

*Nachdruck verboten.
Übersetzungsrecht vorbehalten.*

Beiträge zur Kenntnis der Bakterien und verwandter Organismen.

I. Bacillus bütschlii n. sp.

Von

Fritz Schaudinn (Rovigno).

Hierzu Tafel X.

Inhaltsübersicht.

Einleitung.

Material und Untersuchungsmethoden.

Gestalt und feinerer Bau der vegetativen Stadien des *Bacillus bütschlii*.

Die Teilung im vegetativen Zustande.

Die Sporenbildung.

Die Keimung der Sporen.

Über einige Kunstprodukte bei der Präparation des *Bacillus bütschlii*.

Strukturveränderungen des *Bacillus bütschlii* beim Absterben.

Über einige Entwicklungsstörungen bei der Sporenbildung des *Bacillus bütschlii*.

Deutung der Befunde.

Litteratur.

Tafelerklärung.

Bei meinen Untersuchungen über freilebende und parasitäre Protozoen sind mir im Laufe der Jahre auch eine Anzahl z. T. sehr interessanter Protophyten zu Gesicht gekommen. Über einige derselben, die mir besonders merkwürdig oder wichtig vorkamen, habe ich Beobachtungen und Notizen gesammelt, bei einzelnen auch systematische Untersuchungen angestellt. Ich beabsichtige diese Studien, die teils aphoristischen Charakter tragen, teils detaillierter ausgeführt

sind, in einer Reihe von Einzelabhandlungen allmählich zu veröffentlichen, in der Hoffnung, daß dieselben doch hier und da Anregung zu neuen Untersuchungen bieten. Sie sollen einen durchaus anspruchslosen Charakter tragen, weil ich Zoologe bin und den botanischen Fachgenossen vielleicht nicht viel Neues sagen können. Aus diesem Grunde bitte ich auch um Entschuldigung, wenn ich die ausgedehnte botanische Litteratur nicht beherrschen kann und daher in manchem zu wenig Rücksicht darauf nehmen sollte.

Die folgende Abhandlung befaßt sich mit einem Organismus aus der Gruppe der Bakterien. Derselbe wurde von mir bei Gelegenheit von Untersuchungen der parasitären Protozoen der Küchenschabe, *Periplaneta orientalis* entdeckt. Er besitzt auffallende Größe und ermöglichte daher Studien über seinen feineren Bau, seine Teilung und endogene Sporenbildung. Letztere war von besonderem Interesse, weil stets zwei Sporen in dem Stäbchen gebildet wurden. In der bakteriologischen Litteratur begegnet man Angaben über zweisporige Bazillen nur selten. Meist betrachtet man das Vorkommen von 2 Sporen als eine Anomalie. Der einzige Fall, in dem angeblich stets 2 Sporen in der Zelle gebildet werden sollen, wurde, soweit ich die Litteratur habe ermitteln können, von KERN (1881) beschrieben. Dieser Autor entdeckte bei der Untersuchung des Kefirs ein großes Bakterium, bei dem jede Zelle an beiden Polen je eine Spore bildet, weshalb er die Form *Dispore caucasica* nannte. Da aber die Kritik (cf. MIGULA 1897, p. 160) sich etwas skeptisch den Angaben KERN's gegenüber verhielt, wird man eine Nachuntersuchung seiner Befunde abwarten müssen. Ob für zweisporige Angehörige der Gattung (oder vielleicht höhere Gruppe?) *Bacillus* eine besondere Untergattung, die dann den Namen *Dispore* führen würde, aufgestellt werden kann, wage ich nicht zu entscheiden. Bei meiner Form ist die Zweisporigkeit ein konstantes Merkmal.

Die Hauptursache, weshalb ich mich veranlaßt fühle, meine Beobachtungen über diesen *Bacillus* des Schabendarms zu veröffentlichen, liegt aber in den merkwürdigen Vorgängen, die ich vor dem Auftreten der Sporen an den Zellen beobachtete. Sie bestehen in der Ausbildung einer Scheidewand in der Zelle, also Teilung des plasmatischen Inhalts und darauf folgender Verschmelzung nach Resorption der Scheidewand. Dieser Vorgang erinnerte mich lebhaft an die neuesten Entdeckungen über die Kopulation von *Actinosphaerium* (cf. R. HERTWIG 1898) unter den Protozoen. Hier teilt sich die Zelle in zwei, die dann nach Ausstoßung von Richtungskörpern wieder verschmelzen. Ich wurde durch meine Beobachtungen

an dem Schabenbacillus auch zu der Vorstellung geführt, daß die Vorgänge vor der Bildung der Sporen als eine primitive Art der Selbstbefruchtung aufzufassen sind. Ich hoffe, daß diese Beobachtungen die Diskussion über die Frage nach den ersten Anfängen der Befruchtungsvorgänge und nach dem Vorkommen derselben bei den niedersten Lebewesen, die wir kennen, anregen wird.

Von besonderem Interesse ist die Kernfrage bei den Bakterien, die, wie bekannt, noch ungelöst ist. Die schroffen Gegensätze, wie sie besonders in BÜTSCHLI'S und A. FISCHER'S Schriften uns entgegentreten, beweisen, wie schwierig diese Verhältnisse zu deuten sind. Auch in dieser Frage habe ich mir die im folgenden zu entwickelnde Ansicht selbständig gebildet, dieselbe soll zunächst nur für die vorliegende Form ausgesprochen werden. Beeinflußt wurde meine Auffassung von der diffusen Verteilung der Kernsubstanz während des vegetativen Zustandes der Bakterienzelle nur von den neuern Entdeckungen auf dem Gebiet der Protozoenkunde (cf. den Abschnitt über die Deutung der Befunde); besonders meine eigenen Beobachtungen über die multiple Kernvermehrung und die diffuse Verteilung der Kernsubstanzen bei Foraminiferen, Vorgänge, die inzwischen auch bei anderen Protozoen entdeckt wurden, haben mich hierzu geführt. In der Litteratur finde ich übrigens die Idee von der diffusen Verteilung der Kernsubstanz im Plasma der Bakterienzelle schon bei WEIGERT (1887), wahrscheinlich ist sie auch schon von anderen ausgesprochen worden. Ich bin aber weit davon entfernt, meine Einzelbeobachtungen an diesem zweifellos eigenartigen Bacillus zu verallgemeinernden Schlüssen auf andere Bakterien zu verwerten. Ebenso wie bei den Protozoen bin ich auch hier der Ansicht, daß nichts gefährlicher ist, als bei den Einzelligen allgemeingültige Anschauungen von wenigen Einzelstudien zu abstrahieren. Die Mannigfaltigkeit und Verschiedenheit der Entwicklungsvorgänge bei den Protisten ist so groß, daß scheinbar ähnliche Organismen in ihrer Entwicklung ganz gewaltige Unterschiede aufweisen können. Das zeigen besonders deutlich die neueren Protozoenstudien (cf. z. B. Coccidien).

Schließlich sei noch erwähnt, daß der Bacillus der Küchenschabe besonders geeignet ist, um die alveoläre Plasmastruktur im Sinne BÜTSCHLI'S zu demonstrieren. Ich habe bei vielen Protozoen schon derartige Strukturen in deutlicher Weise auch am lebenden Objekt beobachtet, aber noch selten mit so vorzüglicher Klarheit ausgeprägt gefunden, wie bei diesem Spaltpilz. Ich kann denselben jedem, der an dem Vorkommen solcher Strukturen im lebenden

Plasma zweifelt und dieselben für Kunstprodukte erklärt, zum Studium empfehlen. Um meiner Verehrung gegen den Begründer und Verfechter der Anschauungen über die Alveolarstruktur des Protoplasmas Ausdruck zu verleihen, nenne ich das Objekt der folgenden Untersuchung *Bacillus bütschlii*.

Material und Untersuchungsmethoden.

Der große zweisporige *Bacillus*, der im folgenden eingehend geschildert werden soll, lebt zusammen mit einer großen Anzahl anderer Protophyten und Protozoen im Mitteldarm der Küchenschabe, *Periplaneta orientalis*. Seine auffallende Größe und die langsame gravitatische Art seiner Bewegung sind so charakteristisch, daß es nicht schwer fällt, ihn von den fast stets in großen Mengen vorhandenen anderen Parasiten, selbst bei schwacher Vergrößerung, zu unterscheiden.

Verwechslungen mit den dort lebenden Amöben, Flagellaten, Gregarinen und sonstigen Protozoen sind ausgeschlossen; außer diesen häufigen Mitbewohnern von ähnlicher Größe, kommen die zahlreichen, viel kleineren Spaltpilze (Bazillen, Kokken und besonders reichlich Spirillen) sowie die häufig zu findenden Hefepilze gar nicht in Frage. Leider gehört der *Bacillus bütschlii* zu den selteneren Parasiten der Schabe; ich fand ihn in Berlin nur bei ca. 3% der meist aus Bäckereien stammenden Insekten. Wenn man daher reichlicheres Material haben will, muß man selbst die Infektion der Schaben vornehmen. Dies ist nicht sehr schwierig, wenn man erst die Sporen des *Bacillus* in den entleerten Fäces erkennen gelernt hat. Man braucht dann nur die Fäces mit den Sporen an die Schaben zu verfüttern, um nach 3—4 Tagen reiche Ansammlungen der Bazillen in allen Stadien der Entwicklung im Darmkanal des infizierten Tieres zu finden. Am sichersten geht man, wenn man wartet, bis die gefütterte Schabe selbst wieder Sporen entleert, dann hat man im Darm ohne Zweifel Teilungs- und Sporulationsstadien bei einander.

Bei der Untersuchung der Fäces auf Sporen muß man sich vor der Verwechslung mit Mikrosporidiensporen hüten. Fast regelmäßig finden sich die Dauerstadien eines *Nosema*, die in Größe, Gestalt und Lichtbrechungsvermögen Ähnlichkeit mit den Sporen unseres *Bacillus* haben in den Exkrementen. Am einfachsten ist die Unterscheidung, wenn die Membran des *Bacillus* noch die beiden Sporen

verbindet. Ist diese aber aufgelöst, was meistens der Fall sein dürfte, so bleibt als einziges, nicht ganz leicht zu erkennendes Unterscheidungsmerkmal, eine helle Stelle in der Sporenmembran an einem Pol der Bacillusspore (Membrandefekt der äußeren Sporenhülle, an der Stelle, an welcher der Bacillus später auskeimt), die der Nosemaspore fehlt. Letztere zeigt dafür an einem Pol die Polkapsel in der man bei stärkster Vergrößerung oft recht deutlich den spiralig aufgerollten Polfaden erkennen kann.

Für das Studium der Teilung des Bacillus muß man den Darminhalt stets schnell untersuchen; nachdem man mit schwacher Vergrößerung das Vorhandensein der Bazillen festgestellt hat, bringt man schnell ein Tröpfchen des Darminhalts auf ein mit Wachsfüßchen unterstütztes Deckglas, legt es auf den Objektträger und umrandet es mit Vaseline. Wenn man den Darminhalt längere Zeit der Luft aussetzt, wird man nur selten die Teilung beobachten können, sondern die meisten Bazillen schicken sich dann schnell zur Sporenbildung an. Die Beobachtung der letzteren bereitet daher geringere Schwierigkeiten. Die Bewegung der Stäbchen ist nicht sehr lebhaft und stört daher nicht in so hohem Maße bei der Beobachtung wie bei anderen Bakterien. Für das genauere Studium der Teilung und Sporenbildung muß man die Wachsfüßchen des Deckglases soweit herabschmelzen (mit einer heißen Nadel), daß die Bazillen gerade festgelegt werden. Natürlich muß dies mit der nötigen Vorsicht geschehen, damit keine Hemmung der normalen Entwicklung eintritt.

Die bedeutende Größe des Bacillus gestattet leicht ihn auch ganz isoliert zu beobachten. Ich habe mit einer feinen Glaskapillare die einzelnen Stäbchen aus dem Darminhalt heraus gefangen und in die feuchte Kammer übertragen. Hier wird man in der Beobachtung nicht durch die Bewegungen der anderen Mitbewohner des Darmes gestört. Als Beobachtungsmedium benutzte ich stets filtrierte Darmflüssigkeit derselben Küchenschabe, der ich den Bacillus entnahm. Dies geschieht leicht in folgender Weise: Auf ein Deckglas legt man ein Stückchen feinsten Filtrierpapiers, zieht dann den Darm aus der Schabe heraus und legt ihn auf das Filtrierpapier, um ihn der Länge nach aufzuschneiden; während man nun ein Tröpfchen des Darminhalts auf einen anderen Objektträger bringt und mit der Kapillare die Bazillen herausfischt, sickert aus dem Rest des Darminhalts so viel durch das Filtrierpapier hindurch, daß das darunter befindliche Deckglas mit einer dünnen Flüssigkeitsschicht bedeckt ist. Man entfernt nun vorsichtig das Filtrierpapier, indem man es mit dem Darminhalt

senkrecht abhebt und bläst den Inhalt der Kapillare auf die Flüssigkeitsschicht. Das Deckglas wird dann sofort auf die feuchte Kammer gelegt und untersucht. Mit einiger Übung geht die ganze Manipulation sehr schnell. Bei gut gelungenem Präparat bleiben die Bazillen oft 10—12 Stunden gut beweglich, die Teilung geht, wenn begonnen, normal weiter, ebenso die Sporenbildung.

In ähnlicher Weise verfuhr ich auch bei dem Studium der Auskeimung der Sporen. Die trockenen Fäces, in denen ich das Vorhandensein der Sporen festgestellt hatte, wurden fein gerieben und etwas von dem Pulver in die filtrierte Darmflüssigkeit gebracht. Die Auskeimung begann dann bei einzelnen Sporen meist nach 2—3 Stunden. Eine weitere Entwicklung der ausgekeimten Bazillen konnte ich aber nicht erreichen. Stets starben sie nach 8—10 Stunden ab, während bei der künstlichen Infektion des Darmkanals der lebenden Schaben stets eine lebhafte Wachstums- und Teilungsperiode der ausgekeimten Bazillen zu konstatieren war und erst nach 2—3 Tagen die Sporenbildung einsetzte. Es empfiehlt sich auch zum bequemen Studium der Auskeimung die Verfütterung der Sporen an nicht infizierte Schaben, weil im Darmkanal der Prozentsatz der auskeimenden Sporen ein größerer ist (cf. den Abschnitt über die Auskeimung der Sporen). Ebensowenig wie in dem Darmsaft außerhalb des Körpers der Schabe, gelang mir die Zucht des *Bacillus* auf künstlichen Nährböden. Da aber die Isolierung der Stäbchen wie Beobachtung der Entwicklung derselben auch ohne Reinkulturen ohne Schwierigkeit zu bewerkstelligen war, habe ich nicht viel Zeit auf diese Experimente verwendet und verzichte daher auf eine eingehende Schilderung meiner negativen Befunde.

