

Nr. 7.

1917

Sitzungsbericht
der
Gesellschaft naturforschender Freunde
zu Berlin

vom 10. Juli 1917.

Ausgegeben am 25. Oktober 1917.

Vorsitzender: Herr O. HEINROTH.

Besuch des Institutes für Vererbungsforschung in Potsdam und Vorführung einiger laufender Versuche durch Herrn BAUR und Frä. SCHIEMANN.

Über die Weilsche Spirochaete und deren Beziehungen zu
verwandten Organismen*).

VON MARGARETE ZUELZER,

wissenschaftlicher Hilfsarbeiterin im Kaiserlichen Gesundheitsamte.

Mit 2 Tafeln III und IV und 4 Textfiguren.

Es war eine Spirochaete, welche als erster Krankheitserreger mikroskopisch nachgewiesen werden konnte: OBERMEIER gelang im Jahre 1868 die Entdeckung des Erregers des europäischen Rückfallfiebers, der *Spirochaeta obermeieri*. Kurz danach fand KOCH den Erreger des Milzbrandes, und damit traten für lange Zeit die Bakterien in den Vordergrund des Interesses. bis Anfang dieses Jahrhunderts — 1903 — SCHAUDINN die Entdeckung des Syphiliserregers, der *Spirochaeta pallida*, gelang. Damit begann eine neue Ära der Spirochaetenforschung. Es wurde dann in rascher Folge festgestellt, daß eine ganze Reihe von Infektionskrankheiten durch Spirochaeten verursacht werden.

Bei den systematischen Untersuchungen auf das Vorkommen von Spirochaeten im Menschen haben eine große Menge verschiedenartiger Spirochaeten nachgewiesen werden können, und zwar von harmlosen Saprophyten bis zu hochpathogenen Arten. Was die harmlosen Saprophyten anbelangt, so finden sich ziemlich reichlich solche, die auf den Schleimhäuten des Menschen leben. Es handelt sich um verschiedene Arten, welche in der überwiegenden Mehr-

*) Gekürzte Darstellung des Vortrages vom 9. Januar 1917.

zahl der Fälle keinerlei schädigende Einflüsse haben. Es können jedoch im Gefolge nekrotisierender Entzündungsprozesse anderer Ätiologie besonders günstige Bedingungen für das weitere Gedeihen dieser Spirochaeten eintreten. Dann vermögen dieselben gelegentlich selbständig tiefer in die Gewebe einzudringen und sich auch selbst an Entzündungsprozessen beteiligen. Gelegentliche Spirochaetenfunde bei Lungengangrän oder Karzinom sind wohl derartig zu bewerten.

Ebenso kann die normalerweise in der Mundhöhle lebende *Spirochaeta dentium* bei Verletzungen der Gaumen- oder Wangenschleimhaut oder bei kariösen Zahnerkrankungen in die Tiefe dringen. Dabei soll auch sie — meist im Vereine mit Bakterien — im Stande sein, sich an der Bildung von Entzündungen und gutartigen Abzeßbildungen zu beteiligen.

Auf einer höheren Stufe des Parasitismus befinden sich jene Spirochaeten, welche, stets vergesellschaftet mit bestimmten gewebsschädigenden Bakterien, regelmäßig bei spezifischen, lokalisierten Krankheitserscheinungen nachweisbar sind. Hierher gehören *Spirochaeta vincenti*, welche regelmäßig, vergesellschaftet mit fusiformen Bazillen, bei *Angina necrotica* PLAUT VINCENT, oder *Spirochaeta schaudinni*, welche auch vergesellschaftet mit fusiformen Bazillen, regelmäßig beim *Ulcus tropicum* nachgewiesen worden sind. Während bei derartigen Affektionen eine etwaige Krankheitserregernatur der Spirochaeten nicht eindeutig zutage tritt, kommen jedoch bei anderen Gewebserkrankungen, die das Bild einer allgemeinen Infektion zeigen, Spirochaeten als die alleinigen Erreger in Betracht. Wir kennen beim Menschen eine ganze Reihe von krankmachenden Spirochaeten, welche in den Geweben schmarotzen und in denselben ihre zerstörenden Wirkungen ausüben: vom Erreger der Frambösie durch *Spirochaeta pertenuis* bis zu dem Syphiliserreger der *Spirochaeta pallida*, welche wohl ein Beispiel für den Gewebsparasitismus auf höchster Stufe bildet. *Spirochaeta pallida* schmarotzt vornehmlich in Geweben und zwar im Bindegewebe; sie kann aber auch durch Blut- und Lymphbahn durch den ganzen Körper transportiert werden und alle Organe befallen. Sie erzeugt schwere Entzündungen, in deren Gefolge ausgedehnte Nekrosen ihre degenerierende Wirkung zeigen.

Schließlich sind von pathogenen Spirochaeten noch eine ganze Reihe zu nennen, welche reine Blutparasiten sind und als solche akute septikämische Erkrankungen erzeugen, denen lokalisierte Prozesse fehlen. Hierher gehören von tierpathogenen Arten die Erreger der Geflügelspirillosen, z. B. *Spirochaeta gallinarum*, ferner

die für den Menschen hochpathogenen, verschiedenen Typen der sowohl morphologisch als auch durch die Spezifität der immunologischen Verhältnisse voneinander getrennten Typen des Rückfallfiebers, wie die *Spirochaeta obermeieri*, der Erreger des europäischen, die *Spirochaeta duttoni*, der Erreger des afrikanischen, die *Spirochaeta novii*, der Erreger des amerikanischen Rückfallfiebers und andere mehr.

Im Frühjahr 1915 gelang es dann noch bei einer anderen seit langem bekannten Krankheit, der WEIL'schen Krankheit, welche auch ansteckende Gelbsucht genannt wird, Spirochaeten als Erreger festzustellen. In klinischer Hinsicht verläuft die WEIL'sche Krankheit unter dem Bilde einer typhösen Erkrankung, welche fast immer von einem schweren Ikterus begleitet ist. WEIL beschrieb die Krankheit zuerst im Jahre 1886. Seitdem ist in vielen Mitteilungen in der Literatur über ihr Vorkommen und nicht selten auch über das Auftreten von gehäuften Fällen berichtet worden. Die Ätiologie und die epidemiologischen Verhältnisse der Erkrankung waren aber bisher noch vollkommen unklar. Im Frühjahr 1915 gelang es dann beim Auftreten einzelner Fälle dieser Krankheit auf dem westlichen Kriegsschauplatz HÜBENER und REITER¹⁾ sowie UHLENHUTH und FROMME²⁾, durch intraperitoneale Verimpfung von Patientenblut die Krankheit auf Meerschweinchen zu übertragen und das typische Krankheitsbild bei diesen Versuchstieren zu erzeugen. UHLENHUTH und FROMME konnten in den kranken Tieren Organismen nachweisen, welche sie als Spirochaeten erkannten. Ebenso stellten HÜBENER und REITER bei ihren Untersuchungen in der Folge die Spirochaetennatur des Erregers fest. Auch in Japan wurde anlässlich einer Infektionskrankheit unter Bergarbeitern, welche große Übereinstimmung mit der europäischen WEIL-Krankheit aufwies, als Erreger dieser Erkrankungen eine Spirochaete gefunden und von INADA und seinen Mitarbeitern³⁾ in einer ausführlichen Arbeit aus dem Rockefellerinstitut in New-York, über diese Untersuchungen berichtet. Diese Mitteilung wurde erst im Sommer 1916 in Deutschland bekannt. Sie brachte eine wertvolle Bestätigung der inzwischen von den deutschen Forschern erhobenen Befunde.

¹⁾ HÜBENER und REITER. Beiträge zur Ätiologie der WEIL'schen Krankheit. Deutsche Med. Wochenschrift Nr. 43. 1915.

²⁾ UHLENHUTH und FROMME, Experimentelle Untersuchungen über die sog. WEIL'sche Krankheit. Berl. Klin. Wochenschrift Nr. 2. 1916.

³⁾ INADA, IDO, HOKI, KANEKO, ITO, The Etiology mode of Infektion and specific therapy of WEIL's disease. Journ. of experimental medicine. Bd. 23, Nr. 3. 1916.

UNGERMANN⁴⁾ gelang es im Februar 1916 zuerst, die Spirochaeten aus mit WEIL infizierten Meerschweinchen in flüssigem Medium im Reagenzglas in Reinkultur zu züchten. Kulturen, welche wiederum auf Meerschweinchen, Mäuse und Kaninchen, Ratten und Hunde verimpft wurden, erzeugten bei diesen Versuchstieren wieder das typische Krankheitsbild⁵⁾. Die Kulturen sind dauernd kultivierbar. Sie bleiben lange Zeit hindurch virulent, lassen sich über beliebig viele Nährbodenpassagen fortzüchten und bieten sowohl für experimentell biologische als auch für morphologische Untersuchungen ein reiches und wertvolles Material.

