

# Untersuchungen über Bacterien.

Von

**Dr. Ferdinand Cohn.**

Mit Tafel III.

---

Als ich vor nahezu 20 Jahren meine ersten Untersuchungen über Bacterien veröffentlichte (Ueber die Entwicklungsgeschichte mikroskopischer Algen und Pilze Nova Acta Ac. Car. Leop. nat. cur. XXIV. I 1853), waren es überwiegend morphologische und entwicklungsgeschichtliche Fragen, an die sich das Interesse für diese kleinsten aller Organismen, durch welche nach Ehrenbergs sinnigem Ausspruch die Milchstrasse der lebenden Wesen hindurchgeht, knüpfte, und noch wenig entwickelt waren die Gesichtspunkte, welche in den letzten Jahren die Geschichte der Bacterien mit den wichtigsten Problemen der allgemeinen Naturwissenschaft in Zusammenhang gebracht haben. Zwei Männer sind es vor allem, deren Arbeiten, wenn auch von ungleichem Werth, doch fast in gleicher Weise dazu beigetragen haben, das Interesse für die Bacterien in den weitesten Kreisen anzuregen. Pasteur hat zwar die Bacterien nur beiläufig berührt und die Schwäche seiner mikroskopischen Bestimmungen beeinträchtigt seine Arbeiten, so weit sie diese Organismen betreffen, in viel höherem Grade als bei seinen epochemachenden Forschungen über die Hefepilze; dennoch müssen alle neuern Untersuchungen zunächst an die Pasteur'sche anknüpfen. Auf der andern Seite gebührt Hallier unzweifelhaft das nicht gering anzuschlagende Verdienst, dass derselbe zuerst die Frage von den Beziehungen der Fermente und Contagien zu den Bacterien, welche früher meist nur auf theoretischem Wege erörtert worden waren, zum Object directer und Jahrelang fortgesetzter mikroskopischer Untersuchungen gemacht, und es ist nicht genug zu bedauern, dass alle spätern Beobachter, deren nicht wenige in Deutschland und England zunächst durch Hallier angeregt worden sind,

von vorn anfangen müssen, da das von ihm selbst angesammelte Beobachtungsmaterial wegen der bekannten Mängel seiner Untersuchungsmethode unbrauchbar ist.

Seit einer Reihe von Jahren habe auch ich mich in Gemeinschaft mit meinem Freunde Herrn Oberstabsarzt Dr. Schroeter bemüht, die Frage von den Bakterien mit den inzwischen vervollkommenen optischen Hilfsmitteln wieder aufzunehmen und habe auch, nachdem Schroeter das hiesige pflanzenphysiologische Institut im Sommer 1870 verlassen, diese Untersuchungen allein fortgesetzt. Ich habe mich zunächst bemüht, über die biologischen Verhältnisse der Bakterien, so wie über die Unterscheidung der Species ein selbstständiges Urtheil zu gewinnen, dann aber auch die allgemeinen Fragen, und vor allem die Fermentwirkungen der Bakterien mit Hilfe des Experiments zu prüfen. Einige vorläufige Mittheilungen meiner Resultate habe ich bereits in den Verhandlungen der Schlesischen Gesellschaft mitgetheilt (Sitzung der medizinischen Section vom 10. Februar und 4. August 1871, sowie der naturwissenschaftlichen Section vom 14. Februar 1872, Botanische Zeitung von de Bary vom 22. Dec. 1871, Virchow's Archiv für pathologische Anatomie 55. Bd. März 1872); obwohl meine Untersuchungen mich noch zu keinem befriedigenden Abschluss geführt haben, halte ich es doch für zweckmässig, schon jetzt eine ausführlichere Darlegung derselben an dieser Stelle zu geben.

### 1. Systematisches.

Welche Organismen gehören zu den Bakterien? welche Gattungen, welche Arten lassen sich unter ihnen unterscheiden? Auf die Beantwortung dieser Fragen habe ich zunächst meine Untersuchungen gerichtet.

Wer die betreffende Literatur auch nur der letzten Jahre durchstudirt, weiss, dass eine gradezu chaotische Verwirrung in den Benennungen der Bakterien herrscht. Fast jeder Beobachter hat, ohne sich um seine Vorgänger zu kümmern, die ihm gerade vor Augen kommenden Formen meist willkürlich, oft mit neuen Namen belegt, und das Gesetz der Priorität, welches bei der Nomenclatur lebender Wesen sonst überall zu Grunde gelegt wird, findet fast nirgends Berücksichtigung.

In der That sind die Schwierigkeiten, welche einer richtigen Unterscheidung und Benennung dieser Wesen entgegenstehen, ganz ausserordentlich. Nur Ehrenberg und Dujardin haben sich bemüht, die gesammte Reihe der Bakterien und ihrer Verwandten übersichtlich zu ordnen, und in Gattungen und Arten zu vertheilen, und

ihre Arbeiten müssen daher als Ausgangspunkt dienen; aber ganz abgesehen davon, dass ihre Eintheilungsprincipien der Kritik gegenüber manches zu wünschen übrig lassen, so sind auch die Vergrößerungen, mit denen diese Forscher gearbeitet, gerade für diese Organismen nicht ausreichend; um so auffallender ist, wenn Ehrenberg Structurverhältnisse angiebt, die wir nicht wiederfinden können.

Selbst im Besitz unserer stärksten Immersionssysteme müssen wir bekennen, dass die meisten Bacterien auch heut noch jenseits der Leistungsgrenze unsrer Mikroskope liegen, da wir ihre Formgestaltung, die Organisation ihres Inhalts, und ihre Vermehrung nicht mit ausreichendem Detail beobachten können; selbst die Existenz der kleinsten Formen würde sich leicht unsrer Wahrnehmung entziehen, wenn dieselben nicht gerade durch ihre Menge in der Regel sich bemerkbar machten.

Eine nicht kleinere Schwierigkeit liegt in der geringen Anzahl von Merkmalen, welche zur Klassifikation der Bacterien benutzt werden können. Wenn bei allen übrigen Organismen die Begründung der Gattungen auf Unterschiede in der Fortpflanzung zurückgeführt wird, so hat sich bei den Bacterien überhaupt keine eigentliche Fortpflanzung (Ei- oder Sporenbildung) bis jetzt nachweisen lassen. Der Körper derselben, soweit wir ihn überhaupt scharf unterscheiden, zeigt keinerlei Mannigfaltigkeit in der Gliederung, keine wesentliche Eigenthümlichkeit in Haut und Inhalt. Nur die Grösse, und innerhalb gewisser Grenzen die Form der Glieder, sowie die Verbindung derselben zu Colonieen, bietet gewisse Verschiedenheiten, von denen wir aber nicht immer wissen, in wie weit dieselben ursprünglich verschiedenen Arten zugehören, in wie weit sie von äussern Umständen abhängig, in den Variationskreis einer Art fallen oder gar nur Entwicklungszustände des nämlichen Wesens sein können. Am leichtesten unterscheiden wir die Bacterien an ihrer Grösse; da sie aber in der Regel aus 2 und mehr gliedrigen Ketten bestehen, so tritt uns noch der Zweifel entgegen, ob wir bei der Beurtheilung der Grössenverhältnisse die Länge der einzelnen Glieder, die sich meist sehr schwer bestimmen lässt, oder die der Ketten zu Grunde legen sollen, die von der oft schwankenden Zahl der Glieder abhängt. Da es unmöglich ist, einzelne Bacterien zu isoliren und längere Zeit unter verschiedenen Verhältnissen zu beobachten, bei Massenculturen aber sich niemals Sicherheit gewinnen lässt, ob zur Aussaat nur eine einzige oder verschiedene gleichzeitig unter einander lebende Arten benutzt wurden, so besitzen wir für jetzt keinerlei Methoden, um



bei den Bacterien Alters- und Entwicklungszustände, Varietäten und Arten sicher abzugrenzen.

Alle diese Schwierigkeiten machen sich geltend, wenn wir versuchen die Bacterien in natürliche Gattungen zu vertheilen. Die Gattungen der Bacterien haben nicht dieselbe Bedeutung wie die der höheren Pflanzen oder Thiere, da sie sich nur auf Merkmale vegetativer Zellgestaltung, nicht auf Fortpflanzungscharaktere gründen. Wir sind genöthigt, bei den Bacterien in vielen Fällen ein Verfahren anzuwenden, das auch in der Mykologie so lange festgehalten wird, als nicht durch vervollkommnete Culturmethoden die gesammte Entwicklungsgeschichte der Arten festgestellt werden kann, und das in der Paläontologie noch heute eine allgemeine Anwendung findet. Es besteht darin, dass jede Form, die sich durch hervorstechende Merkmale auszeichnet, mit einem besondern Gattungsnamen belegt wird; jede kleinere Abweichung wird als Species unterschieden. Es soll damit nicht die Möglichkeit ausgeschlossen werden, dass nicht verschiedene solcher Species aus einer und derselben Mutterform hervorgehen, ja dass nicht selbst verschiedene Gattungen nur Entwicklungszustände eines und desselben Individuums sein können. So unterscheiden wir verschiedene Arten von *Uredo*, *Puccinia* und *Aecidium*, obwohl wir nicht daran zweifeln, dass alle drei nur Formen eines einzigen Entwicklungskreises sind; wir sprechen von *Oidium* und *Aspergillus*, von *Achorion* und *Microsporon*, von *Stigmaria*, *Sigillaria* und *Sigillariostachys*, ohne damit ein Urtheil über die Selbständigkeit dieser „Formgattungen“ abzugeben. Auch bei der Klassifikation der Bacterien können wir für jetzt neben einer gewissen Anzahl wirklich natürlicher auch die Unterscheidung von „Formgattungen und Formspecies“ nicht umgehen und werden als solche eben alle abweichenden Formen aufnehmen, wenn dieselben unter bestimmten Verhältnissen ausschliesslich oder doch vorherrschend auftreten. Aufgabe weiterer Forschungen wird der Nachweis sein, ob und welche dieser Formgattungen und -Arten etwa im entwicklungsgeschichtlichen Zusammenhang stehen.

Obwohl schon Leeuwenhoek im siebzehnten Jahrhundert Bacterien wahrgenommen, und O. F. Müller im achtzehnten bereits die wichtigsten Formen derselben erkannt und bezeichnet hat, so beginnt doch die wissenschaftliche Unterscheidung derselben erst mit Ehrenberg. Derselbe stellte zuerst 1830 die Familie der *Vibrionia* auf, die er zwischen *Volvocinen* und *Oosterien* einreicht; er zählt dazu alle fadenförmigen Körperchen, welche selbstbewegt und gegliedert sind; die gegliederte Fadenform beruht auf unvollkommener Selbsttheilung, bei der die Theilhälften in Zusammenhang bleiben, wie

zuerst Bory de St. Vincent 1824 erkannt hatte. In dem grundlegenden Werke über die Infusionsthierchen von 1838 stellt Ehrenberg vier Gattungen auf, die er auf folgende Weise unterscheidet (p. 73 ff.):

Fäden geradlinig, unbiegsam: *Bacterium*.

Fäden geradlinig, schlangenförmig biegsam: *Vibrio*.

Fäden spiralig, biegsam: *Spirochaeta*.

Fäden spiralig, unbiegsam: *Spirillum*.

Von *Bacterium* werden 3, von *Vibrio* 9, von *Spirochaeta* 1, von *Spirillum* 3 Arten unterschieden.

Als fünfte Gattung wird noch *Spirodiscus* aufgezählt, deren unbiegsame Schraubenfäden scheibenartig gedrängt sind; die einzige Species dieser Gattung, *Sp. fulvus*, ist nur einmal 1829 von Ehrenberg bei Syrjanofskoi im Altai flüchtig gesehen worden, seitdem aber, wie noch mehrere seiner sibirischen und nubischen *Vibrionia*, nie wieder; sie muss daher bis auf Weiteres gelöscht werden.

Dujardin in seiner Histoire naturelle des zoophytes 1841 hat Ehrenberg's Familie der *Vibrionia* als die erste und niederste in der Reihe der Infusorien aufgenommen. Auch er unterscheidet die nämlichen Gattungen fast nach den nämlichen Merkmalen wie Ehrenberg: die langsamer bewegten geradlinigen, sehr wenig biegsamen Bacterien von den abwechselnd geraden und gebogenen, sich lebhaft schlängelnden *Vibrionen*, und den stets schrauben- oder schneckenförmig gekrümmten, sich um ihre Schraubenachse drehenden *Spirillen*. Die Gattung *Spirochaeta* dagegen wird von Dujardin zu *Spirillum* gezogen, indem den *Spirillen* der von Ehrenberg gegebene Charakter der Steifheit abgesprochen und der Unterschied nur in der grösseren oder geringeren Zahl der Schraubenwindungen gefunden wird.

So klar nun auch die Unterscheidungsmerkmale von *Bacterium*, *Vibrio* und *Spirillum* durch Ehrenberg festgestellt scheinen, so schwierig ist ihre Anwendung in Wirklichkeit. Zwar finden wir starre, stäbchenartige Formen, die wir ohne Zweifel zu den Bacterien, und starre Spiralen, die wir ebenso sicher zu den Spirillen stellen können; dann aber begegnen uns jene aalartigen blitzschnell hin- und her-zuckenden Formen, die sowohl Ehrenberg als Dujardin als *Vibrionen* bezeichneten; wenn dieselben auch gewisser Biegungen fähig sind, so überzeugen wir uns doch, dass die schlängelnden Bewegungen nur scheinbar wie Undulationen d. h. partielle Biegungen und Streckungen eines flexiblen Körpers aussehen; es liegt auch hier überall optische Täuschung vor, die durch rasch rotirende aber formbeständige Spiralen mit mehr oder minder weitläufiger Windung



hervorgebracht wird; in der Ruhe sind diese Vibrionen nicht gerade, sondern gekrümmt. Obwohl Ehrenberg, wie später Dujardin vor Verwechslungen von Schraubendrehungen und Wellenbewegungen warnen, haben sie sich doch selbst vor Irrthümern nicht wahren können, und schon eine Vergleichung ihrer schwankenden Terminologie zeigt, wie wenig sicher sie sich in der Unterscheidung der Charaktere von *Spirillum*, *Vibrio* und *Bacterium* fühlten. So nennt Ehrenberg dasselbe Wesen erst *Bacterium Termo*, dann *Vibrio Lineola*; sein *Spirillum tenue* soll sich nur sehr schwer von *Vibrio subtilis* unterscheiden; *Vibrio prolifer* von *Spirillum Undula* u. s. w. Meiner Ueberzeugung nach sind die Wellen- und Schraubenformen sämtlicher Vibrionen und Spirillen formbeständig, keiner Streckung und Krümmung und daher auch keiner wirklichen Schängelbewegung fähig; es giebt gar keine Vibrionen, welche der Ehrenberg'schen Definition des Genus entsprechen, und es müssen daher offenbar diese Gattungen nach anderen Principien neu begründet werden.

Alle diejenigen, welche in den letzten 30 Jahren über Bacterien gearbeitet, haben entweder die Gattungen von Ehrenberg und Dujardin ohne Weiteres aufgenommen; oder sie bezeichneten die von ihnen beobachteten Formen mit unbestimmten, zum Theil ganz willkürlichen Namen. (*Microphytes*, *Microzoaires* etc.) Das gilt insbesondere auch von Pasteur, der bald von *végétaux cryptogames microscopiques*, bald von *animalcules*, von *Champignons* oder von *Infusoires* spricht, „*Torulacées*, *Bacteries*, *Vibrioniens*, *Monades*“ ohne scharfe Unterscheidungsmerkmale aufführt, die nämlichen oder doch verwandte Gebilde auch als *Mycoderma*, als *Mucor's*, *Mucedinées* oder als Hefe (*levure*) bezeichnet<sup>1)</sup>. In den letzten Jahren wurden ausserdem eine Anzahl neuer Gattungen aufgestellt, welche theils nur überflüssige Synonyme für ältere Namen, theils in der That Bezeichnungen für eigenthümliche Formgenera sind. Hierhin gehören die Namen *Microzyma* Béchamp, *Bacteridium* Davaine, *Micro-*

---

1) Mit souveräner Willkür setzt sich Pasteur über die Regeln botanischer Nomenclatur hinweg, indem er *Mucor* „alle organisirten Pflanzengebilde nennt, die sich mit Vorliebe auf der Oberfläche von Flüssigkeiten entwickeln und ein mehr oder minder fettes oder gelatinoses Aussehen haben, dünne oder dicke, feuchte oder trockene, mitunter chagrinierte Häute bilden — *Mucedinées* die eigentlichen Schimmel, deren Mycel aus verzweigten Fäden besteht, und auf der Oberfläche fructificirt, endlich *Torulacées* die kleinsten nicht fädigen Zellpflanzen, die sich am Grunde der Flüssigkeit nach Art von Niederschlägen bilden und sich durch Knospung vermehren, wie die Bierhefe.“ (Ann. de Chem. et de Phys. 1862. Bd. 64. p. 47.)

*coccus*, *Leptothrix* Hallier, *Mycothrix* Hallier, Itzigsohn, *Microsporon* Klebsch, *Mikrobakterien*, *Meso-Makrobakterien* Hoffmann, *Zoogloea*, *Microsphaera* Cohn. Auch Trecul hat einige neue Namen für Bakterienartige Gebilde aufgestellt (*Amylobacter* etc.) Ich werde in dem weiteren Verlauf dieser Arbeit auf diese Bezeichnungen zurückkommen.