Die Konservierung der Bazillen und Anfertigung der Dauerpräparate erfolgte nicht nach den in der Bakteriologie üblichen Trockenmethoden, sondern nach dem in der Protozoenforschung in neuerer Zeit angewandten Verfahren, auf feuchtem Wege. Im wesentlichen bediente ich mich der Methode, welche ich bei dem Studium der parasitären Protozoen, besonders der Coccidien schon eine Reihe von Jahren mit Erfolg benutzt habe. Ich verweise auf die ausführliche Darstellung, welche ich in meiner Arbeit über *Coccidium schubergi* (Zool. Jahrb. v. 13 1900 p. 207) gegeben habe. Die Ausstriche des Darminhalts wurden in derselben Weise wie dort geschildert angefertigt. Zur Fixierung der Ausstriche wurden die verschiedensten Flüssigkeiten probiert. Am besten wirkten für die Bazillen, ebenso wie für die von mir untersuchten Protozoen, heißer Sublimatalkohol in der von mir angegebenen

Mischung (2 Teile konzentr. wässrige Sublimatlösung und 1 Teil Alkohol absolut.) und Osmiumsäuredämpfe. Diese beiden Mittel ergaben weder Schrumpfung noch Quellung der ziemlich empfindlichen Bazillen. Essigsäurezusatz zu der Sublimatmischung, der für viele Organismen empfehlenswert ist, brachte bei den Bazillen störende Quellungen hervor.

Starker Alkohol führte fast regelmäßig zur Plasmolysierung des Inhalts der Bakterienzelle. Auch die sonst vorzügliche Dienste leistende HERRMANN'sche (Platinchlorid-Osmiumessigsäure) und FLEMING'sche (Chrom-Osmiumessigsäure) Lösung bewirkte Kunstprodukte an den Bakterien. Die verschiedenen Pikrinsäuremischungen wirkten durchweg schlecht. Die übliche Trockenmethode wurde nur für die Geißelfärbung nach LÖFFLER angewandt, für das feinere Studium des Inhalts der Bazillen ist sie ganz unbrauchbar.

Die mit heißem Sublimatalkohol fixierten Deckglausstriche des Darminhalts werden in der üblichen Weise mit Jod-Alkohol ausgewaschen, die mit Osmiumsäure fixierten kurze Zeit in Wasser abgespült und beide Arten dann in Alkohol von langsam steigender Konzentration sehr allmählich gehärtet.

Als bestes Färbungsmittel für die feineren Strukturen der Bakterienzelle hat sich die HEIDENHAIN'sche Eisenhämatoxylinfärbung bewährt, die alle Abstufungen der Tinktion ermöglicht. Nächst dem giebt auch GRENACHER's Hämatoxylin, saures DELAFIELD'sches Hämatoxylin nach BÜTSCHLI's Angaben, MAYER's Hämalaun, Boraxkarmin, Fuchsin, Gentianaviolett, Kaisertinte, Methylenblau (mit und ohne Eosin) gelegentlich brauchbare Färbungen. Näheres darüber wird bei Besprechung der Einzelheiten der Strukturen angegeben werden.

Lebendfärbung mit Methylenblau wurde auch versucht, ohne Vorteile für die Beobachtung zu ergeben; eine deutliche Färbung trat erst beim Absterben der Bazillen ein. Neutralrot färbte ebenso wenig irgend welche Bestandteile der lebenden Zelle. Im allgemeinen kann ich bezüglich des vorliegenden Objektes überhaupt sagen, daß die meisten zu schildernden Strukturen schon ohne weiteres bei gutem Licht und zweckmäßiger Abblendung an der lebenden Zelle so deutlich zu erkennen waren, daß die Konservierung und Färbung, wenn sie gut gelang, im wesentlichen nur eine Bestätigung der am lebenden Objekt beobachteten Erscheinungen ergab.

Als Beobachtungsmedien oder Einschlußmittel für die fixierten und gefärbten Objekte kamen außer Wasser, Glycerin, essigsäures Kali, Nelkenöl, Cedernöl, Kanadabalsam in Anwendung.

Es wurde ein Mikroskop von ZEISS mit dem apochromatischen Obj. homog. Immersion 2 mm und den Kompensationsokularen 4, 6, 8, 12, 18 benutzt. Zum Aufsuchen und Verschieben der Objekte stand der große Kreuztisch von ZEISS zur Verfügung. Meist wurde starkes künstliches Licht (Auerlicht, Acetylen- und Zirkonlicht) benutzt, die Strukturen des lebenden Objekts sind bei künstlicher Beleuchtung deutlicher als bei Tageslicht.

Gestalt und feinerer Bau der vegetativen Stadien des Bacillus bütschlii.

Die Gestalt des *Bacillus bütschlii* ist die eines langgestreckt cylindrischen Stäbchens mit halbkugelig abgerundeten Enden und kreisförmigem Querschnitt. Biegung des Stäbchens findet man äußerst selten; der Grund ist dann stets in Hemmnissen bei der Vorwärtsbewegung zu suchen, nach Überwindung derselben nimmt der Bacillus immer wieder seine grade gestreckte Gestalt an. Die abgerundeten Pole des Stabes sind mit einer Ausnahme gleich. Letztere bezieht sich, wie wir sehen werden, auf Stäbchen, welche vor kurzem erst die Teilung durchgemacht haben. Bei diesen ist der an der Durchschnürungsstelle gebildete neue Pol stets eine zeitlang weniger gewölbt als der alte (Fig. 8). Anfangs ist er sogar grade abgestutzt. Dieses ist ein ganz charakteristisches Merkmal für unseren Organismus. Die Größe der Stäbchen schwankt zwischen bedeutenden Grenzen, besonders gilt dies von der Längsausdehnung, während der Querdurchmesser konstanter ist. Die geringste gefundene Länge eines beweglichen Stäbchens betrug 24μ , die größte 80μ ; die Dicke schwankte nur zwischen 3 und 6μ . Am häufigsten findet man die Stäbchen mit einer Länge von $50-60 \mu$ und einer Breite von 4 bis 5μ . Ein konstantes Verhältnis zwischen Länge und Dicke besteht nicht. Unsere Form gehört hiernach zu den größten Bazillen die wir kennen.

Die Größe des Spaltpilzes gestattet ihn schon mit schwacher Vergrößerung zu erkennen. Sein Lichtbrechungsvermögen im vegetativen Zustande ist nicht bedeutend. Man bemerkt aber schon bei 500facher Vergrößerung, daß er scharf und glatt konturiert ist und daß sein Inhalt nicht homogen, sondern fein und gleichmäßig granuliert erscheint. Bei Anwendung stärkerer Systeme (etwa 1000fache Vergrößerung) löst sich dies Bild der Granulierung in das eines zarten gleichmäßigen Netzwerks auf, dessen Knotenpunkte von den bei schwacher Vergrößerung allein sichtbaren stärker lichtbrechenden

Körnchen eingenommen werden. Die Figuren 1—8 zeigen dieses äußerst zierliche und regelmäßige Netzwerk, das ich für den optischen Ausdruck eines Alveolensystems im Sinne BÜTSCHLI's halte. Eine Färbung des Bacillus habe ich nicht nachweisen können, vielmehr erschien Inhalt wie Membran stets wasserhell.

Die Zelle ist umgeben von einer ziemlich derben, deutlich doppelt konturierten Membran, die ein stärkeres Lichtbrechungsvermögen besitzt als der Zellinhalt. Sie ist widerstandsfähig gegen Druck; man kann sie isoliert erhalten, wenn man den Zellinhalt ausdrückt. Bei konservierten und gefärbten Zellen gelingt es häufig auch, sie unter Anwendung quellender Mittel (z. B. Essigsäurezusatz) zur Abhebung von dem Zellinhalt zu bringen (Fig. 54, 1 c). Viele Farbstoffe (besonders die Hämatoxyline und Methylenblau), die zur Anwendung kamen, färbten die Substanz der Membran etwas dunkler als den Inhalt (s. die Figuren). An der isolierten Membran (zuweilen auch an der intakten) kann man mit stärksten Vergrößerungen feststellen, daß sie nicht strukturlos ist. Im optischen Längsschnitt wechseln hellere und dunklere Stellen ab (Fig. 1 b, c); bei Betrachtung von der Fläche erscheint das Bild eines Netzwerks, dessen Fäden verhältnismäßig dicker, stärker lichtbrechender und stärker färbbar sind als die des Inhalts der Zelle, während die Maschenräume kleiner erscheinen (Fig. 1 d). Ich vermute, daß diese Bilder ebenfalls der Ausdruck einer alveolaren Struktur sind und stelle mir vor, daß die Membran durch Verdichtung der äußersten Alveolenlage des Plasmas entsteht (daher die dickeren und dunkleren Alveolarwände). Eine ähnliche Netzstruktur der Membran hat auch BÜTSCHLI (1890, p. 8, 1896, p. 12) bei *Chromatium* und SCHEWIAKOFF (1893, p. 7) bei *Achromatium* beobachtet. Beide Autoren hatten auch die Membran ihrer Objekte durch Pressen von ihrem Inhalt entleert und sprechen dieselbe Ansicht aus wie ich.

Die Membran giebt nicht die Cellulosereaktion. Mit schwacher Jodlösung färbt sie sich gelblich. Mit MILLON's Reagens nimmt sie eine zart rosa Färbung an. In Pepsin-, Trypsinlösung und 5-prozentiger Kalilauge bleibt sie erhalten, löst sich aber in konzentrierter Kalilauge und Schwefelsäure. Sie scheint demnach aus einer ähnlichen Eiweißsubstanz zu bestehen, wie es NENCKI und SCHAFFER (1899, p. 461) und andere bei einigen Bakterien, BÜTSCHLI bei *Chromatium*, SCHEWIAKOFF bei *Achromatium* ermittelt haben.

Bevor ich zur Besprechung des Inhalts der Membran übergehe, will ich das Wenige, was ich über die Bewegung und die Bewegungsorganellen, die Geißeln ermittelt habe, erwähnen. Aktive Gestaltsver-

änderungen der Zelle habe ich, wie erwähnt, nicht beobachtet; die einzigen Bewegungen, die ich finde, bestehen in ziemlich langsamem Vorwärts- und Rückwärtsgleiten in gerader Richtung. Nachdem die Zelle eine Strecke weit in einer Richtung sich langsam und stetig fortbewegt hat, steht sie momentan still und bewegt sich in entgegengesetzter Richtung zurück. Bei stärkerer Vergrößerung bemerkt man leicht, daß sie sich hierbei um ihre Längsachse dreht. Stößt sie bei der Vorwärtsbewegung auf ein Hindernis, so kommt es vor, daß das Stäbchen sich etwas krümmt, um sich nach Überwindung des Hemmnisses wieder gerade zu strecken. Häufig aber beginnt auch sofort beim Anstoßen an einen Fremdkörper wieder die Rückwärtsbewegung. Die eigentümlich zitternde und wackelnde Bewegung, welche bei manchen Bazillen beschrieben wird, habe ich bei unserem Bacillus nicht wahrgenommen. Am lebenden Objekt habe ich mich nicht sicher von dem Vorhandensein von Geißeln überzeugen können, bisweilen glaubte ich an den Polen einzelne Fäden schlagen zu sehen, kam aber nie zu einem ganz sicheren Resultat. Daß aber solche Gebilde schon im Leben vorhanden sein müssen, erkennt man deutlich an den strudelnden und tanzenden Bewegungen, in welche die kleinsten Granulationen des umgebenden Mediums rings um das Stäbchen bei seinem Vorwärtsgleiten versetzt werden. Ferner ist es leicht zu beobachten, daß diese kleinen Fremdkörper auch in Momenten der Ruhe nie bis zur Oberfläche der Membran gelangen. Die Zelle ist stets von einem ganz hellen, körnchenfreien Hofe rings umgeben.

An Trockenpräparaten, die mit Kaisertinte oder nach LÖFFLER (auch mit einfacher Fuchsinfärbung gelingt zuweilen die Darstellung der Geißeln) gefärbt sind kann man feststellen, daß die ganze Oberfläche der Zelle dicht mit langen Geißeln besetzt ist (Fig. 1 a). Die einzelnen Geißeln sind scheinbar gleich lang. Bisweilen schienen mir an den Polen stärkere Geißelschöpfe vorhanden zu sein; indessen ist es möglich, daß dies Kunstprodukte sind. Die einzelnen Fäden sind im Präparat leicht geschlängelt. Sie lassen sich in ihrem Verlauf nicht ganz bis zur Membran der Zelle verfolgen, sondern scheinen in einer homogenen Hüllsubstanz, welche die ganze Zelle umgiebt, ihren Ursprung zu nehmen (Fig. 1 a). Diese Hülle ist auch bei anderen Bakterien bekannt, man faßt sie wohl als einen gallertig verquollenen äußeren Teil der Membran auf. Hiernach weichen die Geißelverhältnisse unseres Organismus nicht von den bei anderen Bazillen festgestellten Erscheinungen ab. Einen feineren Bau der Geißeln habe ich nicht konstatieren können, muß aber gestehen, daß

ich mich mit dieser Frage wenig abgegeben und nur wenige Färbungsversuche vorgenommen habe.

Der Inhalt der Membran, den wir jetzt genauer betrachten wollen, ist wie erwähnt, nach meiner Auffassung alveolär gebaut. Optisch dokumentiert sich diese Struktur als Netzwerk. Dasselbe ist sehr fein und gleichmäßig, wenigstens bei lebensfrischen intakten Zellen, während beim Absterben größere Vakuolen auftreten (Fig. 57—59). Der Durchmesser der einzelnen Netzmaschen schwankt zwischen 0,5 und 1 μ . Die oberflächliche Alveolenlage unter der Membran ist regelmäßig radiär angeordnet; hierdurch entsteht im optischen Durchschnitt das Bild eines sogenannten „Alveolarsaumes“ (BÜTSCHLI, cf. Fig. 1—8, 1 b, 1 c u. s. w.). Auch an Stellen, wo die Membran sich abgehoben hat (Fig. 1 c), kann man oft noch den Alveolarsaum wohl erhalten finden. Innerhalb dieser regulären Alveolarschicht sind die Netzmaschen unregelmäßiger angeordnet. Im Querdurchmesser der Zelle zählt man 5—6 solcher Alveolen. Im Leben ist der Alveoleninhalt (die Maschenräume) ganz hell und augenscheinlich aus einer dünnflüssigen wasserhellen Substanz gebildet, die Wände (Netzfäden) sind etwas stärker lichtbrechend, die Ecken (Knotenpunkte) von noch stärker lichtbrechenden Körnchen eingenommen (cf. Fig. 1—8). Der regelmässige Alveolarsaum erscheint als eine hellere die innere Alveolarmasse umgebende Zone. Er bedingt eine unscharfe Abgrenzung eines dunkleren Centralteils von einem helleren peripheren Teil. Der erstere dürfte vielleicht dem „Centralkörper“, welchen BÜTSCHLI von anderen Bakterien beschrieben hat und den er für den Kern der Bakterienzelle anspricht entsprechen. Bei meinem Objekt ist dieser innere Teil aber weder am lebenden, noch am gefärbten Objekt so scharf abgegrenzt, daß ich ihn für ein morphologisch dem Zellkern ähnliches Gebilde ansprechen könnte. Der oberflächliche Alveolarsaum setzt sich nicht schärfer vom übrigen Inhalt ab als bei vielen Protozoen.

