



LUND UNIVERSITY

Über die Chemotaxis eines Thiospirillum.

Lidforss, Bengt

Published in:
Berichte der Deutschen botanischen Gesellschaft

1912

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):
Lidforss, B. (1912). Über die Chemotaxis eines Thiospirillum. *Berichte der Deutschen botanischen Gesellschaft*, 30, 262-274. <http://www.biodiversitylibrary.org/item/27152#page/268/mode/1up>

Total number of authors:
1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

III. Diese Pneumathoden sind nach dieser anatomischen Charakteristik als ein besonderer Typus zu betrachten, die den Gasaustausch nebst den Spaltöffnungen vorwiegend auf epidermoidalem Wege vermittelt des Durchlüftungsepithels besorgen.

Wien, pflanzenphysiologisches Institut der k. k. Universität.

Erklärung der Tafel XI.

- Fig. 1. Photographie eines Stammstückes von *Begonia vitifolia* Schott. mit Pneumathoden. Nat. Größe.
 Fig. 2. Querschnitt durch eine Pneumathode. (Vergr. 100.)
 Fig. 3. Eine Partie des Querschnittes. D == Durchlüftungsepithel.
 Fig. 4. Thylloide Verstopfung der Spaltöffnung.
 Fig. 5. Normale Spaltöffnung mit schwach ausgebildeter Atemhöhle.
 Fig. 6. Normale Spaltöffnung mit durch Nebenzellen verschlossener Spalte.
 Fig. 7. Korkbildung unter einer abgestorbenen Spaltöffnung.
 Fig. 3—7 Vergr. 550.

33. Bengt Lidforss: Über die Chemotaxis eines Thiospirillum.

(Eingegangen am 22. Mai 1912.)

Während die schwefelführenden Purpurbakterien schon wiederholt auf ihre chemotaktische Reizbarkeit geprüft wurden¹⁾, fehlen bis jetzt alle Angaben über das Vorkommen resp. die Beschaffenheit einer solchen Reizbarkeit bei den farblosen Schwefelbakterien. Mit Rücksicht auf die eigentümliche und noch nicht völlig aufgeklärte Sonderstellung, welche die letzterwähnten Organismen in ernährungsphysiologischer Beziehung einnehmen, wäre eine Ausfüllung dieser Lücke unseres Erachtens sicherlich erwünscht; denn wenn es auch keineswegs erlaubt ist, aus der chemotaktischen Reizwirkung eines Körpers ohne weiteres auf seinen Wert als

1) MIYOSHI, Studien über die Schwefelbakterien der Thermen etc. Journ. of the College of Science, Tokyo, Vol. X, Pt. II (1897); MOLISCH, Die Purpurbakterien (Jena 1907).

Nährstoff zu schließen, so steht es doch fest, daß im allgemeinen gewisse Beziehungen zwischen Nährwert und chemotaktischer Reizwirkung einer bestimmten Verbindung vorhanden sind. Nun ist es bekanntlich gerade in bezug auf die farblosen Schwefelbakterien, deren Reinkultur bis jetzt niemandem gelungen ist, noch immer eine offene Frage, ob sie gänzlich ohne organische Nährstoffe auskommen können. Letzteres ist ja bei den Nitromonaden sowie bei den von LIESKE kürzlich rehabilitierten Eisenbakterien sicher der Fall; in bezug auf die farblosen Schwefelbakterien, die nach den berühmten Untersuchungen WINOGRADSKYs¹⁾ ihre Bau- und Betriebsenergie in erster Linie durch die Oxydation des Schwefelwasserstoffs gewinnen, wurde WINOGRADSKY zu dem Schlusse geführt, daß sie außerordentlich wenig von organischen Substanzen zur Unterhaltung ihres Lebens brauchen und daß sie als Kohlenstoffquelle Substanzen benutzen können, welche das Leben anderer Organismen nicht zu erhalten vermögen. Über die chemische Qualität dieser organischen Verbindungen konnte WINOGRADSKY nichts bestimmtes aussagen, nur gelegentlich erwähnt er, daß Wasser der Weibacher Schwefelquelle, worin farblose Schwefelbakterien sehr üppig gedeihen, kleine Mengen von Ameisen- und Propionsäure enthält, eine Angabe, die dann später in die Literatur Eingang gefunden hat.