Wenden wir uns von den Gattungen zu den Arten, so hat zwar schon O. F. Müller trotz der geringen Vergrößerungen, deren er sich bedienen konnte, die auffallendsten Formen benannt und abgebildet. Indess müssen wir doch zunächst an Ehrenberg anknüpfen, welcher auf Müller fortbauend, mit bewunderungswürdigem Scharfblick in dieses verworrene Gebiet Licht und Ordnung brachte, und nicht nur für die meisten seiner Species feine und zuverlässige Unterscheidungsmerkmale, sondern auch eine Reihe bis jetzt unübertroffener Abbildungen gab, welche das Wiedererkennen der meisten Formen möglich machen. Die neueren Beobachter gehen gewöhnlich, jedoch mit Unrecht, von Dujardin aus, der zwar im Einzelnen die Ehrenberg'schen Angaben kritisch berichtigte, aber durch seine flüchtigeren Beobachtungen und durchaus ungenügenden Abbildungen Manches wieder in Verwirrung brachte, was Ehrenberg bereits aufgeheilt hatte.

Man kann die Frage aufstellen, ob es denn bei den Bakterien überhaupt Arten in dem nämlichen Sinne giebt, wie bei den höheren Organismen. Selbst wer von der Metamorphosenlehre jener Mykologen nichts wissen will, die Alles aus Allem entstehen und zu Allem sich entwickeln lassen, wird doch beim Anblick eines Bakterienhaufens oft verzweifeln, unter diesen zahllosen Körperchen von allen möglichen Formen eine Sonderung natürlicher Arten vorzunehmen.

Scheint es doch, als seien alle diese Formen nur Entwicklungszustände eines und desselben Wesens, und als könnte man leicht alle Zwischenstufen selbst zwischen den in Bildung und Grösse am meisten abweichenden Gestaltungen auffinden. In der That ist diese Ansicht von den meisten neueren Bearbeitern der Bakterien mehr oder minder entschieden ausgesprochen worden. (Perty, Hoffmann, Karsten.)

Gleichwohl bin ich zu der Ueberzeugung gekommen, dass die Bakterien sich in eben so gute und distincte Arten gliedern, wie andere niedere Pflanzen und Thiere, und dass nur ihre ausserordentliche Kleinheit, das meist gesellige Zusammenwohnen verschiedener Species so wie die Variabilität der Arten die Unterscheidung in vielen Fällen für unsere heutigen Mittel unmöglich macht. Ich gründe diese meine Ansicht auf die Thatsache, dass bei den grösseren Bakterien-Arten



stets und unter den verschiedensten Verhältnissen die nämlichen Formen in unendlicher Zahl und ohne Zwischenformen sich finden. Das gilt insbesondere von den Spirillen, die sich nicht nur gegenüber den eigentlichen Stäbchen-Bakterien, sondern auch in ihren Species so constant scheiden, wie nur irgend eine „gute“ Algen- oder Infusorien-Art. Wenn wir bei den kleineren Bakterien nicht immer zu natürlichen, sondern höchstens zur Aufstellung von Formspecies gelangt sind, so möchte ich den Grund eben nur in unseren noch ungenügenden Untersuchungsmethoden suchen. Im Allgemeinen wird man von vereinzelter Bakterien selten die Species mit Sicherheit bestimmen, wenn aber eine und dieselbe Form ohne fremde Beimischung in unzähligen Exemplaren vertreten ist, wird die Selbstständigkeit derselben sich in der Regel leicht feststellen lassen.

Eine principielle Schwierigkeit entsteht noch daraus, dass Formen, die sich morphologisch gar nicht, oder doch nicht wesentlich unterscheiden, oft constante physiologische Verschiedenheiten zeigen, sei es in den Medien, in denen sie leben, oder in den Producten, die sie erzeugen, oder in den Eigenthümlichkeiten ihrer Bewegung. So unterscheidet Davaine (Comptes rendus de l'Academie des sciences LIX. Aug. 1864. p. 393. 1869. 25. Jan.) die Bacteridien von den Bakterien nur dadurch, dass die ersteren stets unbeweglich sind, während bei den eigentlichen Bakterien Beweglichkeit oft mit Zuständen der Ruhe wechselt (Compt. rend. 1864. LIX. p. 629. Recherches sur les Vibrioniens).

Pasteur, der bereits die Bemerkung macht, dass man die Natur eines organisirten Ferments nicht durch die mikroskopische Structur, sondern nur durch die physiologische Function sicher stellen könne, hebt die ausserordentliche Aehnlichkeit zwischen Milch- und Essigsäure-Ferment, so wie zwischen dem Ferment der ammoniakalischen Harn-Gährung und der schleimigen Wein-Gährung (*vin filant*) hervor. Die Bakterien, welche rothe, gelbe, orange, blaue und andere Pigmente erzeugen, lassen sich mikroskopisch kaum von einander unterscheiden, und doch erhält man durch Aussaat immer das nämliche Pigment. Die in verschiedenen Contagien auftretenden Bakterien stimmen in ihrer Form bald mit denen der Harn- oder der Buttersäuregährung, bald mit denen der Pigmente vollkommen überein. Soll man nun jede Form, die in einem besonderen Medium constant vorkommt, oder eine eigenthümliche Fermentwirkung ausübt, für eine besondere Art erklären, auch wenn sie sich mikroskopisch nicht unterscheiden lässt? Wir würden auf diesem Wege zur Aufstellung rein physiologischer Arten gelangen, welche sich nicht wie die



„guten“ Species auf morphologische, sondern ausschliesslich auf physiologische Charaktere gründen.

Wie ich glaube, ist es noch nicht an der Zeit, auf diese Frage eine abschliessende Entscheidung zu geben. Jedenfalls verhält sich die Sache nicht so, dass ein und derselbe Bacterien-Keim, je nachdem er in Harn oder in Wein geräth, diesen alkalisch, jenen fadenziehend macht, oder dass dieselbe Bacterie hier Buttersäure bilden, dort Milzbrand übertragen, hier einen rothen Fleck auf einer Kartoffel, dort Diphtherie in der Luftröhre eines Menschen hervorrufen kann. Vielmehr ist zu erwarten, dass unter vielen scheinbar gleichen Organismen vervollkommneter Mikroskope auch morphologische Verschiedenheiten werden erkennen lassen, welche die Annahme primärer Artverschiedenheiten begründen. Andererseits vermuthe ich, dass in der Klasse der Bacterien ähnliche Verhältnisse obwalten, die wir auch bei höheren Thieren und insbesondere bei den Culturpflanzen beobachten. Von zwei Mandelbäumen, die sich weder im Wuchs, noch in Blättern, noch in Blüthen und Früchten, noch selbst im äusseren und mikroskopischen Verhalten der Samen unterscheiden lassen, bringt der eine nur bittere Samen hervor, welche Amygdalin und Emulsin enthalten, und giftige Blausäure produciren, während der andere stets süsse Samen mit fettem Bittermandelöl erzeugt. Wir nehmen an, dass der bittere und der süsse Mandelbaum zur nämlichen Art gehören und von einer gemeinschaftlichen Urpflanze abstammen, aus der durch Variation beide physiologisch so verschiedene Sorten hervorgegangen sind. Die meisten Culturgewächse haben Varietäten hervorgebracht, die in ihren Vegetations- und Fortpflanzungsmerkmalen wesentlich gleich, doch verschiedenartige Producte liefern, welche entweder grössere Quantitäten von Rohr- oder von Traubenzucker, von Pflanzensäuren, von Fetten oder ätherischen Oelen, von giftigen Alkaloiden oder specifischen Heilmitteln erzeugen, während andere Varietäten oder die wilden Individuen der nämlichen Arten dergleichen Erzeugnisse gar nicht oder nur in weit geringerer Menge hervorbringen. Es ist bekannt, dass solche Culturvarietäten sich durch Samen in der Regel nicht fortpflanzen, dass sie aber auf ungeschlechtlichem Wege mittelst Knospen sich durch unbegrenzte Generationen rein erhalten, immer die nämliche chemische und physiologische Arbeit verrichten, und sich durch fortgesetzte Züchtung zu constanten Rassen entwickeln können. Vielleicht finden sich auch unter den Bacterien, welche äusserlich nicht zu unterscheiden, doch verschiedene chemische und physiologische Wirkungen zeigen, dergleichen Varietäten oder Rassen, die ursprünglich von gemeinschaftlichem

Keim entstammend, durch constante, natürliche oder künstliche Züchtung unter gleichen Verhältnissen und auf gleichem Nährboden immer die nämlichen Producte erzeugen; da alle Bakterien sich nur auf ungeschlechtlichem Wege durch Knospung resp. Theilung vermehren, so ist ein derartiges Constantwerden der Rasseeigenthümlichkeit um so leichter begreiflich. Bei den verschiedenen Hefesorten ist die Rassenbildung durch künstliche Züchtung von Rees (Untersuchung über die Alcoholfilze) nachgewiesen. Wie Sommerroggen nicht zur Wintersaat taugt, obwohl ursprünglich beide Rassen des nämlichen Ursprungs sind, und sich durch fortgesetzte Züchtung nach längerer Zeit wieder in einander überführen lassen, so taugt auch Oberhefe nicht zur Bairisch-Bierbereitung, und fast jede Wein- oder Biersorte hat ihre eigene Hefe; und doch ist es wahrscheinlich, dass viele Alcohol-Hefen nur einer einzigen Art mit zahlreichen Culturassen angehören. Ich vermute, dass auch unter den Bakterien, welche als Fermente in ganz verschiedenartigen chemischen und pathologischen Processen wirken, neben einer kleinen Zahl selbstständiger Arten, eine weit grössere von natürlichen und Cultur-Rassen auftreten, die aber, weil sie sich nur auf ungeschlechtlichem Wege vermehren, ihre individuellen physiologischen Eigenthümlichkeiten mit grosser Hartnäckigkeit festhalten.

## 2. Organisation und Entwicklung der Bakterien.

Der gemeinschaftliche Charakter der von mir hier als Bakterien zusammengefassten Organismen scheint mir in Folgendem zu liegen:

Die Bakterien sind chlorophylllose Zellen von kugliger, oblonger oder cylindrischer, mitunter gedrehter oder gekrümmter Gestalt, welche ausschliesslich durch Quertheilung sich vermehren, und entweder isolirt oder in Zellfamilien vegetiren.

Die Bacterienzellen besitzen einen stickstoffhaltigen, in der Regel farblosen Zellinhalt (*Protoplasma*), welcher das Licht stärker bricht als Wasser und in welchem in der Regel glänzende ölähnliche Körnchen oder Kügelchen eingebettet sind. Dieser Inhalt stimmt völlig überein mit dem der farblosen Oscillarien (*Beggiatoa*), welche in sulfathaltigem Wasser in zahlreichen Arten vegetiren, und durch ihren Vegetationsprocess freien Schwefelwasserstoff entbinden. Ich halte das Bakterien-Protoplasma für flexil, oder wie man gewöhnlich sagt, für contractil (vergleiche über diese Ausdrücke meinen Aufsatz über Infusorien im Seeaquarium, Zeitschrift für wissenschaftliche Zoo-



logie XVI. 3. 1866, p. 261); ich habe solche Flexilität für das Protoplasma der Oscillarien und insbesondere der Beggiatoen in meiner Abhandlung über Phycochromaceen nachgewiesen (M. Schultze, Archiv für mikroskopische Anatomie VII. 1867,); der Flexilität des Protoplasma schreibe ich die spontanen Biegungen und Streckungen der Fäden zu, wo dieselben nicht durch die starre Membran fixirt sind. Das dichte Protoplasma und die Körnchen der Bacterien unterscheiden wir am deutlichsten bei den dickeren Arten (z. B. *Bacterium Lineola*, *Bacillus Ulna*, *Spirillum volutans*), wo die Körnchen bei gewisser Einstellung schwärzlich, bei anderer hellglänzend erscheinen, und von Ehrenberg als Gliederungen angesehen wurden; in den feineren Fäden scheint der Inhalt oft homogen; mitunter werden die ölartigen Kügelchen erst beim Absterben sichtbar, wie dies auch sonst bei Pilzen vorkommt; Hoffmann findet hier, wie ich glaube nicht mit Recht, Luftausscheidung (Botanische Zeitung 1869, tab. 5. I. II.); Ehrenberg erblickte in ihnen Eier und Magenbläschen. Auch die Färbung der Bacterien durch Jod und Pigmente schreibe ich dem Protoplasma zu. Die verschiedene Lichtbrechung des Protoplasma gegen Wasser ist die Ursache, dass die Bacterien in grösserer Menge das Wasser trüben, milchig und undurchsichtig machen, und zwar um so intensiver, je reichlicher sie dasselbe erfüllen, in ähnlicher Weise, wie etwa die stärker brechenden Butterkügelchen das klare Milchserum trüben. Pasteur bezeichnet die Bewegung der Bacterien als die Ursache der Trübung, während Polebotnow (Wiesner, Mikroskopische Untersuchungen 1872, p. 146) die auffallende Ansicht aufstellt, dass nicht die Bacterien selbst, sondern die von ihnen ausgeschiedene Gallert die Trübung veranlasse. Gewöhnlich erscheint eine von Bacterien dicht erfüllte Flüssigkeit milchweiss, mit einem Stich in's Bläuliche; in dickeren Schichten bei durchgehendem Lichte betrachtet erscheint die Färbung gelbröthlich, oder rauchfarben, wie Milchglas. Im Allgemeinen ist Trübung klarer Flüssigkeiten ein makroskopisches Zeichen für die Vermehrung der Bacterien, wie umgekehrt von einer Flüssigkeit, die völlig klar bleibt, die Abwesenheit von Bacterien vermuthet werden kann; doch ist hierauf kein unbedingter Verlass, da einerseits in stärker brechenden Flüssigkeiten (Serum, Lymphe etc.) die Bacterien dem blossen Auge unsichtbar bleiben, sobald sie nahezu gleiches Brechungsvermögen besitzen, andererseits auch im Wasser eine geringe Menge von Bacterien keine bemerkbare Trübung hervorruft; es darf daher mikroskopische Untersuchung in problematischen Fällen nicht umgangen werden. Bei den



Pigmentbakterien ist, wie wir später sehen werden, mitunter das Plasma gefärbt, und daher auch die von ihnen veranlasste Trübung farbig.

Dass die Bakterien eine Zellmembran besitzen, ergibt sich aus ihrem chemischen Verhalten; sie werden durch Kali und Ammoniak, wie auch durch Säuren nicht zerstört, was offenbar nicht der Unlöslichkeit ihres Protoplasma, sondern der Gegenwart einer Membran zuzuschreiben ist, die nicht, wie die der Infusorien, eiweissartig ist, sondern, wie die der Pilze, der Cellulose oder einem andern Kohlenhydrate nahe steht und sich insbesondere in Kali nicht löst. Ebenso widersteht die Membran der Bakterien der Fäulniss ausserordentlich lange, und stimmt auch hierin mit den Cellulose-Membranen der Pflanzenzellen überein. Mit starken Vergrösserungen kann man die Membran der Bakterien auch direct unterscheiden; denn bei einer gewissen Einstellung erscheint das Plasma schwärzlich, und ringsum von einem ziemlich breiten, etwas gelblichen, anscheinend knorpligen Rande eingefasst, und namentlich an der Grenze zwischen je zwei aufeinander folgenden Gliedern ist die farblose, doppelt conturirte Scheidewand deutlich erkennbar. Bei mehrgliedrigen Fäden ist die Scheidewand zwischen den Zellenpaaren etwas stärker entwickelt. Die Membran der Bakterien ist, wie ich glaube, quellbar, und kann sich in Schleim auflösen, was bei der Entwicklung der Zoogloeagallert zu berücksichtigen ist. Bei einzelnen Arten ist die Membran zart, sehr biegsam und gestattet dem flexilen Protoplasma active und passive Beugungen und Streckungen, jedoch nicht wirkliche Schlängelung; bei andern ist sie starr, formbeständig, zu Beugungen unfähig, so dass sie Ehrenberg mit Kieselpanzern vergleichen konnte, obwohl er selbst sich von der Abwesenheit der Kieselsäure überzeugte; beim Eintrocknen erleiden auch die starren Arten gewisse Verbiegungen.