Am gut fixierten und gefärbten Präparat tritt die Netzstruktur meist noch deutlicher hervor als am lebenden Objekt (Fig. 32). Mit allen sogenannten Kernfarbstoffen (Hämatoxylin, Karmin) färben sich die Körnchen in den Knotenpunkten des Netzwerks intensiver als die übrigen Strukturbestandteile und behalten auch die Färbung beim Ausziehen am längsten. Bei der Färbung mit DELAFIELD'schem saurem Hämatoxylin (nach BÜTSCHLI) nehmen manche derselben eine rote Färbung an, während andere violett oder blau erscheinen. Auch mit Methylenblau (Höchst) habe ich einzelne Körnchen an absterbenden Zellen schön rot gefärbt gefunden. Mit der ROMANOWSKY-

schen Methode (Methylenblau-Eosin) wird ebenfalls nur ein Teil der Körnchen rot gefärbt, andere erscheinen violett, andere ganz blau.

Ich stehe bezüglich des färberischen Nachweises von Kernsubstanzen auf dem Standpunkt A. FISCHER's und habe die Überzeugung, daß die Färbbarkeit des sog. Chromatin nicht ein chemischer, sondern ein physikalischer Vorgang ist. Zu dieser Anschauung dürfte jeder vorurteilslose Beobachter kommen, der sich mit den Zellkernen der Protozoen befaßt. Die Färbbarkeit der Protozoenzellkerne ist außerordentlich variabel. Farbstoffe, die bei Metazoenkernen oft reine Kernfärbung ergeben, sind bei Protozoenkernen oft wirkungslos. Meines Erachtens ist das einzige sichere Kriterium des Zellkerns das morphologische. Einen morphologisch differenzierten Zellkern kann ich aber bei dem vegetativen Stadium unseres *Bacillus* nicht nachweisen. Ob andere Spaltpilze einen solchen besitzen, muß ich zunächst aus Mangel an eigener Erfahrung dahin gestellt sein lassen. Ich muß daher auch auf eine Diskussion der Frage, ob der sog. Centrakörper, den BÜTSCHLI von anderen Bakterien beschreibt, dem Zellkern entspricht, vorläufig verzichten.

Meine persönliche Vorstellung von den Kernverhältnissen des *Bacillus bütschlii* ist die, daß die Kernsubstanzen, welche bei anderen Zellen zu einem morphologisch differenzierten Zellkern vereinigt sind, hier im vegetativen Zustande noch diffus durch das Plasma verteilt erscheinen. Ich erinnere hierbei an die multiple Kernteilung, wo wir auch Zellstadien finden, die keinen differenzierten Kern nachweisen lassen, sondern bei denen die gesamte Kernsubstanz in unregelmäßigen Brocken und Körnchen durch das ganze Plasma zerstäubt ist. Näher komme ich auf diese Frage nach Schilderung der Sporenbildung (in dem Abschnitt über die Deutung der Befunde) zurück.

Die Teilung im vegetativen Zustande.

Die Vermehrung des *Bacillus bütschlii* im vegetativen Zustande erfolgt wie bei allen übrigen Bakterien durch Querteilung. Ich habe den ganzen Vorgang wiederholt am lebenden Objekt verfolgt und stets in gleichartiger Weise sich abspielen sehen.

Die beiden Teilstücke, in welche die Zelle zerfällt, sind meist gleich, die Teilungsebene tritt dann in der Mitte der Zelle auf (Fig. 2—7). Bei sehr langen Stäbchen habe ich aber auch bisweilen Zerfall in ungleiche Teile gefunden (Fig. 39, 72). Nur selten bleiben die Teilzellen so lange miteinander verbunden, bis neue Teilungen

einsetzen und bilden so kurze Zeit kleine Zellverbände, wie dies ja bei anderen Bakterien häufig ist (Fig. 72). Irgend ein konstantes Verhältnis zwischen Länge des Bacillus und Eintreten der Teilung habe ich nicht gefunden; kurze und lange Stäbchen können zur Teilung schreiten.

Das erste Anzeichen, welches auf den Beginn der Teilung hinweist, ist das Auftauchen eines größeren, stärker lichtbrechenden Körnchens in der späteren Teilungsebene. Dasselbe liegt stets in der Längsachse der Zelle (Fig. 2, 33). Ich habe den Eindruck gewonnen, daß dieses Körnchen seine Entstehung einer Verdichtung der Zellsubstanz verdankt. Hierfür spricht besonders, daß die Alveolen, welche dasselbe radiär umgeben, etwas größer, wie aufgebläht, erscheinen (Fig. 33), was ich mir durch Anhäufung von Flüssigkeit, bedingt durch Abgabe seitens der das Körnchen bildenden Substanz erkläre. Im gefärbten Präparat ist die letztere stets dunkler tingierbar und behält auch beim Ausziehen am längsten die Färbung.

Dieses glänzende Körnchen verbreitert sich allmählich zu einer Scheibe, die senkrecht auf der Längsachse der Zelle steht (Fig. 4, 34) und wächst so lange in die Breite, bis sie die Zellmembran erreicht (Fig. 35); zugleich wird diese Platte auch dicker (0,5—1 μ). Die Netzmaschen, welche an sie angrenzen, gruppieren sich zu einem regelmäßigen Alveolarsaum.

Dann tritt zunächst in der Mitte der Platte ein hellerer (im Präparat ungefärbter) Spaltraum auf (Fig. 5, 6, 36, 37), der sich allmählich nach der Peripherie ausdehnt und schließlich auch die Membran spaltet (Fig. 7, 38). Hiermit ist die Teilung beendet.

Die Tochterzellen bleiben noch kürzere oder längere Zeit miteinander verklebt, lösen sich aber während der Bewegungen des Doppelstäbchen schließlich von einander. Der Teilungspol ist auch an den freien Tochterzellen noch eine längere Zeit durch sein stärkeres Lichtbrechungsvermögen (im Präparat stärkere Färbbarkeit) und seine geringere Wölbung gegenüber dem freien Pol zu erkennen (Fig. 8). Erst allmählich wölbt er sich stärker. Ich habe die Vorstellung gewonnen, daß dies mit der Neubildung der Geißeln an diesem Pol Hand in Hand geht. Vielleicht steht die hier angehäufte stark lichtbrechende und färbbare Substanz, die mit der Ausbildung der Bewegungsorganellen allmählich verschwindet, in irgend einer Beziehung zu derselben. Ich erinnere an die Flagellaten, bei denen der Zusammenhang der Geißel mit einem stärker färbbaren Körper (der von Manchen als Centrosom gedeutet wird) in vielen Fällen nachgewiesen ist und an den Zusammenhang des sog. Zwischen-

körpers mit den Bewegungsorganellen bei der Spermatogenese der höheren Tiere.

Bei anderen Bakterien sind ähnliche Erscheinungen wie die hier geschilderten auch bekannt geworden. Das Auftreten einer Scheidewand vor dem Zerfall der Zelle ist wiederholt beobachtet worden (cf. MIGULA, 1897, p. 138 ff.). Bei anderen Formen weichen die Vorgänge aber sehr von dem geschilderten Modus ab. BÜTSCHLI z. B. beobachtete bei verschiedenen Arten zuerst ringförmige Einschnürung der Membran. Interessant ist es, daß er an der Einschnürungsstelle auch eine stärkere Färbbarkeit nachweisen konnte. Im allgemeinen muß man aber sagen, daß die Einzelheiten der Zellteilung bei den meisten Bakterien noch wenig genau untersucht sind.

Eine Anordnung der Netzmaschen in faserige Längszüge, wie BÜTSCHLI und SCHEWIAKOFF es bei *Chromatium*, *Achromatium* und anderen Formen bei der Teilung konstatierten, habe ich bei meiner Art nicht beobachtet.

Schon früher habe ich erwähnt, daß die Teilung im Präparat, also außerhalb des natürlichen Wohnortes der Bazillen nur an solchen Zellen zu beobachten ist, welche schon mit der Ausbildung der Scheidewand (in Gestalt des glänzenden Körnchens) bei der Entnahme aus dem Darmkanal des Wirtstieres begonnen hatten. Der ganze Vorgang bis zum Zerfall der Zelle nahm im Präparat verschieden lange Zeiträume ein. Die Grenzzahlen sind 1—4 Stunden und zwar, dauerte in einem mittleren Falle die Ausbildung der Scheidewand von dem Auftreten des Körnchens bis zum Sichtbarwerden des Spalts etwa 30 Minuten, die Verbreiterung des Spaltes bis zur Membran etwas länger.

Ich vermute aber, daß der Prozeß unter günstigen Lebensbedingungen im Darm schneller vor sich geht; dafür spricht die Thatsache, daß man in den Ausstrichen sehr lange nach den einzelnen Stadien suchen muß.

Die Sporenbildung.

Wie schon früher erwähnt wurde, findet die Sporenbildung des *Bacillus bütschlii* erst statt, nachdem eine Reihe von Generationen durch Teilung entstanden sind. Bei künstlicher Infektion des Schabendarms, vermittelt der Dauersporen, findet man in den ersten 2—3 Tagen fast nur vegetative Stadien des *Bacillus*. Er stimmt hierin also mit vielen anderen parasitären Einzelligen überein. Die Teilung dient zur Vermehrung der Individuen, zur sog.

Autoinfektion; die Sporenbildung, welche dem Wachstum und der Vermehrung ein Ende macht, steht im Dienste der Arterhaltung und vermittelt die Neuinfektion anderer Wirtstiere. Sie tritt ein, wenn die Lebensbedingungen des Organismus infolge seiner lebhaften Vermehrung oder aus anderen Gründen schlechter werden. Dies ist auch die Ursache, daß die Bazillen außerhalb des Darms, im Präparat meist schnell zur Sporenbildung schreiten, während die Teilung nur erfolgt, wenn sie schon im Darmkanal begonnen oder vorbereitet war. Die Beobachtung der Sporenbildung am lebenden Objekt ist sonach leichter als die der vegetativen Vermehrung. Erschwert wird ebenso wie dort die Verfolgung der Vorgänge durch die Bewegungen des Organismus. Unser Bacillus gehört zu den Formen, bei welchen die Geißelbewegung fast bis zur Beendigung der Sporenbildung bestehen bleibt. Man muß daher ebenso wie bei der Teilung den Organismus durch leichten Deckglasdruck festlegen, um die Vorgänge im Innern der Zelle ungestört und kontinuierlich zu verfolgen.

Die Bildung der Dauersporen erfolgt bei unserem Bacillus in der für die Bakterien charakteristischen Form, auf endogene Weise, sie weicht von den meisten bisher untersuchten Objekten aber in zweifacher Hinsicht ab. Erstens dadurch, daß stets gleichzeitig 2 Sporen in dem Stäbchen angelegt werden, zweitens durch sehr merkwürdige Vorgänge, die dem Auftreten der Sporen vorangehen.

Man kann die Stäbchen, welche reif zur Sporenbildung sind, schon mit schwächerer Vergrößerung von den vegetativen Stadien unterscheiden. Während die letzteren sehr wenig lichtbrechend und zart granuliert sind, zeichnen sich die ersteren durch stärkeres Lichtbrechungsvermögen, bedingt durch Einlagerung größerer Körnchen aus. Die feinere Struktur der sporenbildenden Stäbchen ist dabei dieselbe wie bei den vegetativen. Auch bezüglich der Granulationen findet man alle Übergänge, ja man kann zuweilen unter dem Mikroskop in Verlauf einer halben Stunde das Entstehen der gröberen Granulierung aus der feineren verfolgen; jedoch war es mir nicht möglich festzustellen, ob die gröberen Granula der sporenbildenden Stäbchen durch Verschmelzung von kleineren entstehen, die Vergrößerung geht zu allmählich vor sich. Auch an gefärbten Präparaten fallen die sporenbildenden Stadien sofort durch ihre stärkere Färbbarkeit auf, die Menge und Größe der einzelnen färbbaren Körnchen ist aber sehr wechselnd.

Fig. 9 zeigt ein Durchschnittsbild der Granulation eines Sporenbildners, das recht scharf von dem in Fig. 1 gezeichneten vegetativen Stadium zu unterscheiden ist. Die Netzstruktur des Inhalts

ist dieselbe, nur die Körnchen in den Knotenpunkten sind viel größer. Fig. 40 stellt ein der Fig. 9 entsprechendes konserviertes Stadium dar, während Fig. 41 einen extremen Fall von grober Granulierung demonstrieren kann. Von besonderem Interesse ist das in Fig. 39 abgebildete Stadium. Es stellt einen Bacillus dar, dessen Inhalt durch eine Scheidewand in zwei ungleiche Teile zerlegt ist. Während die kleinere obere Hälfte die feinere Struktur des vegetativen Zustandes besitzt, ist die untere größere grob granuliert, ein Bild welches es wahrscheinlich macht, daß die Vorbereitungen zur Sporenbildung schon während der Teilung beginnen können.

Ich schildere nun die Bildung der Sporen nach einer kontinuierlichen Beobachtung am lebenden Objekt. Ich habe dieselbe fünfmal an festgelegten Stäbchen vollständig ausgeführt und stets in übereinstimmender Weise sich vollziehen gesehen, die Zeiträume, welche hierbei die einzelnen Entwicklungsphasen einnehmen, waren etwas verschieden, ich gebe die Durchschnittszahlen und füge gelegentlich in Klammern die abweichenden Ziffern bei. Zur Kontrolle wurden auch an frei beweglichen Stäbchen die einzelnen Phasen untersucht und übereinstimmend gefunden, sodaß der Schluß berechtigt ist, daß die Festlegung keinen bemerkenswerten schädigenden Einfluß auf die Sporenbildung ausübt.