Bei der mikroskopischen Beobachtung der lebenden WEIL'schen Spirochaete zeigt es sich, daß dieselbe noch feiner als die *Spirochaeta pallida* ist. Sie wird nur etwa $\frac{1}{5}$ μ breit. Diese Breite ist konstant. Die Länge ist dagegen sehr variabel. Sie schwankt von 10 bis 85 μ . Bei gewöhnlicher Beleuchtung ist die WEIL'sche Spirochaete lebend im Mikroskop überhaupt nicht zu erkennen. Es ist dies in der überaus schwachen Lichtbrechung der Spirochaete begründet, und nur so ist es wohl zu erklären, daß sie dem Forscherauge so lange verborgen blieb. Erst im Dunkelfeld wird die Spirochaete erkennbar, hier allerdings schon bei verhältnismäßig schwacher Vergrößerung. (Zeiß Apochr. 18 mm C. Oc. 4.)

Bereits auf den ersten Blick bietet die WEIL'sche Spirochaete ein charakteristisches, von allen bekannten Spirochaeten abweichendes Bild. Es ist die Dreiteilung ihres Körpers, welche zunächst ins Auge fällt. Die Spirochaete besteht aus einem graden und langen Mittelteil, welches in ein Paar sehr charakteristisch umgebogenen Enden ausläuft (Tafel III, Fig. 1—5). Die Länge des Mittelteiles ist sehr variabel, während die umgebogenen Enden bei langen wie kurzen Exemplaren immer von ziemlich gleicher Größe sind (Tafel III, Fig. 1—7. Tafel IV, Fig. 24.) Es läßt dies den Schluß berechtigt erscheinen, daß das Wachstum der untereinander so sehr verschiedenen langen Spirochaeten nur im Mittelteil erfolgt. Im Leben fallen die von einer sehr starken aktiven Flexibilität zeugenden, überaus lebhaften, ruhelosen Bewegungen der Spirochaeten sofort ins Auge. Außer Rotation, Flexion und Sprungfederbewegung

⁴⁾ UNGERMANN, Züchtung der WEIL'schen Spirochaete. Deutsche Med. Wochenschrift Bd. 42, Nr. 15, p. 465. 1916.

— Die Reinkultur der WEIL'schen Spirochaete, der Hühner und der Recurrens-spirochaete. Arb. aus d. Kais. Ges.-Amt Bd. 51, Heft I. 1917.

⁵⁾ HAENDEL, UNGERMANN und JAENISCH, Experimentelle Untersuchungen über den Erreger der WEIL'schen Krankheit. Arb. aus d. Kais. Ges.-Amt. Bd. 51, Heft I. 1917.

des ganzen Körpers kommen den umgebogenen Enden sehr starke eigenbewegliche, schlagende oder rotierende Bewegungen zu. Diese haben den Hauptanteil an der Ortsbewegung der Spirochaeten. Bei den Bewegungen kommen Schlängelungen und Krümmungen der sonst geraden Spirochaete zustande, wodurch auch vorübergehend der Gegensatz von geradem Mittelstück und umgebogenen Enden aufgegeben werden kann.

Bei stärkeren Vergrößerungen (Zeiß Apoch. Imm. 2 mm C. Oc. 8) erkennt man bereits im Leben, daß die ganze Spirochaete aus einer sehr eng gewundenen Plasmaspirale besteht (Tafel III, Fig. 3). Die Windungen der Spirale sind so eng, daß sie einander berühren; sie lassen sich bis in die sich verjüngenden Enden verfolgen, so daß gut erkennbar ist, daß die Enden eine direkte Fortsetzung der Körperspirale darstellen und ebenso gebaut sind wie diese. Die Enden spitzen sich zu; an der Spitze kann man ein feines, etwas stärker lichtbrechendes Körnchen erkennen (Tafel III, Fig. 2, 4, 5—8, Textfigur 1).



Fig. 1. WEIL'sche Spirochaete schematisch. Achsenfaden und Endkörner.

Bei Einwirkung von Immuserum oder von lipoidlöslichen Mitteln auf die WEIL'sche Spirochaete wird von den Enden her zunehmend nach der Mitte zu die Körperspirale aufgelöst. Es bleibt dann ein die Spirale durchziehender, einheitlicher, feiner Faden übrig, welchem die beiden oben erwähnten, stark lichtbrechenden Körnchen an den Enden aufsitzen. Körnchen und Fibrille sind gegen lipoidlösliche Mittel resistent.

An gefärbten Präparaten — die zu deren Herstellung benutzten Methoden sind in der ausführlichen Arbeit angeführt⁶⁾ — lassen sich die oben erwähnten Verhältnisse noch deutlicher darstellen. Die in ihrer lebhaften Bewegung fixierten Spirochaeten zeigen auf Präparaten die verschiedensten Bilder, welche die unendlich mannigfachen Bewegungsmöglichkeiten wiedergeben: von Formen mit geradem Mittelteil und umgebogenen, weil im Schlagen fixierten Enden bis zu Spirochaeten, welche zu S, U oder Ringformen gekrümmt

⁶⁾ ZUELZER, Beiträge zur Kenntnis der Morphologie und Entwicklung der WEIL'schen Spirochaete. Arb. aus d. Kais. Ges.-Amt. Bd. 51. Heft 1. 1917.

sind. Auf all den mannigfachen Bildern ist deutlich zu erkennen, daß die Körperspiralen vollständig stabil sind, und bei allen verschiedenen Bewegungen unverändert erhalten bleiben.

Bei den im Kaiserlichen Gesundheitsamt ausgeführten Untersuchungen gelang es, die WEIL'sche Spirochaete auf Mäuse, Kaninchen, Meerschweinchen und Hunde zu übertragen. Dadurch hatte ich Gelegenheit, WEIL'sche Spirochaeten aus diesen verschiedenen Versuchstieren zu beobachten, und konnte feststellen, daß sich der Habitus der Spirochaete in den verschiedenen Versuchstieren nicht unerheblich verändert. In Mäusen sind die Spirochaeten am zartesten und am feinsten; in Meerschweinchen waren sie deutlich stärker. In Übereinstimmung damit sind die Befunde aus Kulturen, welche in verschiedenen Seren angelegt wurden. In Eselserum werden die Spirochaeten am kräftigsten und durchschnittlich am längsten. In Meerschweinchen- und Kaninchenserum bleiben sie durchschnittlich kürzer. Verschiedenes Eiweiß erzeugt also nach diesen Erfahrungen in den verschiedenen Seren und den verschiedenen Versuchstieren regelmäßige formative Variationen. Die nachstehend geschilderten Befunde beziehen sich auf Spirochaeten, welche aus Kaninchenserumkulturen oder aus Meerschweinchen stammen.

Bei intraperitoneal infizierten, weilkranken Meerschweinchen sind im Peritonealexsudat Spirochaeten reichlich zu finden. Im Blut dagegen gelingt es in den Anfangsstadien der Krankheit nicht, Spirochaeten mikroskopisch nachzuweisen. Teilungen im Peritonealexsudat sind häufig. Erst in den Endstadien der Krankheit sind Spirochaeten im Blut auch mikroskopisch festzustellen.

Bei den an WEIL eingegangenen Meerschweinchen finden sich in allen Organen Spirochaeten. Sie sind besonders mit der älteren Levaditi-Methode gut nachweisbar. Die Spirochaeten sind in allen Organen vorhanden, am reichlichsten aber in der Leber. Sie erfüllen hier die interzellulären Spalten vollständig, so daß die einzelnen Leberzellen wie von einem Netz von Spirochaeten umgeben sind (Tafel IV, Fig. 31). Die Spirochaeten durchsetzen aber nicht die ganze Leber gleichmäßig, sondern sie treten herdartig auf; dabei kommt es an solchen Stellen reichlich zu Nekrosenbildung.

In dem die Organe umgebenden Bindegewebe trifft man Spirochaeten nur spärlich an, dieselben bevorzugen offenbar das parenchymatöse Gewebe. Jedoch findet man häufig Spirochaeten in lebhafter Bewegung, welche das Bindegewebe durchwandern. Auch können die Spirochaeten die Gallengangwände sowie die Gefäßwände — sowohl die der Venen wie der Arterien — durchwandern. In den Blutgefäßen werden die Spirochaeten vielfach von Leukocyten

aufgenommen, dabei können alle Stadien der Phagocytose zur Beobachtung kommen. Besonders in dem Endstadium der Krankheit, bei welchem es zu reichlicher Thrombenbildung kommt, findet man bei den sich hier häufenden Leukocyten massenhaft solche, welche sich in Phagocytose befinden und mehr oder weniger verdaute Spirochaetenreste in großen Mengen enthalten.