Die Quertheilung der Bakterien geht so vor sich, dass die Zellen sich erst in der Längsachse nahe auf das Doppelte ihrer normalen Länge strecken, worauf ihr Plasma in der Mittellinie sich einschnürt und in zwei Hälften theilt, welche durch eine Scheidewand von Zellstoff geschieden werden; so entstehen zwei Glieder, die entweder längere oder kürzere Zeit in Zusammenhang bleiben, oder unter sofortiger Einschnürung der Mutter-Zellhaut und Spaltung der Scheidewand sich von einander trennen. Unmittelbar darauf schickt jede der beiden Tochterzellen sich zu neuer Theilung an; so vermehrt sich ihre Zahl in unglaublich kurzer Zeit in Potenzen von zwei. So viel ich glaube, liegen alle Scheidewände, welche eine Bakterien-

zelle in den nach einander folgenden Theilungen bildet, unter sich parallel, und daher können nur einreihige Zellketten entstehen; eine Astbildung, wie sie Dujardin von *Vibrio ambiguus* oder Hoffmann (Botan. Zeit. 1869, Tab. IV. Fig. 18 und 20) von verschiedenen Bacterien beschreibt und abbildet, ist nach meinen Beobachtungen dem Charakter dieser Organismen durchaus fremd. Auch Theilung über's Kreuz durch Scheidewände, die auf einander senkrecht stehen, kommt, wenigstens bei freien Bacterien, nie vor; sie begründet eben den Charakter einer besonderen Gattung der Schizomyceten, welche, wie die berühmte *Sarcina ventriculi* Goods, in den Magenflüssigkeiten, von andern Beobachtern auch in andern Organen (Lunge, Gehirnventrikel, im Harn etc.) gefunden wurde; in kleineren Formen kommt auch Sarcine ausserhalb des menschlichen Organismus, auf gekochten Kartoffeln, in trockenen chromgelben Häufchen vor (vergleiche den vorstehenden Aufsatz von Schroeter, p. 119); ich selbst sah am 25. November 1871 auf gekochtem Hühner-eiweiss hellgelbe trockene Flecken von Sarcine erscheinen und am 2. April 1872 sogar auf der Oberfläche einer chemischen Lösung (1% weinsaures und 1% essigsaures Ammoniak), in welcher orange-rothe Kugelbacterien cultivirt wurden, ein gelbes, auf der Flüssigkeit schwimmendes Häutchen von Sarcine sich bilden (Tab. III. Fig. 7\*\*). Auch Pasteur erhielt in einem mit Hefe-Wasser (eau de levure) gefüllten und nur kurze Zeit der Luft ausgesetzten Kölbchen, auf den Wänden desselben einen Absatz von Sarcine, wie aus der Abbildung (Ann. de Chem. et de Phys. LXIV. 1862, tab. II. Fig. k) hervorgeht; er selbst beschreibt dieselbe als „Algue formée de cellules quaternaires, comme des assises de pierre“ (l. c. p. 80). Aus alledem geht hervor, dass Sarcinekeime in der Luft nicht selten vorkommen, und sich in verschiedenen Medien entwickeln; in neuester Zeit hat Losdorfer Sarcine auch im Blute gesunder und kranker Menschen beobachtet (Medizinische Jahrbücher 1871, 3. Heft), und ich habe diese Angabe selbst bestätigen können, indem ich am 19. März in dem vier Tage vorher in ein mikroskopisches Präparat eingekitteten Blut eines gesunden Mannes Sarcinetetraden, die selbst wieder in Gruppen von je vier angeordnet waren, in den Lacunen des Blutserum zwischen den Blutkörperchen antraf (vergl. Tab. III. Fig. 7\*). Obwohl nun die echten Bacterien beim Zerfallen der Fäden durch vierzeilige Aneinanderlagerung ihrer Fadenglieder mitunter sarcineähnliche Gruppen zeigen, so kann ich doch einen wirklichen Uebergang von *Bacterium* in *Sarcina* nicht finden, weshalb ich die letztere Gattung hier nicht weiter berühre.



Wie schon oben bemerkt, trennen die aus der Theilung einer Batterienzelle hervorgegangenen Tochterzellen sich entweder sofort (einzellige Batterien), oder sie bleiben einige Zeit zu längeren oder kürzeren Fäden verbunden (Fadenbakterien). Im ersteren Fall treffen wir die Batterien nur als einfache, oder während des Theilungsacts paarweise nach Art einer 8 aneinanderhängende Zellen. Die Zahl der zu einem Faden verbundenen Gliederzellen dagegen ist verschieden, und hängt theils von der specifischen Natur, theils von äusseren Verhältnissen ab; daher ist auch die Länge der Fäden sehr verschieden, wenn auch in der Regel 2, 4, 8 Glieder vorzukommen scheinen. Bei *Bacillus subtilis* kommen sehr lange Fäden vor, welche gewöhnlich als besondere Formgattung mit dem Namen *Leptothrix* bezeichnet werden. Es ist dies jedoch nicht so zu verstehen, als ob alle Arten der Algengattung *Leptothrix*, die zum grössten Theil spangrün gefärbt sind, einen kurzgliedrigen Batterienzustand durchlaufen, oder aus Batterien hervorgehen; dies ist vielmehr für die meisten der phycochromhaltigen *Leptothrix*-arten weder nachgewiesen, noch selbst wahrscheinlich; nur ein Theil der farblosen pilzartigen *Leptothrix*-Species gehören in den Entwicklungskreis der Fadenbakterien. An einem solchen Faden ist die Gliederung in der Regel schwer zu sehen; in andern Fällen zeichnen sich die Glieder durch Einschnürung ab, und da der Faden leicht in seine Glieder zerfällt, so findet man häufig Fäden, welche entweder an einem oder an beiden Enden sich ablösende Glieder zeigen, oder welche zickzackartig gebrochen sind (vgl. Dujardin, Infus. Pl. I. Fig. 6; Hoffmann, bot. Zeit. 1869, Tab. IV. 1 b; 5 b; 12; unsere Tab. III. Fig. 14. 15. 17).

Ehrenberg giebt an, dass die Fadenbakterien und die mit ihnen hierin übereinstimmenden Spirillen aus kugligen oder kurz scheibenförmigen Gliedern bestehen, welche beim Eintrocknen deutlich werden, und beschreibt und bildet diese Zusammensetzung in einer Weise ab, welche dem Bau der Oscillarienfäden entspricht; er findet sogar für verschiedene Arten specifische Verschiedenheiten dieser Gliederung. Die meisten neueren Beobachter, mit Ausnahme von Dujardin, haben Ehrenberg hierin beigestimmt. Ich habe mir jedoch die grösste Mühe gegeben, diese Structur zu Gesicht zu bekommen, aber ohne Erfolg. Selbst Eintrocknen und Reagentien, z. B. Jod, Uebermangansäures Kali, Silberlösung u. s. w. liessen zwar feine, oft sehr regelmässig geordnete Körnchen in den Fäden deutlicher werden; aber Querscheidewände vermochte ich selbst bei den grössten Spirillen nicht wahrzunehmen. Ohne daher die Möglichkeit in Abrede zu stellen, dass die fadenförmigen Batterien aus solchen kurzen



Gliedern bestehen, muss ich doch erklären, dass wenigstens mit den mir zu Gebote stehenden optischen Mitteln ausser den cylindrischen Stücken, in welche bei der Theilung die Fäden zerbrechen können, eine weitere feinere Gliederung in dünnere Scheiben oder Kugeln nicht sichtbar wird. Die meisten neueren Forscher sind geneigt, bei allen Bakterien ohne Unterschied Fadenbildung (*Leptothrix*-formen) anzunehmen; ich bin jedoch noch heute der Ueberzeugung, die ich schon vor zwanzig Jahren ausgesprochen, dass dies nicht der Fall, sondern dass sich nach diesem Verhalten die Bakterien in zwei Gruppen theilen, die auch in ihrer übrigen Entwicklung Verschiedenheiten zeigen und daher bei der Eintheilung der Gattungen besonders berücksichtigt werden müssen.

Bei den Kugel- und Stäbchen-Bakterien nämlich trennen sich zwar die Tochterzellen in der Regel nach der Theilung sofort; sie kommen daher in freiem Zustande nur als einfache oder paarweise, nur ausnahmsweise in Doppelpaaren aneinanderhängende Zellen vor; unter gewissen Bedingungen aber bleiben die Zellgenerationen mit einander dadurch verbunden, dass ihre Zellmembranen zu gallertartiger, wasserheller Intercellularsubstanz aufquellen, und demnach sich zu grösseren, scharf begrenzten, elastisch biegsamen Gallertmassen verbinden. Ich habe diese Gallertmassen schon in meiner ersten Abhandlung über Bakterien im Jahre 1853 (Nov. Act. Ac. Car. Leop. XXIV. I. p. 123) als Formgattung *Zoogloea* bezeichnet; *Zoogloea* stellt diffuse oder geformte, unregelmässig kuglige, traubige oder schlauchartige, gelappte oder verzweigte, im Wasser schwimmende oder auf einer Unterlage ausgebreitete Gallertmassen dar, in welchen die Bakterienzellen bald mehr bald weniger dicht eingelagert sind. In dieser Zoogloeagallert fahren die Bakterien fort sich zu theilen; da wo besonders lebhaft Vermehrung stattfindet, sind die jungen Zellen ausserordentlich eng an einander gedrängt, indem die Intercellularsubstanz wenig entwickelt ist; sie stellen kleine, dicht erfüllte Gallertkugeln dar, von 10 Mikrom. und selbst darunter; später weichen die Zellen auseinander und sind nur in weiteren Zwischenräumen eingebettet. Man erkennt diese Gallertmassen (*Zoogloea*) schon mit blossen Auge als farblose, im Wasser schwimmende Flöckchen, die sich an der Oberfläche, den Wänden oder dem Boden eines Gefässes absetzen; bei reichlicher Vermehrung bilden die *Zoogloeen* Gallertklumpen oder dicke knorplige Häute von mehreren Centimetern Umfang; enthält das Wasser Eisen in Lösung, so wird das letztere gern in der Gallert als Eisenoxydhydrat ausgefällt, in Folge dessen die Gallert sich rothbraun färbt; der Eisengehalt der

rostfarbenen Zoogloea-Gallert lässt sich unter dem Mikroskop durch Blutlangensalz nachweisen. Entwickelt sich in solchem Wasser freier Schwefelwasserstoff, so werden die rostbraunen *Zoogloeen* geschwärzt, und man findet nicht selten im Absatz von verdorbenem Brunnenwasser oder an Gräben dergleichen schwarze *Zoogloea*. In der Gruppe der Kugelbakterien hat die Zoogloeaform eine etwas abweichende Gestaltung, um so mehr als diese sich häufig an der Luft, oder als Bekleidung von thierischen Geweben, als Ausfüllung von Interstitien oder Gefässen entwickelt, auch Färbung durch Pigmente zeigt, wie ich später erwähnen werde. In der Gallert eingebettet, sind die Bakterien-Zellen nicht abgestorben, da sie sich in diesem Zustande nicht nur sehr reichlich vermehren, sondern auch sich leicht aus der Gallert durch Auflösung derselben befreien und alsdann frei im Wasser umherschwimmen (vgl. Tab. III. Fig. 3. 9. 12).

Die zweite Gruppe der Faden- und Schraubenbakterien wird niemals in Gallertmassen beobachtet, wie ich bereits in meiner ersten Abhandlung (Nova Act. I. c. p. 124) hervorgehoben, sondern sie treten entweder frei zerstreut oder in Schwärmen auf. Die Schwarmbildung ist bei allen Bakterien, auch den Stäbchenbakterien und Spirillen, zu beobachten, wenn dieselben sich im Innern einer Flüssigkeit in Folge reichlicher Nahrung, oder aus Hunger nach Sauerstoff, sich an der Oberfläche derselben in unendlichen Schaaren versammeln. Schon Leeuwenhoek und O. F. Müller, insbesondere aber auch Ehrenberg heben die wunderliche Erscheinung der Bacterienschwärme hervor, die oft um einen kleinen Bissen auf dem Objectglas in unzählbaren Myriaden durcheinander wimmeln (vgl. Ehrenberg's Bemerkungen zu *Vibrio tremulans* und *Lineola*, der hier einen Geselligkeitstrieb ausgesprochen findet). Der Bacterienschwarm unterscheidet sich von der *Zoogloea* dadurch, dass bei letzterer die Zellen unbeweglich durch Intercellularsubstanz verkittet sind; deshalb bildet die Zoogloea-gallert im Wasser einen scharf abgegrenzten, meist sphärischen Contur, der um so deutlicher hervortritt, weil die Bacterienzellen scheinbar am Rande der Gallert dichter gelagert sind, als in der Mitte. Die Schwärme dagegen bestehen blos aus freien, beweglichen, aber oft so dicht an einander gedrängten Zellen, dass dieselben sich fast berühren, und daher eine schleimige Masse bilden; in bewegtem Wasser vertheilen sich jedoch die einzelnen Zellen ohne weiteres, da sie durch keine Zwischensubstanz verbunden sind. Man beobachtet die Schwarmbildung der Bakterien am deutlichsten im Seeaquarium, wenn am Boden desselben irgend ein todttes Thier fault; dasselbe hüllt sich dann in einen weissen, von Tag zu Tag weiter sich ausdehnenden, gegen das



krystallklare Seewasser deutlich abgegrenzten, Bacteriennebel, der durch Strömungen sich wie eine Rauchwolke im Wasser verbreitet; im süßsen Wasser pflegen sich die Bacterien gleichmässiger zu vertheilen, vielleicht weil sich in diesem die Nährstoffe der Bacterien leichter lösen.

Hier findet man die Bacterienschwärme gewöhnlich nahe der Oberfläche des Wassers oft in einer centimeterdicken, beinahe öligen Schicht, die wie Gummischleim gegen die tiefere, dünne Flüssigkeit, über der sie schwimmt, absticht; hier ist es offenbar das Bedürfniss nach Sauerstoff, welches die Bacterien zusammenhäuft; Pasteur bezeichnet diesen Zustand mitunter als „*Mucor*.“

Auf der Oberfläche von Flüssigkeiten, in denen Bacterien sich vermehren, schwimmen in der Regel ausserordentlich dünne irisirende Häutchen, in denen unbewegliche Bacterien in geraden oder gewundenen, parallelen Längsreihen neben und hintereinander oft ausserordentlich regelmässig geordnet sind. Diese Häutchen, von Pasteur mitunter als *Mycoderma* bezeichnet, unterscheiden sich von der *Zoogloea* dadurch, dass bei letzterer die Zellen zu kugligen Massen durch Inter-cellularsubstanz verbunden sind, während in den Häutchen nur eine einfache Schicht ohne Zwischensubstanz vorhanden ist (Tab. III. Fig. 10).

Eine andere Form, in welcher die Bacterien auftreten, ist die des pulverigen Niederschlags; sobald in einer Flüssigkeit die Nährstoffe erschöpft sind, auf deren Kosten die Bacterien sich entwickeln, hört die weitere Vermehrung derselben auf, und die Körperchen setzen sich allmählich am Boden des Gefässes ab; die Flüssigkeit wird von Tag zu Tage klarer, und zwar so, dass die Oberfläche am frühesten sich vollständig klärt, ganz so wie beim Absetzen eines sehr leichten Pulvers; am Boden häufen sich nun die Bacterienmassen auf, in einer weissen, fortdauernd dicker und dichter werdenden Schicht, die mit blossen Auge etwa so aussieht wie ein Absatz feinstgeschlemmter Thonerde. Durch Schütteln lassen sich die abgesetzten Bacterien leicht wieder aufstören; überhaupt vergehen bis zur vollständigen Klärung der Flüssigkeit durch den Absatz Wochen. Die Menge des Bacterien-Niederschlags ist verschieden, je nachdem die vorhandene Nahrung eine grössere oder geringere Vermehrung begünstigte; sie ist aber stets verhältnissmässig bedeutend, und es ist nicht schwer, in einem Reagenz-Cylinder, der etwa 10 Gramm Nährlösung enthält, einen Niederschlag von 0,5 CM. zu bekommen; ja es würde gewiss keine Schwierigkeit machen, erforderlichen Falls den Bacterienniederschlag Pfundweise zu gewinnen.

In dem Niederschlag befinden sich alle Arten von Bacterien unter

einander gemengt; dieselben sind nicht, oder doch nicht sämmtlich todt; denn durch Aussaat in frische Nährflüssigkeit erhält man bald neue Vermehrung der Bacterien. Die Bacterien befinden sich vielmehr in dem Niederschlage in ähnlichem Ruhe-Zustande, wie die Hefe-Zellen in einer ausgegohrenen Flüssigkeit, und können denselben durch Zufuhr neuer Nahrung wieder verlassen. Es ist daher begreiflich, dass in allen Wässern derartige entwicklungsfähige Bacterien vorhanden sind, die sofort in Vermehrung eintreten, sobald ihnen Nahrung geboten wird. Auffallend ist dabei die Aenderung im specifischen Gewichte der Bacterien; denn so lange dieselben in beweglichem Zustande im Wasser vertheilt sind, müssen sie nahezu das nämliche specifische Gewicht wie Wasser besitzen; vielleicht spricht sogar die massenhafte Anhäufung derselben an der Oberfläche dafür, dass sie etwas leichter sind als Wasser. Beim Uebergang in den Ruhezustand dagegen werden sie offenbar schwerer als Wasser, was wohl mit der Bildung von Dauerzellen, und Verdichtung des Plasma in denselben zusammenhängen mag. In zuckerhaltiger Pasteur'scher Flüssigkeit geschieht der Bacterien-Absatz sehr langsam und unvollständig; ich habe noch nach 6 Monaten die Flüssigkeit milchig gefunden. In dem Absatze sind natürlich auch todtte Bacterien, welche man an dem Zerfallen ihres Plasma und der Ausscheidung von Oeltröpfchen erkennt. Eine Fäulniss der Bacterien, welche die Körper derselben völlig zerstörte, findet, wie bemerkt, nur schwierig statt, da sich die Absätze der Bacterien durch viele Monate, vielleicht auf unbestimmte Zeit unverändert erhalten; auch dieses Verhalten beweist die Anwesenheit von starren zellstoffartigen Membranen, und ist ganz verschieden von dem der eigentlichen Infusorien, welche beim Absterben ganz zerfliessen. Schon Bory hebt 1824 die auffallende Thatsache hervor, dass todtter „*Vibrio Bacillus*“ in einer verstöpselten Flasche zu tausenden sich Jahrè lang am Boden unverändert erhielt, was Ehrenberg gewiss mit Unrecht anzweifelt.