Wenn man ein grob granuliertes Stäbchen in einem Tröpfchen Darmsaft der Küchenschabe isoliert, so bemerkt man schon nach ca. 30 Minuten (5, 10, 60) das Auftreten eines größeren glänzenden Kornes mit hellem radiären Alveolenhofe im Centrum des Stäbchens (Fig. 10). Genau so wie bei der Teilung des vegetativen Stadiums verbreitert sich dieses Körnchen und wächst in 20—40 Minuten zu einer quer gelagerten Scheidewand aus (Fig. 11), die sich am lebenden wie gefärbten Objekt (Fig. 42) in nichts von der bei der Teilung auftretenden stärker lichtbrechenden und färbbaren Platte unterscheidet.

In diesem Stadium (Fig. 11) verweilt der Bacillus längere Zeit (1—2 Stunden), irgend welche Veränderungen im Innern habe ich trotz angestrenzter Beobachtung nicht wahrgenommen. Nach dieser Zeit wird ganz allmählich die stark lichtbrechende Scheidewand schwächer lichtbrechend und dünner (Fig. 12), nach einer halben Stunde ist sie ganz verschwunden, der Bacillus sieht genau so aus wie vorher (Fig. 9).

Das Undeutlicherwerden der Scheidewand geht so allmählich vor sich, daß man nicht beobachten kann, in welcher Weise die Auflösung erfolgt. Schließlich wird ein Stadium erreicht, in welchem die

Querwand nur ganz zart als eine Reihe glänzender Körnchen wahrzunehmen ist; letztere verlieren dann auch ihre regelmäßige Anordnung in einer Linie, und der Bacillus sieht genau so aus wie vor seinem Teilungsversuch.

Bei sehr genauer Betrachtung bemerkt man alsbald, daß der Inhalt des Stäbchens sich nicht mehr in Ruhe befindet. Zeichnet man z. B. ein Körnchen mit dem Zeichenprisma, so findet man es nach einigen Minuten nicht mehr in derselben Lage, die einzelnen Granulationen werden verschoben, mit anderen Worten, es beginnt eine Plasmaströmung. Im Zeitraum einer viertel bis halben Stunde nimmt diese Bewegung an Schnelligkeit so bedeutend zu, daß man sie schon ohne Zeichenapparat, mit dem Auge erkennen und verfolgen kann. Es ist eine springbrunnenartige Längsströmung. In den centralen Teilen strömen die Körnchen in entgegengesetzter Richtung als in den peripheren; an den Polen biegen dieselben wie die Tropfen eines Springbrunnens in die entgegengesetzte Richtung um.

Bei dieser Plasmaströmung werden die Netzmaschen des Plasmas, die ich für Alveolen halte, stark in die Länge gezogen, eine Erscheinung, die wir ja von vielen Zellen, besonders durch die Untersuchungen BÜTSCHLI's schon kennen; das Stäbchen sieht im Innern längsgestreift aus, eine fibrilläre Struktur wird vorgetäuscht (Fig. 13). Nicht nur die einzelnen Alveolen werden stark in die Länge, parallel zur Längsachse des Stäbchens, gestreckt und in faserigen Längszügen aneinander gereiht, sondern auch die größeren Granulationen in den Ecken derselben nehmen längsspindelförmige Gestalt an, wie man in den gefärbten Präparaten (Fig. 43) besonders deutlich wahrnehmen kann. Der Alveolarsaum unter der Membran nimmt aber, wie mir sicher schien, nicht an der Strömung teil. Die Alveolen desselben behalten im Leben und in den Präparaten stets ihre regelmäßige Anordnung bei und werden nicht in die Länge gestreckt (Fig. 13, 43). Die Plasmaströmung nimmt, wie gesagt, ganz allmählich zu, die größte Geschwindigkeit, die ich gemessen habe, betrug 20μ in einer Minute, d. h. ein in das Auge gefaßtes Körnchen im centralen Teil der Zelle legte die Strecke von 20μ in einer Minute zurück.

Die Strömung hielt verschieden lange Zeit an, $\frac{1}{2}$ — $1\frac{1}{2}$ Stunden sind etwa die Grenzzahlen, die ich beobachtet habe, ebenso langsam wie sie auftrat, nimmt sie auch ab, schließlich kann man sie wieder nur noch mit dem Zeichenapparat nachweisen; in dieser Phase ist sie jedoch nicht mehr springbrunnenartig, sondern unregelmäßig, d. h. in den verschiedenen Teilen der Zelle bemerkt man ganz ver-

schieden gerichtete Verlagerungen der Körnchen, man vermag aber keine Gesetzmäßigkeit der Bewegungen nachzuweisen. Trotzdem muß eine solche vorhanden sein, denn diese langsamen Ortsveränderungen führen ganz allmählich zu einer sehr charakteristischen Anordnung der Körnchen in der Zelle. Im Verlauf einer halben Stunde bis zu einer Stunde stauen sich nämlich die letzteren sämtlich in den centralen Teilen der Zelle dicht zusammen und nehmen die Konfiguration eines geschlängelten Bandes an, welches von Pol zu Pol zieht und wenn es fertig ausgebildet ist, durch sein stärkeres Lichtbrechungsvermögen im Leben und seine Färbbarkeit im Präparat eine außerordentlich auffallende Erscheinung ist (Fig. 14). Die peripheren Teile der Zelle, die nun ganz von den gröberen Granulationen befreit sind, zeigen ein sehr blasses, wenig färbbares Netzwerk, aus dem der centrale Körnerstrang kraß hervorleuchtet. Der letztere ist stets geschlängelt, aber von verschiedener Dicke (Fig. 14, 44), je nach der Zahl und der dichteren oder weiteren Lagerung der Körnchen, die ihn zusammensetzen, an manchen Stellen besteht er nur aus einer einzigen Reihe von Granula.

Bei sehr starker Anhäufung grober Granulationen in der Zelle macht die Strukturveränderung bei der Plasmaströmung einen etwas anderen Eindruck wie bei der Norm. Fig. 63 stellt einen Teil eines solchen sehr grob granulierten Stäbchens dar, die Körnerreihen bilden hier ein Gewirr dichter, geschlängelter Fibrillen. Bei so starker Körnelung scheint es nicht zu einer Konzentration der Körnchen zu einem Faden kommen zu können. Ich habe zweimal derartige Stäbchen isoliert, sie starben beide ab.

Fig. 62 stellt ebenfalls ein abnormes nur einmal gefundenes Stadium dar; die Körnchen haben sich hier nicht zu einem einzelnen Strange, sondern zu zahlreichen, kurzen, geschlängelten Fäden gruppiert. Ich glaube auch, daß dieses Stäbchen sich nicht normal weiter entwickelt hätte. Über die Ursachen dieser Entwicklungshemmungen vermag ich nichts auszusagen.

Zugleich mit der Konzentration der stark lichtbrechenden und stärker färbbaren Körnchen zu einem Faden oder Bande beginnen (Fig. 14, 44), die Granulationen sich an beiden Polen der Zelle anzusammeln. Diese Gruppierung der Körnchen an den Polen stellt den Beginn der Sporenbildung dar. Die Sporenanlage wächst im Verlauf einer halben bis ganzen Stunde auf Kosten des Körnerbandes, welches allmählich schmaler und kürzer wird (Fig. 15, 16, 45, 46).

Die junge Sporenanlage besitzt die größte Ähnlichkeit mit einem

alveolär gebauten Zellkern, wie wir ihn bei vielen Protozoenzellen kennen. Sie ist scharf begrenzt, die stärker färbaren Körnchen, die früher in der ganzen Zelle verteilt waren, sind nur in ihr und in dem geschlängelten Bande lokalisiert, sie nehmen die Knotenpunkte der Netzmaschen ein und sind an der Grenze gegen den Alveolarsaum dichter gedrängt, wie bei der Kerngrenze vieler Protozoenkörner. Jemand, der ein gefärbtes Stäbchen in diesem Stadium (Fig. 16, 46) sieht, wird nicht zweifeln, dieses für eine zweikernige Zelle zu erklären. Jeder, dem ich diese Stadien demonstrierte, ohne ihm weitere Aufklärung zu geben, hat dies in der That auch gethan.

Nachdem die Sporenanlage etwa die dreifache Länge ihrer Breite erlangt hat, wächst sie nicht weiter, sondern beginnt sich zu kontrahieren. Der Körnerfaden ist hierbei bis auf eine schmale einfache Körnerreihe verbraucht; er kontrahiert sich nun ebenfalls und löst sich dabei von den Sporenanlagen los (Fig. 17, 18, 47).

Bei der Kontraktion der Sporenanlagen geben sie ihre Alveolenflüssigkeit ab; die stark lichtbrechenden Körnchen werden daher dichter aneinander gelagert und verschmelzen schließlich miteinander. Bei dem Auspressen der Flüssigkeit rückt die Sporenanlage etwas von ihrer ganz polaren Lage nach der Mitte der Zelle zu; sie wird viel kleiner aber stärker lichtbrechend wie anfangs, auch stärker färbbar (Fig. 17, 47). Bei ihrem weiteren Zusammenschrumpfen fließen schließlich alle Alveolenwände, die hauptsächlich aus der Substanz der stark lichtbrechenden Körnchen gebildet waren, zusammen, indem der Alveoleninhalt nach außen diffundiert. Schließlich, etwa eine Stunde nachdem die Sporenanlage ihre größte Ausdehnung gehabt hatte, stellt sie einen scheinbar ganz strukturlosen, äußerst stark lichtbrechenden Körper dar. Sobald man am lebenden Objekt keine Netzstruktur mehr wahrnehmen kann, nimmt auch im konservierten Präparat die Sporenanlage den Farbstoff nicht mehr leicht auf, sie wird schließlich unfärbbar (Fig. 48). Ihre Begrenzung ist während der Kontraktion immer schärfer und dunkler geworden.

Die hellen Alveolen, welche während der Kontraktion der Sporenanlage dieselbe in Form eines regulären Alveolarsaumes umgeben (Fig. 16, 17, 46, 47) fangen nun auch allmählich an, ihren Inhalt abzugeben, die Alveolarwandsubstanz kontrahiert sich und wird stärker lichtbrechend; es bildet sich auf diese Weise um die stark glänzende Sporenanlage (Fig. 18) eine sie konzentrisch umgebende homogene schwach färbbare Zone aus, deren Lichtbrechungsvermögen schwächer ist als die Substanz der Sporenanlage, aber

stärker als die übrige alveoläre Zellsubstanz. Die äußere Umgrenzung dieser Zone, die anfangs nicht scharf ist, wird schließlich deutlich und verdichtet sich zuletzt zu einer stärker lichtbrechenden, doppelt konturierten Membran. Seit dem Auftreten des Körnerfadens und der Sporenanlage sind nunmehr 2—3 Stunden vergangen.

Sobald die Membran der Sporenanlage ganz deutlich sich abhebt, ist die Lichtbrechungsdifferenz zwischen der inneren und äußeren Zone der Sporenanlage meist verschwunden. Man bemerkt innerhalb der Hülle nur eine strukturlose, äußerst stark lichtbrechende Substanz. Während der Membranbildung ist an den inneren Polen der beiden Sporenanlagen abermals eine Verdichtung der alveolären Zellsubstanz aufgetreten, in Gestalt einer anfangs unregelmäßig begrenzten Anhäufung (Fig. 19, 48). Sie stellt das Material für eine zweite Hülle der Spore dar. Während sie sich ansammelt, treten gegen die Mitte der Zelle zu größere Alveolen auf, der Körnerfaden und der fein alveoläre Rest der Zellsubstanz, ziehen sich noch mehr von den Sporen nach der Mitte zurück (Fig. 19). Dieses spricht dafür, daß auch diese Substanz durch Verschmelzung der Alveolenwände unter Abgabe des Alveoleninhalts (nach der Mitte der Zelle) sich verdichtet. Im Gegensatz zu der ersten Verdichtungszone, welche die Sporenanlage umgab, ist zu erwähnen, daß die Substanz der zweiten etwas stärker lichtbrechend ist und in konserviertem Zustande leicht gefärbt werden kann (Fig. 48). Diese Substanz verbreitet sich nun allmählich dünner werdend, von dem inneren Pol der Spore nach dem äußeren und nimmt hierbei an Lichtbrechungsvermögen zu (wird also wohl dichter). Schließlich umhüllt sie die Spore fast vollständig, nur eine kleinere oder größere Zone am äußeren Pol bleibt frei davon (Fig. 20, 21, 49). Diese kleine Öffnung in der äußeren Sporenhülle bezeichnet die Stelle, an der, wie wir sehen werden, die Auskeimung erfolgt. Bei dem Dichterwerden der äußeren Hüllschicht der Spore büßt ihre Substanz allmählich auch ihre leichte Färbbarkeit ein; die ganz reife Spore läßt dann meist keinerlei Differenzierung in ihrem Innern mehr erkennen (Fig. 21). Wenn man sie aber nach der Konservierung zerdrückt und dann unter dem Deckglas färbt, kann man häufig noch ihre Zusammensetzung aus den drei ineinander geschachtelten Schichten erkennen. Fig. 53 zeigt ein solches Kunstprodukt, eine in günstiger Weise zerdrückte Spore, die deutlich die erste Sporenanlage, die helle Zone darum und die beiden Hüllen erkennen läßt.

Nachdem die äußere Hüllschicht gebildet ist, findet keine weitere Veränderung an den Sporen statt, sie sind reif. Seit dem Auftreten

der Sporenanlagen sind inzwischen 3—4 Stunden vergangen. Der Rest des Zellinhalts schrumpft immer mehr nach der Mitte zusammen, die helle Alveolenstruktur verschwindet allmählich, indem größere Vakuolen auftreten und zu noch größeren Lakunen zusammenfließen. Schließlich liegen die beiden Sporen nur noch von der zusammengefallenen Membran umhüllt; letztere kann noch längere Zeit (1—2 Tage) erhalten bleiben, um dann allmählich blaß zu werden und schließlich ganz zu verschwinden; ich vermute, daß sie unter Verquellung gelöst wird. Im lebenden Darm des Wirtstieres hingegen scheint sie schneller gelöst zu werden; man findet in den abgelegten Fäces mit seltenen Ausnahmen nur isolierte Sporen. Das Erkennungsmerkmal der freien Sporen ist, wie bereits früher erwähnt wurde, die helle Stelle an einem Pol, die durch das Fehlen der äußeren Hülle bedingt ist.

Die Geißelbewegung hört während der Sporenbildung meist in dem Zeitpunkt auf, in welchem die Sporenanlagen sich mit der ersten Membran umhüllen, bisweilen auch schon früher; einmal habe ich aber noch schwache Bewegungen bei einem Stäbchen mit ganz reifen Sporen gesehen. Nie hingegen findet man Bewegung bei Stäbchen, deren Restinhalt nicht mehr deutlich alveoläre Struktur aufweist. Wie die Figuren zeigen, befinden sich beide Sporen stets in der gleichen Entwicklungsphase, dies ist das normale Verhalten. Über Entwicklungshemmungen bei einer der Sporen, die sich gelegentlich finden, werden in einem späteren Abschnitt einige Mitteilungen gemacht.

