporen nicht allein durch die Stoffwechselprodukte ihrer spezifischen Nährpflanze, sondern auch von den exosmotisch abgegebenen Stoffen der anderen Saprolegniaceen chemotaktisch gereizt werden.

1) Vgl. W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, I. Bd., 1897, 2. Aufl., S. 81.

2) Fischer, Untersuchungen über die Parasiten der Saprolegniaceen. Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XIII, 1882, S. 286.

3) Fischer, a. a. O., S. 306, 307.

4) Fischer, a. a. O., S. 303.

Wir werden somit berechtigt sein, annehmen zu dürfen, daß auch die Schwärmsporen der übrigen auf Saprolegnien parasitierenden Chytridiaceen, wie *Rozella*, *Woronina* usw. durch Protein- stoffe (inkl. Enzyme), Peptone und Amidverbindungen zu chemo- taktischen Reizbewegungen veranlaßt werden. Weshalb aber z. B. *Pseudolpidium* allein befähigt ist, in die für den Pilz spezifische *Saprolegnia*-Nährpflanze einzudringen, wird auf die den strengen Parasitismus bedingenden Wechselbeziehungen zwischen Wirt und Schmarotzer zurückzuführen sein. Vielleicht spielen hierbei auch mehr äußere Momente eine wichtige Rolle, wie z. B. die ver- schiedenartige Beschaffenheit und Durchdringbarkeit der Membran der einzelnen Nährpflanzen.

Analogen Erscheinungen der Anpassung begegnen wir be- kanntlich massenhaft in der Natur. So scheiden die weiblichen Organe großer Gruppen von Pflanzen dasselbe Reizmittel ab, durch das alle Spermatozoiden dieser Gruppe angelockt werden. Eine Befruchtung kommt jedoch fast nie zwischen fremden Arten zustande¹⁾.

Die Beobachtung Fischers, daß junge *Saprolegnia*-Schläuche besonders reichlich und rasch von den parasitischen Schwärmern des *Pseudolpidium* befallen werden, habe auch ich regelmäßig wahrnehmen können und möchte sie auf die durch das Wachstum stark gesteigerte Produktion der chemotaktisch wirksamen Stoff- wechselprodukte und die leichtere Durchdringbarkeit der zarten Zellmembran zurückführen.

In einem Punkte aber muß ich den Angaben Fischers auf Grund eigener Beobachtungen widersprechen. Er hebt nämlich besonders hervor, daß die schwärmenden Zustände der Sapro- legniaceen-Zoosporen niemals von den parasitischen Schwärmern befallen würden²⁾. Ich habe nun öfters konstatieren können, wie die *Saprolegnia*-Zoosporen (2. Phase) von den *Pseudolpidium*- Schwärmern lebhaft von allen Seiten verfolgt wurden. Durch das häufige Anprallen der Parasiten war bald eine deutliche Ver- minderung der Bewegungsschnelligkeit der verfolgten Zoosporen wahrzunehmen, bis schließlich völlige Sistierung eintrat. In diesem Moment stürzten förmlich die zahlreichen Parasiten auf ihr Opfer und setzten sich an ihm fest. Wenige Minuten darauf konnte ich

1) Vgl. W. Pfeffer, Untersuchungen usw., 1884, Bd. 1, S. 421, u. C. Vögler, Bot. Ztg., 1891, S. 693.

2) Vgl. Fischer, a. a. O., S. 301.

schon eine starke Deformierung der Zoospore erkennen. Den weiteren Verlauf dieser Erscheinung habe ich nicht beobachtet. Mir schien es aber, als ob die Parasiten in die *Saprolegnia*-Zoospore eindringen.

Wir sehen also, daß auch die Zoosporen der *Saprolegnia* vermöge ihrer Stoffwechselprodukte bei den *Pseudolpidium*-Schwärmern chemotaktische Reizbewegungen auszulösen imstande sind.

Aus meinen Studien über die Chemotaxis der *Saprolegnia*-Zoosporen geht zur Genüge hervor, daß es bei weitem nicht allein die Phosphorsäure und ihre Salze sind, welchen eine chemotaktische Reizwirkung auf diese Schwärmsporen gebührt.