Die meisten Bacterien besitzen einen beweglichen und einen unbeweglichen Zustand. Die Bewegung beruht überall auf einer Rotation um die Längsachse, zu der bei längeren und biegsameren Arten auch active und passive Biegungen und Streckungen in der Länge des Fadens, jedoch niemals Schlängelungen hinzutreten. Alle die verschiedenen Bewegungserscheinungen sind auf diese Grundgesetze zurückzuführen. Die Bacterien können sich durch einfache Aenderung der Rotationsrichtung abwechselnd nach vorn und rückwärts bewegen; ein morphologischer Unterschied zwischen Vorn und Hinten ist nicht vorhanden. Besondere Bewegungsorgane der Bacterien sind



bisher nicht bekannt gewesen; es ist daher die Bewegung der Bacterien nicht mehr und nicht weniger wunderbar geblieben als die ganz analoge der Oscillarien. Ueber die von mir entdeckten Bewegungsorgane der Spirillen werde ich später sprechen.

Die Bewegung der Bacterien scheint an die Gegenwart des Sauerstoffs gebunden, bei Sauerstoffmangel gehen die Bacterien in den bewegungslosen Zustand über. Auch ohne erkennbare Veranlassung wechseln Ruhe und Bewegung oft in kurzen Intervallen. Dauernd ist der bewegungslose Zustand, wenn die Bacterien zu Gallertmassen oder Häutchen verbunden sind, bei den Kugelbacterien und gewissen Fadenbacterien (*Bacteridien*) ist niemals Bewegung beobachtet.

Zweifelhaft ist ob bei den Bacterien Sporen- oder Gonidienbildung stattfindet. In den Ruhezuständen der Niederschläge und Schleimmassen finden wir allerdings mitunter grössere Bacterien-Zellen, welche einen stark glänzenden öltartigen Inhalt haben und Dauerzellen zu sein scheinen. Vielleicht entstehen aus solchen Dauerzellen die merkwürdigen geschwänzten, und mit einem Köpfchen versehenen Bacterien, welche schon von verschiedenen Beobachtern erwähnt worden sind. Ich fand dieselben in ungeheurer Menge schon 1851 in einer Infusion von todtten Fliegen (vgl. Tab. III. fig. 13); auch in faulem Kleber, Eiweiss und anderen faulenden Flüssigkeiten finden wir mitunter zahllose, kuglige oder ovale Körperchen von starker öltartiger Lichtbrechung, zwischen ihnen auch solche, welche sich in einen kurzen zarten Faden verlängern; sie schwimmen wie *B. subtilis*, an das sie erinnern, sehr lebendig, indem bald das dünne Fadenende, bald die dicke Fettkugel vorangeht; der Faden biegt sich oft beim Schwimmen. Sie machen den Eindruck von Bacterienkeimfäden, die aus einer ölhaltigen Gonidie oder Dauerzelle hervorgegangen sind. (Vergleiche die Zusammenstellung älterer Beobachtungen bei Polebotnow, Ueber Ursprung und Vermehrung der Bacterien in: Wiesner, Mikroskopische Untersuchungen p. 133.)

Andere Entwicklungszustände der Bacterien als die hier aufgezählten habe ich niemals auffinden können. —

Indem ich nun zur Charakterisirung der von mir genauer untersuchten Bacterienspecies übergehe, beabsichtige ich weder die Grenzen zwischen natürlichen Arten, Formspecies, physiologischen Arten oder Rassen endgiltig festzustellen, noch auch eine vollständige Aufzählung aller wirklich vorhandenen Arten zu geben; ich übergehe vielmehr hier eine Anzahl Formen, welche mir Anrecht auf Selbstständigkeit zu haben scheinen, weil sie noch einer genaueren Untersuchung bedürfen, und beschränke mich darauf die am häufigsten

vorkommenden und auch schon von früheren Beobachtern bemerkten Arten einer kritischen Revision zu unterwerfen und ihre Grenzen schärfer als bisher geschehen festzustellen; ich hoffe, dass diese Arbeit der in neueren Untersuchungen eingerissenen chaotischen Verwirrung gegenüber nicht nutzlos sein wird, selbst wenn dieselbe in Zukunft wesentliche Abänderungen erheischen wird. Auch habe ich versucht, von den hier aufgestellten Arten neue Abbildungen zu geben, welche sämmtlich unter derselben Vergrößerung (Hartnack IX. Oc. 3 = 650) gemacht sind. Arbeiten über Bacterien und ähnliche Organismen ohne oder mit unrichtigen Abbildungen, wie deren in neuerer Zeit so viele erschienen, halte ich für nutzlos, da sie keine Controle der besprochenen Formen gestatten, während selbst die unvollkommenen aber charakteristischen Abbildungen von Leeuwenhoek und O. F. Müller das Wiedererkennen möglich machen.

Ich theile die Bacterien in vier Gruppen (Tribus) deren jede wieder aus einer oder mehreren Gattungen besteht. Ich habe bei der Benennung der Gattungen durchweg die älteren Namen beibehalten, um nicht die Nomenclatur zu belasten, jedoch den Charakter derselben zum Theil schärfer und nach anderen Principien begrenzt.

Tribus I. *Sphaerobacteria* (Kugelbacterien).

Gattung 1. *Micrococcus*. char. emend.

Tribus II. *Microbacteria* (Stäbchenbacterien).

Gattung 2. *Bacterium* char. emend.

Tribus III. *Desmobacteria* (Fadenbacterien).

Gattung 3. *Bacillus* n. g.

Gattung 4. *Vibrio* char. emend.

Tribus IV. *Spirobacteria* (Schraubenbacterien).

Gattung 5. *Spirillum* Ehr.

Gattung 6. *Spirochaete* Ehrenberg.

### 3. Kugelbacterien, Sphaerobacteria.

Die Kugelbacterien unterscheiden sich zunächst durch die kugelige oder ovale Form ihrer Zellen, in der Regel von minimalen Dimensionen unter 1 Mikromm.; körniger Inhalt ist nicht zu unterscheiden, wohl aber eine doppelt contourirte Membran. In Folge der Theilung hängen die Zellen gewöhnlich paarweise aneinander und sind an der Theilungsstelle stark eingeschnürt. Bei fortschreitender Theilung entstehen kurze Ketten aus 3, 4 bis 8 und mehr Gliedern, welche entweder steif oder gebogen sind und in Folge der Einschnürungen Rosenkranzform zeigen. Diese Ketten unterscheiden sich daher von den Leptothrix-Formen der Faden-Bacterien, welche keine Ein-



schnürungen an den Gliedern besitzen, in ähnlicher Weise wie die Fäden der Nostoc-Arten von denen der Oscillarien. Itzigsohn und Hallier haben für die Rosenkranzketten der Kugelbakterien den Namen *Mycothrix* vorgeschlagen; ich bezeichne sie hier als *Torulaform*. (Tab. III. Fig. 1.)

Ausser den Rosenkranzketten kommen die Kugelbakterien noch in zwei anderen Zuständen vor. Die Zellen, welche sich zur Kette aneinander reihen, gestatten bei den Kugelbakterien eine gewisse Verschiebbarkeit, ohne Zweifel weil die Intercellularsubstanz, die sie verbindet, weich ist; daher erscheinen die Ketten unregelmässig, gebrochen, zickzackartig verbogen, einzelne Glieder legen sich der Quere nach und so entstehen, während die Zelltheilung fortschreitet, dichte und verworrene Zellhaufen, Zellballen, Colonien, welche aus einer grossen Zahl von Zellen bestehen und unregelmässige Aneinanderordnung zeigen. Man würde den Ursprung dieser Haufen aus einfachen Kügelchen oder Rosenkranzketten nicht vermuthen, wenn nicht die Entwicklungsgeschichte die Uebergangsstufen auffinden liesse. Ich habe solche Entwicklungen insbesondere bei den Kugelbakterien der Pockenlymphe verfolgt, doch kommt sie auch bei andern Arten vor. (Vgl. Tab. III. Fig. 2.)

Noch häufiger tritt der Fall ein, dass die aus der Zweitheilung hervorgegangenen Tochterzellen ohne sich in Ketten anzureihen sofort in unregelmässiger Lagerung sich neben die Mutterzellen legen und mit ihnen durch Intercellularsubstanz sich verbinden. Auf diese Weise entstehen Anhäufungen zahlloser Kugelzellen, welche gallertartige, oft ausserordentlich zähe, fadenziehende, tropfenartige oder membranöse Schleimmassen bilden. Diese Schleimbildung wird insbesondere bei den Pigmentbakterien beobachtet, welche sich in freier Luft entwickeln. Sie ist aber auch die Normalform bei den in pathologischen Prozessen auftretenden Arten, welche in dichter Schicht die erkrankten Organe überwuchern oder sich in die Interstitien der Lymphkanäle, Gefässe und anderer Gewebe einlagern. Dieser Zustand entspricht der Zoogloea-Form der Stäbchenbakterien, unterscheidet sich aber in der Regel durch geringere Entwicklung der Intercellularsubstanz, in Folge deren die kugeligen Zellen dicht neben und über einander gedrängt sind und unter dem Mikroskop ein äusserst charakteristisches, dicht punkirtes oder fein gekörntes gleichsam chagrinähnliches Ansehen bieten. (Fig. 3.)

Pasteur belegt die Kugelbakterien mit verschiedenen Namen, die einzelligen oder doppelten als *Monades*, die Gallertmassen als *Mycoderma*, die Rosenkranzfäden als *corpuscules en chapelet* und *Torulacées*; unter letzterem Namen führt sie auch van Tieghem

auf. Ehrenberg bezeichnet die Kugelbakterien als *Monaden*, die farblose der Infusionen als *Monas Crepusculum*, diejenige, welche rothes Pigment erzeugt, als *M. prodigiosa*. Unter ersterem Namen führt auch Hoffmann (Bot. Ztg. 1869 pag. 254) die Kugelbakterien auf und bildet ihre Ketten (l. c. tab. 4. fig. 14) ab. Die Kugelbakterien als *Monaden* zu bezeichnen geht jedoch aus folgendem Grunde nicht an. Die Gattung *Monas* umfasst in ihrer gegenwärtigen Begrenzung zwar zweierlei ganz verschiedenartige Wesen, nämlich Zoosporen von Wasserpilzen, *Chytridiaceen*, *Myxomyceten* und anderen, die natürlich mundlos sind, und wirkliche Infusorien, welche mit Hilfe eines Mundes feste Nahrungspartikeln aufnehmen; für beide Formen charakteristisch ist der kugelige oder elliptische, meist farblose Körper, der sich mit Hilfe einer Flimmergeissel bewegt. Den Kugelbakterien aber fehlt nicht nur die Geissel, sondern, soweit ich bis jetzt beobachtet, überhaupt jede spontane Bewegung; sie zeigen nur Molecularbewegung, welche freilich bei diesen so kleinen und leichten Körperchen oft sehr lebhaft ist, so dass man sie ohne genauere Beobachtung leicht mit einer spontanen verwechseln kann, namentlich dann, wenn echte Bakterien oder Monaden die Kugelzellen oder Ketten bei ihren Sprüngen mit fortreissen.

Wegen des Mangels der spontanen Bewegung hat Schroeter in dem voranstehenden Aufsatz die Kugelbakterien, welche Pigmente erzeugen, mit demselben Namen belegt, welchen Davaine für die unbeweglichen Stäbchen des Milzbrandblutes eingeführt hat (*Bacteridium*). Die Milzbrandbacteridien unterscheiden sich jedoch durchaus von den Pigmentbakterien, da sie stäbchen- oder lang fadenförmig sind; sie können daher mit den Kugelbakterien nicht in einer Gattung zusammengestellt werden, da der Mangel der Bewegung der einzige beiden gemeinschaftliche Charakter ist.

Dagegen ist es nicht unwahrscheinlich, dass Hallier unter seinem *Micrococcus* zum Theil die nämlichen Organismen verstanden hat, die ich selbst als Kugelbakterien bezeichne; indess ist die Halliersche Lehre vom *Micrococcus*, wie schon Hoffmann und De Bary nachgewiesen, derart mit unrichtigen Behauptungen und unkritischen Hypothesen durchwebt, dass eine Eruirung seiner wirklichen Beobachtungen geradezu unmöglich ist.

Die Kugelbakterien sind die kleinsten aller mikroskopischen Organismen, ihre Grösse lässt sich direct nicht mehr mit Sicherheit messen. Wenn dieselben, wie das fast immer der Fall, gleichzeitig mit *Bacterium Termo* vorkommen, so kann der Zweifel entstehen, ob dieselben wirklich von *B. Termo* verschieden und nicht blos, wie fast alle



neueren Beobachter annehmen, jüngere Entwicklungszustände oder Keime von *B. Termo* sind. Bringt man die Zoogloea-Form einer Kugelbakterienart auf das Objectglas, so findet man in der Regel die fein punktirten Schleimmassen dicht umlagert von beweglichen Stäbchenbakterien, und man kann leicht zu der irrthümlichen Annahme kommen, dass die letzteren aus der Gallert hervorgetreten sind. Es ist auch nicht ausser Acht zu lassen, dass *B. Termo* selbst in seiner Zoogloea-Form manchmal aus kugeligen Körperchen zu bestehen scheint, da die kleinen Stäbchen in der Regel so geordnet sind, dass ihre Köpfe der Peripherie der Gallert zugewendet sind. Doch ist, wie schon bemerkt, die Zoogloea-Form von *B. Termo* in der Regel durch die viel reichlicher entwickelte Intercellularsubstanz von den dicht gedrängten Schleimmassen der Kugelbakterien zu unterscheiden. (Vgl. Fig. 3 u. 5.) Auch ist die Intercellularsubstanz der letzteren in der Regel im Wasser leichter löslich. Sobald man übrigens hinreichend starke Vergrösserungen anwendet, ist der Formunterschied, welcher die kurzcyindrischen Körperchen des *B. Termo* von den kugeligen der Kugelbakterien unterscheidet, besonders bei Anwesenheit von Zellpaaren und Rosenkranzketten, nicht zu verkennen.

Eine andere Irrthumsquelle entsteht dadurch, dass auch nicht-organisirte Körperchen in Form unmessbar kleiner Kügelchen auftreten. Es gilt dies insbesondere von den amorphen pulverigen sogenannten molecularen Niederschlägen der verschiedensten organischen und anorganischen Substanzen: kohlensaurer Kalk, oxalsaurer Kalk, Inulin, Kautschuk, Harz, Gummigutt, chinesische Tusche u. s. w., ganz besonders aber von Fetten und Eiweissstoffen. Diese Gebilde, welche gewöhnlich als *Detritus* bezeichnet, mitunter in unendlicher Menge in Flüssigkeiten oder Geweben thierischen oder pflanzlichen Ursprungs auftreten, stimmen oft in Grösse, Form und Anhäufung derart mit Kugelbakterien überein, dass es geradezu unmöglich wird, ohne die sorgfältigste Untersuchung sich vor Verwechselungen zu schützen. So werden z. B. Beobachtungen über die beim Gerinnen der Milch stattfindenden Vorgänge dadurch ausserordentlich erschwert, dass einerseits die Butterkügelchen in allen Grössen bis zur molecularen wirklicher Kugelbakterien auftreten, andererseits aber auch das Casein sich beim Gerinnen in unmessbar kleinen Kügelchen ausscheidet, welche lebhaftere Molecularbewegung zeigen und leicht für Organismen gehalten werden könnten, selbst dann noch, wenn sie sich zu gelatinösen, feinkörnigen Conglomeraten aneinander häufen. Vor der Verwechslung mit Caseinkügelchen kann man sich zwar durch Kali schützen, welches dieselben löst, die Kugelbakterien da-

gegen nicht angreift. Bei der Unterscheidung von minimalen Fetttröpfchen aber lassen uns die Reagenzien im Stich, da auf Aether u. s. w. in schleimigen Flüssigkeiten kein Verlass ist und auch der Unterschied in der Lichtbrechung bei diesen kleinsten Kügelchen kaum sicher wahrgenommen wird. Die Unterscheidung dieser Pseudobakterien, wie sie Hoffmann nicht unpassend benannt hat, von echten Kugelbakterien ist eine Aufgabe, welche unsere heutigen Mikroskope noch nicht in allen Fällen mit der erforderlichen Sicherheit lösen; die Entscheidung giebt allein die Entwicklungsgeschichte: Kügelchen, die sich theilen und in Ketten entwickeln, sind Organismen; wo dies nicht der Fall, haben wir es mit Pseudobakterien zu thun. Beiläufig bemerke ich hier, dass auch die Ausscheidung des Fibrin aus dem Blutplasma zu Pseudobakterien Veranlassung geben kann, da man die unmessbar dünnen und langen Fibrinfäden mit Fadenbakterien verwechseln könnte. Noch mehr erinnern dieselben freilich in ihrer netzförmigen Verfilzung an die Pseudopodien der *Polythalamien* und *Myxomyceten*.

Abgesehen von der Form und Bewegung unterscheiden sich die Kugelbakterien von den Stäbchenbakterien auch durch ihre Function. *B. Termo* ist das Ferment der Fäulniss. Die Kugelbakterien sind ebenfalls Fermente, aber sie erregen nicht Fäulniss, sondern Zersetzungen anderer Art. Sie kämpfen in der Regel mit den Fäulnissbakterien auf dem nämlichen Boden um das Dasein, und ihre Producte werden, wenn sie unterliegen, von den Fäulnissbakterien zerstört.