Im vergangenen Winter bekam ich zufällig größere Mengen eines farblosen Schwefelbakteriums, das sowohl durch seine Größe als seine überaus lebhafte Bewegung geradezu zu chemotaktischen Versuchen aufforderte. Es war ein großes *Spirillum*, in dessen farbloses Plasma zahlreiche Schwefelkörnchen eingelagert waren; bei schwacher Vergrößerung resp. sehr rascher Eigenbewegung erschien der ganze Körper rotbraun, fast wie die Farbe frisch gefällten Kupferoxyduls; an abgestorbenen Individuen hob sich aber das farblose Plasma sehr scharf gegen die fast perlschnurartig eingelagerten Schwefelkörnchen ab. Makroskopisch bildeten die Spirillen eine weißgrauliche Trübung, welche durchaus keine Rotfärbung gewahren ließ, und stimmten also auch in dieser Beziehung mit dem von OMELIANSKI vor einigen Jahren beschriebenen *Thiospirillum Winogradskii* überein²⁾; von dieser Art ebenso wie von dem von MOLISCH³⁾ kürzlich beschriebenen *Spirillum granulatum* unterscheidet sich das von mir erhaltene Schwefel-Spirillum durch seine zahlreicheren (2—4) Windungen, wodurch eine gewisse Ähn-

1) Über Schwefelbakterien, Bot. Zeit. 1887, S. 489.

2) Centralbl. f. Bakt.- und Parasitenkunde, Abt. II, Bd. XIV, S. 769.

3) Centralbl. f. Bakt.- und Parasitenkunde, Abt. II, Bd. 33, S. 55—62.

lichkeit mit COHNs *Spirillum volutans* zustande kommt. Über die Zahl und Anordnung der Cilien kann ich leider keine Angaben machen, weil mir das Material auf einmal plötzlich und unerwartet abhanden kam; es kann deshalb keine Rede davon sein, den Organismus mit einem besonderen Namen zu belegen; sicher ist nur seine Zugehörigkeit zu der Gattung *Thiospirillum*, wie diese von OMELIANSKI l. c. gefaßt wird.

Mitte Februar trat das betreffende Schwefel-*Spirillum* in großer Menge in einem Gefäß auf, das mit Teichwasser (aus dem Institutsgarten), etwas Schlamm und überwinterten, teilweise abgestorbenen *Charazweigen* angefüllt war. Nachdem das Gefäß etwa sieben Tage in einem warmen Zimmer gestanden und ein deutlicher Schwefelwasserstoffgeruch sich vernehmen ließ, war die Flüssigkeit von oben bis unten mit überaus lebhaft schwärmenden *Thiospirillen* gefüllt, während alle anderen Organismen zurücktraten. Dieser Zustand dauerte 8–10 Tage. Dann nahmen mit einmal die Infusorien überhand, und von jetzt ab war das *Thiospirillum* verschwunden; weder durch Zusatz von Gips, Einleiten von Schwefelwasserstoff oder sonstige Kunstgriffe wollte es gelingen, das kurz vorher so üppig gedeihende Schwefelbakterium wieder heraufzubeschwören. Wurden dagegen neue Kulturen mit Teichwasser, Schlamm und *Chara*fragmenten angestellt, so trat nach einigen Tagen das *Thiospirillum* wieder auf, um nach weiteren 8–10 Tagen ebenso pünktlich wieder zu verschwinden. Dies Verschwinden wurde unerwarteterweise ein definitives, als Ende März die Eisschicht, die vorher den Teich bedeckt hatte, abschmolz; nach diesem Zeitpunkt erwies es sich als absolut unmöglich, das *Thiospirillum* wieder zu bekommen, obwohl die verschiedensten Methoden, darunter natürlich auch die von WINOGRADSKY und MOLISOH zur Erlangung von Schwefelbakterien empfohlenen, zur Verwendung gelangten. Einen ähnlichen Mißerfolg hat übrigens auch OMELIANSKI mit seinem *Thiospirillum Winogradskii* gehabt. Möglich ist, daß das Verschwinden meines *Spirillum*s auf dem Überhandnehmen der gefräßigen Infusorien beruhte, ebenso möglich ist aber auch, daß andere Einflüsse dabei wirksam waren.

Inzwischen hatte ich doch Gelegenheit gehabt, über die Chemotaxis meines *Thiospirillum*s einige Erfahrungen zu machen, die teilweise von recht überraschender Natur waren, und trotz ihrer Lückenhaftigkeit sicher ein gewisses Interesse beanspruchen können. Bevor ich zu einer kurzen Darstellung der ermittelten Tatsachen übergehe, mögen einige Worte über die benutzte Methodik vorangeschickt werden.