Der ganze Prozeß der Sporenbildung von dem Auftreten der größeren Granulierung bis zur vollständigen Ausbildung der Sporen dauert etwa 8—12 Stunden, hiervon entfallen 3—6 Stunden auf die eigentliche Entwicklung der Sporenanlagen, während die übrige Zeit von den Vorbereitungen hierzu (Teilung und Verschmelzung) eingenommen wird.

Die reifen Sporen haben meist die in den Fig. 20—22 dargestellte länglich ellipsoidale Gestalt, doch finden sich nicht selten Abweichungen, von denen eine Reihe in Fig. 23—26 abgebildet ist. Man bemerkt eiförmige (Fig. 23), fast birnförmige (Fig. 24, 26) und etwas wurstförmig (Fig. 25) gekrümmte Formen. Eine Auftreibung der Membran des Stäbchens an der Stelle, wo die Spore liegt, wie bei anderen Bakterien, habe ich nie beobachtet.

Die Litteratur über die feineren Vorgänge bei der Sporenbildung der Bakterien ist nicht sehr umfangreich, meist erlaubt wohl die Kleinheit der Objekte nicht, genauere Beobachtungen über diese

interessanten Vorgänge anzustellen. MIGULA (1897) hat die Litteratur über diesen Gegenstand ausführlich zusammengestellt, da ich die meisten Einzelarbeiten mir nicht verschaffen konnte, muß ich auf seine Kritik der Sporenbildung verweisen.

Wie bereits früher erwähnt, findet man bei den meisten Bakterien nur eine Spore in den Stäbchen, ganz ausnahmsweise sollen gelegentlich zwei Sporen in derselben Zelle entstehen. Nur KERN beschreibt, wie bereits früher erwähnt, ein stets zweisporiges Bakterium, MIGULA bezweifelt aber, ob nicht dennoch eine Scheidewand zwischen den beiden Sporen existiert. Außerdem kommen bei *Bacillus inflatus* und *B. ventriculus* nach KOCH neben einsporigen Zellen nicht selten zweisporige vor, ebenso bei den grünen Kaulquappenbakterien die FRENZEL (1891) beschrieben hat. Bei unserer Form kann es nun keinem Zweifel unterliegen, daß die Zweisporigkeit ein konstantes Vorkommen ist. Wie später erwähnt werden soll, kann zwar zuweilen die eine Sporenanlage verkümmern oder nicht vollständig ausgebildet werden, angelegt werden aber stets zwei.

Bezüglich der merkwürdigen Vorgänge vor der Sporenbildung, die Teilung des Zellinhaltes und darauf folgende Wiederverschmelzung der Hälften, habe ich in der Litteratur keine ähnliche Angaben gefunden.

Dies erste Auftreten der Sporenanlagen scheint bei den von FRENZEL (1891) untersuchten grünen Bazillen des Kaulquappendarms Ähnlichkeit mit unserer Form zu haben. „Es bilden sich nämlich innerhalb des Centralkörpers oder in dem mit ihm identischen Zellraum ein oder zwei kernartige Körperchen, ungefähr von dem Umfang der künftigen Sporen“ (FRENZEL, 1891, p. 227), die Verf. für echte Zellkerne hält, eine Auffassung, die ich, wie später auseinander gesetzt werden soll, teile. Leider hat FRENZEL die Sporenbildung bei seiner Form nicht kontinuierlich verfolgt, sondern nur Stadien kombiniert. Es ist daher nicht zu entscheiden, ob das von ihm beschriebene „fadenartige Gebilde“, das bei der Sporenbildung in der Zelle auftaucht, etwas mit dem hier beschriebenen geschlängelten Körnerbande, welches die beiden Sporenanlagen verbindet, zu thun hat. Eine Nachuntersuchung sowohl dieser FRENZEL'schen Form wie der KERN'schen *Dispora* wäre sehr wünschenswert.

Das Auftreten einer gröberen Körnelung im Inhalt der Bakterienzelle vor der Sporenbildung ist schon von zahlreichen Formen bekannt (cf. MIGULA, 1897, p. 182; PRAZMOWSKI, 1880; BREFELD, 1881, p. 51 u. a.). „Später nimmt man ein etwas stärker lichtbrechendes kleines Körnchen wahr, welches meist dem einen Pole etwas genähert

erscheint und sich von den übrigen dadurch unterscheidet, daß es wächst und an Lichtbrechungsvermögen zunimmt. Mit dem Wachstum dieses Körnchens geht die Zahl der Körnchen im Plasma zurück etc.“ (MIGULA, 1897, p. 182). Bei anderen Bakterien wird aber beschrieben, daß die Körnchen zur Bildung der Spore zusammen treten. Es scheinen sonach auch bei der Sporenbildung der Bakterien die feineren Vorgänge sich in recht verschiedener Weise abzuspielen.

Die Keimung der Sporen.

Ebenso wie die Sporen anderer Bakterien, keimen auch die des *Bacillus bütschlii* nicht in dem Medium, in dem sie gebildet werden, in unserem Falle also in dem Darmsaft desselben Wirtstieres, aus. Sie müssen erst in einen anderen Schabendarm gelangen, um sich zu entwickeln. Doch scheint es, als ob noch eine Anzahl anderer Bedingungen erfüllt sein muß, damit die Auskeimung erfolgen kann.

Ich habe wiederholt versucht, die feucht dem Darmsaft eines infizierten Tieres entnommenen Sporen im filtrierten Darmsaft einer anderen, nicht infizierten Schabe zur Auskeimung zu bringen, aber stets vergeblich, es kam nicht einmal zur Quellung der Sporen. Wenn ich hingegen sporenhaltigen flüssigen Darminhalt an nicht infizierte Tiere verfütterte, so gelang wiederholt die Infektion. Doch ist man hierbei trotz größter Vorsicht nicht sicher, ob nicht auch vegetative Stadien mit übertragen wurden; diese Versuche beweisen jedenfalls nicht die Entwicklungsfähigkeit der noch im Darm befindlichen Sporen.

Wenn man trockene Fäces mit darin enthaltenen Sporen an die nicht infizierten Schaben verfüttert, so gelingt die Infektion fast regelmäßig; schon 10—15 Stunden nach der Fütterung findet man zahlreiche vegetative Stadien des *Bacillus* im Darminhalt, zum Teil in lebhafter Vermehrung begriffen. Um die Auskeimung der Sporen in der bequemsten Weise zu beobachten, braucht man nur ein mit den trockenen Sporen gefüttertes Tier etwa eine Stunde nach der Fütterung zu töten. Man findet dann in dem Anfangsteil des Mitteldarms noch viele unversehrte Sporen auf und kann nun ihre Auskeimung im gewöhnlichen Präparat verfolgen. Nicht alle Sporen keimen hierbei aus, ein Teil bleibt unverändert, jedoch entwickelt sich die Mehrzahl.

Noch geringer ist der Prozentsatz der auskeimenden Sporen, wenn man die trockenen Fäces direkt in den filtrierten Darmsaft, den man mit dem Speichel der Schabe vermischt hat, in der feuchten Kammer beobachtet. Oft keimten überhaupt keine Sporen hierbei aus, und wenn es geschah, erfolgte die Keimung viel langsamer als

bei der Verfütterung der Fäces. Die Austrocknung der Sporen in den Fäces scheint mir eine wichtige Vorbedingung für ihre Weiterentwicklung zu sein, das Alter der Spore spielt vielleicht auch eine Rolle. Durch ausgedehntere Versuche würde man wohl noch andere Faktoren, wie Temperaturdifferenzen, kürzere oder längere Speichelinwirkung etc., als Hemmnisse oder Beförderungsmittel der Auskeimung feststellen können. Mir kam es zunächst nur darauf an, die Auskeimung überhaupt zu beobachten, und dies gelingt auf den beiden angegebenen Wegen verhältnismäßig leicht.

Die ersten Veränderungen, welche die Spore bei der Keimung durchmacht, vollziehen sich so langsam und in so verschiedenen langen Zeiten (1—12 Stunden), daß man sie nicht direkt verfolgen kann. Sie bestehen in einer geringen Abnahme des Lichtbrechungsvermögens der Spore und in einer ebenfalls sehr geringen, wahrscheinlich durch Quellung bedingten Vergrößerung derselben. Eine so starke Flüssigkeitsaufnahme, wie sie von anderen Formen bekannt ist, wo ein Anschwellen bis auf die doppelte Größe vorkommt, findet hier nicht statt; ich vermute, daß die äußere Membran so starr ist, daß sie nur eine geringe Dehnung zuläßt. Hierfür spricht auch die Tatsache, daß sie nach der Auskeimung des Inhalts nur wenig zusammenfällt und lange erhalten bleibt.

Die erste deutliche Veränderung der Spore besteht in dem Hervortreten eines kleinen hellen Buckels an dem Pol, der durch den Defekt der äußeren Membran ausgezeichnet ist (Fig. 27). An konservierten und gefärbten Präparaten dieses Stadiums bemerkt man häufig schon im Innern einen Spalt zwischen der äußeren Hülle und dem Inhalt (Fig. 50).

Es scheint, als wenn die innere Sporenhülle an dem Keimungspol verquillt und gelöst wird. Wenigstens habe ich niemals Andeutungen eines Risses, wie bei anderen Bakterien, beobachtet; die Ränder der äußeren Hülle sind an der Austrittsstelle des Stäbchens auch stets glatt.

Im Laufe der nächsten Stunden wächst der kleine Buckel immer mehr aus der Hülle hervor (Fig. 28, 29), während am entgegengesetzten Pol der Spaltraum zwischen der äußeren Hülle und dem Inhalt der Spore deutlicher und breiter wird. Über das Schicksal des hinteren Teiles der inneren Sporenhülle bin ich wegen des starken Lichtbrechungsvermögens der äußeren Hülle nicht ganz ins Klare gekommen; sie schien mir beim Beginn des Auskeimungsprozesses noch sicher vorhanden zu sein (Fig. 29, 30, 50—52). Wenn das Stäbchen aber weiter herausgewachsen ist und die äußere Hülle anfängt zusammenzufallen (Fig. 31), konnte ich sie nicht mehr als

distinkte, doppelt konturierte Membran feststellen. Die Struktur des herauswachsenden Bacillus (Fig. 28—31) stimmt mit der des vegetativen Stadiums überein. Die Differenzierung in zwei Schichten, welche wir bei der Bildung der Spore kennen lernten, ist also verloren gegangen; wie, das entzieht sich bei der starken Lichtbrechung der Sporenhülle der Beobachtung. Die feinmaschige (alveoläre) Struktur des Inhaltes und die feine Granulierung tritt gleich beim Beginn des Auskeimens klar hervor. Bei den gefärbten Stadien finde ich regelmäßig an beiden Polen des jungen Stäbchens ein großes dunkler tingierbares Korn oder eine Verdickung der Membran, die ich merkwürdigerweise am lebenden Objekt trotz vieler Mühe nicht wahrnehmen konnte (cf. Fig. 51, 52). Über die Bedeutung dieses Gebildes habe ich nichts ermittelt. Nach einem Kunstprodukt sieht es nicht aus. Vielleicht steht es ähnlich wie die stark färbare Zwischenplatte bei den Teilungsstadien mit der Geißelbildung im Zusammenhang, denn sobald die ausgekeimten Stäbchen erst frei beweglich sind, vermisste ich es auch an den gefärbten Präparaten.

Die Bewegung des Keimlings beginnt schon, wenn er noch nicht die Sporenhülle ganz abgestreift hat; letztere wird oft dabei mit fortgetragen, fällt aber dann schließlich ab und schrumpft etwas zusammen. Jedoch habe ich sie noch 24 Stunden, nachdem das Stäbchen sie verlassen hatte, ziemlich wohl erhalten gefunden; erst nach weiteren 24 Stunden war sie in der feuchten Kammer aufgelöst.

Die hier geschilderte Art des Auskeimens des *Bacillus bütschlii* weicht nicht in wesentlichen Punkten von den bei anderen Bakterien beobachteten Erscheinungen ab. Wie schon erwähnt, ist meist die Flüssigkeitsaufnahme vor dem Hervortreten des Stäbchens bei anderen Bakterien stärker. Ferner läßt sich auch bei den polar auskeimenden Stäbchen meist eine Rißstelle, aus welcher der Keimling austritt, nachweisen. Doch giebt es auch Beispiele für die hier geschilderte Art der Auskeimung, wenn auch meines Wissens eine besonders differenzierte, schon vorher sichtbare Austrittsstelle noch nicht beschrieben ist. Nach PRAZMOWSKI (1880) erscheint bei *Bacillus amylobacter* VAN TIEGHEM bei dem Beginn der Keimung die bis dahin gleichmäßig doppelt konturierte Membran der Spore an einem Pol unterbrochen, „als ob ein kleines Stückchen derselben an dieser Stelle resorbiert wäre“. Hier wölbt sich dann auch eine zarte Papille hervor, wie bei unserem *Bacillus*. Ebenso wie bei *Bacillus bütschlii* zieht sich bei dieser Form während des Hervorwachsens des Stäbchens auch das hintere Ende etwas hervor, so daß man einen Spaltraum zwischen der Sporenmembran und dem hinteren Pol des

Bacillus erkennt. Die Hülle wird hier auch oft erst während der Bewegung abgestreift. Auch bleibt dieselbe bei dieser Form gut erhalten; ein weiteres Beispiel hierfür bietet ferner *Bacillus subtilis*, während bei anderen Arten die Membran schnell verschwindet oder stark schrumpft. Diese Verschiedenheiten sprechen für eine große Mannigfaltigkeit im feineren Bau der Sporenhülle, worauf schon MIGULA (1887 p. 196) hingewiesen hat.

Bei *Bacterium petroselini* findet sich nach BURCHARD (citiert nach MIGULA, 1897 p. 196) ähnlich wie bei unserer Form eine doppelte Hülle, eine äußere dunklere und eine innere hellere, doch werden hier bei der Keimung beide nach einander abgeworfen.

Die Eigenschaft, daß die Sporen unserer Form sehr ungleichmäßig keimen, teilt derselbe mit manchen anderen Bakterien. Es kommt vor, daß „die Nachkommen der einen Spore schon wieder Sporen gebildet haben, während die einer anderen erst beginnen auszukeimen“ (MIGULA 1897 p. 197).

Über einige Kunstprodukte bei der Präparation des *Bacillus bütschlii*.

Schon in dem Abschnitt über die Untersuchungsmethoden habe ich erwähnt, daß man bei nicht geeigneten Fixierungsmitteln oder unvorsichtiger Härtung der Bazillen häufig Kunstprodukte hervorbringt und daß nur wenige Konservierungsmittel stets gute Resultate ergeben.