Was nun die Parasitenatur der WEIL'schen Spirochaete anbetrifft, so ist hinsichtlich ihres organotropen Verhaltens und ihrer Fähigkeit Nekrosen zu bilden wie in ihrem herdförmigen Auftreten wohl eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Verhalten der *Spirochaeta pallida* wahrnehmbar. Andererseits ist nicht zu verkennen, daß nach dem Verlauf der WEIL'schen Krankheit, wie namentlich bezüglich des stärkeren Auftretens der Spirochaeten im Blut der Meerschweinchen im vorgeschrittenen Stadium der Krankheit auch eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Verhalten der Rekurrensspirochaeten besteht. Es ist deshalb wohl in dieser Hinsicht der WEIL'schen Spirochaete eine gewisse Mittelstellung zwischen der *Spirochaeta pallida* und der Rekurrensspirochaete zuzuweisen.

Teilungen der WEIL'schen Spirochaete sind sowohl im Peritonealexsudat gut infizierter Meerschweinchen als auch besonders in gut gedeihenden Kulturen häufig zu beobachten⁷⁾. Das stete und reichliche Auftreten von Teilungen ist zugleich der beste Maßstab für das gute Gedeihen der Kulturen. Schickt eine Spirochaete sich zur Teilung an, so biegt sich die ganze Spirochaete erst halbkreisförmig, um dann meist ziemlich genau in der Körpermitte scharf einzuknicken (Tafel III, Fig. 8, 9). Unter sehr lebhaften Kontraktionen der Spirochaete beginnt nun die Knickstelle sich mehr und mehr dünn auszuziehen, wobei die Spiralwindungen an der dünn ausgezogenen Stelle erhalten bleiben. Bald beginnen die beiden Teilhälften sich einander entgegengesetzt zu kontrahieren, wodurch die dünne Mittelpartie immer mehr ausgezogen wird. Kurz darauf fangen die beiden Teilhälften an, sich wie zwei selbständige Spirochaeten zu bewegen. Noch erhöht wird der Eindruck, daß man es bereits mit 2 selbständigen Individuen zu tun hat, dadurch, daß die verdünnte Mittelpartie sich von dem gradgestreckten,

⁷⁾ INADA berichtet in der erwähnten Arbeit ebenfalls über die gelungenen Reinkulturen aber auf festen Nährböden. Es ist dabei aber an keiner Stelle irgend eine Beobachtung von Teilungen erwähnt, noch in der Arbeit Abbildungen von solchen Vorgängen wiedergegeben. Dies ist um so auffallender als die Weiterzucht der Kulturen nur beim Auftreten lebhafter Teilungsvorgänge gelingt und die Teilungen bei dieser Spirochaetenart leicht zu verfolgen und bei dem besonders charakteristischen Verlauf nicht zu übersehen sind.

stärkeren Plasmaleib immer deutlicher absetzt und bei ihm Um- und Einbiegungen bemerkbar werden in ähnlicher Weise wie dies immer bei den umgebogenen Enden der ausgebildeten WEIL'schen Spirochaete der Fall ist (Tafel III, Fig. 10—15). Wenn die verdünnte Mittelpartie sich allmählich vollständig zu 2 umgebogenen Enden, wie wir solche als für die WEIL'sche Spirochaete charakteristisch kennen gelernt haben, ausgebildet hat (Tafel III, Fig. 16—17), so tritt zwischen den beiden neugebildeten, umgebogenen Enden, welche nur noch durch einen verschieden langen, sehr feinen, ungeringelten Plasmafaden miteinander zusammenhängen, in der Mitte dieses Fadens ein feines, lichtbrechendes Körnchen auf (Tafel III, Fig. 18—20). Kurz danach bildet sich neben diesem Körnchen — ob aus demselben durch Teilung hervorgegangen oder nicht, läßt sich nicht entscheiden — ein zweites ebensolches Körnchen. Zwischen diesen Körnchen reißt dann die Spirochaete durch und der Teilungsprozeß, welcher somit als typische Querteilung verläuft, ist beendet (Tafel III, Fig. 21).

Seltener als die Zweiteilung tritt die Dreiteilung auf (Tafel III, Fig. 22, 23). Gelegentlich wurde auch Vier- und Fünfteilung beobachtet. Die Mehrteilung verläuft in den Einzelheiten ebenso wie die Zweiteilung. Gelegentlich kann aber die Teilung in solchen Fällen nicht gleichzeitig, sondern nacheinander erfolgen. Auch ist es bemerkenswert, daß sich in denselben Ausstrichen, also unter den gleichen biologischen Bedingungen, kurze und lange Spirochaeten in Teilung befinden. Es können so Spirochaeten von 12 μ Länge neben solchen von 60 μ Länge in Zweiteilung vorkommen. Gelegentlich fand ich Spirochaeten von 16—20 μ Länge in Dreiteilung, und zwar auf Präparaten, auf denen gleichzeitig andere Spirochaeten von 30—40 μ Länge in Zweiteilung waren. Wachstumsintensität und Teilungstendenz sind also, wenigstens bei der WEIL'schen Spirochaete, voneinander unabhängige Faktoren.

Betrachtet man den feineren Bau der WEIL'schen Spirochaete, so fällt die große Übereinstimmung ins Auge, welche sie mit der



Fig. 2. *Spirochaeta plicatilis* EHRB. schematisch. Nach ZUELZER aus DOFLEIN.

Organisation des Typus der Gattung *Spirochaeta*, mit *Spirochaeta plicatilis* EHRB. zeigt. Wie bei der WEIL'schen Spirochaete ist bei *Spirochaeta plicatilis* das in echten Spiralen gewundene Plasma

von einem geraden Achsenfaden durchzogen, an dessen beiden Enden je ein Körnchen nachweisbar ist, welches sich gegen Farbstoffe und Reagentien ebenso verhält wie der gerade Faden. Bei *Spirochaeta plicatilis* liegen in den Plasmaspiralen außerdem ziemlich regelmäßig verteilt Volutin- und Chromatinkörner. Bei der $\frac{1}{2}$ — $\frac{3}{4}$ μ breiten, und bis 500 μ langen *Spirochaeta plicatilis* lassen sich alle Organisationsverhältnisse natürlich leichter erkennen als bei der nur 0,2 μ breiten WEIL'schen Spirochaete. Bei *Spirochaeta plicatilis* kann man im Leben im alveolären Plasma überaus lebhaftes Plasmaströmungen beobachten. Kontraktilität ist eine Funktion des lebenden Plasmas. Das kontraktile Plasma stellt das aktiv bewegliche Element bei der Spirochaetenbewegung dar, während der zentrale Achsenfaden, der zwar auch elastisch und flexibel ist, mehr das Bestreben hat, möglichst grade gestreckt zu bleiben und so bei allen den mannigfachen Bewegungen der Spirochaete als Antagonist bei der Bewegung wirkt⁸⁾.

Die Körperspiralen sind ebenso wie bei der WEIL'schen Spirochaete auch bei *Spirochaeta plicatilis* überaus stabil und bleiben bei all den ruhelosen, tastend, bohrend und zitternd schlängelnden, oft auch muskelartig blitzschnell zusammenzuckenden Bewegungen unverändert erhalten. Die geordneten Bewegungen der Spirochaete und die stabile Form derselben haben wohl ihre Ursache in der festen Verbindung des strömenden Plasmas mit dem an sich unbeweglichen, starren, aber offenbar sehr elastischen Achsenfaden. Der Achsenfaden ist eine strukturlose Fibrille, welche der nackten, d. h. von keiner morphologisch differenzierten Membran umgebenen Spirochaetenzelle als formgebendes Skelett- und Stützelement dient, ähnlich wie dies bei den Achsenstäben vieler Flagellaten, z. B. *Lambli*a und *Trichomastix*, der Fall ist. Der gegen 1 % Kalilauge, Pepsinsalzsäure und 5 % Sodalösung widerstandsfähige Achsenfaden vermag sich nur in seiner Längsausdehnung zu kontrahieren und streckt die verschlungenen, oft ganz ineinander verwickelten Spirochaeten immer wieder in ihre ursprüngliche Ruhestellung gerade aus. Auf die Übereinstimmung des Baues der *Spirochaeta plicatilis* mit dem von Cilien und Geißeln und die Gleichartigkeit ihrer Bewegungen habe ich in meiner früheren Arbeit über *Spirochaeta plicatilis* EHRENBG. und deren Verwandtschaftsbeziehungen (ZUELZER 1911, p. 13) ausführlicher hingewiesen, so daß ich hier darauf nicht näher einzugehen brauche.

⁸⁾ ZUELZER, Über *Spirochaeta plicatilis* EHRB. und deren Verwandtschaftsbeziehungen. Arch. f. Protistenkunde Bd. 24. 1911.

Die Endkörner des Achsenfadens bei *Spirochaeta plicatilis*, welche gewissermaßen als Verankerungsstelle des elastischen Elementes aufzufassen sind, finden wir in ganz ähnlicher Ausbildung bei der WEIL'schen Spirochaete wieder; doch haben sie hier bei den typisch geformten, eine lebhaftere Eigenbeweglichkeit zeigenden Enden noch eine besondere physiologische Funktion mit übernommen. Es fällt ihnen offenbar eine besondere Rolle bei der Bewegung zu, indem sie bei den sehr lebhaft schwingenden, feinen Enden der WEIL'schen Spirochaete gewissermaßen wie Gewichte den Widerstand des umgehenden Mediums zu überwinden helfen. Die für die WEIL'sche



Fig. 3. Ende einer *Spirochaeta plicatilis* EHRB. mit Achsenfaden und Endkorn.