Da im Laufe der Untersuchung eine erhebliche Menge von leichtflüchtigen Stoffen auf ihre chemotaktische Reizwirkung geprüft werden mußten, konnten die Kapillaren nicht gut durch Evacuieren resp. durch Erwärmen der Flüssigkeit gefüllt werden. Bekanntlich hat ROTHERT für solche Fälle eine Methode angegeben¹⁾, die aber ziemlich umständlich ist und tatsächlich auch umgangen werden kann, indem man — wie es übrigens schon MOLISCH getan hat — offene (nicht einseitig zugeschmolzene) Kapillaren verwendet. Für meine Zwecke habe ich dies Verfahren so modifiziert, daß ich ziemlich lange (5—10 mm) Kapillaren mit dem einen Ende in die zu prüfende Flüssigkeit hineintauche, und zwar nicht tiefer als es zum Aufsteigen der Flüssigkeit nötig ist; dann wird das nasse Ende mit Fließpapier abgetrocknet, und die Kapillare ohne weiteres, aber vorsichtig in den Versuchstropfen gelegt (nicht geschoben). An beiden Mündungen, aber ganz besonders scharf am oberen, vorher trockenen Kapillarende bekommt man dann eine Ansammlung mit darauf folgender Einwanderung, falls die Verbindung überhaupt chemotaktisch wirksam ist. Wegen der schnellen Ausführung eignet sich diese Methode auch ganz gut für Versuche mit nichtflüchtigen Stoffen, doch muß man immer ziemlich dünne Kapillaren verwenden und ein Her- und Hinschieben der Kapillare im Versuchstropfen tunlichst vermeiden, weil sonst ein Verschieben der Flüssigkeitssäule eintreten kann.

Einen gewissen Vorteil gewährleistet — aus leicht ersichtlichen Gründen — die Methode mit offenen, gleichmäßig gefüllten Kapillaren ohne Luftsäule, wenn es sich um aërotaktisch empfindliche Organismen handelt, und wenn man, was ja bisweilen aus verschiedenen Gründen erwünscht sein kann, mit bedeckten Kulturtropfen operiert. Das uns interessierende *Thiospirillum* stellt nun, wie die meisten mit Eigenbewegung ausgerüsteten Schwefelbakterien, einen in aërotaktischer Beziehung exquisit empfindlichen Organismus dar: in Deckglaskulturen sammelt es sich immer in einer gewissen Entfernung vom Deckglasrande an und bildet hier einen grauweißen, makroskopisch gut sichtbaren Rahmen, dessen Lage je nach der Dicke der Flüssigkeitsschicht und der Anzahl der Bakterien etwas verschieden ausfallen kann, doch immer ein gewisses Stück (0,5—2 mm) vom Flüssigkeitsrand zurückweicht. In Deckglaskulturen mit lebenskräftigen Spirillen ist die aërotaktische Orientierung schon nach 10—15 Minuten makroskopisch

1) Über taktische Reizerscheinungen, Flora Bd. 88 (1901), S. 380.

sichtbar. Diese feine Empfindlichkeit gegen den Sauerstoffgehalt des Mediums bewirkt nun, daß besonders in bedeckten Kulturtropfen rein aërotaktische Ansammlungen innerhalb der Kapillare zustande kommen können, auch wenn man Kapillaren ohne Luftsäulen verwendet; von denjenigen chemotaktischen Ansammlungen, die im folgenden geschildert werden sollen, sind indessen diese aërotaktischen Erscheinungen schon wegen ihrer weit geringeren Intensität ziemlich leicht zu unterscheiden. Übrigens wurden fast alle im folgenden zu erwähnenden Versuche sowohl im offenen wie im bedeckten Tropfen mehrmals wiederholt.

Was nun die chemotaktische Reizbarkeit unseres *Spirillum*s betrifft, so war ja mit Rücksicht auf die schon von MIYOSHI mit *Chromatium* und von MOLISCH mit verschiedenen anderen Purpurbakterien erhaltenen Resultate eine Empfindlichkeit gegen Schwefelwasserstoff recht wahrscheinlich. In der Tat wurden die Thiospirillen ziemlich energisch in die Kapillare hineingelockt, die eine 5—10fach verdünnte Lösung des von MERCK bezogenen Schwefelwasserstoffwassers enthielten; konzentrierte Lösungen wirkten, wie schon WINOGRADSKY gefunden, giftig; bei Verwendung von schwächeren Lösungen gestaltete sich die Ansammlung und das Eindringen in die Kapillare ungefähr so, wie es MIYOSHI für sein *Chromatium Weissii* geschildert hat¹⁾.