Kann nun auch, wie ich überzeugt bin, darüber kein Zweifel bestehen, dass die Kugelbakterien einer selbstständigen Abtheilung angehören, so bin ich doch darüber noch zu keinem entscheidenden Urtheil gelangt, ob sich unter den Kugelbakterien selbst wieder verschiedene Gattungen unterscheiden lassen, ob ferner alle die Kugelbakterien, welche verschiedenartige Fermentwirkungen äussern, auch als verschiedene Arten, oder ob sie nur als natürliche Rassen oder Culturvarietäten zu betrachten sind. Indem ich mich jedoch auf das beziehe, was ich bereits auf pag. 135 über Species und Rassen bei den Bakterien entwickelt habe, werde ich im folgenden alle Kugelbakterien, welche sich als Fermente eigener Art verhalten, als eben so viele „physiologische Species“ aufführen.

Ich habe die Kugelbakterien als eine selbstständige von den Stäbchenbakterien verschiedene Gattung zuerst in meinem Vortrage in der Schlesischen Gesellschaft vom 14. Februar 1872 unterschieden, in meinem Aufsätze über Organismen in der Pockenlymphe (Virchow's Archiv 1872, Bd. 55) habe ich eine genauere Charakteristik der ein-



zigen Gattung gegeben, welche wir bisher unter den Kugelbakterien unterscheiden, und derselben einen neuen Namen „*Microsphaera*“ beigelegt. Ich übersah dabei, dass dieser Name bereits von Leveillé an eine *Erysiphe* vergeben war; um nicht nochmals die ohnehin überreiche Synonymie mit einem neuen Worte zu belasten, habe ich nunmehr den von Hallier aufgestellten und in weiten Kreisen eingebürgerten Namen *Micrococcus* adoptirt. Es versteht sich jedoch von selbst, dass ich mit *Micrococcus* nur den ganz bestimmten Begriff verbinde, den ich in der vorstehenden Erläuterung auseinandergesetzt habe, und dass alles, was Hallier über Entstehung seiner *Micrococcus*-Schwärmer aus und deren Entwicklung zu verschiedenen Schimmelpilzen angiebt, auf meine Gattung *Micrococcus* keinen Bezug hat. Die Merkmale von *Micrococcus char. emend.* sind ausschliesslich folgende: Zellen farblos oder schwach gefärbt, sehr klein, kugelig oder oval, durch Quertheilung zu zwei- oder mehrgliedrigen kurzen rosenkranzförmigen Fäden (*Mycothrix*, *Torulaform*), oder zu vielzelligen Familien (Colonien, Ballen, Haufen) zu Schleimmassen (*Zoogloea*-, *Mycoderma*-Form) vereinigt, ohne Bewegung.

Da die Arten von *Micrococcus* sich durch die Gestalt und Grösse ihrer Zellen nur sehr schwierig, wohl aber durch deren physiologische Thätigkeit leicht unterscheiden lassen, so ordne ich dieselben in drei Gruppen: *chromogene*, *zymogene* und *pathogene* Kugelbakterien der Pigmente, der Fermentationen und der Contagien.

#### 4. Pigmentbakterien; Zymogene Kugelbakterien.

Diejenigen Kugelbakterien, welche in gefärbten Gallertmassen auftreten, bezeichne ich als Pigmentbakterien (*chromogene Micrococcusarten*). Ueber diese Arten und die von ihnen erzeugten Farbstoffe verbreitet sich die in diesem Hefte abgedruckte Schroeter'sche Abhandlung, so dass ich hier nur in Bezug auf die biologischen Verhältnisse dieser Arten Ergänzungen beifüge.

Alle Pigmentbakterien vegetiren in *Zoogloeaform* (*Mycoderma* Pasteur); sie bilden schleimige Massen, welche in Folge ausserordentlich rascher Zellvermehrung sich in kurzer Zeit auf der Oberfläche ihrer bald flüssigen, bald festen, in der Regel organischen Nährsubstanz entwickeln, und dieselbe mitunter vollständig in farbigen Schleim einhüllen. Das Pigment entsteht nur in Berührung mit Luft, erscheint daher zuerst an der Oberfläche und dringt allmählich mehr oder minder in die Tiefe ein.

Alle Pigmentbakterien erzeugen eine alkalische Reaction; selbst

wenn das Medium, in dem sie sich vermehren, ursprünglich neutral oder sauer war, tritt die alkalische Reaction auf, sobald der Farbstoff sich bildet. Nach Schroeter geht jedoch der alkalischen Reaction stets die Erzeugung einer Säure voraus, und durch Ueberhandnehmen des alkalischen Stoffs wird das Pigment oft zerstört (l. c. p. 113).

Eine unerschöpfliche Quelle für die verschiedenartigsten Pigmentbakterien sind gekochte und in feuchter Luft sich selbst überlassene Kartoffelscheiben, wie zuerst Fresenius (Beiträge zur Mycologie, Heft II.) hervorhob; da auf diesen Kartoffeln sich stets in kurzer Zeit gefärbte Schleimmassen entwickeln, so ist zu folgern, dass die Luft stets Keime von Pigmentbakterien mit sich führt; auf der andern Seite steht fest, dass ein bestimmtes Pigment oft lange Zeit in einer bestimmten Localität sich nicht von selbst bildet, so bald es aber einmal aufgetreten, sich beliebig vermehren lässt. Wir folgern daraus, dass die Keime der verschiedenen Pigmentbakterien nicht gleichmässig in der Luft vertheilt sind, dass bald die eine, bald die andere Art nicht vorhanden ist, dass aus diesem Grunde die Pigmente sich nicht beliebig hervorrufen, noch das eine in das andere willkürlich umwandeln lassen, dass deren Erscheinen vielmehr vom Zufall abhängt. Endlich steht fest, dass die verschiedenen Pigmente nicht etwa von einem und dem nämlichen Organismus in Folge verschiedenartiger Nahrung oder verschiedener äusserer Verhältnisse gebildet worden; denn auf derselben Kartoffelscheibe vegetiren dicht neben einander und doch scharf von einander getrennt verschiedene Pigmentschleime, und jeder giebt bei der Vermehrung ausnahmslos nur den nämlichen Farbstoff, auch wenn die Nährsubstanz in der verschiedenartigsten Weise abgeändert wird (z. B. Brod, Fleisch, Kartoffeln, künstliche Nährstofflösungen). Es kann daher mit Bestimmtheit geschlossen werden, dass die Pigmenterzeugung ein Resultat, nicht äusserer Bedingungen, sondern specifischer, physiologischer und durch Fortpflanzung constant sich vererbender Eigenthümlichkeiten ist, ganz, ebenso wie etwa der rothe oder gelbe Farbstoff in den Blumen von *Rosa canina* und *Rosa Eglanteria*. Trotz der äusseren mikroskopischen Uebereinstimmung sind wir daher berechtigt, verschiedene, wenn auch hier jetzt nur physiologische Species der Pigmentbakterien zu unterscheiden.

Je nachdem die Pigmente in Wasser löslich sind, oder nicht, zerfallen sie in zwei Klassen; in der zweiten Klasse beschränkt sich das Pigment auf Protoplasma und Intercellularsubstanz der *Zoogloea*, in der ersten verbreitet es sich auch in den Medien, in denen sie vegetiren.



Zur ersten Klasse gehören die Kugelbaeterien des rothen und gelben Pigment, zur zweiten die des orange; grünen und blauen; von einigen Farbstoffen ist das Verhältniss noch nicht festgestellt.

#### a. Unlösliche Farbstoffe.

1. *Micrococcus prodigiosus* (*Monas prodigiosa* Ehr. *Palmella prodigiosa* Mont. *Bacteridium prodigiosum* Schroet.).

Während ich zwei Jahre lang vergeblich mich bemühte, diese am längsten beobachtete und durch Ehrenberg in ihren historischen Beziehungen in interessantester Weise beschriebene Art im Pflanzenphysiologischen Institut zu erziehen, in welchem sie früher sich stets reichlich gebildet hatte, erhielt ich am 28. Juli 1872 dieselbe wieder durch Herrn Stud. Langendorf, bei dem sie sich unter der Glasglocke auf gekochten Kartoffeln innerhalb wenig Tagen erzeugt hatte. Auffallend ist der zähe fadenziehende, fast membranöse Schleim, den diese Art mitunter bildet, so dass es schwierig ist, eine kleine Portion mit der Nadel auf das Objectglas zu bringen. Auf Tab. III. Fig. 1 habe ich Abbildungen der isolirten Kügelchen, Fig. 3 der Zoogloeaform gegeben; die Zeichnungen können jedoch auch für alle übrigen Arten gelten, da diese unter dem Mikroskop, abgesehen von geringen Grössenverschiedenheiten, sich vollständig gleichen.

Pfirsichblüthrothe Färbungen, die sich mitunter auf der Oberfläche verschiedener im Wasser modernder Gegenstände, oder als Absatz am Boden bilden, scheinen einer eigenthümlichen *Micrococcus*art anzugehören.

2. *Micrococcus luteus* (*Bacteridium luteum* Schroeter l. c. p. 119).

Die gelben Tröpfchen von der Grösse eines Mohnsamen bis zur halben Pfefferkorngrosse, welche Schroeter im Pflanzenphysiologischen Institut auf Kartoffeln erzog, habe ich auf demselben Nährboden ebenfalls zu allen Zeiten erhalten; am 27. März 1872 brachte ich eine Nadelspitze dieses hellgelben Schleims in einen Reagenzcyylinder, welcher eine weiter unten genauer beschriebene künstliche Nährflüssigkeit (weinsaures Ammoniak) enthielt; auf der Oberfläche dieser Flüssigkeit vermehrte sich die gelbe *Zoogloea* dergestalt, dass sie bis Ende April eine dicke gelbe Haut bildete, welche den Querschnitt des Reagenzgläschens übertraf und sich daher in tiefen Falten auf und ab bog, auch an den Wänden sich weit in die Höhe zog, ohne jedoch die Flüssigkeit selbst zu färben, da das Pigment in Wasser unlöslich ist, wie das des *M. prodigiosus*. Auch am Boden bildete sich ein gelber Absatz.

## b. Lösliche Farbstoffe.

3. *Micrococcus aurantiacus* (*Bacteridium aurantiacum* Schroeter p. 119) wurde von Schroeter im pflanzenphysiologischen Institut auf gekochten Kartoffelscheiben erzogen, auf denen es kleine Tröpfchen oder auch grössere Flecken bildete.

Am 25. November 1871 erschienen auf einem gekochten, in der Mitte durchgeschnittenen Hühnerei, welches ich ein Paar Tage vorher unter eine Glasglocke gestellt hatte, und zwar zuerst auf dem Eiweiss, orangegelbe Flecke von Stecknadelkopfgrösse und darunter, in grosser Zahl zerstreut; die Färbung war ganz die des Eidotter; die Flecken breiteten sich allmählich aus, und überzogen fast gleichmässig die ganze Unterseite des Eies; sie erschienen auch auf dem Gelbei, von dem sie sich durch die Farbe kaum unterschieden. Diese Tröpfchen bestanden aus zahllosen, einfach oder paarweise, auch wohl zu vier zusammenhängenden Kügelchen, welche sich leicht im Wasser vertheilen liessen und dann nur Molecularbewegung zeigten; isolirte Kügelchen hatten eine ovale Form; in dichter Lagerung zeigte die Masse jenes für die *Zoogloea* der Kugelbakterien charakteristische feinpunktirte Ansehen (vgl. Tab. III. Fig. 3).

Als nach einiger Zeit das Ei unter Entwicklung eines unerträglichen Geruchs zu faulen begann und sich gleichzeitig farblose Stäbchenbakterien im Uebermasse entwickelten, wurde die Glasglocke entfernt, und das Ei trocknete allmählich aus, wobei die goldgelben Flecken und Tröpfchen sich etwas intensiver färbten. So trocken in einer Schachtel aufbewahrt, verloren die Pigment-Bakterien nicht ihre Lebensfähigkeit; denn als ich am 1. März 1872 auf frisch gekochte Hühnereier ein Wenig von der goldgelben Masse mit Hülfe der Nadel brachte, entwickelten sich sofort nach drei Tagen die orangefarbenen Gallerttropfen und vermehrten sich, wie beim ersten Mal; wenn ich mit dem Messer etwas von der Masse über das harte Eiweiss vertheilte, so erhielt ich bald goldgelbe Streifen, die sich rasch vergrösserten, und zu neuer Uebertragung auf andere Eier dienten. Von dem goldgelben Schleim wurde eine an der Nadelspitze haftende minimale Menge am 6. März in einen Reagenzcyylinder gebracht, in welchem 20 Gm. einer einprocentigen Nährstofflösung (von essigsauerm und weinsauerm Ammoniak nebst den erforderlichen Aschensalzen) enthalten war; zwei Tage später hatten sich die Pigmentbakterien bereits so vermehrt, dass sie eine 2—3 Millimeter hohe goldgelbe Schicht auf der Oberfläche der Flüssigkeit bildeten; ein Tröpfchen von dieser Schicht in einen Reagenzcyylinder mit gleicher Nährstofflösung am 16. März gebracht, erzeugte wiederum eine goldgelbe Schicht innerhalb zwei Tagen auf der Oberfläche der Flüssigkeit.



Hartgekochtes Hühnereiweiss, welches am 16. April 1871 in einem Reagenzcyylinder mit destillirtem Wasser nochmals aufgekocht und dann durch Zusehmelzen hermetisch eingeschlossen war, hatte sich 7 Monate unverändert schneeweiss und fast ohne Spur von Fäulniss erhalten, als am 25. November die dünne ausgezogene Spitze des Reagenzcyinders abbrach; wenig Tage darauf entwickelten sich im Wasser Stäbchenbaeterien, welche dasselbe trübten; als im März 1872 der Cylinder wieder untersucht wurde, war die Flüssigkeit schön orangegelb geworden und wimmelte von zahllosen unbeweglichen Kugelbaeterien, die einzeln, oder häufiger paarweise, doch auch zu 3, 4 und in grösserer Zahl zu geraden oder verbogenen Torulaketten in unregelmässigen Häufchen verbunden waren; die Grösse der einzelnen Zellen bestimmte ich zu 1,5 Mikrom.; es schien mir dies der nämliche *M. aurantiacus*, den ich früher nur auf der Oberfläche der Eier gefunden hatte.

4. *Micrococcus chlorinus*. Auf demselben Ei, auf welchem die orangegelben Flecken sich bildeten, erschien gleichzeitig auch gelb- oder saftgrünes, schleimiges Pigment, das ebenfalls von Kugelbaeterien erzeugt war. Den nämlichen Farbstoff erhielt ich in Lösung in einem Reagenzcyylinder, in welchem am 21. Nov. 1871 gekochtes Hühnereiweiss mit destillirtem Wasser übergossen worden war; das Eiweiss begann sich zu zersetzen, die Flüssigkeit wurde milchig; nach einiger Zeit sammelte sich an der Oberfläche derselben eine saftgrüne Schleimschicht mit einer Micrococceushaut, welche nach unten sich allmählich verbreitete, und bis Mitte März die ganze Flüssigkeit schön gelbgrün gefärbt hatte; im Laufe des April wurde dieselbe sogar klar, und behielt dabei ihre gelbgrüne Farbe, während ein gleichfarbiger Baeterien-Niederschlag sich absetzte.

Als ich am 5. August 1872 den weissen Baeterienabsatz, welcher aus früheren Versuchen sich in einer künstlichen Nährflüssigkeit (weinsaures Ammoniak) niedergeschlagen hatte, mit derselben Flüssigkeit nochmals übergoss, wurde dieselbe sofort in Folge neuer Baeterienvermehrung milchig; drei Tage später hatte sich bereits an ihrer Oberfläche eine 1 Cm. hohe, gelblich saftgrüne Schicht gebildet, auf der eine Zoogloeahaut (*Mycoderma*) von dem bekannten feinkörnigen Ansehn der Kugelbaeterien schwamm; allmählich wurde die gesammte Nährflüssigkeit gelbgrün. Dieser Farbstoff wird durch Säuren nicht geröthet, wie der blaugrüne, zu *M. cyaneus* gehörende, sondern entfärbt; vielleicht ist er mit dem der sog. gelben Milch verwandt (vergl. Schroeter l. c. p. 120, der auch auf Kartoffeln saftgrüne Färbung fand).

5. *Micrococcus cyaneus* (*Bacteridium cyaneum* Schroeter l. c. p. 122).