Ich will hier noch einige besonders häufig wiederkehrende Figuren aus schlecht gelungenen Präparaten besprechen.

Alle Veränderungen der Bakterien bei schlechter Konservierung sind auf die beiden Erscheinungen der Quellung und Schrumpfung zurückzuführen, und zwar können beide sich auf den ganzen Körper des Stäbchens oder nur auf einzelne Bestandteile desselben erstrecken.

Quellung wurde bei meinen Konservierungsmitteln hauptsächlich bei Essigsäurezusatz erreicht, Schrumpfung bei plötzlicher Anwendung zu starken Alkohols, also bei zu schneller Entwässerung.

Sehr häufig tritt Quellung einzelner Teile der Membran ein, es kommt dann zu buckelförmigen Abhebungen, wie Fig. 54 es zeigt. Der Inhalt der Bakterienzelle hat in diesem Falle wenig gelitten. Selbst der Alveolarsaum ist noch sehr gut erhalten (Fig. 1c), ein Zeichen, daß die Deformation sich in der That nur auf die Membran erstreckt hat. Oft findet man ringförmige Auftreibungen der Membran, die auch durch lokale Quellung bedingt sein dürfte. Läßt man auf derartig deformierte Stäbchen Alkohol, also ein wasserentziehendes

Mittel einwirken, so schrumpfen die ringförmigen Buckel zu scharfen Falten zusammen. Fig. 55 stellt ein solches mit fünf Membranfalten versehenes Stäbchen dar. Der nicht merkbar veränderte Inhalt ist hier nicht eingezeichnet. Derartige Kunstprodukte finde ich besonders häufig in den mit Platinchlorid-Osmium-Essigsäure (HERRMANN'sche Lösung) fixierten, dann mit Alkohol entwässerten Ausstrichen, aber auch bei Anwendung der FLEMMING'schen Lösung habe ich sie beobachtet.

Im Gegensatz zu diesen auf die Membran beschränkten Veränderungen stehen solche, bei denen der Inhalt allein deformiert ist. Für eine Strukturveränderung, bedingt durch einseitige geringe Quellung, halte ich das in Fig. 56 dargestellte Kunstprodukt. Hier sind die Plasmaalveolen in der linken Hälfte des Stäbchens sehr vergrößert, in der rechten verkleinert. Derartige Formen finde ich ebenfalls in Präparaten, die mit HERRMANN'scher Lösung behandelt wurden; jedoch nur bei solchen, die unter dem Deckglas fixiert wurden. Ich erkläre mir die einseitige Quellung dadurch, daß die Fixierungsflüssigkeit bei Zusatz unter dem Deckglas zuerst von einer Seite in stärkerer Konzentration herantrat. Man erhält in solchen Präparaten eine große Fülle ähnlicher Kunstprodukte, je nachdem die Quellung erst einen Pol ergriff oder die Mitte u. s. w.

Wenn der ganze Inhalt der Membran sich durch Schrumpfung von derselben loslöst, spricht man wohl von Plasmolyse, ein Vorgang, der in den Arbeiten A. FISCHER's, besonders in seiner Polemik gegen BÜTSCHLI eine große Rolle spielt.

Bei meinen Fixierungsversuchen habe ich die vollständige Loslösung des Inhalts von der Membran, bei Anwendung starken Alkohols auch ohne spätere Einwirkung von Verdauungsflüssigkeiten sehr häufig beobachtet; man erhält auch hierbei eine Fülle verschiedener Bilder, auf die ich aber nicht näher eingehen will. Fig. 61 stellt als Beispiel ein plasmolysiertes vegetatives Stadium dar. Hier ist die Kontraktion des Inhalts nicht gleichmäßig erfolgt; teilweise haben sich einzelne Stücke besonders abgelöst, man begegnet da oft den merkwürdigsten Figuren; Kernspindeln, Centrosomen und manches andere kann bei schwächerer Vergrößerung vorgetäuscht werden.

Fig. 67 stellt ein Stäbchen dar, welches gerade im Beginn der Sporenbildung stand. Bei der Kontraktion haben sich die Sporenanlagen von dem Restkörper getrennt.

Von besonderem Interesse ist die Einwirkung der Plasmolyse auf die beinahe reifen Sporen, wie Fig. 71 es darstellt. Hier ist durch die Kontraktion die Zusammensetzung der Spore aus den drei

verschiedenen Schichten besonders deutlich geworden. Ganz reife Sporen wurden hingegen gar nicht verändert.

Noch stärkere Kontraktionen des Inhalts der Zelle als die hier abgebildeten erhält man nach Anwendung künstlicher Verdauung. Ich neige zu der Ansicht von A. FISCHER, daß hierbei infolge Lösung der leichter verdaulichen Substanzen der Rest noch stärker kollabiert. Bei längerer Verdauung bleibt oft nur ein dünner Faden in der Mitte der Zelle übrig, der aus stärker färbbaren Körnchen zusammengesetzt ist.

Strukturveränderungen des *Bacillus bütschlii* beim Absterben.

Sehr mannigfaltige Bilder erhält man, wenn man die Bazillen außerhalb des Darmkanals ihres Wirtes langsam absterben lässt, indem man sie z. B. längere Zeit der Luft aussetzt oder den Darminhalt stark mit Wasser verdünnt. Die Bewegungen der Stäbchen werden dann allmählich langsamer, um schließlich ganz aufzuhören; erst dann treten Veränderungen der inneren Struktur ein. Sie bestehen zumeist in dem Auftreten größerer Vakuolen. Es ist wohl anzunehmen, daß dieselben durch Zusammenfließen der kleineren Alveolen entstehen.

Fig. 57 zeigt den Beginn einer solchen Vakuolisierung; hier ist noch streckenweise die feinere Alveolenstruktur zu erkennen. In Fig. 58 sind noch größere Lakunen aufgetreten, welche das Stäbchen wie gegliedert erscheinen lassen, weil sie die ganze Breite desselben einnehmen. Die Zellsubstanz ist zu kleinen, stärker lichtbrechenden, also wohl dichteren Verbindungsbrücken zusammengedrängt.

Während in vielen Fällen beim Absterben die stärker färbbaren Körnchen diffus verteilt bleiben, kommt es zuweilen zu eigenartigen Gruppierungen derselben. Beispiele hierfür bilden Fig. 59, 60. Ersteres betrifft ein vegetatives Stadium. Hier sind die färbbaren Granulationen zu größeren Kugeln zusammengetreten, die innerhalb von größeren Vakuolen liegen. Ich stelle mir vor, daß bei der Dekomposition der Plasmastruktur eine Anzahl der kleinen Alveolen zu größeren zusammengeflossen ist und hierbei die wohl schwerere Substanz der stark färbbaren Granulationen auf den Boden der großen Lakune sank und hier zu einem größeren Klümpchen zusammenfloß.

Fig. 60 stellt ein im Absterben begriffenes Stäbchen dar, welches in Vorbereitung zur Sporulation die größeren Körnchen schon gebildet hatte. Hier nehmen die großen Vakuolen die peripheren Teile der Zelle ein, während die Körner zu einem mittleren Strange

zusammengezogen sind. Man überzeugt sich oft an günstig gelegenen Stäbchen, daß dieser Körnerstrang nicht in der Längsachse der Zelle liegt, sondern an der Wand, in unserer Figur also an der unteren Wand. Ich vermute auch hierbei, daß die Körnchen infolge der Schwere zusammensinken, nachdem ihr geordneter Zusammenhang mit der alveolären Struktur gelöst war. Das merkwürdige in Fig. 65 dargestellte Stadium erklärt sich leicht als Absterbeerscheinung bei einem Stäbchen, das schon den Körnerfaden für die Sporenbildung angelegt hatte, es entspricht etwa in dem Grade der Vakuolenbildung dem in Fig. 58 dargestellten vegetativen Stadium.

Fraglich ist mir geblieben, ob die in Fig. 66 gezeichnete gröbere Vakuolisierung der Sporenanlage auch eine Absterbeerscheinung ist, ich habe dieses Bild nur einmal beobachtet.

Über einige Entwicklungsstörungen bei der Sporenbildung des *Bacillus bütschlii*.

Bei der Durchmusterung zahlreicher Ausstriche des Darminhalts der Küchenschabe habe ich eine ganze Reihe von Bildern der Sporenentwicklung gefunden, die von den normalen abweichen. Einige, die mir interessanter erscheinen, habe ich auf der Tafel abgebildet und will sie hier kurz besprechen.

Zunächst Fig. 73; sie stellt einen abnorm langen Bacillus dar, der augenscheinlich sich gerade zur Sporenbildung anschickte. Der granulierten Faden ist schon deutlich zu erkennen, eine typische Sporenanlage scheint aber nur am unteren Pol angelegt zu sein, am oberen ist nur ein kleines Endknötchen des Körnerfadens zu entdecken; dafür haben sich aber im Verlaufe des Fadens fünf größere Ansammlungen von Körnern, wie sie sich bei der ersten Anlage der Sporen gruppieren, ausgebildet. Ich habe dieses Stadium nur einmal beobachtet. Die Vorstellung, die ich mir von diesem abnormen Stäbchen gebildet habe, ist die, daß wegen der zu großen Länge des Bacillus hier der Versuch gemacht wurde, mehrere Sporenanlagen, die dann rudimentär blieben, auszubilden. Eine Möglichkeit zur Prüfung der Richtigkeit dieser Idee hatte ich nicht, da ich am lebenden Objekt ein solches Stadium nicht auffand. Diese Abnormität erinnert an den abnormen Teilungszustand eines sehr langen vegetativen Zustandes, wie er in Fig. 72 abgebildet ist.

Die in Fig. 64 dargestellte Abnormität habe ich nicht selten beobachtet, auch am lebenden Objekt; hierbei konnte ich feststellen, daß eine Weiterentwicklung nicht stattfindet. In diesem Stäbchen sind die Sporenanlagen begonnen, es ist aber nicht zur Ausbildung

eines Körnerfadens gekommen. Die etwa zur Hälfte entwickelten Sporenanlagen sind durch eine deutliche Scheidewand von dem übrigen grobkörnigen Inhalt des Stäbchens abgesondert. Interessanterweise konnte ich einmal bei einem absterbenden derartigen Bacillus die Abspaltung dieser dunklen Polkappen von dem Mittelstück beobachten; letzteres war schon grob vakuolisiert und ging dann ebenso wie die kleinen abgeteilten Kappen bald zu Grunde.

Nicht selten erstreckt sich die Entwicklungshemmung nur auf eine Sporenanlage, während die andere normal ausgebildet wird. Beispiele hierfür stellen die Fig. 68—70 dar. In allen drei Stadien ist die obere Spore regelrecht fertiggestellt, während die untere trotz des gut entwickelten Körnerfadens rudimentär geblieben ist. In Fig. 68 finden sich an Stelle der Sporenanlage nur einzelne größere färbbare Körner, in Fig. 69 ist außer diesen Körnern noch eine diffus färbbare, sie verbindende Substanz (die mich an Platin erinnerte) zu bemerken. Besonders interessant ist die Fig. 70, wo die in der Entwicklung zurückgebliebene Sporenanlage sich nur von der normalen dadurch unterscheidet, daß die drei bei letzterer in einander geschachtelten Substanzen hier neben einander gelagert sind.

Über die Ursachen aller dieser Entwicklungshemmungen, die wohl innere sein dürften, vermag ich nichts auszusagen.

Deutung der Befunde.

Obwohl ich schon früher erwähnt habe, daß es verfehlt wäre, von der hier beschriebenen zweifellos eigenartigen Bakterienform allgemeine Schlüsse auf den Bau und die Fortpflanzungsvorgänge der Bakterien im allgemeinen zu ziehen, sei es mir doch gestattet, hier meine persönlichen, subjektiven Ansichten über die bei dieser Form geschilderten Erscheinungen kurz zur Diskussion zu stellen. Ich betone ausdrücklich, daß ich weit davon entfernt bin, ihre Gültigkeit für alle Bakterien behaupten zu wollen. Da ich bisher nur wenige Formen untersuchen konnte, muss ich auch auf eine Beteiligung an der Diskussion der Kernfrage im allgemeinen, wie sie von BÜTSCHLI und A. FISCHER in neuerer Zeit geführt wird, vorläufig verzichten. Meine Auffassung der Kernverhältnisse bezieht sich zunächst nur auf die vorliegende Form.

Ich habe die Vorstellung, daß die Kernsubstanzen, welche schon bei höheren Mikroorganismen (vielleicht auch bei anderen Bakterien im Centalkörper BÜTSCHLI's) in einem morphologisch differenzierten Gebilde, dem Zellkern, eine bestimmte Gruppierung und Organisation angenommen haben, bei unserem Bacillus während des größten Teiles

seines Lebens diffus durch das ganze Plasma verteilt sind; nur bei der Sporenbildung kommt es zur Ausbildung eines den echten Zellkernen der höheren Organismen vergleichbaren Gebildes; ich meine die erste Anlage der Spore, die morphologisch einem einfachen Zellkern, wie wir ihn von vielen Protozoen kennen, außerordentlich ähnlich ist. Also nur für eine kurze Lebensperiode kommt es zur morphologischen Sonderung von Kernsubstanz (in Form eines Zellkerns) und Protoplasma. Die Spore läßt während ihrer Entwicklung deutlich die Zusammensetzung aus Kern, Protoplasma und zwei Hüllschichten erkennen. Während des Sporenruhe geht diese Differenzierung (wie, das wissen wir leider nicht) wieder verloren, der junge Keimling läßt keine Sonderung in Kern und Protoplasma erkennen. Vor wenigen Jahren wäre diese Vorstellung von der diffusen Verteilung der Kernsubstanzen kaum möglich gewesen; die neuere Protozoenforschung hat uns aber in der multiplen Kernteilung bei zahlreichen Formen die Thatsache gelehrt, daß die morphologische Differenzierung eines Zellkerns nicht ein notwendiges Postulat für das Leben der Zelle ist. Ich erlaube mir hier nur an ein einziges Beispiel aus eigener Erfahrung zu erinnern. Bei den Foraminiferen ist die multiple Kernvermehrung in zahlreichen Modifikationen und in allen Abstufungen, die ihre Ableitung von der einfachen Kerndurchschnürung ermöglicht, zu finden. Während bei manchen Formen (*Patellina*, SCHAUDINN 1895) der Mutterkern bald in zwei, bald in drei und mehrere große Tochterkerne zerfällt, kommt es bei der höchst differenzierten Art, bei *Polystomella*, zu einer Zerstäubung der Kernbestandteile in viele Hunderte winziger Körnchen und Brocken, die das ganze Plasma der Zelle genau so dicht erfüllen, wie die Körnchen in den Ecken der Alveolen unseres *Bacillus*. Bei manchen Protozoen ist dieser Zustand der diffusen Verteilung der Kernsubstanzen nur von kurzer Dauer, es kommt bald wieder zur Zusammengruppierung derselben, aus den anfangs lockeren Körnergruppen entwickeln sich allmählich morphologisch schärfer differenzierte, komplizierte Zellkerne. [Viele Foraminiferen, z. B. *Calcituba Saccamina*, *Stortophaera* (SCHAUDINN, RHUMBLER), Radiolarien (BRANDT), Gregarinen (CAULLERY und MESNIL), Coccidien (SCHAUDINN, SIEDLECKI), Hämosporidien (GRASSI, SCHAUDINN), Myxosporidien (DOFLEIN). Bei *Polystomella* hingegen bleibt dieser Zustand sehr lange bestehen. Es sei mir gestattet, die Angaben über diese Verhältnisse aus meiner früheren Mitteilung (SCHAUDINN 1895 p. 93) zu wiederholen. Es handelt sich um die mikrosphärische Form, die sich durch Schizogonie (Conitomie, LANG) fortpflanzt. „Wenn die reproduktive