Von bestimmtem Interesse ist, daß auch andere Schwefelverbindungen imstande sind, eine ebenso deutliche Anziehung wie H_2S zu bewirken. Dies wurde für Natriumthiosulfat ($Na_2S_2O_3$) und für Kaliumsulfhydrat (KSH) konstatiert. Mit der letzteren Substanz machte ich nur einige qualitative Proben mit verdünnten Lösungen, deren Konzentration nicht bestimmt wurde; die Anlockung war indessen über allen Zweifel erhaben. Aus den Versuchen mit Natriumthiosulfat mögen folgende den Vorgang illustrieren:

1 Mol. $Na_2S_2O_3$: im ersten Augenblicke eine starke Ansammlung vor der Kapillarmündung; nach etwa 30 Sekunden entsteht im Zentrum dieser Ansammlung, aber mit dem Innern der Kapillare verbunden, ein kreisrunder leerer Fleck, der sich ziemlich schnell erweitert, so daß eine ringförmige Ansammlung zustande kommt; auch der Ring wird innen weiter, bis schließlich von chemotaktischer Orientierung gar nichts zu sehen ist.

$\frac{1}{50}$ Mol. $Na_2S_2O_3$: nach 5 Minuten sehr ausgiebige Ansamm-

1) l. c. S. 161.

lung vor der Kapillarmündung; einige Spirillen dringen auch in die Kapillare hinein, wo sie ihre lebhaften Bewegungen fortsetzen.

$\frac{1}{100}$ Mol. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$: sehr rasches Eindringen in die Kapillare, in der bald eine ausgiebige Ansammlung zustande kommt.

Während also Schwefelwasserstoff, Kaliumsulfhydrat und Natriumthiosulfat sich als recht energische Chemotropica erwiesen, waren die Sulfate — es wurden Kalium- und Calciumsulfat in verschiedenen Konzentrationen geprüft — völlig wirkungslos gegenüber dem *Thiospirillum*, abgesehen davon, daß Kaliumsulfat bei Konzentrationen über $\frac{1}{20}$ Mol. eine deutliche Abstoßung, wahrscheinlich osmotaktischer Natur, bewirkte.

Das nämliche gilt auch für die anderen geprüften Mineralsalze. Die Chloride, Nitrate, Sulfate und Carbonate¹⁾ von Kalium, Natrium, Calcium und Ammonium waren bei niedriger Konzentration ($\frac{1}{25}$ — $\frac{1}{50}$ Mol.) gänzlich wirkungslos, bei höheren ($\frac{1}{20}$ — $\frac{1}{10}$) stellten sich deutliche Repulsionswirkungen ein. Das *Thiospirillum* verhält sich also in diesem Punkte wesentlich anders als das von MIYOSHI untersuchte *Chromatium*, das z. B. von 0,3 proz. Kaliumnitrat und 0,3 proz. Ammoniumsulfat deutlich angezogen wurde.

Von den geprüften Kohlehydraten erwiesen sich alle in chemotaktischer Beziehung völlig indifferent, dabei aber ziemlich giftig. Geprüft wurden Rohrzucker, Lävulose und Galactose in Konzentrationen von $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{50}$ Mol., außerdem Dextrin in 0,1- bis 5proz. Lösung. In keinem Falle konnte irgendwelche deutliche Anziehung bemerkt werden, dagegen trat eine solche sofort ein, wenn eine H_2S -Kapillare in den Tropfen hineingelegt wurde. Die Giftwirkung trat besonders bei Lävulose (z. B. mit $\frac{1}{20}$ Mol.) und Rohrzucker (auch bei $\frac{1}{100}$ Mol.) sehr deutlich hervor.

Wie die Kohlehydrate erwies sich auch Mannit chemotaktisch wirkungslos, aber ziemlich giftig.

Ebensowenig bewirkte Pepton (in 1- und 10prozentiger Lösung) irgend welche Anziehung, wohl aber eine gewisse Repulsion aus, indem die Kapillaren auch in sehr bakterienreichen Versuchstropfen völlig frei von Spirillen blieben. Bei Verwendung von 0,2 proz. Pepton fand ein sporadisches und offenbar ganz zufälliges Eindringen statt; die Eindringlinge starben sofort.

1) Leider habe ich versäumt, die Wirkung der Phosphate rechtzeitig zu untersuchen.

Hämoglobin in 1prozentiger Lösung: chemotaktisch völlig wirkungslos, aber ohne ausgesprochene Giftwirkung. Analog verhielt sich Albumin und auch Asparagin.

Überblicken wir die soeben referierten Befunde, so sehen wir, daß Kohlehydrate, Eiweißstoffe, Pepton und Asparagin, welche für die gewöhnlichen heterotrophen Bakterien die besten Nährstoffe darstellen und demgemäß auf diese Organismen eine energische chemotaktische Reizwirkung ausüben, dem *Thiospirillum* gegenüber in dieser Hinsicht gänzlich wirkungslos sind. Durch WINOGRADSKYs Untersuchungen wissen wir ja auch, daß die erwähnten Substanzen die Ernährung der Schwefelbakterien eher beeinträchtigen als fördern: es besteht also hier — allerdings im negativen Sinne — zwischen Nährwert und chemotaktischem Reizvermögen ein Parallelismus, der aber ein bestimmtes Interesse gewinnt, wenn man die chemotaktische Reizbarkeit unseres *Thiospirillum* im ganzen berücksichtigt.