Die elliptischen unbeweglichen Kügelchen dieser Art wurden von Schroeter im Januar 1870 als Ursache einer auf gekochten Kartoffeln erschienenen umfangreichen und intensiven Blaufärbung beobachtet. Mir selbst kam dieses blaue Pigment zur Beobachtung, als ich zuerst am 29. Januar 1872 ein Gemisch von 8 Cub.-Cm. destillirtem Wasser, 2 Cub.-Cm. concentrirter Lösung von saurem weinsteinsaurem Kali und 2 Cub.-Cm. käuflichem essigsauerm Ammoniak nebst den nöthigen Nährsalzen mit einem Tropfen Bacterienflüssigkeit versetzte und in einem geheizten Blechkasten bei ca. 30° C. offen stehen liess. An der Oberfläche bildete sich eine *Zoogloea* (Mycoderma-Haut) von Kugelbakterien, neben unzähligen Stäbchenbakterien; nach neun Tagen begann die Flüssigkeit sich schwach blaugrün zu färben; die Färbung wurde von Tag zu Tag intensiver und reiner blau und war am 17. Februar ganz blau, wie Kupfervitriollösung. Durch Uebertragung der auf der Oberfläche schwimmenden Zoogloeahaut, sowie der sich allmählich bildenden Bacterien-Absätze konnte ich aus neuen Lösungen von ähnlicher oder modificirter Zusammensetzung den blauen Farbstoff immer wieder erzeugen, so dass die Fermentthätigkeit dieser „Pigmentmutter“ nicht bezweifelt werden kann; bei Aussaat wurde die Flüssigkeit zuerst alkalisch, trübe, milchig, so lange die stets gleichzeitig vorhandenen Stäbchen-Bakterien sich überwiegend vermehrten, schliesslich aber ganz klar und rein blau, nachdem die Bacterien sich am Boden abgesetzt hatten. Ich werde auf diese Verhältnisse später noch einmal zurückkommen.

Der blaue Farbstoff wurde von mir in einer vorläufigen Mittheilung vom 14. Februar 1872 mit dem *Lacmus* verglichen, dem er äusserlich ganz gleicht; auch wird derselbe durch Säuren roth, durch Neutralisirung der Säure mittelst Ammoniak wieder blau; er wird durch Alcohol nicht gefällt; er fluorescirt nicht und besitzt ein Spectrum ohne Absorptionsstreifen, nur mit Verdunkelung der schwächer brechenden Hälfte.

Bekanntlich ist der Lacmusfarbstoff auch nicht als solcher in den Flechtenauszügen enthalten, aus denen er dargestellt wird; diese sind vielmehr ursprünglich farblos und erlangen ihr Pigment erst durch eine Art Gährung oder Fäulniss, bei welcher Ammoniak und andere Basen (Kalk) eine noch nicht näher ermittelte Rolle spielen; es lässt sich bis jetzt noch nicht feststellen, ob bei der echten Lacmusgährung auch Kugelbakterien betheiligt sind.

Der von mir erzeugte blaue Farbstoff enthält kohlen-saures Ammo-



niak, welches durch die Fermentthätigkeit aus dem ursprünglich zugesetzten weinsauren Ammoniak entstanden ist; derselbe zeigt jedoch nicht jene Beständigkeit, wie einige andere Pigmente chromogener Kugelbakterien; denn die Flüssigkeit, in welcher er sich löst, erscheint in der Regel anfangs spangrün und wird erst allmählich blau; am Licht verliert er nach einiger Zeit wieder seine Intensität und zeigt eine blaugrüne Nuance, wobei sich ein dunkelbraunes Pulver absetzt; in andern Fällen erhielt sich die span- oder lauchgrüne Färbung, ohne in Lacmusblau überzugehen, und steigerte sich sogar zu grosser Intensität und Reinheit; auch lauchgrüne Lösung wird durch Säuren roth, durch Ammoniak das Grün wieder hergestellt; es handelt sich hier offenbar nur um Modification eines und desselben Pigments durch noch unbekannte chemische Reactionen. Eine sehr intensiv spangrüne Fleckenbildung beobachtete ich auch am 8. August 1872 auf gekochten Kartoffelscheiben, und auch hier fanden sich auf und zwischen den Kartoffelzellen zahllose Kugelbakterien, denen die Erzeugung des Pigment zuzuschreiben ist.

6. *Micrococcus violaceus* (*B. violaceum* Schroeter l. c. p. 122), besteht aus elliptischen unbeweglichen Körperchen, die grösser als die von *M. prodigiosa*, oft in Ketten verbunden sind, und bildet veilchenblaue Schleimklümpchen und Flecken; wurde im Januar 1870 von Dr. Schneider auf gekochten Kartoffeln erzogen, und von Dr. Schroeter näher untersucht; mir selbst ist dieses Pigment noch nicht vorgekommen. —

Die Organismen, welche die blaue und gelbe Milch, sowie den spangrünen Eiter erzeugen (*Vibrio synxanthus* und *syncyanus* Ehr., *Bacteridium aerugineum* Schroet.), und die, welche Schroeter als Erreger eines braunen Farbstoffs in einer faulenden Infusion von Maiskörnern beobachtet (*Bacteridium brunneum*), können nicht zu den Kugelbakterien gezogen werden, da sie Stäbchenform besitzen und theils bewegungslos, zum Theil selbst (in Milch und Eiter) beweglich sind. Ich selbst habe diese Pigmente noch nicht näher untersucht; ich hatte zwar in den letzten Tagen Gelegenheit, blauen Eiter, der in einen Charpiebausch eingesogen war, durch die Güte des Herrn Dr. Carl Weigert zu sehen; es fehlte mir jedoch die Gelegenheit, eine nähere Untersuchung anzustellen. Jedenfalls können wir für jetzt nicht alle Pigmentbakterien zu den Micrococccusarten zählen.

Sehen wir von jenen Stäbchenbakterien ab, so ergibt sich aus den hier zusammengestellten Beobachtungen:

1. dass die chromogenen Kugelbakterien zwar im mikroskopischen

Ansehen, in der Art ihrer Vermehrung, Schleimbildung, in ihrem Bedürfniss nach Sauerstoff und in der alkalischen Reaction völlig übereinstimmen und sich nur durch unwesentliche und unbeständige Formverhältnisse (Grösse, kugelige oder ovale Gestalt ihrer Zellen) unterscheiden,

2. dass die von ihnen erzeugten Pigmente in der Farbe, dem chemischen und spectroscopischen Verhalten, Löslichkeit oder Unlöslichkeit im Wasser, Analogie mit Anilin, Lacmus und anderen Arten von Farbstoffen die grössten Verschiedenheiten zeigen,

3. dass jede Art bei fortgesetzter Cultur auch unter den verschiedensten äusseren (eiweisshaltigen oder eiweissfreien) Nahrungsverhältnissen stets den nämlichen Farbstoff erzeugt,

4. dass also, wie schon oben bemerkt wurde, die verschiedenen Pigmente nicht durch Verschiedenheit der Nahrung und anderer äusserer Verhältnisse zu erklären, sondern von verschiedenen physiologischen Lebensthätigkeiten abzuleiten sind, welche selbst, weil constant vererbt, nur aus der angeborenen Verschiedenheit oder specifischen Natur distincter Arten oder doch Rassen zu erklären sind.

Die hier festgestellten Schlüsse sind darum wichtig, weil sie ohne Zweifel eine Anwendung auf die übrigen Fermentwirkungen von Bakterien gestatten, auch da, wo diese nicht so evident hervortreten, oder dem Experimente so leicht zugänglich sind, wie bei den Pigmentbakterien.

An die chromogenen Pigmentbakterien schliesse ich einige *Micrococcus*-Arten, welche Fermentationen verschiedener Art erregen, und die ich deshalb als zymogene bezeichne.

7. *Micrococcus ureae*: Harnferment; Ferment der Ammoniakgährung.

Es ist längst bekannt, dass normaler frischer Harn klar und schwach sauer ist, dass er sofort beim Erkalten einen Absatz von harnsaurem Natron und anderen Sedimenten bildet, und gleichzeitig stärker sauer, nach 4—5 Tagen aber, unter Umständen auch früher oder später, neutral, dann alkalisch wird und einer Gährung unterliegt, bei welcher der Harnstoff zersetzt und kohlensaures Ammoniak gebildet wird. Ueber die saure Gährung, welche nach Scherer unter Einfluss der Harnpigmente steht, sind mir keine genaueren Untersuchungen bekannt. Dass bei der alkalischen Gährung ein Ferment im Spiele sei, wurde längst vermuthet; Pasteur aber lieferte den Beweis, dass dasselbe organisirt und aus der Luft übertragbar sein müsse, da gekochter Harn, vor dem Zutritt des Staubes geschützt, sich noch nach zwei Monaten, und, wie Pasteur neuerdings gezeigt,



noch nach vielen Jahren unverändert sauer erhält. Pasteur wies ferner im alkalischen Harn verschiedene Organismen: Schimmelpilze, Hefe und Bakterien nach; aber er bezeichnete ein Gebilde mit grosser Wahrscheinlichkeit als das eigenthümliche Ferment der alkalischen Harnsäure, durch welche sich der Harnstoff in kohlensaures Ammoniak verwandelt, und in Folge der Alkalität auch die alkalischen Urate und das phosphorsaure Ammoniakmagnesiumsalz sich abscheiden. Dies Ferment ist nach Pasteur eine *Torulacée* aus sehr kleinen rosenkranzförmig aneinandergereihten Kügelchen von etwa 1,5 Mikrom. Durchmesser. (Annales de Chimie et de Physique 1862 Bd. 64. p. 52 u. 55. Mem. sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère; hierzu die, zu schwach vergrösserte aber kenntliche Abbildung auf Tab. II. fig. 21 u. 22.) In einer Abhandlung sur la fermentation ammoniacale, (Comptes rendus LVIII. p. 210. 1864) erwies van Tieghem durch eine Reihe von Versuchen die Richtigkeit der Pasteur'schen Vermuthung, indem er zeigte, dass aus einer Lösung von Harnstoff in Hefewasser, in welche das rosenkranzförmige Harnferment, von ihm ebenfalls als *Torulacée* bezeichnet, ausgesät wird, innerhalb 36 Stunden der gesammte Harnstoff verschwindet, und in kohlensaures Ammoniak umgewandelt wird. Andere Fermentorganismen dagegen bewirken die Ammoniakgährung nicht, z. B. gleichzeitig zugesetzte Bierhefe verursacht im Harn Alcoholbildung, etc. Van Tieghem fand, dass auch Hippursäure durch eine dem Harnferment vielleicht identische *Torulacée* in Benzoë-säure und Glycollamin zerlegt werde.

Pasteur (Etudes sur les vins, Comptes rendus etc. 18. Jan. 1864) giebt eine neue bessere Abbildung des Harnferments (l. c. fig. 11); dasselbe scheint ihm identisch mit dem von ihm im schleimigen fadenziehenden Wein (Vin filant) nachgewiesenen, dessen Rosenkranzfäden aus Kügelchen von 0,2 Mikrom. Durchmesser bestehen; eine ganz ähnliche „*Torulacée*“ findet Pasteur auch in gewissen Fermentationen des weinsauren Ammoniak und der Bierhefe, mit oder selbst ohne Zusatz von kohlensaurem Kalk; er stellt die Frage auf, ob wirklich der nämliche Organismus, je nachdem er sich in neutralen, alkalischen oder sauren Flüssigkeiten entwickelt, verschiedenartige Gährungen veranlasst?

Meine eigenen Untersuchungen bestätigen die Pasteur'sche Entdeckung. Frischer saurer Harn zeigt, nachdem er zwei Tage bei 30° offen gestanden, Trübung unter Entwicklung von Kugelbakterien, welche als Kügelchen oder ovale Zellen, vereinzelt herumswimmen oder zu 2, 4 bis 8 kettenförmig aneinander hängen

(Torulaform); bei 4 bis 8-gliedrigen Ketten liess sich zwischen je 2 Zellen ein etwas grösseres Intervall erkennen, offenbar weil je zwei immer aus einer Mutterzelle hervorgegangen waren (vgl. Tab. III. Fig. 4). Die Zellen ordnen sich nicht immer in geraden Reihen; indem sie sich verschieben, zeigt sich zickzackartige, gebogene, selbst kreuzständige Anordnung; aus fortgesetzten Theilungen entstehen unregelmässige Gruppen. Den Durchmesser der einzelnen verhältnissmässig grossen Kugelehen bestimmte ich auf 1,25—2 Mikrom.; sie zeigen nur moleculare Bewegung; bald finden sich aber auch Stäbchen und Fadenbakterien ein (*Bacterium termo* und *Bacillus subtilis*), mit lebhaft springenden, rollenden oder rotirenden Bewegungen; einige Tage später sind sie meist unbeweglich geworden, gleichwohl aber in lebhafter Vermehrung; *Bacillus subtilis* bildet längere, grade oder gekrümmte, unbewegliche Fäden (Leptothrixform) von 12—20 Mikrom. Länge. Oben bildet sich eine Schleimhaut aus dem *Micrococcus*; mit der Zeit vermehrt sich die Masse der Micrococcusketten und der Bakterien, und es siedeln meist auch Schimmelpilze sich an der Oberfläche, und Hefezellen im Innern, oder am Boden der Flüssigkeit an.

Aehnliche Micrococcus-Ketten und Zoogloea-Schleimmassen habe ich übrigens auch in verschiedenartigen Infusionen und faulenden Flüssigkeiten aufgefunden; gewisse Formen sind regelmässige Begleiter der gewöhnlichen Stäbchenbakterien; doch lässt sich in den meisten Fällen über ihre Fermentthätigkeit nichts aussagen. Man kann die farblosen Kugelbakterien der gewöhnlichen Infusionen als *Micrococcus Crepusculum* = *Monus Crepusculum* Ehr. bezeichnen.

Auf gekochten Kartoffelscheiben entstehen neben den farbigen auch schneeweisse Pünktchen und Flecken, welche ebenfalls von Kugelbakterien, gleich denen von *M. luteus* u. a., gebildet sind; ich bezeichne diese Art als *Micrococcus candidus*.

### 5. Pathogene Kugelbakterien.

Eine andere Kategorie physiologischer Thätigkeiten entwickeln die pathogenen Kugelbakterien, die wir für die Fermente der Contagien halten. Es ist nicht meine Absicht, hier alle die Fälle speciell zu erwägen, wo während der letzten Monate in immer steigender Zahl bei den verschiedensten pathologischen Prozessen contagiöser Natur Bakterien aufgefunden worden sind; ich beschränke mich auf diejenigen, welche mir selbst genauer bekannt, oder über welche Beobachtungen von besonderer wissenschaftlicher Bedeutung publicirt worden sind.



8. *Micrococcus Vaccinae* (*Microsphaera Vaccinae* Cohn, Virchow's Archiv 1872). Pockenbakterien.

In meinem Aufsatz „Organismen in der Pockenlymphe“ (Virchow's Archiv LV. 1872), auf den ich verweise, habe ich eine ausführliche Mittheilung über diese Körperchen gegeben, welche in Form ausserordentlich kleiner, auch paarweise verbundener Kügelchen in der völlig reinen und frischen Vaccine, so wie in der Lymphe der Variolapusteln in ausserordentlich grosser Zahl vorkommen, und auch schon von früheren Beobachtern, insbesondere von Keber, Hallier und Zürn mehr oder minder genau beobachtet worden sind.

Durch Einschliessen frischer Lymphe zwischen Object- und Deckglas, die zuvor auf das Sorgfältigste gereinigt waren, und sofortiges Verkitten der Gläser durch Asphaltlack wurde die Lymphe gegen nachträgliches Eindringen fremder Keime geschützt; wurde ein solches Präparat von Vaccine-Lymphe in einen auf circa 35° geheizten Raum gestellt, so liess sich schon nach ein Paar Stunden die Vermehrung der Kügelchen zu 2—8zelligen Rosenkranzfäden beobachten; in Folge nachträglicher Verschiebung der einzelnen Glieder trat bei fortgesetzter Theilung eine unregelmässige Gruppierung derselben in allen denkbaren Combinationen ein; im Laufe mehrerer Tage gingen unter fortdauernder Vermehrung unregelmässige Zellhäufchen oder Colonien aus 16, 32 und mehr Kügelchen hervor, die bis zu 10 Mikrom. und darüber im Durchmesser hatten (Tab. III. fig. 2). Durch Druck liessen sich die zu einem Häufchen verbundenen Zellen leicht trennen. Dass diese Körperchen die wirksamen Bestandtheile der Lymphe und der Vermittler des Contagiums seien, ist zwar noch nicht direct erwiesen, ist aber durch ältere Erfahrungen über die Wirkungslosigkeit des flüssigen körnchenlosen Bestandtheils der Lymphe, wie insbesondere durch die endosmotischen und Verdünnungsversuche von Chauveau (Comptes rendus 1868 a. a. O.) und Burdon Sanderson (Introductory Report on the Intimate Pathology of Contagion) höchst wahrscheinlich gemacht. Die *Micrococcus*-Zellen der Pocken sind in allen Zuständen bewegungslos; zwischen denen von Vaccine und Variola konnte ich keinen constanten Unterschied ermitteln und möchte sie daher nur für verschiedene Rassen derselben Art halten. Die Grösse der einzelnen Kügelchen konnte ich nicht direct messen, schätze sie aber auf 0,5 Mikrom. und darunter. C. Weigert, (Medizin. Centralblatt vom 30. Aug. 1871) hatte schon vor meinen Beobachtungen an Pockenleichen constatirt, dass die Kanälchen der Pockenhaut sehr oft von äusserst kleinen, dicht an einander gelagerten kugeligen Körperchen vollgestopft sind, welche ich nach Vergleichung der mir von

ihm vorgelegten Präparate nicht anstehe, für identisch mit den Micrococcen der Lymphe zu erklären (sie entsprechen der Fig. 3 unserer Tafel III.); es scheint, als gelangten aus den Lymphkanälchen die Pockenkörperchen in die Lymphe der Pusteln. Wird Pockenlymphe in verschlossenen Glascapillaren aufbewahrt, so behält sie längere Zeit ihre Wirksamkeit; es bilden sich dabei grössere, schon mit blossen Auge sichtbare Flöckchen und Gerinnsel, welche als die hauptsächlich wirksamen Theile der Lymphe anerkannt, und durch Zusammenkleben und Adhäriren der aus der Vermehrung der Pockenkörperchen hervorgegangenen Zellhäufchen entstanden sind. Das Vorkommen grösserer kugliger Zellen mit ölartigem Inhalt in diesen Flöckchen scheint mir auf die Bildung von Dauerzellen hinzuweisen; doch wird durch nachträgliche Ausscheidungen heterogener Stoffe aus der Lymphe (Fibrinfäden, Fett, Krystallisationen etc.) die genauere Feststellung sehr erschwert.