Die chemotaktische Wirkung des Fleischextraktes und der faulenden Tierleichen schreibt Stange¹⁾ bekanntlich nur ihrem Gehalt an Phosphaten zu. Er hat zwar auch eine größere Zahl organischer Verbindungen, darunter das Leucin²⁾, auf ihre chemotaktische Wirkung hin geprüft, jedoch alle ohne Erfolg. Auf welche Ursache es zurückzuführen ist, daß Stange die ausgezeichnete chemotaktische Wirkung des Leucins mit seiner außerordentlich tiefen Reizschwelle vollkommen entgangen ist, vermag ich nicht anzugeben. Vermutlich hat er es mit sehr unempfindlichem Schwärmermaterial zu tun gehabt. Die Wahrscheinlichkeit hierfür ist nicht gering, da auch seine Reizschwellenwerte für die Phosphorsäure und ihre Salze erkennen lassen, daß er mit chemotaktisch inkonstantem Material gearbeitet hat.

Wenn Stange³⁾ infolge seiner Befunde behaupten konnte, daß es nicht die zur Ernährung dieser Organismen notwendigen stickstoff- und kohlenstoffhaltigen, organischen Verbindungen seien, von denen die chemotaktische Reizwirkung ausgehe, so muß auf Grund der vorliegenden Studien genau die gegenteilige Behauptung ausgesprochen werden. Denn es bilden gerade die N- und C-haltigen Eiweißkörper (inkl. Enzyme) und ihre Spaltprodukte die vorzüglichsten Reizstoffe, für die parasitierenden resp. saprophytisch lebenden, also heterotrophen Saprolegniaceen.

Das gleiche gilt für die obengenannten, ebenfalls heterotrophen Chytridiaceen.

Ziehen wir die ungemein niedrigen Reizschwellenwerte für die Proteinstoffe, Enzyme, Albumosen usw. und ihre außerordentlich

1) Stange, a. a. O., Bot. Ztg., 1890, Bd. 48, S. 139.

2) Stange, a. a. O., S. 124.

3) Stange, a. a. O., S. 138, 139.

hohen Molekulargewichte in Betracht, so leuchtet ein, daß diesen Körpern bei Anwendung molekularer Lösungen bei weitem tiefere Reizschwellenwerte zukommen würden, als wie wir sie für die Phosphorsäure und ihre Salze ermittelt hatten, d. h. diesen hochmolekularen Verbindungen gebührt ein spezifisch höherer Reizwert als den genannten, anorganischen Salzen.

Aber nicht nur vom ernährungsphysiologischen Standpunkte aus, sondern auch aus rein physikalischen Gründen erweisen sich die sehr langsam diffundierenden und oft schwer löslichen Protein-
stoffe und ihre Derivate für die Zoosporen der wasserbewohnenden Saprolegniaceen und Chytridiaceen als außerordentlich zweckmäßige Chemotaktika, denn das Konzentrationsgefälle erhält sich bei ihnen bedeutend länger als bei den sehr rasch diffundierenden Phosphaten. Die Beobachtungen legen davon Zeugnis ab.

Haben die Schwärmsporen vermöge ihrer topo-chemotaktischen Reizbewegungen die günstigsten Bedingungen zu ihrer Weiterentwicklung gefunden, so ist es für sie zweifellos von großem Vorteil, daß sie auch an dem Orte der optimalen Reizung zur Ruhe kommen. Dieser Reizwirkung, welche mit der Chemotaxis nichts zu tun hat, ist zuerst von Rothert¹⁾, der sie an den *Saprolegnia*-Zoosporen bei der Reizung durch Fleischextrakt nachwies, nähere Beachtung zuteil geworden; er bezeichnet sie mit Chemokinesis. Ich habe reichlich Gelegenheit gehabt, diese Erscheinung des vorzeitigen Zurruhekommens der Zoosporen nicht nur bei der Chemotaxis auf Fleischextrakt, sondern auch bei fast allen chemotaktischen Ansammlungen durch Protein-
stoffe, Enzyme und die Eiweißderivate beobachten zu können. Die Abkürzung der normalen Schwärmdauer geht parallel mit der Konzentration des angewandten Chemotaktikums. So kommen die *Saprolegnia*-Zoosporen vor der Mündung einer Kapillare mit z. B. 1 proz. Pepsinlösung sofort zur Ruhe; aber auch mäßige und selbst schwache Konzentrationen guter Chemotaktika lassen die kinetischen Reizerscheinungen deutlich erkennen.