Im schroffsten Gegensatz zu der ausgesprochenen Gleichgültigkeit, die das *Thiospirillum* den Kohlehydraten und Eiweißstoffen gegenüber an den Tag legt, steht die überraschende Promptheit, womit unser Bakterium auf gewisse andere organische Verbindungen chemotaktisch reagiert. Es sind dies in erster Linie die einwertigen Alkohole der Fettreihe, ebenso die Ketone und Aldehyde (mit gewissen Ausnahmen) der aliphatischen Serie; ferner die zweiwertigen Alkohole und obwohl schwach, der dreiwertige Alkohol, das Glycerin; wirkungslos ist aber der vierwertige, Erythrit, wie auch das schon vorhin erwähnte sechswertige Mannit. Sehr stark positiv chemotaktisch wirken dagegen Äthyläther und Chloroform.

Von den fetten Säuren hatte ich leider nur Gelegenheit, Essigsäure und Milchsäure zu prüfen, diese gaben aber beide positive Ausschläge.

Von den aromatischen Verbindungen erwiesen sich Xylol und auch der einwertige Alkohol Phenol als sehr starke positive Reizmittel. Ähnlich, aber etwas schwächer, wirkten auch die Biphenole, Resorcin und Hydrochinon. Eine sichtbar schwächere, aber immerhin unverkennbare Anlockung bewirkte von den Triphenolen das Phloroglucin (die anderen Triphenole wurden nicht geprüft). Benzaldehyd bewirkte auch eine sehr energische Anlockung, während eine solche in Versuchen mit Benzoesäure gänzlich ausblieb.

Zur Veranschaulichung des Gesagten und als Belege mögen aus den Versuchsprotokollen folgende Einzelheiten mitgeteilt werden.

Äthylalkohol.

$\frac{1}{5}$ Mol. Sehr starke Anlockung, rasches Eindringen in die Kapillare, die in wenigen Minuten in ihrer ganzen Länge von lebhaft schwärmenden Spirillen gefüllt wird. Nach einer Viertelstunde wurden die eingedrungenen Spirillen, wahrscheinlich infolge von Sauerstoffmangel, bewegungslos.

1 Mol. Überaus lebhafte Anlockung, dabei aber auch Repulsionswirkung, so daß vor der Kapillarmündung eine mückentanzähnliche Ansammlung entsteht, die sich allmählich zu einer dichten Wolke konzentriert. Das Eindringen in die Kapillare geschieht aber äußerst langsam und nur sporadisch.

2 Mol. Momentane Ansammlung vor der Kapillare, aber kein Eindringen; besonders in jungen Kulturen ist die Ähnlichkeit mit einem regelrechten Mückentanz sehr frappant.

Bei Verwendung von höheren Äthylalkoholkonzentrationen (25–90 Volumprozent) entsteht immer eine momentane Ansammlung vor der Kapillarmündung, gleichzeitig erfolgt aber ein ziemlich rasches Eindringen in die Kapillare, so daß diese in wenigen Minuten in ihrer ganzen Länge von Spirillen vollgepfropft wird; unter Umständen entsteht schon in der Mündung ein so dichter Pfropfen von ineinander verflochtenen Spirillen, daß ein weiteres Vordringen mechanisch unmöglich wird. Sonst sind die Spirillen gegen kurze Einwirkung hoher Alkoholkonzentrationen auffallend resistent; an Kapillaren mit 90proz. Alkohol waren von den eingedrungenen Spirillen nach 4–5 Minuten die meisten noch lebendig. — Daß die Spirillen bei diesen hohen Alkoholkonzentrationen in die Kapillare eindringen, während sie von schwächeren (5–10proz.) Konzentrationen nur bis an die Mündung angelockt wurden, beruht wahrscheinlich darauf, daß im ersteren Falle eine Narkose eintritt, wodurch die apochemotaktische Tendenz aufgehoben wird, während dagegen die proschemotaktische noch persistiert. Daß es sich in diesem Falle um Aufhebung einer osmotaktischen Reizbarkeit handelt bei gleichzeitiger Erhaltung der chemotaktischen, wie es ROTHERT in einem Versuche mit *Bacterium Termo*¹⁾ erzielt hat, ist kaum anzunehmen, da der Äthylalkohol, wie plasmolytische Versuche gezeigt haben, momentan in die Bakterienzelle eindringt und demgemäß keine osmotaktische Reizwirkung ausüben kann.