Ich lasse nun einige Vorkommnisse von Kugelbakterien folgen, bei welchen ich in Ermangelung eigener Untersuchungen nur die Angaben fremder Beobachter zu Grunde legen kann.

9. *Micrococcus diphthericus*, Kugelbakterien der Diphtheritis. Ich gehe hier zunächst von der wichtigen, auf mikroskopische, klinische und experimentelle Untersuchungen gleichmässig gegründeten Abhandlung von Oertel (Experimentelle Untersuchungen über Diphtherie, Deutsches Archiv für klinische Medizin Band VIII. 1871) aus. Schon im Jahre 1868 hatten Buhl, Hüter und Oertel in den diphtheritischen Membranen eine massenhafte Pilzvegetation erkannt, welche Oertel als *Micrococcus* bezeichnete; in seiner neueren Arbeit weist derselbe die ungeheure Verbreitung dieses *Micrococcus* nach, der ausnahmslos in allen Fällen diphtheritischer Erkrankung in den Geweben der zunächst ergriffenen Schleimhäute der Luftröhre und des Kehlkopfs, nicht minder aber in den Lymphgefässen und dem die Lymphgefässe umgebenden Netze, zwischen den Maschen des Bindegewebes und der Fettzellen, ebenso aber auch in den Nieren und im Muskelgewebe, so wie im Blute selbst sich verbreitet. Der *Micrococcus* der Diphtherie besteht aus eirunden, körnchenförmigen Zellen, von 0,35 bis 1,1 Mikrom., welche einzeln oder häufiger paarweise, oder zu 4—6 rosenkranzförmig zusammenhängen; dann aber auch in ungeheurer Vermehrung kolonieförmig auf der Oberfläche und in den Gewebs-Interstitien der erkrankten Organe wuchern und kuglige Ballen, cylindrische oder streifenförmige Nester bilden.

Die Abbildungen, welche Oertel seiner Arbeit beigegeben (insbesondere Fig. 7b. 8b. 11.), lassen keinen Zweifel, dass der Diphthe-



ritis-Pilz zu den Kugelbakterien gehört. Oertel erwähnt allerdings noch einen zweiten, beweglichen Zustand seines *Micrococcus*, den er als „Micrococcusschwärmer“ bezeichnet; die rundlichen Körperchen sollen nämlich einzeln, paarweise und in Torulaketten rotiren, oder schraubenförmig sich bewegen, zum Theil deutliche, einfache oder doppelte Schwingfäden besitzen; Oertel's Abbildungen zeigen jedoch unzweifelhaft Stäbchen- (Fig. 12) und Fadenbakterien (Fig. 7. 9) vielleicht auch Spirillen (Fig. 7i) die mit den Micrococceen schwerlich im Zusammenhange stehen, und sich wohl nur, wie gewöhnlich, gleichzeitig auf demselben Nährboden entwickeln. Oertel giebt auch an, dass die Micrococcusschwärmer in die jungen Exsudatzellen der Croupmembranen eindringen, sich innerhalb derselben bewegen und deren Plasma verzehren; indess erhebt er für einzelne Fälle selbst Zweifel an die Richtigkeit dieser Beobachtung. Da Oertel in den mycologischen Theilen seiner Arbeit durchaus auf Hallier fusst, so muss ich dahin gestellt sein lassen, ob die diphtheritischen Micrococcusschwärmer wirklich einem beweglichen Zustande der Kugelbakterien entsprechen, oder fremdartige Gebilde (Stäbchen- oder Fäulnissbakterien) darstellen. In dem Blut der erkrankten Thiere fand Oertel stets ausserordentlich zahlreiche, bewegliche Körperchen, der Zeichnung nach Stäbchen-Bakterien.

Die Hauptbedeutung der Oertelschen Untersuchungen liegt in dem Nachweis, dass durch die *Micrococcus*-Colonieen alle Gewebe, auch die Muskelfasern, welche sie überspinnen und durchwuchern, degenerirt und zerstört werden; die Pilzwucherungen verbreiten sich insbesondere über die Schleimhaut der Trachea, belagern die Zellen, dringen namentlich in die jungen Exsudatzellen ein, und führen durch ihr Verhalten eine allmähliche Auflösung derselben herbei; sie erfüllen die Saftcanälchen und Lymphgefässe, und bewirken auf mechanische Weise eine Aufstauung der abströmenden Gewebsflüssigkeit, die zu serösen Exsudaten führen muss; indem sie die Capillargefässe verstopfen, bewirken sie auch Stauung in der Blutcirculation, welche hochgradige Ernährungsstörungen in den Wandungen der Capillaren, und selbst Zerreißen derselben hervorruft. Ebenso sind in hochgradiger Erkrankung ungeheure Massen von Pilzen in den Harnkanälchen und Malpighischen Knäueln der Nieren angehäuft, was eine allgemeine Erkrankung dieser Organe zur Folge hat; der Harn ist ausserordentlich reich an diesen Pilzen und scheidet dieselben aus dem Organismus aus. Die Diphtherie tritt zwar in der Regel zunächst in den Schleimhäuten der Trachea auf, weil diese dem Angriff der *Micrococcus*keime, die ohne Zweifel durch die Luft übertragen werden,

zunächst ausgesetzt sind; aber die Versuche von Oertel an Thieren haben gezeigt, dass durch Impfung der mit Micrococcusballen infectirten Exsudate in subcutanen oder offenen Wunden der verschiedensten Körperteile ausnahmslos eine diphtheritische Erkrankung erregt wird.

Die Diphtherie ist nicht ein lokaler Erkrankungsprozess, wenn sie auch mit einem solchen beginnt; sondern sie ist eine allgemeine Infektionskrankheit, welche vom Infectionsherd sich radienförmig über den ganzen Körper ausbreitet und alle Zeichen einer Blutvergiftung trägt. Das Gift geht aber aus von einem Contagium, dessen Träger, wie die Impf-Versuche zeigen, die Micrococcuszellen sind; die Wirkungen dieser Organismen sind specifisch verschieden von dem gewöhnlichen Fäulniss-Ferment, da Impfungen mit fauligen Stoffen nie im Stande waren, diphtheritische Erscheinungen hervorzurufen. Croupöse Entzündungen in der Luftröhre kann man allerdings auch künstlich durch Eintröpfeln von ein Paar Tropfen Ammoniak herbeiführen; in diesem Falle fehlen alle jene furchtbaren Zerstörungen, welche die Diphtherie als allgemeine Infektionskrankheit charakterisiren und die dem Virus des Micrococcus zugeschrieben werden müssen. Durch Eliminiren der Micrococcuszellen im Harn wird ein allmählicher Heilungsprozess eingeleitet.

#### 10. *Micrococcus septicus* (*Microsporon septicum* Klebs).

Unter diesem Namen fasse ich eine Anzahl von Kugelbakterien zusammen, welche in den letzten zwei Jahren insbesondere durch Leyden, Jaffé, Traube, Buhl, Waldeyer, Recklingshausen, Klebs, Orth in verschiedenen putriden Erkrankungsfällen beim Menschen nachgewiesen worden sind. Am exactesten untersucht ist der Einfluss dieser Organismen als Krankheitserreger bei Pyaemie, und Septicaemie, so wie bei den als *Mycosis intestinalis* bezeichneten Krankheitsformen. Klebs fand in den Wundsecreten kleine rundliche Zellen von 0,5 Microm. bewegungslos in Haufen dichtgedrängt aneinanderliegend, oder zu rosenkranzförmigen Fäden vereinigt. Dieselben Organismen in Zoogloeaform siedeln sich auch in dem Granulationsgewebe und den ulcerirenden Knorpeln an (Zur pathologischen Anatomie der Schusswunden. Leipzig 1872); er bezeichnet sie als *Microsporon septicum*, ein Name, der jedoch, wie Steudener, dessen Zusammenstellung ich hier benutze, (Pflanzliche Organismen als Krankheitserreger, in Volkmann, Sammlung klinischer Vorträge No. 38 30. Mai 1872) mit Recht bemerkt, darum unzulässig ist, weil mit dem Namen *Microsporon* bereits ein definirter Hautparasit (*Microsporon furfur* Gruby) belegt worden ist. Indem diese Gebilde in die Safräume des Bindegewebes eindringen, erregen sie Entzündung und



Eiterung, im Knochenmark traumatische Osteomyelitis; in die Gefässe eindringend verstopfen sie dieselben, oder gerathen in den Blutstrom und werden an Stellen abgesetzt, wo der Blutstrom ruhiger ist; überall erzeugen sie Entzündung, Eiterung und Abscessbildung; sie erregen durch ihre Vegetation, oder ein in ihnen enthaltenes Ferment chemische Umsetzungen in den Wundflüssigkeiten oder dem Blut, deren Product die fiebererzeugende Wirkung, von der eigentlichen Fäulniss durchaus verschieden ist. Das Experiment bestätigt die contagiöse Wirkung der Organismen. Durch Thoneylinder abfiltrirt hat die Wundflüssigkeit ihre vergiftende Wirkung verloren. Dieselben Organismen fand Klebs auch in septicaemischen Prozessen. Uebereinstimmend sind die Beobachtungen von Recklingshausen über die miliaren Eiterherde bei Pyaemie, Typhus und anderen Krankheiten, welche lediglich durch Bakterien veranlasst werden. Klebs erwähnt allerdings auch bewegliche kuglige, sowie stäbchenartige Körper von oscillirender Bewegung, oder bewegungslos zu langgliedrigen Fäden aneinandergereiht, doch weist bereits Orth (über Vorkommen des *Microsporon septicum* bei septischen Fieberkrankheiten) die Betheiligung der Fäulniss- oder Stäbchenbakterien an den septicaemischen Prozessen zurück, und schreibt ausschliesslich dem *Microsporon* die pathogene Wirkung zu, welches unzweifelhaft zu den Kugelbakterien gehört.

In einem Falle von epidemischen Puerperalfieber erhielt ich selbst durch meinen Freund, Professor Waldeyer, ganz frische gelbliche Flüssigkeit aus einer wenige Stunden vorher verstorbenen Patientin und überzeugte mich, dass das Serum ganz und gar erfüllt war von zahllosen kugligen, einzeln, paarweise oder in Rosenkranzketten verbundenen Kugelbakterien, während Stäbchenbakterien noch gänzlich fehlten. Waldeyer hat ausserdem die Bildung von Bacteriencolonien in allen Blut- und Lymphbahnen des Körpers bei *Mycosis intestinalis* als den wahrscheinlich einzigen Grund des rasch, unter choleraähnlichen Symptomen erfolgenden Todes, beobachtet. Eine mehr harmlose Rolle spielen nach Waldeyer (Bericht der medizinischen Section der Schles. Gesellschaft vom 4. Aug. 1871) die Bakterien als Grundlage von Concrementen; ich habe mich davon überzeugt, dass im Weinstein kranker Zähne die Fäden der *Leptothrix buccalis* dicht mit Zoogloeamasse von Kugelbakterien übersponnen sind.

11. *Micrococcus bombycis* (*Microzyma bombycis* Béchamp). In Bezug auf diese Körperchen kann ich mich, da ich sie selbst nicht studirt, nur auf die Untersuchungen von Pasteur beziehen; dieser zeigte in einer Reihe von Aufsätzen, die seit 1868 in den Comptes

rendus der Pariser Akademie erschienen (vgl. insbesondere LXVI. p. 1289), dass in Süd-Frankreich seit den letzten Jahren eine äusserst verderbliche Epidemie unter den Seidenraupen grassirt, welche ganz verschieden ist von der *Muscardine* (durch *Isaria Bassiana*) und der *Gattine* (durch *Panhistophyton ovale* = *Nosema Bombycis*); die daran verstorbenen Thiere werden als Morts flats oder Morts blancs bezeichnet. Die Ursache der Erkrankung ist ein ferment en chapelet, ähnlich dem auch in anderen Fermentationen gefundenen, aus 2, 3, 4, 5 und mehr aneinandergereihten Kügelchen von 1 Mikrom. Durchmesser bestehend, die sich neben Monaden, Vibrionen und Bacterien in grosser Zahl, insbesondere im Darm der kranken Raupen, nicht aber in den gesunden finden. Obwohl noch eine genauere Untersuchung wünschenswerth, so kann doch kaum gezweifelt werden, dass diese „corpuscules en chapelet“ die Torulaform einer pathogenen Species Kugelbakterien sind.

Ich selbst beobachtete schon im Jahre 1858 bei einer Untersuchung der durch *Panhistophyton* charakterisirten Epidemie (*Gattine*), welche, unter den in Breslau gezogenen Seidenraupen ausgebrochen, die eine Zeit lang blühende schlesische Seidenzucht total vernichtet hat, dass im Blut und Darminhalt kranker Raupen neben und auch ohne *Panhistophyton* sich unzählige ausserordentlich kleine, einzeln, paarweis oder in 4—8gliedrigen Ketten gereihte kuglige Bacterien mit Molecular-Bewegung entwickelt hatten (wie Fig. 1). Auch in den durch *Tarichium megaspermum* erkrankten Erdraupen fand ich das Blut schwarz in Folge der Entwicklung zahlloser schwarzer Pünktchen ohne spontane Beweglichkeit, von denen ich unentschieden liess, ob es moleculare Fetttropfen, oder kuglige Bacterien seien; wenn das letztere, so haben wir es vielleicht mit einer Art zu thun, die gleichzeitig ein besonderes (schwarzes) Pigment entwickelt. Später erscheinen im Blut der getödteten Raupen auch echte Stäbchen-Bacterien. Vgl. meinen Aufsatz „über eine neue Pilzkrankheit der Erdraupen“ (Heft I. dieser Beiträge p. 64).

Ueberblicken wir die Summe alles dessen, was ich über Kugelbakterien oder Micrococcusarten zusammengestellt habe, so ergibt sich, dass diesen Organismen eine ausserordentliche Bedeutung zukömmt, ebenso vom chemischen und physiologischen Gesichtspunkt, als vom pathologischen; der letztere würde vielleicht noch verhängnissvoller hervortreten, wenn das bisherige Beobachtungsmaterial bereits in allen Fällen die Unterscheidung von Kugel- und Stäbchenbakterien gestattete. Es gilt dies namentlich von den verschiedenen Beobachtungen über das Auftreten von Bacterien bei Pyelo-Nephritis,



Typhus, Cholera, Scharlach, Masern, Tuberkeln, Rotz, Rinderpest, Lungenseuche u. s. w. Ich muss jedoch hier nochmals hervorheben, dass nach den von Pollender, Brauell und insbesondere von Davaine zuerst gemachten und durch Bollinger in neuester Zeit wiederholt bestätigten Beobachtungen eine der im höchsten Grade contagiösen Thierkrankheiten, der Milzbrand so wie die Pustula maligna des Menschen nicht von Kugelbakterien, sondern von unbeweglichen Fadenbakterien (sogenannten Bacteridien) veranlasst wird; wir sind daher nicht berechtigt alle pathogenen Bakterien ohne weiteres zu den Kugelbakterien zu rechnen.

## 6. Microbacteria, Stäbchenbakterien.

Die zweite Tribus der Bakterien bezeichne ich als *Microbacteria* oder Stäbchenbakterien; sie stimmen mit den Kugelbakterien in der Kleinheit ihrer Zellen und deren zeitweiser Vereinigung zu Gallert- oder Schleimmassen überein, unterscheiden sich jedoch, abgesehen von ihrer physiologischen Thätigkeit, durch die kurz-cylindrische Gestalt und die spontane Bewegung der Zellen.

Auch in dieser Tribus erkenne ich nur eine Gattung, die ich als *Bacterium* im engeren Sinne bezeichne.

Die zu dieser Gattung gehörigen Organismen bestehen aus kurz cylindrischen oder elliptischen Zellen, welche während der Quertheilung paarweise zusammenhängen; nach vollendeter Theilung trennen sich die Tochterzellen, wobei sie mitunter eine kurze Zeit noch im Winkel an einander hängen, selten beginnen die Tochterzellen sich schon wieder zu theilen, ehe sie sich isolirt haben, und dann sehen wir wohl vier Zellen in einer Reihe. Unter günstigen Lebensbedingungen, zu denen ausser hinreichender Nahrung insbesondere Sauerstoff gehört, sind sie sehr lebhaft spontan bewegt, doch so, dass Zeiten der Ruhe oft plötzlich mit beweglichen Zuständen abwechseln. Sie bilden keine Ketten oder Fäden, erscheinen also niemals, weder in der Form von Leptothrix, noch von Torula, wohl aber vegetiren sie verbunden in Gallertmassen (Zoogloeaform) die sich von den schleimigen Häuten und Ballen der Kugelbakterien, wie schon bemerkt in der Regel durch eine viel reichlicher entwickelte und festere Zwischensubstanz unterscheiden und daher auch nicht jenes feingekörnte Ansehen der Micrococcus-Schleimmassen zeigen (Tab. III. fig. 9 und 12). Die Stäbchenbakterien können ihrer Kleinheit wegen leicht einerseits mit freien Kugelbakterien verwechselt werden, andererseits mit einzelnen Gliedern der Fadenbakterien: ich bin jedoch überzeugt, dass sie selbstständige Organismen sind, die weder aus jenen entstammen, noch

zu diesen sich weiter entwickeln. Sehr schwer ist es die Arten der Stäbchenbakterien zu unterscheiden, und ich vermuthe, dass die Zahl der Arten grösser ist, als bisher bekannt. Auf gekochten Kartoffelscheiben vegetiren z. B. auch Schleimmassen von Stäbchenbakterien von charakteristischer spindelförmiger Gestalt.