Die gleichen Beobachtungen bezüglich der Abkürzung der Schwärmdauer durch die Chemotaktika gelten für die untersuchten Chytridiaceen-Zoosporen. Die Frage, ob die deutlich gesteigerte Beweglichkeit der Zoosporen, wie ich sie sehr oft zu Beginn der chemotaktischen Ansammlungen habe wahrnehmen können, auch

1) Rothert, a. a. O., Flora, 1901, Bd. 88, S. 373, 374.

auf chemokinetische Reizwirkungen zurückzuführen seien, will ich hiermit nur ausgesprochen haben.

So viel ist aber gewiß, daß in unseren Fällen von den Reizstoffen außer der chemotaktischen zugleich eine die Bewegung der Zoosporen vorzeitig sistierende Reizwirkung ausgeht.

Zum Schluß dieser Betrachtungen will ich mich noch speziell dem *Rhiz. pollinis* zuwenden und zunächst die Frage nach der Infektion näher ins Auge fassen.

Die naheliegende Vermutung, daß man das eigentliche, gewöhnliche Substrat des Pilzes nicht in dem Pinuspollenstaub zu suchen habe, sondern in anderen pflanzlichen, vielleicht auch tierischen Zellen wurde schon von Zopf¹⁾ geäußert, da man die Keime des *Rhiz. pollinis* auch aus Gewässern isolieren kann, in deren Umgebung gar keine Koniferen zu finden sind. Diese Vermutung wurde von Zopf selbst durch seine Versuche zur Tatsache erhoben, denn er konstatierte, daß frische Pollenkörner von *Phlox*, *Tropaeolum majus*, *Helianthus annuus*, *Populus nigra* und *Amaryllis formosissima*, die er in eine mit *Rhiz. pollinis* infizierte Pinuspollenkultur einsäte, sehr reichlich von dem Parasiten befallen wurde. Ich habe die Infektionsversuche desgleichen mit Erfolg auf den Pollenstaub von *Phyllocactus* und verschiedener Gramineen ausgedehnt. Die Pollenkörner letzterer eignen sich aber nur schlecht als Substrat für den Parasiten, da ein großer Prozentsatz von ihnen bei der Berührung mit Wasser platzt.

Ähnliche Versuche hat Zopf mit Sporen von *Trichia* und *Lycopodium* angestellt, indessen mit negativem Erfolge. Ebenso scheiterten meine Bemühungen, *Rhiz. pollinis* auf Moossporen von *Funaria hygrometrica* zu kultivieren. Bringt man diese in einen schwärmerhaltigen Tropfen ein, so findet zwar sofort um die Sporen herum eine deutliche Ansammlung statt, die aber sehr bald wieder verschwindet. Gelegentlich kamen auch mehrere Schwärmer auf der Spore zur Ruhe, ohne sich jedoch zu entwickeln. Selbst nach mehreren Tagen vermochte ich nicht ein einziges Sporangium auf den Sporen nachzuweisen. Die Unmöglichkeit der Infektion ist höchstwahrscheinlich auf die Beschaffenheit der Exine der Moossporen zurückzuführen, welche dem Eindringen des feinen Keimschlauches des Parasiten unüberwindliche Schwierigkeiten entgegensetzt. Jedoch könnte die Ursache für das Ausbleiben der Infektion

1) W. Zopf, a. a. O., Über einige niedere Algenpilze usw., S. 13, 14.

auch in der unpassenden, stofflichen Beschaffenheit der Moossporen gegeben sein.

Da sich die Infektionsversuche Zopfs lediglich auf die Pollenzellen verschiedener Angiospermen-Familien beschränken, so habe ich mir die Frage vorgelegt, ob auch andere, beliebige, pflanzliche Zellen von dem Parasiten infiziert werden.