Spirochaete sehr charakteristischen Enden sind wohl ihrer Funktion, nicht aber ihrer Morphologie nach geißelähnlich. Denn sie sind keine angehefteten Geißeln, sondern, worauf oben p. 421 bereits hingewiesen wurde, Teile des Spirochaetenleibes selbst. Ihre charakteristischen morphologischen Eigentümlichkeiten aber sind wohl aus ihrer physiologischen Funktion zu erklären.

EHRENBERG stellte 1838 die Gattung *Spirochaeta* für die von ihm entdeckte Spezies *Spirochaeta plicatilis* auf. Zugehörigkeit zu dieser Gattung kann man nur solchen Organismen zusprechen, welche nicht nur äußerlich mit diesem Typus der Gattung eine Ähnlichkeit aufweisen, sondern deren Morphologie mit der für *Spirochaeta plicatilis* sicher gestellten Diagnose in allen wesentlichen Punkten übereinstimmt, wie dies für alle Spezies derselben Gattung erforderlich ist. Die Diagnose für das Genus *Spirochaeta* EHRENBERG lautet: Spiralig gebauter Organismus, der von einem geraden Achsenfaden durchzogen wird, löslich in Trypsin ist (Mangel einer morphologisch differenzierten Membran); in den Plasmaspiralen je ein Volutinkorn; Vermehrung durch Querteilung (Zwei- und Vielfachteilung). Die Spirochaetenzelle ist zylindrisch, im Querschnitt kreisrund (ZUELZER 1911, p. 17). Der Bau der WEIL'schen Spirochaete ist, wie aus meiner Schilderung auf p. 421 hervorgeht, im wesentlichen übereinstimmend mit dem von *Spirochaeta plicatilis*. Hier wie dort wird ein zentral gelegener, gerade gestreckter Achsenfaden schraubig von einer Plasmaspirale umwunden. Der Achsenfaden mündet an beiden Enden in ein morphologisch differenziertes Körnchen. Beide Organismen sind drehrund und vermehren sich

durch Querteilung (Zwei- und Vielfachteilung). Die WEIL'sche Spirochaete unterscheidet sich von der *Spirochaeta plicatilis* durch den Besitz der typisch geformten, charakteristisch gebogenen, schwingenden Enden. Es handelt sich dabei um Abweichungen, welche in der Bewegungsart der WEIL'schen Spirochaete ihre Erklärung finden. Ihrer ganzen morphologischen Struktur nach ist jedenfalls die WEIL'sche Spirochaete dem Genus *Spirochaeta* EHRENBERG als besondere Spezies einzureihen, und zwar mit der Speziesdiagnose: Durchschnittslänge 13—14 μ (im Meerschweinchen vereinzelte Exemplare bis 85 μ), Dicke 0,2 μ . Die Körperspiralen setzen sich ununterbrochen in die umgebogenen Enden fort; dieselben sind scharf vom Körper abgesetzt und tragen an ihren Enden je ein Endkörnchen. Vermehrung durch Querteilung (Zwei- und Vielfachteilung).

Besonders hinweisen möchte ich noch auf die große Ähnlichkeit der WEIL'schen Spirochaete mit *Spirochaeta stenostrepta* ZUELZER (Tafel IV, Fig. 26, 27). Ich stellte diese Spezies (ZUELZER 1910) für eine unter den gleichen biologischen Bedingungen wie *Spirochaeta plicatilis* lebende echte Spirochaete auf. Diese ist dadurch charakterisiert, daß ihr Plasma in ganz engen und steilen, einander berührenden Spiralen aufgewunden ist, ungemein ähnlich wie dies oben (p. 421) von der WEIL'schen Spirochaete beschrieben wurde⁹⁾.

⁹⁾ DOFLEIN 1911 weist in seiner „Natur der Spirochaeten“ (Probleme der Protistenkunde S. FISCHER, 1911) ausführlich auf Grund von Präparaten von mir auf die Bedeutung des Baues der echten Spirochaeten für die Spirochaetensystematik hin. Dabei ist aber *Spirochaeta stenostrepta* ZUELZER p. 7, Fig. 2c irrtümlich als „*Spirochaeta stenogyra*“ bezeichnet worden. — Von DOBELL ist die von mir als *Spirochaeta stenostrepta* ZLZ. bereits 1910 beschriebene (ZUELZER: Über *Spirochaeta plicatilis* und *Spirulina*. Zoolog. Anzeiger Bd. 35 Nr. 24/25, 1910), beim Zoologenkongreß in Graz demonstrierte (Verhandlungen des VIII. internationalen Zoologenkongresses zu Graz vom 15.—20. August 1910) und schließlich 1911 (Über *Spirochaeta plicatilis* EHRB. und deren Verwandtschaftsbeziehungen. Arch. f. Prot. Bd. 24, 1911) ausführlich behandelte Spirochaete im Jahre 1912 in seiner Arbeit „Research on the Spirochaets and related organisms“ (Arch. f. Protist. Bd. 26) als *Spirochaeta minima* DOBELL neu beschrieben worden. Ebenso wurde von DOBELL die von mir in den eben erwähnten Arbeiten 1910 und 1911 als *Spirochaeta eurystrepta* ZUELZER beschriebene Spirochaete als *Treponema vivax* resp. *Spirochaeta fulgurans* DOBELL neu bezeichnet. Bei den von DOBELL gegebenen Bezeichnungen handelt es sich demnach nur um Synonyma.

Ebenso bilden auch verschiedene andere von DOBELL 1912 als neu angegebene Tatsachen, wie die Anwesenheit von H₂S beim Gedeihen freilebender Spirochaeten, die Flexibilität, die Bewegungen und Membranbildungen bei Spirochaeten und Spirulinen nur eine Bestätigung entsprechender von mir in den angegebenen Arbeiten (ZUELZER 1910, 11) bereits mitgeteilter Befunde.

INADA und seine Mitarbeiter schildern den Erreger der WEIL'schen Krankheit als rosenkranzartig gebaut, wobei ein stärker lichtbrechendes Körnchen mit einem schwächer lichtbrechenden abwechseln soll. Über Vermehrung und Teilungen enthält ihre Mitteilung keinerlei Angaben. Trotzdem ist aber doch wohl anzunehmen, daß die zuerst von den japanischen Autoren beschriebene Spirochaete mit der Spirochaete der WEIL'schen Krankheit identisch ist. Sie bezeichneten die von ihnen gefundene Spirochaete als *Spirochaeta icterohaemorrhagiae*; UHLENHUT und FROMME benannten den Erreger der WEIL'schen Krankheit als *Spirochaeta icterogenes*, während HÜBENER und REITER den Namen *Spirochaeta nodosa* in Vorschlag brachten.

Was nun die Morphologie der übrigen bisher bekannten pathogenen Spirochaeten angeht, so ist sie nach den bisherigen Beschreibungen schwer mit der vorstehend besprochenen echten Spirochaeten in Einklang zu bringen. Es finden sich darüber in der Literatur starke Widersprüche, so daß es sehr schwer ist, sich ein einheitliches Bild von der feineren Struktur dieser Spirochaeten zu machen. Sehr häufig tritt bei der Beschreibung mehr oder weniger stark das Bestreben in den Vordergrund, den Bauplan derselben auf den Bau der Trypanosomen zurückzuführen und eine undulierende Membran, Randfaden oder Periplastfibrillen nachzuweisen. HARTMANN, HOFFMANN, HÖLLING, MÜHLENS, PROWAZEK und SCHAUDINN machten Angaben über die Existenz einer undulierenden Membran bei einer Reihe pathogener Spirochaeten, wobei häufig als Voraussetzung auf das SCHAUDINN'sche Schema von *Spirochaeta plicatilis* hingewiesen wird, welches seitliche Verbreiterungen zeigt. Die näheren Einzelheiten ergibt das Schema, welches ich 1911 Tafel III (ZUELZER, über *Spirochaeta plicatilis* EHRB. und deren Verwandtschaftsbeziehungen) darstellte¹⁰⁾. Da die drehrunde *Spirochaeta plicatilis* selbst, wie aus dem auf p. 424 Gesagten hervorgeht, keine undulierende Membran hat, so möchte ich an dem Vorhandensein einer solchen Membran bei den pathogenen Spirochaeten ebenfalls zweifeln. Auch über die Fortpflanzung der pathogenen Spirochaeten sind die Meinungen recht geteilt. GONDER, HARTMANN, LÜHE, PROWAZEK und SCHAUDINN vertraten lange Zeit hindurch die Auffassung einer Längsteilung vieler pathogener Spirochaeten bei der Vermehrung. Endlich wurde von der *Spirochaeta*