Periode beginnt, so wird die Membran der bläschenförmigen, mit zahlreichen Chromatinkörpern erfüllten Kerne aufgelöst und die Chromatinbrocken treten frei in das Plasma; durch die lebhaften Strömungen im Plasma werden sie allmählich überall hin verstreut und auch in der Gestalt verändert und verzogen, so daß die größeren unter ihnen oft amöboide Stränge bilden.“ Dieser Zustand beginnt schon während des Wachstums und hält bis zur Bildung der Tochterzellen an. Postulieren wir einen morphologisch differenzierten Zellkern, so ist die Foraminifere in diesem Zustand kernlos, eine Monere. Ebenso ihre jüngeren Sprößlinge. Denn wenn das Plasma mit den unregelmäßigen Chromatinkörnchen ziemlich gleichmäßig vermischt und erfüllt ist, fließt es aus der Schale heraus und teilt sich unter lebhafter Pseudopodienbildung in zahlreiche Stücke, die sich abrunden, Schale absondern und nun sich zu den jungen Polystomellen der zweiten, megalosphärischen Generation ausbilden. Aber auch bei den jungen 1—3kammerigen Tieren findet man noch dieselbe diffuse Verteilung der Kernsubstanzen, wie beim Muttertier. Erst beim weiteren Wachstum, oft erst nach mehreren Tagen, wird ein Teil der Chromatinbrocken zu einem größeren Körper vereinigt, der ganz ähnliche Konfiguration und Entstehung aufweist, wie die junge Sporenanlage bei unserem Bacillus, und sich dann zu dem typischen Zellkern der Foraminifere entwickelt.

Ich bin zwar der Ansicht, daß diese Vorgänge¹⁾ bei Polystomella nicht primärer Natur sind, sondern erst sekundär durch Anpassung an die eigenartigen Schalenverhältnisse entstanden (der Inhalt der Schale muß letztere durch zahlreiche feine Öffnungen verlassen, ein solider Zellkern könnte nicht hindurch, daher die Zerspaltung in viele kleine Fragmente). Indessen beweisen dieselben doch, daß eine Zelle auch ohne morphologisch differenzierten Kern lebensfähig ist und sich sogar fortpflanzt, eine Thatsache, welche der Auffassung von der diffusen Verteilung der Kernsubstanzen in unserem Bacillus ermöglichte. Ich weiss auch nicht, ob dieser Zustand der diffusen Verteilung bei unseren Bazillen ein primärer ist, wie ich überhaupt die Ansicht für diskutierbar halte, daß die Einfachheit der Organisation und der Fortpflanzung der Bakterienzellen eher durch Rückbildung herbeigeführt ist und daß sie von höher organisierten Wesen abstammen (Flagellaten?). Verlockend ist freilich die Idee, daß die ersten Lebewesen noch keine Sonderung in Kern und Plasma auf-

¹⁾ Ebenso wie die multiple Kernteilung überhaupt, die ich ja selbst von der direkten abgeleitet habe (SCHAUDINN 1895).

weisen, aber die komplizierten Vorgänge bei der Sporenbildung der Bakterien führen mich immer wieder zu der Vorstellung, daß darin noch Reste einer von den Vorfahren ererbten, aber zum Teil durch parasitische oder saprophytische Anpassung unterdrückten höheren Organisation stecken. Als einen solchen Rest betrachte ich auch die eigentümlichen Vorgänge vor der Sporenbildung.

Bei vielen Protozoen kennen wir schon Geschlechtsvorgänge; während sie bei manchen von ihnen mit dem Ruhestadium verknüpft sind, treten sie bei anderen in Verbindung mit der Vermehrung auf. Dass der geschlechtliche Dimorphismus schon bei den Einzelligen aufgetreten ist, dürfte als bewiesen gelten. Seine allmähliche Entwicklung aus der Isogamie ist wahrscheinlich. Während bei den meisten Fällen von Isogamie zwei zwar gleichartige, aber doch schon seit längerer Zeit entstandene Zellen verschmelzen, haben wir durch die bedeutenden Entdeckungen R. HERTWIG's über die Befruchtung bei *Actinosphaerium* vor kurzem auch bei Protozoen einen Fall kennen gelernt, wo die direkten Abkömmlinge derselben Zelle mit einander kopulieren, also der höchste bisher bekannte Grad der Selbstbefruchtung.¹⁾ Als einen ähnlichen Vorgang fasse ich Teilung und darauf folgende Verschmelzung des Inhalts unseres Bacillus vor der Sporenbildung auf und erblicke ebenso wie HERTWIG den Zweck dieser primitivsten Art der Kopulation in Verbindung mit den Vorgängen der Sporenbildung in einer Reorganisation der durch anhaltende Teilung geschwächten vitalen Funktionen der Zelle.

Während bei der *Actinosphaerium*zelle die vielleicht im Dienste der Reorganisation stehende Reduktion der Kern- und Zell(?)substanz vor der Verschmelzung der Kopulanten durch Ausstoßung zweier Reduktionskörper erfolgt, tritt bei unserem Bacillus die Absonderung der zu Grunde gehenden Substanzen nach der Kopulation, vor der Sporenbildung ein (Restmasse bestehend aus Plasma und Körnerfaden). Die weitere Forschung muß lehren, ob sich derartige Vorgänge auch noch bei anderen Mikroorganismen vorfinden und ob sie primäre Erscheinungen sind oder nur Etappen eines Rückbildungsvorganges darstellen, die nur noch schwache Zeugen des allmählichen

¹⁾ HERTWIG führt außer diesem bisher im Tierreich einzig dastehenden Fall noch zwei ähnliche aus dem Pflanzenreich an (1898 p. 93). Erstens Desmidiaceen, bei denen nach DE BARY die Zellen, welche sich zur Bildung der Dauerspore vereinigen, aus der Teilung einer Mutterzelle hervorgegangen sind, zweitens die Diatomee *Achnanthes brevipes*, bei der nach KARSTEN dasselbe der Fall sein soll. In einer späteren Arbeit hoffe ich für diese Erscheinung auch weitere Beispiele aus der Gruppe der Protozoen bringen zu können.

Verlustes der geschlechtlichen Vorgänge bei diesen einfachen oder einfacher gewordenen Lebewesen sind. Hierzu anzuregen war der Zweck dieser Zeilen.

Nachschrift.

Nach Fertigstellung dieser Arbeit erschien die ideenreiche Abhandlung von R. HERTWIG „Die Protozoen und die Zelltheorie“ (diese Zeitschrift Heft 1 p. 1). Verfasser kommt auf Grund der Entdeckung eines diffus verteilten Netzes von Kernsubstanzen bei Rhizopoden, das er Chromidialnetz nennt, zu ganz ähnlichen Vorstellungen über die Kernverhältnisse der Bakterien wie ich, ohne dieselben selbst untersucht zu haben. Gerade die Polythalamien, bei welchen dies Chromidialnetz eine besonders hervorragende Rolle spielt und schon lange bekannt war (er hätte sie sehr zur Stütze seiner Ansicht verwenden können), hat er leider wenig berücksichtigt. Bezüglich der Bakterien spricht er sich folgendermaßen aus: „Den Bakterien und Oscillatorien möchte ich auf Grund der Untersuchungen anderer, besonders BÜTSCHLI'S, ein von einem Chromidialnetz durchsetztes achromatisches Protoplasma zuschreiben, einen Zustand des Weichkörpers, der in mancher Hinsicht an die von HÆCKEL für die Moneren postulierte Organisation erinnert, insofern also in der That ein zu einem besonderen Zellorgan differenzierter Kern noch fehlen würde.“

Litteratur.

- BREFELD, A. (1881): Botanische Studien über Schimmelpilze. v. 4 1881 p. 51.
 BÜTSCHLI, O. (1890): Über den Bau der Bakterien und verwandter Organismen. Leipzig (Engelmann) 1890.
 Derselbe (1892): Untersuchungen über mikroskopische Schäume und das Protoplasma. Leipzig (Engelmann) 1892.
 Derselbe (1896): Weitere Ausführungen über den Bau der Cyanophyceen und Bakterien. Leipzig (Engelmann) 1896.
 ERNST, P. (1888): Über den Bacillus xerosis und seine Sporenbildung. In: Zeitschrift f. Hygiene u. Infekt.-Kr. v. 4 p. 36 1888.
 Derselbe (1889): Über Kern- und Sporenbildung bei Bakterien. In: Zeitschr. f. Hygiene u. Infekt.-Kr. v. 5 p. 428 1889.
 FISCHER, A. (1891): Die Plasmolyse der Bakterien. In: Berichte der k. sächsischen Ges. d. Wissensch. Math.-physik. Kl. 1891 p. 52—74.
 Derselbe (1894): Untersuchungen über Bakterien. In: Jahrb. f. wiss. Botanik. v. 27 1894 Heft 1.

- Derselbe (1897): Untersuchungen über den Bau der Cyanophyceen und Bakterien. Jena (Gustav Fischer) 1897.
- FLÜGGE, C. (1896): Die Mikroorganismen. Leipzig (Vogel) 1896.
- FRENZEL, J. (1891): Über den Bau und die Sporenbildung grüner Kaulquappenbazillen. Ein Beitrag zur Kenntnis der Bakterien. In: Zeitschr. f. Hygiene u. Infekt.-Kr. v. 11 p. 207 1891.
- Derselbe (1891a): Der Zellkern und die Bakterienspore. In: Biolog. Centralbl. v. 9 No. 24 1891.
- HERTWIG, R. (1898): Über Kernteilung, Richtungskörperbildung und Befruchtung von *Actinosphaerium* Eichhorni. In: Abh. Akad. München, II. Kl. v. 29 Abt. III 1898.
- KERN (1881): Über ein neues Milchferment aus dem Kaukasus. In: Bull. Soc. natur. Moscou. 1881 No. 3.
- MIGULA, W. (1897): System der Bakterien. Handbuch der Morphologie, Entwicklungsgeschichte und Systematik der Bakterien. I. Bd. Allgemeiner Teil. Jena (Gustav Fischer) 1897.
- NENCKI, M. u. SCHAFFER, F. (1879): Über die chemische Zusammensetzung der Fäulnisbakterien. In: Journ. f. prakt. Chemie. N. F. v. 20 1879 p. 461—463.
- PRAZMOWSKI (1880): Untersuchungen über die Entwicklungsgeschichte und Fermentbildung einiger Bakterienarten. Leipzig 1880.
- SCHAUDINN, F. (1895): Über den Dimorphismus der Foraminiferen. In: Sitzungsber. Ges. naturf. Fr. Berlin. 1895 No. 5 p. 87.
- Derselbe (1895): Untersuchungen an Foraminiferen. I. *Calcitula polymorpha* Roboz. In: Zeitschr. f. wiss. Zool. v. 59 1895 p. 191.
- Derselbe (1895): Über Plastogamie bei Foraminiferen. In: Sitzungsber. Ges. naturf. Fr. Berlin. 1895 No. 10 p. 179.
- Derselbe (1896): Über die Kopulation von *Actinophrys sol* EHRB. In: Sitzungsber. Akad. Wiss. Berlin. 1896 v. 2 p. 83.
- Derselbe (1900): Untersuchungen über den Generationswechsel bei Coccidien. In: Zool. Jahrb. Abt. Anat. v. 13 Heft 2 1900 p. 198.
- SCHEWIAKOFF, W. (1893): Über einen neuen bakterienähnlichen Organismus des Süßwassers. In: Verh. d. naturh.-medic. Vereins Heidelberg. N. F. v. 5 1893 p. 44.
- WEIGERT, C. (1887): Neuere Vererbungstheorien. In: Schmidt's Jahrbücher der gesamten Medicin. 1887 No. 215 p. 89f.

Tafelerklärung.

Tafel 10.

Alle Figuren beziehen sich auf *Bacillus bütschlii* aus dem Darm von *Periplaneta orientalis*.

Fig. 1—31 sind nach dem lebenden Objekt gezeichnet, die Umrisse und groben Strukturen wurden hierbei mit Hilfe des Abbé'schen Zeichenapparates nachgezogen. Alle übrigen Figuren sind nach Präparaten, die in verschiedener Weise fixiert und, wo nicht anders angegeben, mit Eisensalaun-Hämatoxylin gefärbt waren, mit Hilfe des Zeichenapparates entworfen.

Vergrößerungen: Fig. 1—31, 1 a, 39, 50—52, 54—61, 68, 72, 73 ca. $1000/\mu$.

Fig. 1 b—1 d, 32—38, 40—49, 53 ca. $2200/\mu$.

Fig. 62—67, 69—71 ca. $1750/\mu$.

Fig. 1—8. Querteilungsstadien des Stäbchens.

Fig. 1 a. Bacillus mit Geißeln; Trockenpräparat, LÖFFLER'sche Färbung.

Fig. 1 b. Kleiner Teil eines Längsschnittes, um die Struktur der Membran zu zeigen; Osmiumsäuredämpfe.

Fig. 1 c. Dasselbe, aber die Membran hat sich von dem Alveolarsaum des Plasmas, wahrscheinlich infolge Quellung, abgehoben. Sublimat-Alkohol-Eisessig. Eisenhämatoxylin.

Fig. 1 d. Kleines Stück von der Oberfläche der Membran von einem leeren (nach Bildung der Sporen) Bacillus. Osmiumsäuredämpfe. Kaisertinte.

Fig. 9—21. Stadien der Sporenbildung des Stäbchens.

Fig. 9. Man bemerkt die gröbere Granulierung des Alveolensystems gegenüber den gewöhnlichen, vegetativen Stadien (Fig. 1—8).

Fig. 10—11. Auftreten der stärker lichtbrechenden Scheidewand.

Fig. 12. Die Scheidewand verschwindet wieder allmählich.