Zu diesem Zwecke brachte ich die feinen Wurzelhaare junger *Sinapis*-Keimlinge, ferner Algenfäden und Moosprotonema an die Oberfläche kräftig gedeihender *Rhizophidium*-Kulturen und prüfte alle 24 Stunden, ob eines der Objekte infiziert sei. Selbst nach 4 Tagen konnte ich an ihnen trotz sorgfältigster Durchmusterung nicht ein einziges volles oder entleertes Zoosporangium nachweisen. Das Resultat war also völlig negativ. Nun wiederholte ich die Versuche mit dem gleichen Material, das aber vorher durch mäßige Hitze (55° C.) resp. Äther getötet worden war. Nach schon 20 Stunden ergab die Untersuchung, daß die meisten Objekte, besonders die Wurzelhaare, infiziert waren. Im allgemeinen aber mußte die Infektion als schwach bezeichnet werden, auch die Größe der reifen Sporangien ließ im Verhältnis zu denen auf dem Pinuspollen sehr zu wünschen übrig. Diese Versuche lehren also, daß nur die toten Zellen der Wurzelhaare, Algen usw. der Infektion fähig sind, dagegen nicht die lebendigen.

Wir dürfen daraus den Schluß ziehen, daß dem Pilze als gewöhnliches Nährsubstrat abgestorbene Pflanzenzellen der verschiedensten Art dienen. *Rhiz. pollinis* ist also vorwiegend Saprophyt und nur gegebenenfalls Parasit.

Bei dem ausgesprochenen Sauerstoffbedürfnis der Zoosporen werden wir den eigentlichen Vegetationsort des Pilzes weniger auf dem Boden als vielmehr an der Oberfläche der Gewässer zu suchen haben. Die phototaktische Sensibilität der Zoosporen wird hierbei die aerotaktischen Bewegungen nicht unwesentlich unterstützen.

Daß die lebenden pflanzlichen Zellen mit Ausnahme der Pollenzellen nicht infiziert werden, muß vermutlich auch hier der Beschaffenheit der Membran und der zu geringen Menge der vom lebenden Protoplasten exosmotisch abgegebenen, chemotaktisch reizenden Substanzen zugeschrieben werden. Es werden also erst mit dem Tode dieser Zellen die für die Infektion erforderlichen Bedingungen hergestellt, mögen sie in einer physikalischen oder chemischen Veränderung der Membran oder in dem reichlicheren

Austritt der chemotaktisch reizenden Stoffe bestehen. Für diese Annahme spricht auch der Umstand, daß durch trockne Hitze getöteter Pinuspollenstaub eine unverhältnismäßig stärkere Infektion erleidet, als frische lebende Pollenkörner. Naturgemäß ist die Größe der Sporangien, die oft zu 10—15 Stück ein Pollenkorn befallen haben, sehr gering gegenüber den normalen Dimensionen.

Schon an früherer Stelle haben wir Gelegenheit gehabt, auf die dickwandigen, den Zoosporangien ähnlichen Dauersporen von *Rhiz. pollinis* hinzuweisen. Ohne Zweifel repräsentieren sie Formen-zustände, die von dem Pilze in Ermangelung günstiger Bedingungen für sein vegetatives Stadium angenommen werden.

Als Faktor, der die Bildung von Dauersporen fördern könnte, wäre in erster Linie niedrige Temperatur zu nennen.

Zur Prüfung dieser Frage wurde eine frische, üppig gedeihende *Rhizophidium*-Kultur in zwei Hälften geteilt, wovon die eine an demselben Ort (bei 17° C.) belassen, während die andere in den Eisschrank bei 6° C. gestellt wurde. Nach ca. 30 Stunden war die Kultur bei 17° C. noch vollkommen normal und ohne jede Dauerspore, dagegen zeigten sich die Pinuspollenkörner der Kultur im Eisschrank fast ausschließlich mit dickwandigen Dauersporen besetzt. Wir sehen also, daß die Bildung von Dauersporen durch niedrige Temperaturen außerordentlich begünstigt wird. Ebenso wird sich auch in der Natur mit dem Eintritt der kälteren Jahreszeit die gleiche Tendenz geltend machen. Bringt man diese Kulturen nach erfolgter Dauersporenbildung wieder zurück in höhere Temperaturen (17° C.), so kann man nach 1 bis 2 Tagen konstatieren, daß die Dauersporen größtenteils verschwunden sind und sich in den vegetativen Zustand zurückverwandelt haben. Also stellen diese Dauersporen vorübergehende Formenzustände dar, die nach Maßgabe der Verhältnisse gebildet oder aufgehoben werden können.