1) Jahrb. f. wiss. Botanik Bd. 31 (1904) S. 25.

Bei Verwendung starker Alkoholkonzentrationen kommt es häufig vor, daß die Kapillarmündung schon im Anfange des Versuchs zugestopft wird, und es entsteht dann vor der Mündung eine dichte Ansammlung überaus lebhaft schwärmender Spirillen, die sich makroskopisch als ein weißgrauer Fleck bemerkbar macht.

Was die Reizschwelle für Äthylalkohol betrifft, so wechselt diese je nach dem Zustand der Spirillen innerhalb ziemlich weiter Grenzen. In älteren Kulturen waren die Spirillen öfters völlig unempfindlich gegen Äthylalkohol, wenn die Konzentration auf $\frac{1}{100}$ Mol herunterging. In jungen Kulturen veranlaßten $\frac{1}{100}$ — $\frac{1}{200}$ Mol noch sehr ausgiebige Ansammlungen innerhalb der Kapillare, und auch wenn der Alkohol bis zu $\frac{1}{1000}$ Mol verdünnt wurde, entstand im ersten Augenblicke eine deutliche Ansammlung vor der Mündung, die sich aber bald lockerte, so daß ein Eindringen in die Kapillare nicht zustande kam. Bei $\frac{1}{2000}$ Mol waren niemals deutliche Resultate zu erzielen. — Wenn man bedenkt, daß z. B. die *Equisetum*-spermatozoiden noch sehr deutlich auf $\frac{1}{10000}$ Mol Äpfelsäure reagieren, so erscheint die Empfindlichkeit der Thiospirillen gegenüber einem so überaus kräftigem Reizmittel wie dem Äthylalkohol nicht besonders groß; indessen handelt es sich hier in erster Linie um ein Ausbleiben der Reaktion, und hierbei spielt vielleicht die überaus starke Eigenbewegung der Spirillen sowie auch ihre phobochemotaktische Reaktionsweise eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Methylalkohol.

1 Mol. Momentane Ansammlung vor der Mündung, aber fast kein Eindringen in die Kapillare. Nach 2—3 Minuten ist die Mündung verstopft von einem makroskopisch sichtbaren Pfropfen aus lebhaft schwärmenden Spirillen. Der Pfropfen dringt allmählich etwas weiter in die Röhre hinein, die Eindringlinge erscheinen während der ersten 15 Minuten ganz munter.

$\frac{1}{10}$ Mol. Lebhaftes Eindringen in die Kapillare.

$\frac{1}{100}$ Mol. Im ersten Augenblicke vielleicht schwache Anlockung, die aber bald nachläßt.

Isopropylalkohol. 1 Mol. Sehr starke Anziehung, lebhaftes Ansammlung vor der Mündung, dann Propfenbildung; von den eingedrungenen sterben viele ziemlich rasch. — $\frac{1}{100}$ Mol. Ziemlich rasches Eindringen in die Kapillare.

Sek. Butylalkohol. $\frac{2}{3}$ Mol. Ungefähr wie Isopropylalkohol, aber Giftwirkung noch stärker.

Allylalkohol. 1 Mol. Vor der Kapillare sehr lebhafte, mückentanzähnliche Ansammlung; ziemlich starke Giftwirkung, so daß die Mehrzahl in der Kapillarmündung abstirbt.

Äthylenglukol. 1 Mol. Sehr schöne Chemotaxis, die Spirillen dringen sofort tief in die Kapillare hinein, wo sie ziemlich unbeschädigt bleiben. $\frac{1}{20}$ Mol. Ungefähr wie 1 Mol.

Glycerin. 1 Mol. Deutliche Proschemotaxis, aber nicht besonders ausgeprägt. Die Spirillen gehen in die Kapillare hinein, wurden aber hier sofort bewegungslos.

$\frac{1}{10}$ Mol. Anziehung sehr schwach, in manchen Versuchen gar keine.

Erythrit, $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{6}$ Mol. Keine Spur von chemotaktischer Reizwirkung.

Äthyläther, 5 %. Starke positive Chemotaxis, der Verlauf sonst völlig wie in den Versuchen mit 1 Mol Äthylalkohol.

Aceton. Die chemotaktische Reizwirkung dieser Verbindung stimmt in allen Einzelheiten mit derjenigen des Äthylalkohols überein. 1 Mol ruft starke Anziehung gleichzeitig auch Repulsionswirkungen hervor, $\frac{1}{6}$ Mol wirkt nur anziehend; die Reizschwelle liegt ungefähr bei $\frac{1}{1000}$ Mol.