¹⁰⁾ Die in der 3. Aufl. 1911 des DOFLEIN'schen Lehrbuches der Protozoenkunde gegebene Abbildung des von mir aufgestellten Schemas der *Spirochaeta plicatilis* ist in der 4. Aufl. 1916 p. 391 Fig. 3, 296 irrtümlich als SCHAUDINN'sches Spirochaetenschema bezeichnet worden.

gallinarum und der *Spirochaeta recurrentis* berichtet, daß sie nicht wie echte Spirochaeten rund und in echten Spiralen aufgewickelt, sondern nur wellenförmig gebogen seien. Da aber echte Spirochaeten durch wirkliche Spiralbildung, den Besitz des Achsenfadens und die Vermehrung durch Querteilung wohl charakterisierte Organismen sui generis sind, und die erwähnten Eigenschaften bisher zusammen bei keiner pathogenen Spirochaete nachgewiesen werden konnten, wurde vorgeschlagen, die pathogenen Spirochaeten als Spironemaceen (VUILLEMIN 1905) oder als Treponema (SCHAUDINN 1905) von den echten Spirochaeten abzutrennen. Ob diese Vorschläge berechtigt sind, wird sich ergeben, wenn weitere Untersuchungen die morphologischen Verhältnisse bei den in Betracht kommenden pathogenen Spirochaeten vollständig geklärt haben. Für Untersuchungen nach dieser Richtung bot sich mir Gelegenheit, bei den mir zur Verfügung stehenden Kulturen von Herrn Regierungsrat UNGERMANN von *Spirochaeta gallinarum*, welche dafür ein besonders geeignetes und wertvolles Material lieferten. Dabei gelang es mir bei *Spirochaeta gallinarum* durch eine besondere Behandlung des für die Lösung dieser feinen, morphologischen Einzelheiten sehr schwierigen Objektes einwandfrei festzustellen, daß auch diese Spirochaete ebenso wie die *Spirochaeta plicatilis* von einem zentral gelegenen, gestreckten elastischen Achsenfaden durchzogen und der Achsenfaden vom Plasma in einer Spirale umwunden wird. Über die näheren Ergebnisse dieser Untersuchungen und die ausführlichen Methoden der Darstellung dieser systematisch wichtigen Tatsache wird unter Wiedergabe von Photogrammen an anderer Stelle noch ausführlich berichtet werden¹¹⁾.

Was nun solche Merkmale anlangt, welche allen pathogenen Spirochaeten ebenso wie den Spirochaeten vom *plicatilis*-Typ ge-

¹¹⁾ In dem kürzlich erschienenen Buche „die pathogenen Protozoen“ von HARTMANN und SCHILLING schlagen die Autoren eine Neueinteilung der Spirochaeten als Ordnung *Spirochaetoidea* mit den Gattungen *Spirochaeta*, *Cristispira*, *Spirosoma* syn *Spironema*, *Treponema* vor. Da die dabei auf pag 336 allerdings ohne näheren Hinweis gegebenen Abbildungen mit solchen in früheren Arbeiten von mir (1910, 1911) gegebenen übereinstimmen, und die Autoren in den einleitenden Worten auch auf frühere Arbeiten von mir Bezug nehmen, so könnte der Eindruck entstehen, daß eine derartige Trennung auch von mir vertreten wird. Deshalb möchte ich kurz hervorheben, daß dies nicht der Fall ist. Wie aus meinen Arbeiten hervorgeht, halte ich nur eine Abtrennung der Cristispiren für angezeigt. Eine Aufstellung der Gattungen *Spirosoma* syn. *Spironema* und *Treponema* mit der Diagnose „ohne nachweisbare“ resp. „erkennbare Innenstruktur“ halte ich, auch im Hinblick auf den gelungenen Nachweis eines Achsenfadens bei der Hühnerspirochaete vorläufig nicht für erforderlich.

meinsam sind, so muß als ganz besonders charakteristisch darauf hingewiesen werden, daß auch sie nackte, d. h. von keiner morphologisch differenzierten Membran umgebene Zellen darstellen, welche ebenfalls eine wohl ausgebildete, starke, aktive Flexibilität besitzen. EHRENBURG stellte die von ihm entdeckte Gattung *Spirochaeta* ursprünglich zu den Vibrioniden und hielt sie für flexible Bakterien. Die Ähnlichkeit der Spirochaeten mit einer ganzen Reihe von Bakterien ist in der äußeren Erscheinung eine überraschend große. In der Gruppe der Vibrionen und Spirillinen finden sich eine ganze Reihe lang gestreckter, entweder spiralgig um die Längsachse gewundener, oder wellenförmig geschlängelter Organismen, die unleugbar stark an die Spirochaeten erinnern. Spirochaeten und Bakterien unterscheiden sich jedoch grundlegend dadurch, daß der Bakterienkörper starr ist und sich daher nicht in der Richtung der Längsachse zu verändern vermag. Auch sind die Bakterien entweder unbeweglich, oder diejenigen, welche sich bewegen können, vermögen ihre Bewegungen nur vermittels besonderer Organellen, der Geißeln, auszuführen, während, wie oben gezeigt wurde, den Spirochaeten eine starke aktive Flexibilität ihres ganzen Plasmaleibes zukommt. Amöboide Plasmaströmungen verursachen hier die lebhaften, krümmenden, kriechenden, drehenden, schlagenden Bewegungen und die Ortsbewegung. Als einziger formerhaltender Bestandteil, als Skelettelement, ist hier nur, wie oben ausgeführt wurde, der gerade, elastische Achsenfaden nachweisbar. Die Starrheit des Bakterienkörpers dagegen hat ihren Grund darin, daß jede Bakterienzelle vollständig umgeben ist von einer festen Membran, welche der Zelle ihre Gestalt aufprägt. Die Membran dient als formgebendes und Stützelement; sie ist das einzige Skelettelement, welches die Bakterienzelle aufweist. In der Bakterienzelle kommt es ebenso wie in der Spirochaetenzelle zu keiner Differenzierung

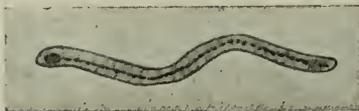


Fig. 4. Marine Spirillacee mit zentral verlaufender Körnerreihe.

von Kern und Plasma. Gelegentlich aber können zentral und sehr dicht liegende Körner z. B. in verschiedenen marinen langen Spirillaceen oder im *Bacillus bütschlii* SCHAUDINN achsenfadenartige Gebilde vortäuschen. Hierbei gelingt es jedoch stets nachzuweisen, daß es sich dabei um dicht aneinander lagernde feine Körner handelt (Textfigur 4), niemals aber um ein einheitliches, achsen-

stabartiges Element. Ich vermute, daß sich auch die von DOBELL¹²⁾ 1911 in etwas schematischer Weise wiedergegebenen chromatischen „Filamente“ von Bakterien (DOBELL, Tafel 16 und 17) als aus Körnchen zusammengesetzt differenzieren lassen. Bei einer marinen Spirillacee, welche cytologisch sehr der von DOBELL abgebildeten ähnelt, ist mir dies bereits gelungen (Textfig. 4) (ZUELZER 1911). Ich konnte hier alle Übergänge einer deutlichen zentral verlaufenden Körnchenreihe feststellen bis zu ganz dichten fadenartigen, zentral verlaufenden Bildungen, welche sich jedoch stets als aus einzelnen Körnern zusammengesetzt erwiesen. Ähnlich liegen auch die cytologischen Verhältnisse bei den Cyanophyceen. Ich habe in meiner Arbeit 1911 genauer den feineren Bau verschiedener *Spirulina*-Arten geschildert und konnte dabei feststellen, daß *Spirulina* wie alle übrigen Oscillatorien von einer festen, doppelt konturierten Membran umgeben ist, welche jedoch im Gegensatz zu der der Bakterien elastisch ist. Die Spirulinen sind in echten Spiralen aufgewunden. Zentral durchzieht alle Windungen eine dicht gedrängte Reihe von Volutin- und Chromatinkörnern den zylindrischen, spiralgig gewundenen Zellfaden schnurgerade, ganz ähnlich etwa wie der Docht einen eng gewickelten Wachsstock. Diese Verhältnisse, welche ich bereits 1910 geschildert und in Graz 1910 auf dem Zoologenkongresse demonstriert und 1911 auch abgebildet hatte, sind in der bereits oben erwähnten Arbeit von DOBELL 1912¹³⁾ ebenfalls bestätigt worden. Eine Bestätigung eines Teiles meiner Befunde speziell von *Spirulina versicolor* und *Arthospira jenneri*, bringen auch DOBELL's Abbildungen. Allerdings wird die Übereinstimmung dieser morphologischen Befunde von DOBELL nicht erwähnt; sondern er weist in einem Nachtrag zu seiner Mitteilung nur kurz auf meine Arbeit hin mit der Behauptung, daß von mir bei Beschreibung der den Spirulinenkörper zentral durchziehenden Körnerreihe Volutin-, Chromatin- und Cyanophycinkörner nicht genügend unterschieden worden seien. Wie aus den in meiner Arbeit von 1911 p. 34—46 ausführlich dargestellten Mikroreaktionen an *Spirulina tenuissima*, *versicolor* und *albida*, sowie an *Arthospira*

¹²⁾ DOBELL, Contributions to the cytology of the bacteria. Quart. Journ. of Mikrosk. Science Bd. 56 P. 3. 1911.