Aber nicht nur äußere, sondern auch innere Faktoren können auf die Bildung von Dauersporen bestimmend einwirken. So muß die bei fortgesetzter Kultur immer deutlicher werdende Tendenz zur Bildung von Dauersporen auf innere Ursachen zurückgeführt werden, da augenscheinlich die äußeren Bedingungen für die vegetative Vermehrung die denkbar günstigsten sind. Offenbar ist es ein gewisses Bedürfnis nach Ruhe, das die Zoosporen infolge der durch die anhaltende, vegetative Vermehrung bedingten, zahl-

reichen Kernteilungsprozesse veranlaßt, in den Dauerzustand überzugehen.

Im Gegensatz zu *Rhiz. pollinis* sind — wie schon an anderer Stelle hervorgehoben — Dauersporen an *Rhiz. sphaerotheca* noch niemals beobachtet worden. Es erscheint nach meinen Ergebnissen an *Rhiz. pollinis* nicht ausgeschlossen, daß in diesem Fall die Bildung von Dauersporen gleichfalls durch niedrige Temperatur hervorgerufen werden kann. Leider habe ich der Prüfung dieser Frage aus Mangel an Material nicht nähere treten können.

Besonders bemerkenswert ist noch, daß die Zoosporen von *Rhiz. sphaerotheca* nicht nur gegen die nativen Proteinkörper, sondern auch gegen die Produkte ihrer regressiven Metamorphose außerordentlich empfindlich sind, die sich gegenüber den Zoosporen von *Rhiz. pollinis* völlig indifferent verhalten.

So vermochte ich in dem einer Rohkultur entstammenden Tropfen, der gleichzeitig Zoosporen von *Rhiz. pollinis* und *Rhiz. sphaerotheca* in reichlicher Menge enthielt, durch Einlegen einer Kapillare, die mit einer 0,1proz. Peptonlösung beschickt war, eine Trennung der beiden Schwärmsporensorten zu erzielen. Denn die Zoosporen von *Rhiz. sphaerotheca* schwärmten massenhaft in die Kapillare ein, während die von *Rhiz. pollinis* durch die Anwesenheit des Peptons gar nicht beeinflußt wurden. Zum Zwecke von Reinkulturen kann dieses Verfahren gute Dienste leisten.

Wenn Zopf¹⁾ seinerzeit das *Rhiz. sphaerotheca*, welches ihm zuerst mit *Rhiz. pollinis* identisch zu sein schien, als spezifisch hinstellte, so ist nach meinen Befunden in reizphysiologischer Beziehung die Aufstellung dieser Spezies vollständig gerechtfertigt. — —

In einem vorstehenden Kapitel haben wir die physiologische Qualität der Chemotaxis der untersuchten Schwärmsporen als topistisch charakterisiert. Da, wie Pfeffer²⁾ meint, die topochemotaktische Reizbarkeit für die Bewegung von Organismen nach bestimmten Zielen hin gewisse Vorteile und größere Sicherheit gewährt als die phobistische, so erscheint die Ausbildung der topotaktischen Reizbarkeit der parasitischen resp. saprophytischen Pilzschwärmsporen durchaus vorteilhaft. Denn dadurch, daß die Zoosporen die Richtung des stärksten Reizes wahrzunehmen ver-

1) W. Zopf, a. a. O., Über einige niedere Algenpilze, S. 16, 17.

2) W. Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 1904, II. Bd., S. 759.

mögen, so werden sie nach dem Ort der optimalsten Lebensbedingungen geleitet, d. h. zu ihrem Nährsubstrat.

Aus Kapitel III entnehmen wir folgende wichtige Resultate:

Die Zoosporen von *Rhiz. pollinis* sind nur durch genuine Proteinkörper, die Schwärmsporen von *Rhiz. sphaerotheca*, *Pseudolpidium Saprolegniae* und *Saprolegnia* sowohl durch genuine Proteinkörper als durch die Produkte der regressiven Eiweißmetamorphose chemotaktisch reizbar, die *Saprolegnia*-Schwärmer außerdem noch durch die Phosphat-Ionen.

Ziehen wir nun in Betracht, daß für die Spermatozoiden aller untersuchten Farne die Äpfelsäure, für diejenigen der Laubmoose Rohrucker das spezifische Reizmittel darstellt, und nach den Resultaten Lidfors's den Proteinkörpern die Rolle der spezifischen Chemotaktika für die Lebermoos-Spermatozoiden zuzufallen scheint, so dürfen wir wohl berechtigt sein, anzunehmen, daß auch die Zoosporen aller übrigen Chytridineen¹⁾ und Saprolegnieen²⁾ — oder wenigstens sehr vieler — durch Proteinstoffe resp. ihre Derivate chemotaktisch gereizt werden.