Fig. 13. Plasmaströmung veranlaßt eine längsfaserige Anordnung der Alveolen und Granula.

Fig. 14. Ansammlung der größeren Granulationen zu einem geschlängelten Bande in der Mitte der Zelle und Beginn der Anhäufung der Körnchen an den beiden Polen.

Fig. 15. Weiter vorgeschrittenes Stadium dieses Vorganges.

Fig. 16. Die Sporenanlagen haben ihre größte Ausdehnung erreicht.

Fig. 17. Die Sporenanlagen schrumpfen stark zusammen, wobei sie Flüssigkeit abgeben und daher stärker lichtbrechend werden, ihre alveolär-körnige Struktur wird undeutlicher.

Fig. 18. Die Sporenanlagen sind noch stärker kontrahiert, um dieselben macht sich eine schwächer lichtbrechende, hyaline Zone bemerkbar; das granulierten Band in der Mitte der Zelle hat sich von den Sporenanlagen gelöst.

Fig. 19. Die Sporenanlagen haben sich mit einer Membran umhüllt, die beiden Bestandteile des Sporenhalts sind noch zu erkennen, an den inneren Polen der Sporen sammelt sich eine stärker lichtbrechende Substanz an, während der Rest des Zellinhalts sich nach der Mitte der Zelle zu kontrahiert.

Fig. 20. Die stärker lichtbrechende Substanz an den inneren Polen der Sporen hat sich kappenartig über die letzteren ausgebreitet und läßt nur einen kleinen Teil des äußeren Pols der Sporen frei. Die Spore ist so stark lichtbrechend geworden, daß man in ihrem Innern keinerlei Strukturen mehr erkennen kann.

Fig. 21. Sporen fertig ausgebildet.

Fig. 22—26. Verschiedene Formen der Sporen, die sich frei, nach Zerfall der Mutterzellen, in den Fäces von *Periplaneta* finden.

Fig. 27—31. Auskeimung der Spore im Darmsaft von *Periplaneta*.

Fig. 32. Teil eines vegetativen Stäbchens, um die feinere Plasmastruktur und die feine Granulation dieser Stadien zu zeigen. Osmiumsäuredämpfe, Eisenhämatoxylin.

Fig. 33—38. Die Bildung der Scheidewand und ihre Spaltung bei der Teilung der Zelle. Sublimat-Alkohol, Eisenhämatoxylin.

Fig. 39. Ein in Querteilung befindliches Stäbchen, bei welchem der kleinere obere Teil die feine Granulierung der vegetativen Zellen, die größere untere die grobe Körnelung der Sporen bildenden Zellen zeigt. Sublimat-Alkohol, Eisenhämatoxylin.

Fig. 40—41. Stücke von Zellen mit grober Körnelung. Die beiden Figuren stellen etwa die beiden Extreme des Vorkommens dar. Sublimat-Alkohol, GRENACHER's Hämatoxylin.

Fig. 42. Partie um die Scheidewand in einer grob granulierten Zelle. Osmiumsäuredämpfe, Eisenhämatoxylin.

Fig. 43. Stäbchen, welches während der Plasmaströmung fixiert wurde; entspricht etwa Fig. 13. Osmiumsäuredämpfe, Eisenhämatoxylin.

Fig. 44—49 entsprechen etwa den Fig. 15—20 und stellen sechs auf einander folgende Stadien der Sporenbildung dar, wobei wegen des Raummangels nur die Hälfte der Zelle gezeichnet wurde. Sublimat-Alkohol, Eisenhämatoxylin.

Fig. 50—52. Drei Stadien der Auskeimung der Spore. Sublimat-Alkohol, Eisenhämatoxylin.

Fig. 53. Eine reife, mit Sublimat-Alkohol fixierte Spore wurde unter dem Deckglas zerdrückt und mit GRENACHER's Hämatoxylin gefärbt.

Alle übrigen Figuren der Tafel stellen Kunstprodukte, die bei der Präparation entstanden sind, oder abnorme Entwicklungsstadien des Bacillus dar

Fig. 54. Buckelförmige Abhebung der Membran infolge von Quellung. Sublimat-Alkohol-Essigsäure, GRENACHER's Hämatoxylin.

Fig. 55. Ringförmige Faltenbildung der zuerst gequollenen, dann geschrumpften Membran. Platinchlorid-Osmium-Essigsäure, Alkohol in steigender Konzentration.

Fig. 56. Zelle, deren Plasma an der linken Hälfte gequollen, rechts geschrumpft ist. Dieses Kunstprodukt ist wahrscheinlich dadurch entstanden, daß das Fixierungsmittel (HERRMANN'sche Lösung), das unter dem Deckglas zugesetzt wurde, von einer Seite an das Objekt herantrat.

Fig. 57—60. Strukturveränderungen der Zellen beim Absterben (cf. Text).

Fig. 61. Plasmolyse des Zellinhalts. Alkohol absolutus, dann getrocknet.

Fig. 62. Abnorme Aneinanderreihung der stärker färbaren Körnchen im Plasma zu groben Fäden und Balken.

Fig. 63. Plasmaströmung in einer Zelle mit abnormer Körnelung.

Fig. 64. Entwicklungshemmung während des Beginnes der Sporenbildung es unterblieb die Bildung des geschlängelten Fadens, die Zelle hat die Sporenanlagen durch dunkler färbare Querwände von dem übrigen Inhalt getrennt.

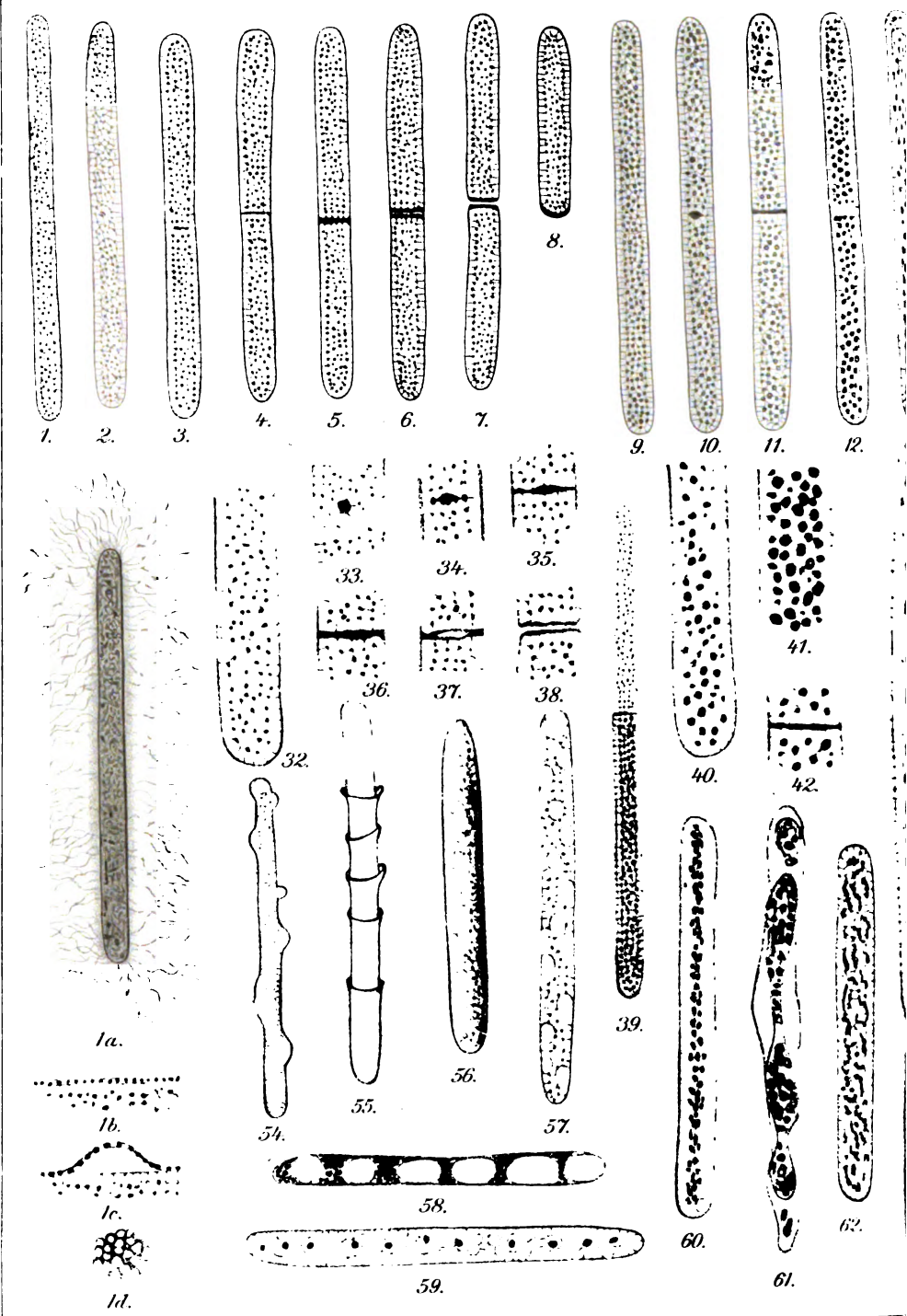
Fig. 65. Zelle, die während des Beginnes der Sporenbildung (das Körnerband war schon gebildet) unter Vakuolenbildung abstarb.

Fig. 66. Abnorme Vakuolenbildung (?) in einer jungen Sporenanlage.

Fig. 67. Plasmolyse eines in Sporenbildung begriffenen Stäbchens; fixiert mit Alkohol absolutus, dann getrocknet.

Fig. 68. Entwicklungshemmung bei einer Spore; während die obere regelrecht ausgebildet ist, finden sich an Stelle der unteren nur einige grobe, stark färbare Körner. Sublimat-Alkohol, Eisenhämatoxylin.

Fig. 69. Ähnliches Stadium; die untere Sporenanlage zeigt aber außer den Körnern noch eine sie teilweise verbindende, diffus färbare strukturlose Substanz. Sublimat-Alkohol, Eisenhämatoxylin.



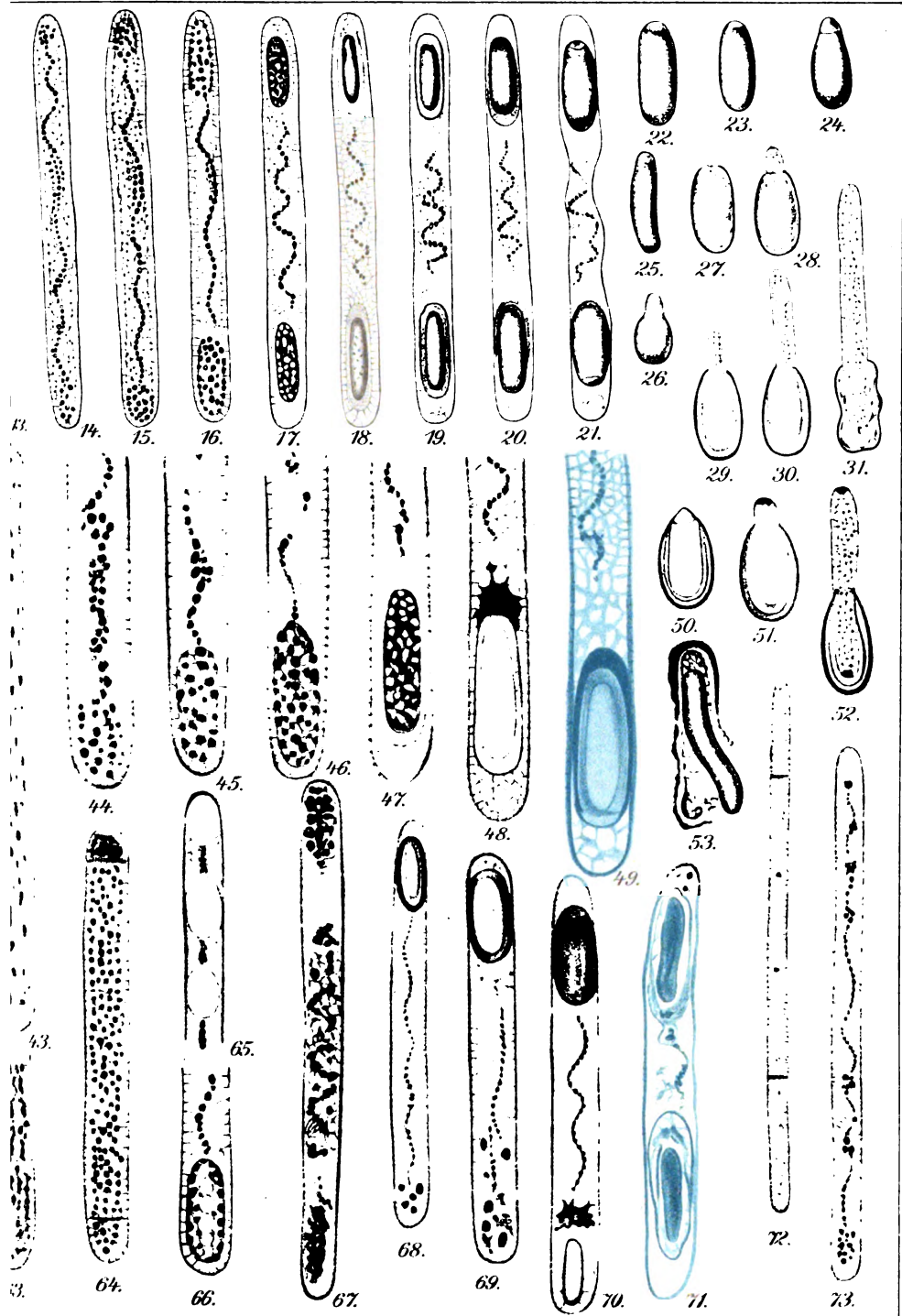


Fig. 70. Die untere Sporenanlage zeigt ahnormerweise die drei bei der normalen Spore in einander geschachtelten Teile neben einander. Sublimat-Alkohol, Eisenhämatoxylin.

Fig. 71. Plasmolyse bei einem Stäbchen, dessen Sporen beinahe fertig waren; fixiert mit Alkohol absolutus, dann getrocknet.

Fig. 72. Abnormes Teilungsstadium bei einem sehr langen Stäbchen; zwei Scheidewände fertig, von den zwei mittleren sind die Anlagen zu erkennen. Sublimat-Alkohol, Eisenhämatoxylin.

Fig. 73. Abnorme Bildung des Sporenfadens bei einem sehr langen Stäbchen. Sublimat-Alkohol, Eisenhämatoxylin.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1902

Band/Volume: [1_1902](#)

Autor(en)/Author(s): Schaudinn Fritz Richard

Artikel/Article: [Beiträge zur Kenntnis der Bakterien und verwandter Organismen. 306-343](#)