¹³⁾ ZUELZER, Über *Spirochaeta plicatilis* und *Spirulina*. Zoolog. Anzeiger Bd. 35. 1910.

Verhandlungen des 5. intern. Zoologenkongresses in Graz vom 15. bis 20. August 1910.

Über *Spirochaeta plicatilis* EHRB. und deren Verwandtschaftsbeziehungen. Arch. f. Protistenkunde Bd. 24. 1911.

jenniferi hervorgeht, ist bei den im Leben blaugrün bis weinrot gefärbten Spirulinen im Plasma gelöster blaugrüner bis weinroter Farbstoff, das Phycosin, vorhanden. In der zentral verlaufenden Körnerreihe konnten von mir nach A. MEYER'S Volutinreaktion verschiedenartige Volutinkörner, und wie Verdauungsversuche und Farbreaktionen ergaben, auch Chromatinkörner nachgewiesen werden. Dieselben liegen bei *Arthrospira jenniferi* in einem plastinartigen Grundgerüst eingelagert. DOBELL untersuchte nur *Spirulina versicolor* und ein Exemplar von *Arthrospira jenniferi*. Mikroreaktionen, speziell Volutinreaktionen, sind nicht von ihm beschrieben; seine Färbungen — Hämatoxylin und Karminfärbungen — stimmen aber mit meinen Resultaten vollkommen überein. Es fehlt somit jegliche Begründung für die von DOBELL in dem erwähnten Nachtrag zu seiner Arbeit p. 230 aufgestellten Behauptung.

Wie die Spirulinen zeigen auch die frei lebenden Saprospiren, welche ähnlich wie die Oscillatorien von einer elastischen Membran umhüllt sind, nirgends eine Andeutung einer achsenfadenartigen Bildung.

Die Membran dient also offenbar da, wo sie vorhanden ist, als formgebendes und Stützelement. Dagegen gelangt der Achsenfaden, welcher ebenfalls ein formgebendes und Stützelement darstellt, nur in nackten, plasmatischen Zellen zur Ausbildung, wo eine Membran nicht vorhanden ist. Niemals jedoch kommen Achsenfaden und Membran bei dem gleichen Organismus vor. In dem steten Vorhandensein einer starren, morphologisch differenzierten Membran als Skelett und Stützelement bei den Bakterien einerseits und dem Fehlen des elastischen Achsenfadens bei denselben, dem Vorhandensein eines Achsenfadens bei den Spirochaeten andererseits und dem Fehlen einer morphologisch differenzierten Membran bei diesen Organismen, ist der charakteristische Unterschied zwischen Bakterien und Spirochaeten zu sehen.

In der 4. Auflage 1916 seines Lehrbuches der Protozoenkunde hat DOFLEIN das Kapitel über Spirochaeten sehr stark gekürzt und zum größten Teil ganz beseitigt, während in den früheren Auflagen, besonders noch in der 3. Auflage von 1911 diesen theoretisch sehr interessanten und auch praktisch wichtigen Organismen ein ausführliches Kapitel gewidmet war. Der im Vorwort der 4. Auflage hierfür gegebenen Erklärung: „Mittlerweile (— also seit 1911 —) haben wir uns überzeugt, daß die Verwandtschaft der Spirochaeten mit den Protozoen viel weniger eng ist, als man eine Zeit lang auf Grund SCHAUDINN'Scher Theorien und jetzt als unrichtig erkannter Angaben dieses Autors annahm“, wird man nicht beipflichten

können. Wenn ich auch selbst mich wiederholt bemüht habe, die SCHAUDINN'sche Auffassung vom trypanosomenartigen Bau der Spirochaeten zu widerlegen, so ist durch den Nachweis, daß ein solcher trypanosomenartiger Bauplan bei den Spirochaeten nicht besteht, doch noch nichts gegen die Protozoennatur der Spirochaeten gesagt. Vielmehr weist die genauere Kenntnis der feineren morphologischen Verhältnisse der echten Spirochaeten, wie wir sie jetzt besitzen, sogar noch deutlicher als früher auf die Protozoenverwandtschaft der Spirochaeten hin¹⁴⁾.

Dazu kommen verschiedene Merkmale biologischer und pathogener Art, welche ebenfalls weit mehr für die Protozoenverwandtschaft als für die Bakteriennatur der Spirochaeten sprechen.

Dagegen halte ich, um schließlich noch kurz auf die Verwandtschaftsbeziehungen der Spirochaeten zu den Cristispiiren (GROSS 1910 syn. Muschelspirochaeten) einzugehen, ebenso wie GROSS Spirochaeten und Cristispiiren nicht für verwandte Organismen. Denn wie GROSS mikroskopisch¹⁵⁾ (1910) nachgewiesen hat, und wie ich (1910 und 1911) mittels einer ganzen Reihe von Mikroreaktionen feststellen konnte, sind die Cristispiiren von einer morphologisch differenzierten, doppelt konturierten Zellmembran umgeben. HÖLLING¹⁶⁾ beschreibt dagegen (1911) die Muschelspirochaeten als membranlose Organismen, deren Körperoberfläche als Periplast differenziert sei. Er faßt somit die sich mikroskopisch darbietende Körperumhüllung der Muschelspirochaeten als eine hapto-genmembranartige Körperdifferenzierung auf, ähnlich der Oberflächenbeschaffenheit von nackten Amöben oder von Trypanosomen. Danach würde diese kein formgebendes Element darstellen. Als Beweis für seine Auffassung führt HÖLLING an, daß die Muschelspirochaeten nicht plasmolysierbar seien. Dieser Auffassung ist entgegenzuhalten, daß es gelingt, durch cytolytische Mittel den Zellinhalt dieser Muschelparasiten aufzulösen. Es bleibt dann eine deutliche, doppelt konturierte Membran übrig. Ferner gelang es mir bei den Cristispiiren, die Zellmembran auch durch Plasmolyse darzustellen, also den Nachweis zu erbringen, welchen HÖLLING für die sichere Feststellung der Natur der Oberflächenbeschaffenheit der Cristispiiren gefordert

¹⁴⁾ Über die systematische Stellung der Muschelcristispiiren, welche DOFLEIN p. 392 noch bei den echten Spirochaeten behandelt, verweise ich auf das p. 436 gesagte.

¹⁵⁾ GROSS, *Cristispira* nov. gen. Ein Beitrag zur Spirochaetenfrage. *Mitteil. d. Zool. Stat. Neapel* Bd. 20. 1910.

¹⁶⁾ HÖLLING, Vergleichende Untersuchungen über Spirochaeten. *Arch. f. Protist.* Bd. 23. 1911.

hatte. Ich bin auf diese Fragen: ob es sich bei der Oberflächenbeschaffenheit der Spirochaeten, Spirulinen und Cristispiiren um eine Haptogenmembran (Periplast oder dgl.) oder echte Membran, d. h. ein Zellprodukt handelt, in meiner Arbeit 1911 in einer Reihe von Lösungs- und osmotischen Versuchen näher eingegangen. Es gelang mir durch Einwirkung von 15% Kalisalpetatlösung Cristispiiren zu plasmolysieren und dabei eine feine, doppelt konturierte Membran darzustellen. Es genügte jedoch auch, zur Plasmolyse von Cristispiiren Trockenpräparate herzustellen, wie solche in der Bakteriologie üblich sind. Bei der hier unvermeidlich beim Eintrocknen zustande kommenden Präparationsplasmolyse wird die Membran erkennbar, worauf bereits GROSS hinwies. Ich halte demnach die Cristispiiren als von einer Membran umhüllte Organismen, welche optisch als doppelt konkuriert erkennbar ist. Wie die erwähnten mikrochemischen Reaktionen erwiesen, ist diese chitin- oder cutinartig und weist Zelluloseeinlagerungen auf. Ich glaube daher, daß ein sich optisch und mikrochemisch derartig verhaltendes Gebilde als Membran und nicht als Periplast anzusprechen ist.

Die Cristispiirenmembran muß, wie die Cristispiirenbewegungen lehren, elastisch sein, ganz ähnlich wie dies bei der Zellmembran der Oscillatoriaceen und Beggiatoen der Fall ist. Aber Form und Bewegung der Muschelcristispiiren werden nicht wie HÖLLING annimmt vom Körper, sondern eben von dieser flexiblen und festen Hülle bestimmt.