Ich denke vor allem an die Zoosporen der Olpidiaceen, von denen sehr viele Vertreter in den Zellen von Süßwasseralgen parasitieren, aber auch einige in den Parenchymzellen von Landpflanzen leben, z. B. *Olpidium Brassicae* in Kohlkeimlingen. Ferner vermute ich, daß auch die Schwärmzellen vieler Synchytriaceen³⁾, speziell die von *Synchytrium Taraxaci*, dem Parasiten von *Taraxacum officinale*, durch Proteinkörper chemotaktisch gereizt werden. Für die zur gleichen Familie gehörigen Gattungen *Rozella* und *Woronina*, die auf Saprolegniaceen leben, hatten wir bereits die große Wahrscheinlichkeit des gleichen reizphysiologischen Verhaltens betont. Dasselbe gilt für die Rhizidiaceen-Zoosporen, von denen zwei Vertreter zur Untersuchung gelangten.

1) Vgl. A. Engler u. K. Prantl, Die natürlichen Pflanzenfamilien usw., I. Teil, 1. Abtlg., 1897, S. 64.

2) Vgl. A. Engler u. K. Prantl, a. a. O., S. 93.

3) Vgl. S. Kusano, A contribution to the cytology of *Synchytrium* and its hosts, The Bulletin of the College of Agriculture, Tokyo, Imperial University, Vol. VIII, No. 2, 1909, S. 84, wo gezeigt ist, daß Auszüge der Wirtspflanze von *Synchytrium Pucerrariae* und *Synchytrium decipiens* auf die Schwärmsporen dieser Synchytrien chemotaktisch wirken.

Endlich möchte ich noch die Vermutung äußern, daß wahrscheinlich auch die Schwärmer — und vielleicht auch die Spermatozoiden — der Monoblepharideen¹⁾, einer den Saprolegnien sehr nahestehenden Familie, durch eine Chemotaxis auf Proteinkörper und ihre Derivate ausgezeichnet sind.

Die Zoosporen von *Achlya* und *Aphanomyces* wurden in den wesentlichsten Punkten auf ihr chemotaktisches Verhalten hin geprüft. Soweit in dieser Richtung meine orientierenden Versuche reichen, habe ich keine prinzipiellen Abweichungen zu konstatieren vermocht. Nur muß ich hervorheben, daß die zu Gebote stehenden *Achlya*-Zoosporen — auch in jungem Stadium — sich bei weitem weniger chemotaktisch empfindlich zeigten, als die Zoosporen der *Saprolegnia mixta*. Diese geringere Reizempfindlichkeit trat besonders deutlich gegenüber den Phosphat-Ionen zutage. Die Zoosporen von *Aphanomyces* dagegen ließen die gleich hohe Reizempfindlichkeit wie die *Saprolegnia mixta*-Schwärmersporen erkennen.

Kapitel XV. Zusammenfassung der Hauptresultate.

Den vorliegenden Untersuchungen entnehmen wir folgende, wichtigere Punkte:

1. Die Zoosporen von *Rhizophidium pollinis* werden allein durch die genuinen Proteinkörper zu chemotaktischen Reizbewegungen veranlaßt. Für die Schwärmersporen von *Rhizophidium sphaerotheca*, *Pseudolpidium Saprolegniac* und *Saprolegnia mixta* sind dagegen nicht nur die genuinen Eiweißstoffe, sondern auch die Produkte der regressiven Eiweißmetamorphose und verwandte N-haltige Verbindungen ausgezeichnete Reizstoffe. Auf die *Saprolegnia*-Zoosporen üben außerdem noch einen chemotaktischen Reiz die Phosphat-Ionen aus, gegen die sich die übrigen untersuchten Zoosporen indifferent verhielten.
2. Die Chemotaktika lösen bei den Zoosporen einen „räumlich orientierenden“ Reiz aus. Die Reaktion ist also ihrer physiologischen Qualität nach topo-taktisch.

1) Vgl. A. Engler u. K. Prantl, a. a. O., S. 106.