Äthylaldehyd. Frisch destilliertes Äthylaldehyd bewirkte in $\frac{1}{10}$ -Mol-Konzentration energische Proschemotaxis. Paraldehyd, das bekanntlich kein Aldehyd in eigentlichem Sinne ist, erwies sich völlig wirkungslos. Das nämliche gilt auch von Formaldehyd.

Chloralhydrat. 1 Mol. Eine überaus reichliche Ansammlung vor der Kapillare, schon nach 2 Minuten makroskopisch sichtbar, aber kein Eindringen. — $\frac{1}{20}$ Mol. Momentane Ansammlung, Eindringen auf eine kurze Strecke, nach 2—3 Minuten bei den Eindringlingen deutliche Schwächung der Bewegungen. $\frac{1}{100}$ Mol. Starke Anziehung, rasches Eindringen in die Kapillare, anfangs sehr lebhafte Bewegungen, die aber bald nachlassen.

Chloroform. Gesättigte wässrige Lösung: Anfangs keine sichtbare Einwirkung, nach einigen Minuten aber äußerst reichliche, makroskopisch sich als weißgrauer Fleck von 2 mm Durchmesser abhebende Ansammlung von lebhaft schwärmenden Spirillen; allmählich Giftwirkung. — $\frac{1}{25}$ Chloroformwasser. Momentane Ansammlung vor der Kapillare, aber unmittelbar vor der Mündung ein leerer Raum, der indessen bald verschwindet je nachdem die Ansammlung zunimmt und sich unmittelbar vor der Mündung konzentriert; dann Eindringen in die Kapillare, wo die Spirillen noch 10—15 Minuten munter bleiben.

Essigsäure. $\frac{1}{100}$ Mol. Deutliche Proschemotaxis; die Spirillen dringen in die Röhre hinein, sterben aber fast momentan, so daß in der Mündung bald eine Anhäufung von Leichen entsteht.

Milchsäure. Ein Tropfen auf 10 ccm Wasser. Deutliche Proschemotaxis, aber ziemlich starke Giftwirkung. Ein Tropfen auf 100 ccm H_2O : die Giftwirkung scheint jetzt aufgehoben, die Proschemotaxis macht sich aber sehr deutlich geltend; außerdem scheint die Milchsäure gewissermaßen excitierend auf die Spirillen zu wirken, denn einmal eingedrungen, bewegen sie sich in der Kapillare mit einer ungestümen Lebendigkeit.

Phenol. $\frac{1}{10}$ Mol. Überaus reichliche Ansammlung vor der Kapillare, auch massenhaftes Eindringen von Spirillen, die aber sofort der Giftwirkung des Phenols unterliegen. $\frac{1}{100}$ Mol.: momentanes und sehr reichliches Eindringen in die Kapillare, rasches Absterben.

Die beiden Diphenole Resorcin und Hydrochinon ($\frac{1}{10}$ und $\frac{1}{100}$ Mol) verhielten sich in bezug auf Chemotaxis und Giftwirkung ganz wie das gewöhnliche Phenol, nur war ihre Wirkung in beiden Beziehungen etwas schwächer. In noch höherem Grade gilt dies von dem Triphenol, dem Phloroglucin, das immerhin eine deutliche Proschemotaxis veranlaßte.

Benzaldehyd, gesättigte wässrige Lösung. Sehr schöne mückentanzähnliche Ansammlung vor der Kapillare, aber erst allmähliches Eindringen. Giftwirkung nicht besonders ausgeprägt.

Mit Benzoesäure wurden keine sicheren Resultate erhalten.

Die bis jetzt mitgeteilten Beobachtungen sind ja nicht nur in quantitativer, sondern auch in qualitativer Hinsicht recht lückenhaft; besonders gilt dies von den Versuchen mit den Säuren der Fettreihe, von denen nur zwei, allerdings beide mit deutlich positiven Resultaten, untersucht wurden. Den Grund dieser Lückenhaftigkeit hat indessen der Leser schon erfahren, und da es recht fraglich ist, ob ich diesen merkwürdigen Organismus wieder in die Hände bekommen werde, habe ich die Mitteilung dieser immerhin recht bemerkenswerten Beobachtungen nicht unterlassen wollen.