Die elastische Membran trägt an der einen Seite ein zartes, plasmatisches Organell, die Crista (GROSS 1910), an deren äußerem Rande ich eine überaus zarte Randfibrille nachweisen konnte (1910, 1911). Die Cristispiirenbewegung — ein ständiges blitzschnelles Auf- und Zuschnellen des ganzen Organismus — kommt offenbar dadurch zustande, daß die von der Randfibrille in der Längsrichtung umgrenzte, plasmatische Crista kontraktile ist. Regelmäßig wiederkehrende Kontraktionen der Crista mit ihrer sich wieder gerade ausstreckenden, elastischen Randfibrille verursachen peristaltische Bewegungen des in seine Ruhelage zurückstrebenden Cristispiirenkörpers.

Der Cristispiirenkörper ist aus regelmäßig aneinander gereihten, zylindrischen Kammern zusammengesetzt. Der Kammerinhalt ist im Leben erheblich schwächer lichtbrechend als die Kammerwände. Die Kammerwände sind plasmatisch und dicht erfüllt von feinsten, sich mit Kernfarbstoffen stark färbenden Granulationen. Ich habe diese Verhältnisse an einem hierfür überaus gut geeigneten Objekte, an *Cristispira veneris* ZUELZER (Tafel IV Fig. 30), einem Parasiten

von *Venus verrucosa*, in Graz 1910 demonstriert und 1911 ausführlich beschrieben. DOBELL¹⁷⁾ fand 1911 *Venus casta* CHEM. mit einem gleichen Parasiten infiziert, über den er ohne meine früheren Befunde zu erwähnen ausführlich berichtet und neu benennt. In einer späteren Arbeit¹⁸⁾ geht DOBELL nochmals auf diesen Parasiten näher ein und erwähnt, daß ich das Plasma der *Spirochaeta plicatilis* als gekammert beschrieben habe, in der Annahme, daß die Kammerung der auch von ihm beobachteten *Cristispira veneris* gleichwertig und systematisch in Übereinstimmung zu bringen sei mit der für die *Spirochaeta plicatilis* festgestellten Struktur. Diese Annahme ist nicht zutreffend. Bei der verhältnismäßig großen *Spirochaeta plicatilis* ist (ZUELZER 1911 p. 8) die Primitivstruktur des Plasmas erkennbar. Ich habe ausdrücklich betont, daß das alveolär gebaute Plasma der *Spirochaeta* aus einer einzigen Wabenreihe im Sinne BÜTSCHLI's besteht. Es handelt sich demnach bei *Spirochaeta plicatilis* um die Struktur des Plasmas, wie sie von BÜTSCHLI als Waben- oder Schaumstruktur bezeichnet und seither als dem Plasma als solchem eigentümlich bei einer großen Anzahl pflanzlicher und tierischer Organismen nachgewiesen wurde. Man kann also die Alveolarstruktur der *Spirochaeta plicatilis* nicht als ein typisches Spirochaetenmerkmal auffassen, wie DOBELL dies tut. Die Kammerung der Cristispiren dagegen ist anderer Art. Sie ist nicht der Ausdruck der Elementarstruktur des Plasmas, sondern einer weitergehenden Differenzierung.

Der Körper der $1\frac{1}{2}$ μ breiten, also verhältnismäßig dicken Muschelcristispiren wird aus einer Reihe von Kammern zusammengesetzt. Die Kammerwände bestehen möglicherweise aus alveolärem Plasma, dessen feinere Struktur jedoch durch dichte Körnchenansammlungen verdeckt wird. Der biologisch wie systematisch wichtigste Unterschied von Spirochaeten und Cristispiren besteht aber darin, daß die Spirochaeten amöbenartig nackte Zellen repräsentieren, während die Cristispiren schizophytenartig von einer elastischen Membran umgeben sind. Wenn DOBELL ferner erwähnt, daß er die Cristispirencrista mit dem Spirochaetenachsenfaden homologisiert, so kann ich seiner Meinung auch darin nicht beitreten; denn wie ich glaube nachgewiesen zu haben, ist der Achsenfaden — eine Fibrille — ein Plasmaprodukt, das Skelett und Stützelement der Spirochaete, in Form und Funktion als formge-

¹⁷⁾ DOBELL, On *Cristispira veneris* nov. spec. and the affinities and classification of Spirochaets the Quart. Journ. of Microsc. Sc. Vol. 56 p. 3. 1911.

¹⁸⁾ DOBELL, On the systematic position of the Spirochaets Proc. of the Royal Soc. B. Vol. 85 p. 189. 1912.

bendes Element, den Skelettfasern der Spermatozoen vergleichbar. Die Cristispirencrista hingegen besteht aus lebendem Plasma. Sie ist ein Bewegungsorganell, durch dessen aktive Kontraktilität die Cristispirenbewegungen zustande kommen. Bei den Cristispiren ist das Stütz- und formgebende Element die elastische Zellmembran. Der Bau von Cristispiren und Spirochaeten ist also in allen wesentlichen Punkten so verschieden, daß ich es für notwendig halte, *Spirochaeta* und *Cristispira* als zwei verschiedene, nicht miteinander verwandte Genera zu bezeichnen.

Andererseits haben die Cristispiren in ihren Kernverhältnissen, d. h. in der noch nicht morphologischen Differenzierung in Kern und Plasma, Ähnlichkeit mit vielen Bakterien, besonders mit Spirillaceen, während sie sich von diesen durch den Besitz einer elastischen Membran unterscheiden und hierin den Schizophyceen, den Beggiatoen und Oscillatorien nahestehen. Von den letzteren sind sie aber wegen des Vorhandenseins der Crista abzutrennen. GROSS stellte daher 1910 die Cristispiren zu der von ihm neu kreierte Familie der Spironemaceen, welche bei den Bakterien ihren Platz hat. Ich schließe mich dieser Auffassung an und möchte die Spironemaceen im System zu den Bakterien, aber in die Nähe der Schizophyceen gestellt wissen. In Übereinstimmung mit den Befunden von GROSS sprechen meine Untersuchungen gegen eine nähere Verwandtschaft der Cristispiren und Spirochaeten.

Was nun die Stellung der Spirochaeten im System anbetrifft, so ist diese Frage noch offen, und es wird auch die Zukunft erst noch entscheiden, ob alle die als Spirochaeten bezeichneten Organismen, speziell die pathogenen Spirochaeten, tatsächlich in der morphologisch gut umschriebenen Organismengattung *Spirochaeta* EHRENBERG ihren Platz zu finden haben. Nach meinen jetzt an Hühnerspirochaeten (s. p. 429) erhobenen Befunden erscheint mir dies immer wahrscheinlicher.

Allerdings weist mancherlei auch auf Verwandtschaftsbeziehungen der Spirochaeten mit den Bakterien hin, wie dies bereits BÜTSCHLI (1890 und 1896) vertrat. Die Spirochaeten haben mit den Bakterien gemeinsam eine ausgesprochene Monomorphie, Vermehrung durch Querteilung, den Mangel einer Differenzierung von Kern und Plasma und schließlich die Züchtbarkeit in festen Nährböden, sowie die Bildung isolierter Kolonien in denselben. Gegenüber diesen Beziehungen zwischen Spirochaeten und Bakterien bestehen aber noch weit mehr und wichtigere Übereinstimmungen zwischen Spirochaeten und Protozoen.

Mit den Protozoen stimmen die Spirochaeten vor allem — und das scheint mir besonders wesentlich — in der Art der Bewegung, in ihrer ausgesprochenen Flexibilität und dem Kontraktionsvermögen überein. Ich halte die bei allen echten Spirochaeten stark ausgebildete aktive Flexibilität für dasjenige Merkmal, welches für die tierische Natur der Spirochaeten spricht. Eine derartige aktive Flexibilität ist nur bei nackten, d. h. von keiner Membran umhüllten Zellen möglich und bei tierischen Organismen häufig, bei pflanzlichen dagegen nicht anzutreffen. Mit den Protozoen zeigen die Spirochaeten hinsichtlich der Züchtbarkeit auf flüssigen Nährböden ebenfalls weitgehende Übereinstimmung, besonders auch in der Bildung sternförmiger Knäuel von rosettenartigem Bau in denselben. Protozoenartig ist ferner der Besitz eines elastischen Elementes, des Achsenfadens. Auch der Verlauf und der Charakter der durch sie hervorgerufenen Infektionen zeigt eine gewisse Ähnlichkeit mit Protozoenerkrankungen. Das Vorkommen eines Wirtswechsels der pathogenen Spirochaeten zwischen Warm- und Kaltblüter mit einer Übertragung der Keime auch auf die Brut des die Infektion vermittelnden Insekts ist ebenfalls typisch protozoenartig. Schließlich stehen auch in chemotherapeutischer Hinsicht die Spirochaeten den Trypanosomen nahe.