3. Die Chytridiaceen- und Saprolegniaceen-Zoosporen scheinen keine osmotaktische Reizbarkeit zu besitzen.
4. Die freien Säuren und Alkalien wirken vermöge ihrer abdissoziierten H'- resp. OH'-Ionen nur negativ chemotaktisch. Die Stärke der Repulsion geht parallel mit dem Grade der Dissoziation. Bei entsprechender Steigerung der Konzentration eines positiv wirkenden Chemotaktikums schlägt die Reaktion in eine negativ chemotaktische um. Der Reiz wird in beiden Fällen in negativ topo-taktischer Weise beantwortet. Die Reizwirkungen der H'- und OH'-Ionen verhalten sich auf die *Rhizophidium pollinis*-Zoosporen ungefähr wie 2 : 1 und auf die *Saprolegnia mixta*-Zoosporen wie 1 : 1.
5. Die Schwermetall-Ionen verhalten sich in chemotaktischer Beziehung indifferent. Sehr wahrscheinlich sind also die Zoosporen nicht mit der Fähigkeit ausgestattet, durch die Schwermetall-Ionen gereizt zu werden.
6. Die Reizunterschiedsschwelle beträgt für die Zoosporen von *Rhizophidium pollinis* 30, für die von *Rhizophidium sphaerotheca* und *Pseudolpidium Saprolegniae* 15 und für die Zoosporen von *Saprolegnia mixta* in bezug auf die genuinen Proteinkörper und ihre Derivate 5. Dagegen ist zur Erzielung der Reizunterschiedsschwelle bezüglich der Phosphat-Ionen eine 50-fache Steigerung des Reizstoffes nötig.
7. Die Proteinkörper (inkl. ihrer Derivate) und die Phosphat-Ionen üben auf die *Saprolegnia*-Zoosporen zwei, voneinander unabhängige, spezifische Reize aus.
8. Die Zoosporen von *Rhizophidium pollinis* sind sehr empfindlich gegen giftige Bestandteile der Atmosphäre. Sie lassen bei andauernder Kultur trotz günstigster Bedingungen eine Abnahme ihrer chemotaktischen Reizempfindlichkeit erkennen. Desgleichen wirken Temperaturen unterhalb und oberhalb des Optimums abstumpfend auf die chemotaktische Sensibilität ein, besonders bei den *Saprolegnia*-Zoosporen.
9. Die Zoosporen von *Rhizophidium pollinis* und *Rhizophidium sphaerotheca* sind außerordentlich empfindlich gegen Sauerstoffmangel.
10. Die chemotaktische Empfindlichkeit läßt sich bei den Zoosporen von *Rhizophidium pollinis* wohl durch Äther und

Alkohol aufheben, nicht aber durch Chloroform. Dagegen tritt bei den Zoosporen von *Rhizophidium sphaerotheca* die Aufhebung der chemotaktischen Sensibilität sowohl durch Äther als durch Chloroform früher ein, als die Sistierung der Ortsbewegung. Die Zoosporen von *Rhizophidium sphaerotheca* sind für die Anästhesie außerordentlich empfänglich, da sich schon durch 0,003 Mol Chloroform (= 5 % C.-W.) und 0,042 Mol (= 5 % Ä.-W.) Äther völlige Aufhebung der chemotaktischen Empfindlichkeit erzielen läßt. — Außer den Narcotica wirken auch Elektrolyte schon in sehr schwacher Konzentration auf die Reizempfindlichkeit stark abstumpfend, die Nichtelektrolyte dagegen erst in höherer Konzentration.

11. Die Zoosporen von *Rhizophidium pollinis* sind zu phototaktischen Reizbewegungen befähigt; allerdings ist diese Eigenschaft nicht sehr konstant.
12. Die Bildung von Dauersporen wird bei *Rhizophidium pollinis* durch niedrige Temperaturen gefördert. Das eigentliche Nährsubstrat des Pilzes ist weniger in Pollenzellen, als vielmehr in beliebigen, abgestorbenen pflanzlichen und vielleicht auch tierischen Zellen zu suchen.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Botanischen Institut der Universität Leipzig ausgeführt. Es drängt mich, an dieser Stelle meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geheimen Rat Prof. Dr. Pfeffer für die Anregung zu dieser Arbeit und für die wohlwollende Unterstützung, die er mir ständig hat zuteil werden lassen, meinen herzlichsten Dank auszusprechen. Ebenso fühle ich mich zu Dank verpflichtet Herrn Dr. Gießler und Herrn Professor Dr. Miede.