Die Lückenhaftigkeit in quantitativer Hinsicht macht es nun leider unmöglich, auf eine Frage von großem Interesse einzugehen, diejenige nämlich, ob die verschiedenen Stoffe hier auch durch verschiedene Perceptionsakte wahrgenommen werden, oder ob z. B.

der Äthylalkohol und das Aceton identische Perceptionen auslösen. Indessen stößt die Entscheidung dieser Frage in diesem Falle auf kaum überwindbare technische Schwierigkeiten. Wenn es sich nämlich um so flüchtige Stoffe wie etwa Alkohol, Aceton und Aldehyd handelt, muß man unbedingt mit bedeckten Versuchstropfen arbeiten, und unter diesen Umständen sind immer die Bedingungen für eine aërotaktische Ansammlung in der Kapillare gegeben, falls man nämlich mit einem in aërotaktischer Hinsicht so empfindlichen Organismus wie dem *Thiospirillum* experimentiert. Ob die Kapillare eine Luftsäule enthält oder nicht ist gleichgültig, immer erhält man eine aërotaktische Ansammlung, falls die Anzahl der Spirillen im Versuchstropfen nicht allzu gering ist; in solchen Tropfen — mit sehr spärlichen Spirillen — läßt sich aber auch nicht die chemotaktische Reizschwelle bestimmen. Allerdings ist es, wenn es sich nur um die Feststellung qualitativer Reizwirkungen handelt, sehr leicht, eine unter optimalen Bedingungen stattfindende chemotaktische Reizwirkung von einer aërotaktischen zu unterscheiden; ganz anders gestaltet sich aber die Sache, wenn es sich um die Eruierung von Schwellenwerten handelt, und diese sind ja eine notwendige Voraussetzung für die Feststellung der Unterschiedsempfindlichkeit, die man wiederum unbedingt kennen muß, um die Sensibilitätsfrage zu entscheiden. — Dazu kommt, daß unser *Thiospirillum* gegen Schwankungen in der Zusammensetzung des Mediums offenbar sehr empfindlich ist, was sich hier natürlich auch als ein sehr lästiger Faktor geltend macht.

Einen Umstand, der im vorigen nur gelegentlich gestreift wurde, möchte ich noch hervorheben. Es ist die überaus deutliche phobochemotaktische (apobatische) Reaktionsweise, der dies *Spirillum* auszeichnet, und es zu einem vorzüglichen Demonstrationsobjekt machen würde —, wenn man es nur haben könnte. Es ist ein sehr fesselnder Anblick, wenn die wie Raketen an der Kapillarmündung vorbeischießenden Spirillen, oft wenn sie ziemlich weit vorbeigekommen sind, plötzlich haltmachen und sofort wieder in der entgegengesetzten Richtung vorbeisausen, dann wieder in immer kürzeren Bahnen zurückkehren, um schließlich, nachdem sie eine Zeitlang in dem vor der Mündung aufgeführten Mückentanz teilgenommen, in die Kapillare eingezogen zu werden.

In bezug auf die eingangs aufgeworfene Frage — ob die Aufhellung der chemotaktischen Reizbarkeit des *Spirillum*s irgendwelche Anhaltspunkte in bezug auf die Ernährungsphysiologie abgeben könne — läßt sich vorläufig nichts sicheres sagen. Indessen wird man sich wohl schwer entschließen können, eine so aus-

geprägte chemotaktische Reizbarkeit wie die soeben geschilderte nur als ein biologisches Paradoxon zu betrachten; wahrscheinlicher ist wohl doch, daß hier wirklich ernährungsphysiologische Beziehungen bestehen, um so mehr, als mehrere von den in Frage kommenden Stoffen (Alkohole, Acetone und organische Säuren) unter den natürlichen Vegetationsbedingungen des *Thiospirillum* sehr wohl, wenn auch nur in Spuren, vorhanden sein können.

Schließlich möchte ich bemerken, daß die jetzt geschilderte chemotaktische Reizbarkeit sicher kein ausschließliches Monopol der betreffenden *Thiospirillum*-Art darstellt. So beobachtete ich z. B. sehr oft in meinen *Thiospirillum*-Kulturen einen kleinen, lebhaft beweglichen, schwefelkörnchenhaltigen Coccus, der das *Thiospirillum* auf seinen chemotaktischen Ausflügen regelmäßig begleitete. Aber auch unter den farblosen und durchaus schwefelfreien Wasserbakterien gibt es nicht wenige Arten, die eigentümliche Analogien zu der Chemotaxis des *Thiospirillum*s aufweisen. Seit bald zwei Jahren kultiviere ich z. B. ein farbloses *Spirillum*, das ganz wie das *Thiospirillum* von Alkohol, Aceton, Aldehyd, Chloralhydrat usw. intensiv angelockt wird; anstatt aber auf Schwefelwasserstoff zu reagieren, zeigt es sich sehr empfindlich (im proschemotaktischen Sinne) gegenüber Kohlehydraten, Pepton und anderen „guten“ Nährstoffen. Über die Reizbewegungen dieser Bakterien, die eine in biologischer Hinsicht ziemlich gut abgegrenzte Gruppe bilden, werde ich nächstens an anderer Stelle ausführlich berichten.

Lund, Botanisches Institut der Universität.