Epidemiologisch von Wichtigkeit ist die größere Hinfälligkeit, welche allen pathogenen Spirochaeten eigen ist. Sie erliegen äußeren Einflüssen im allgemeinen viel schneller als die Bakterien, da sie im Gegensatz zu den Bakterien weder im Wasser noch auf Nahrungsmitteln oder im Staub gedeihen und auch beim Austrocknen schneller zugrunde gehen. Zusammenfassend möchte ich mich dahin aussprechen, daß die Spirochaeten als eigene Gruppe anzusehen sind, welche im System zu den Protozoen und zwar an die Grenzscheide zu den Bakterien hin zu stellen wäre. Die aktive Flexibilität der Spirochaeten, welche als eine Funktion des lebenden Plasmas aufzufassen ist und nur durch den Mangel einer festen Membran erklärt werden kann, ferner das Vorhandensein eines elastischen Achsenfadens, wie ein solcher vielen Protomonaden zukommt, weist am meisten auf Beziehungen der Spirochaeten zu den primitiven, metabolbeweglichen Flagellatenformen hin. Ich möchte deshalb den Spirochaeten ihren Platz im System an die Monaden angegliedert zuweisen.

Tafelerklärung.

Tafel III.

- Fig. 1—4. WEIL'sche Spirochaete, Spiralwindungen des geraden Mittelteils, umgebogene Enden, Osmiumdampf May-Grünwald. Vergr. 1800.
 Fig. 5—7. WEIL'sche Spirochaete, Tuschepräparat, läßt besonders deutlich die Endkörner erkennen. Vergr. 1800.
 Fig. 8—21. Verlauf der Zweiteilung der WEIL'schen Spirochaete Fig. 8—20. Osmiumdampf May-Grünwald. Fig. 21 und 22 Tuschepräparat, läßt besonders die Endkörner gut erkennen. Vergr. 1800.
 Fig. 22 und 23. Dreiteilung der WEIL'schen Spirochaete, Osmiumdampf Giemsa, Vergr. 1800.

Tafel IV.

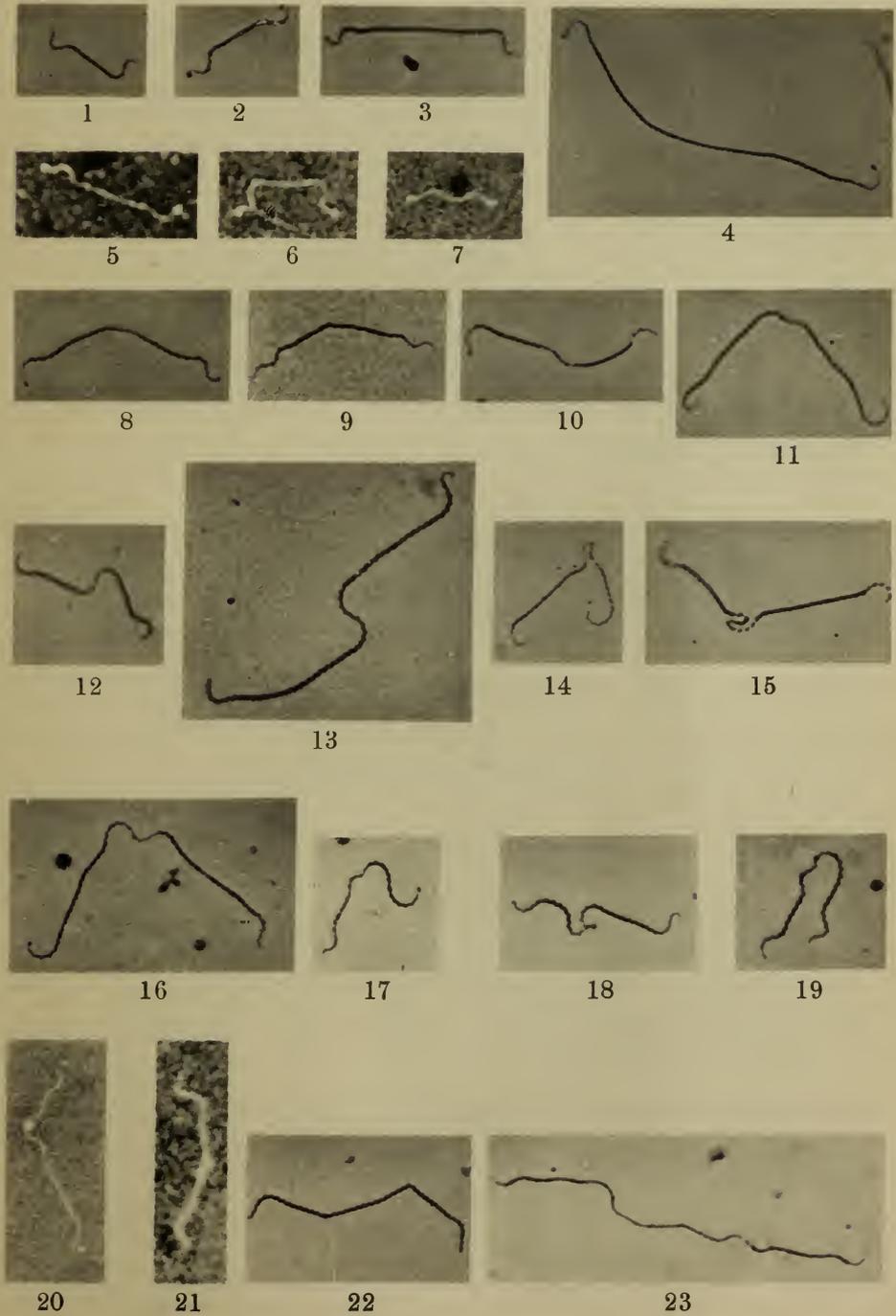
- Fig. 24. WEIL'sche Spirochaete, besonders langes Exemplar; Osmiumdampf, May-Grünwald. Vergr. 1800.
 Fig. 25. Endkorn von *Spirochaeta plicatilis*, Sublimat Alkohol E.H. Vergr. 1200.
 Fig. 26. *Spirochaeta stenostrepta* ZUELZER. Sublimat Alkohol E.H. Vergr. ca. 1500.
 Fig. 27. *Spirochaeta stenostrepta* ZUELZER. Pikrinessigs. E.H. Vergr. ca. 1100.
 Fig. 28. Teil einer *Spirochaeta plicatilis*, Subl. Alk. E.H. Haemalaun Eosin, Achsenfaden, Volutinkörner in der Plasmaspirale. Vergr. 2000.
 Fig. 29. Teil einer *Spirochaeta plicatilis*. Warmer Subl. Alkoh. Essigs. E.H. Gerader Verlauf des Achsenfad.
 Fig. 30. *Cristispira veneris* ZUELZER. Pikrinessigs. E.H. Vergr. 1100.
 Fig. 31. Schnitt durch die Leber eines an Weil eingegangenen Meerschweinchens. Levaditi. Die Leberzellen werden netzartig umgeben von dicht gedrängt liegenden Spirochaeten. Vergr. 750.

Eisprenger bei Wanzen aus der Gruppe der Pentatomoiden (*Hemiptera-Heteroptera*).

VON F. SCHUMACHER, Charlottenburg.

Eine klare ausführliche Darstellung des Apparates, den wir hier kurz Eisprenger nennen wollen, da er zum Abheben des Deckels und somit zum Öffnen der Eischale dient, verdanken wir HEYMONS. Die Untersuchungen sind an der so häufigen und weit verbreiteten *Palomena prasina* L. (= *P. dissimilis* F.) vorgenommen worden. Interessant war nun die Frage, ob der Eisprenger in der von HEYMONS beschriebenen T-Form bei den andern Vertretern dieser Hemipterengruppe ebenfalls nach diesem Schema konstruiert ist oder wesentlichen Abweichungen unterliegt. Ich stütze meine Mitteilungen einmal auf die bisherigen Literaturangaben und andererseits auf Erfahrungen, die ich beim Züchten einer ganzen Reihe von Pentatomidenarten gewonnen habe.

Der erste Beobachter des Eisprengers bei diesen Insekten ist wohl HARRIS, der bereits 1766 in einem wenig bekannten und





24



25



26



27



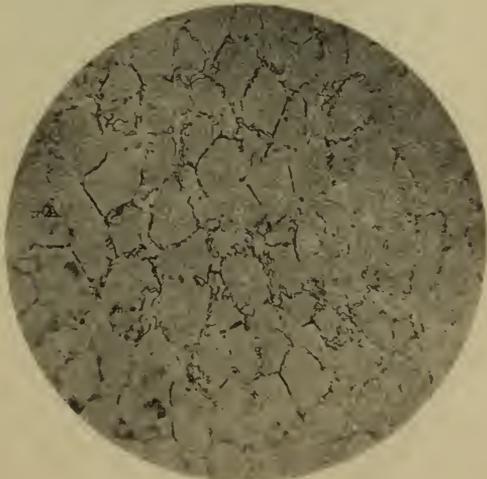
28



29



30



31

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Gesellschaft
Naturforschender Freunde zu Berlin](#)

Jahr/Year: 1917

Band/Volume: [1917](#)

Autor(en)/Author(s): Zuelzer Margarete

Artikel/Article: [Über die Weitsche Spirochaete und deren
Beziehungen zu verwandten Organismen 417-438](#)