Ehrenberg zählt in seinem Infusorienwerk von 1838 drei Arten von *Bacterium* auf; acht früher aufgestellte Arten werden eingezogen, doch auch die drei beibehaltenen Arten lassen sich nicht wieder erkennen; zwei, *Bacterium Punctum* und *B. Enchelys* sind nur in Russland gefunden, und von Ehrenberg selbst mit einem ? versehen; die dritte, *Bacterium triloculare*, in der Oase des Ammon und Berlin beobachtet, mit einer früher als *B. articulatum* bezeichneten vereinigt, ist so unklar bestimmt, dass ich sie auf keine mir bekannte Form beziehen kann; sie soll einen deutlich wirbelnden Rüssel, und einen 3 bis 5gliedrigen cylindrischen Körper von  $\frac{1}{400}$  bis  $\frac{1}{192}$ ''' besitzen, eine Angabe, die zwar an sich nicht unmöglich, doch noch von keinem neueren Beobachter bestätigt worden ist.

Die von Dujardin ausser *Bacterium termo* noch aufgestellten Arten, *Bacterium Punctum* (Glieder verlängert, eiförmig 5 Mikrom. lang) und *Bacterium Catenula* (Glieder 3—4 Mikrom. lang, kettenförmig verbunden) sind nach Abbildung und Beschreibung so unvollkommen beobachtet, dass sie nicht wiederzuerkennen sind; von *Bact. Punctum* wird keine Abbildung gegeben. Ich unterscheide zwei Arten *Bact. Termo* und *Bact. Lineola*.

1. *Bacterium Termo* Ehr. 1830. Duj. Wir verdanken Dujardin die genauere Unterscheidung dieser Bakterien, als deren Charakter er angiebt: „Gestalt cylindrisch, Länge 2—3 Microm., Dicke  $\frac{1}{2}$ — $\frac{1}{5}$  dieser Grösse, oft paarweise verbunden, mit zitternder Bewegung.“ Diese Art erklärt Dujardin für das kleinste aller Infusorien „le premier terme en quelque sorte de la série animale;“ sie erscheint nach ihm in sehr kurzer Zeit in allen thierischen und pflanzlichen Aufgüssen, anfangs allein in unendlicher Zahl Schwärme bildend, und verschwindet, sobald sich andere Arten vermehren, denen sie zur Nahrung dient; sie findet sich von neuem im Uebermaass, sobald die Infusion zu stinkend wird, als dass andere Arten darin leben können. In den Abhandlungen der Berliner Akademie von 1830 hatte zuerst Ehrenberg ein *Bacterium Termo* aufgestellt, das er in Henaufgüssen, Blutinfusionen etc., gefunden; in dem grossen Infusorienwerk von 1838 hat er dieselbe Art mit dem neuen Namen *Vibrio Lineola* Ehr. 1838 belegt, weil sie angeblich langsamer Schlängelbewegungen fähig ist. Dujardin erklärt sein *Bacterium Termo* auch für identisch mit der



Form, welche O. F. Müller in jedem stinkenden Aufguss nach 24 Stunden fand, und *Monas Termo* nannte, während Ehrenberg unter *Monas Termo* eine echte Monade aufführt. Die insbesondere von Dujardin gegebene Beschreibung und Abbildung von *Bacterium Termo* ist so charakteristisch, dass wir diese Art leicht überall wiedererkennen, obwohl die Grössenverhältnisse nicht unbedeutend zu variiren scheinen.

In meiner Abhandlung vom Jahre 1853 habe ich die Entwicklungsgeschichte von *Bacterium Termo* und insbesondere die traubig kuglige Gallertform ihrer Zoogloea abgehandelt, auf welche auch Perty in seinem Buche (die kleinsten Lebensformen etc. Bern 1852) aufmerksam gemacht hatte. (Tab. III. fig. 9). Die Bewegung von *Bacterium Termo* ist von der der übrigen Bacterien nicht wesentlich verschieden; die Zellen drehen sich um ihre Längsachse und schwimmen vorwärts, dann wieder ohne umzukehren ein Stück zurück, oder fahren auch in Bogenlinien durch das Wasser, in der Regel nicht sehr schnell, gleichsam zitternd oder wackelnd, doch auch mit plötzlichem Sprunge raketenartig dahinschiessend, bald um die Querachse gedreht, wie der Griff eines Bohrers, oft blitzschnell, wie ein Kreisel, dann wieder längere Zeit ruhend, um plötzlich auf und davon zu fahren. Wenn ein Infusorium Schwärme von *B. Termo* frisst, so sieht man dieselben in dessen Leibeshöhle sich munter fortbewegen.

Die Zellen des *B. Termo* (Fig. 8) sind kurz cylindrisch, oblong, der Inhalt je nach der Einstellung hell schimmernd oder schwärzlich, die Membran verhältnissmässig dick; bei gewöhnlicher Einstellung sehen sie daher aus, wie kleine ausserordentlich zarte dunkle Striche, die von einem hellen Rande (der Membran) eingefasst sind; fast immer findet man sie in mehr oder weniger vorgeschrittener Theilung, oder paarweise verbunden; dabei sind sie gewöhnlich nur etwa 1,5 Mikrom. lang und nur halb oder ein Drittel so breit, die Doppelzellen natürlich noch ein Mal so lang; in unzählbaren Myriaden erfüllen sie das Wasser, sobald in ihm Fäulnisstoffe vorhanden, mitunter so dicht, dass das Wasser in der That „zu einer lebendigen Gallert“ wird; sie vermehren sich überwiegend, so lange die Fäulnis fortschreitet, und verschwinden sobald die Fäulnis vorüber ist. Aus meinen eigenen und den übereinstimmenden Versuchen anderer Forscher, bin ich zu der Ueberzeugung gelangt, dass *Bacterium Termo* das Ferment der Fäulnis ist; in ähnlicher Weise wie Hefe das Ferment der Alcoholgährung etc., dass keine Fäulnis ohne *B. Termo* beginnt und ohne Vermehrung derselben fortschreitet; ich vermute sogar, dass die übrigen Bacterien, obwohl sie möglicherweise ebenfalls,

wenigstens zum Theil bei den Fäulnissprozessen mitwirken, doch dabei nur eine secundäre, begleitende Rolle ausüben, während *B. Termo* der primäre Erreger der Fäulniss, das eigentliche saprogene Ferment ist.

2. *Bacterium Lineola*. (*Vibrio lineola* Ehr. ex parte *Vibrio tremulans* Ehr. *Bacterium triloculare* Ehr. *Vibrio Lineola* Duj. *Vibrio Lineola* Müller.)

Unter dieser Bezeichnung verstehe ich die Stäbchen, welche dem *B. Termo* in allen Beziehungen ähnlich, aber bedeutend grösser und zwar nicht bloss länger, sondern auch verhältnissmässig breiter sind, weshalb ich sie, zugleich mit Rücksicht auf ihr Vorkommen, nicht für eine Entwicklungsform von *Termo* halte. Ich finde sie in Brunnen- und anderem stehenden Wasser, auch wenn keine Fäulniss sich bemerkbar macht, aber auch in schleimigen Haufen auf der Oberfläche der Kartoffeln und in Infusionen verschiedener Art. Die Zellen sind deutlich cylindrisch, etwa vier Mal so lang, als breit, gerade, selten etwas gekrümmt und besitzen einen stark lichtbrechenden, weichen, mit fettartigen Körnchen reichlich durchsetzten und daher dunkelpunktirten Inhalt, ihre Länge beträgt 3,8 bis zu 5,25 Mikrom., die Breite bis 1,5 Mikrom (Tab. III. fig. 11). Sie finden sich einzeln oder paarweise aneinanderhängend, oft ein gekrümmtes Doppel-Stäbchen, ausnahmsweise auch zwei Doppelpaare, nie aber längere Fäden bildend; sie bewegen sich wie *B. Termo*, doch kräftiger, mit dem einen Ende zitternd, als ob sie eine Geissel hätten, oder in Bogenlinien umherschwimmend, abwechselnd nach vorwärts und rückwärts, dann wieder springen sie ein Stück weiter und setzen unmittelbar darauf ihre Kreisbahn fort, oder rotiren um einen fixirten Endpunkt gleich einem Kurbelarm. Auch *B. Lineola* bildet Zoogloeagallert von ähnlicher Form wie *B. Termo*, wie ich schon in meiner ersten Abhandlung von 1853 (Nova Acta l. c. p. 124) hervorgehoben und im ersten Hefte dieser Beiträge p. 129 genauer geschildert habe (Tab. III. fig. 12). Ich beobachtete an solcher Zoogloea, dass die in der wasserhellen ziemlich lockeren Gallert eingebetteten, unbeweglichen Stäbchen plötzlich anfangen sich zu drehen, mit dem einen Ende bohrende Bewegungen zu machen, und dann davon zu schwimmen; selbst in der Theilung begriffene Doppelstäbchen traten aus der Gallert und bewegten sich fort; sind die einfachen Stäbchen etwas gekrümmt, oder die Doppelstäbchen gekniet, so erregen sie beim Rotiren wohl den Anschein einer Schlängelung, welche Ehrenberg veranlasste, diese durchaus starren Zellen unter seine Vibrionen zu stellen. Ehrenberg bezeichnete dieselben anfangs als *Bacterium*, später als



*Vibrio tremulans*, deren Länge er auf  $\frac{1}{288}''' = 7-8$  Mikrom. angiebt, doch wird auch die Grösse von *Vibrio Lineola* zu  $\frac{1}{300} - \frac{1}{1000}''' = 6-2$  Mikrom. bestimmt, so dass er unter *V. Lineola* die kleinere Form von *B. Termo* mit der grösseren zusammenzuwerfen scheint. Ich habe deshalb mit Dujardin den schon von O. F. Müller gegebenen Namen *Lineola* für die grösseren Formen beibehalten, sie aber zur Gattung *Bacterium* als besondere Art gestellt; möglich übrigens dass noch verschiedene Formen von mir unter *B. Lineola* zusammengefasst werden, und dass insbesondere eine besonders grosse und elliptische Form als *B. tremulans* unterschieden werden könnte. Ob *B. Lineola* ein spezifisches Ferment darstellt, ist nicht bekannt. —

Zu den echten Baeterien gehört nach der Ansicht von Hoffmann und Anderer auch das Ferment der Milchsäure. Pasteur, der Entdecker des Milchsäure-Ferment (ferment lactique, gewöhnlich, doch nicht correct, als Milchsäurehefe übersetzt) beschreibt dasselbe als petit végétal microscopique, als „champignon“, mit kürzern, in der Mitte schwach eingeschnürten Gliedern, als seien zwei Punkte mit einander verbunden (articles à peine étranglés vers leur milieu (Compt. rend. de l'Ac. de Paris 18. Jan. 1864); die Abbildung (l. c. Fig. 12) stellt anscheinend *B. Termo* vor; doch finden sich auch Ketten von vier Gliedern, die auf eine Kugelbaeterienform deuten. Meine Untersuchungen über das Ferment der Milchsäure sind nicht abgeschlossen. Verfolgt man das Sauerwerden der Milch unter dem Mikroskop, so hindern die in allen Grössen vorkommenden Butterkügelchen, so wie die Pseudobaeterien der sich abscheidenden Caseinmoleküle jedes klare Bild; zeitig treten neben andern Organismen insbesondere Kugelbaeterien und *B. Termo*, weit später in der Regel auch *Oidium lactis* auf. Stellt man eine Lösung von käuflichem Milchzucker (1 bis 2%) bei warmer Temperatur an die Luft, so wird sie innerhalb weniger, 3—4 Tage, auch ohne Zusatz eines Ferments, trübe und sauer; es entwickeln sich zahllose Baeterien (*Termo*), aber auch Mycelien, Hefearten und andere Gebilde, die schliesslich einen dicken, kreideartigen Absatz bilden. Es muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben, welches von diesen Organismen das eigentliche Ferment ist, durch dessen Thätigkeit sich der Milchzucker in Milchsäure verwandelt, und welche nur secundäre Begleiter sind; da beim Gerinnen der Milch eine grosse Menge verschiedenartiger Vorgänge mit oder nacheinander stattfinden, so ist der Antheil der einzelnen Fermente schwer festzustellen. Mir selbst fielen in sauer werdender Milch insbesondere kuglige Zellchen auf, denen des Harnferment nicht unähnlich und, wie diese, in Rosenkranzketten aus 2, 4, 8 und mehreren Gliedern in Torulaform zusammen-

hängend. Eine am 20. Februar angestellte Milchzuckerlösung (2%) war am 24. Februar trübe, am 27. stark sauer geworden; ihr Absatz (Tab. III. Fig. 5) bestand hauptsächlich aus Häufchen kugliger, nach Art der Bierhefe oder rosenkranzförmig aneinanderhängender Zellen von 1,5 — 2 Mikrom. Durchmesser, neben Mycelfäden u. s. w. Pasteur giebt an, dass das Gerinnen der Milch in der Regel von der Milchsäure herrühre, welche durch das ferment lactique aus dem Milchzucker der Milch gebildet wird; aber auch alkalische oder neutrale Milch gerinne, wenn dieselbe mit „Vibrionen“ in Berührung kommt, welche eine specifische, dem Lab analoge Wirkung auf das Casein äussern (Ann. Chem. et Phys. 1862 p. 58). Diese Vibrionen, welche durch Kochen nicht getödtet werden, wohl aber durch ein Erhitzen bis auf 105° C., halte ich für die Bacterien der Buttersäure (*B. subtilis*). Wenn sauer gewordene Milch nach längerer Zeit unter Fäulniss alkalisch wird, so entwickeln sich in ihr nach Hoffmann agile Bacterien (Bot. Zeit. 1869 p. 322).

Auch das eigentliche Ferment der Essigsäure ist botanisch nicht sicher festgestellt. Aeltere Beobachter z. B. Kützing beschreiben die „Essigmutter“ als eine knorpliche Algengallert (*Ulvina aceti*), in welcher kuglige Zellen in zahlloser Menge eingelagert sind. Pasteur bezeichnet das Essigferment als *Mycoderma aceti*, es besteht nach ihm aus kurzen (1,5 Mikrom.) in der Mitte eingeschnürten Gliedern, die doppelt so lang, als breit, rosenkranzförmig, oft zu langen Ketten verbunden sind und ein Häutchen an der Oberfläche bilden; das Essigsäure-Ferment ist nach Pasteur dem Milchsäure-Ferment sehr ähnlich, vielleicht mit ihm identisch, doch sind die Glieder des Milchsäure-Ferments gewöhnlich länger und minder regelmässig eingeschnürt. Gewöhnlich wird als Essighefe (*Arthroccoccus*) jene eigenthümliche Form des Hefepilzes bezeichnet, deren baumartig verzweigte Zellen oblong oder cylindrisch gestreckt sind und die auf der Oberfläche sauer gewordener geistiger Flüssigkeit, insbesondere des Biers, schwimmen. Pasteur bildet diesen „*Arthroccoccus*“ (Compt. rend. 18. Jan. 1864. Fig. 2, 5) als eine Form der Weinhefe ab, die er *Mycoderma vini* nennt; er giebt an, dass dieselbe nicht an der Essigbildung theilhaftig sei, vielmehr der Entwicklung des Essigferments entgegenwirke und das Bouquet des Weines entwecke. Auch Rees, der diese Hefe als besondere Species, Kahmpilz, *Saccharomyces Mycoderma*, beschreibt und abbildet (Botan. Untersuchungen über die Alcoholgährungspilze 1870), hält dieselbe an der Essigbildung höchst wahrscheinlich nicht theilhaftig.

Ich finde, dass sauer gewordenes Bier sich in der ganzen Masse trübt und mit einem Häutchen bedeckt; die Trübung beruht, von

den ovalen *Sacharomyces* und den elliptischen Kahmpilz-Zellen abgesehen, auf der ungeheuren Vermehrung von elliptischen beweglichen Bakterien, welche dem *B. Termo* entsprechen (Fig. 8), doch etwas grösser, als die gewöhnliche Form, meist paarweise im Bogen zusammenhängen, seltener zu vier, wenn zwei eben getheilte Zellen bereits selbst wieder in Theilung getreten sind. Ihre Bewegung ist wie gewöhnlich, bald zitternd, bald rasch schwärmend, bald der Quere nach kurbelartig gedreht, oft so rasch wie ein Kreisel. Vermehrt sich die Essigsäure, so verlieren sie ihre spontane Beweglichkeit und zeigen nur Molecular-Bewegung. Diese Stäbchenbakterien erfüllen die ganze Flüssigkeit; ausserdem finde ich längere zu *Leptothrix*-fäden gereihte *Bacillus*-stäbchen, doch letztere nur vereinzelt. Das Häutchen an der Oberfläche besteht aus denselben Bakterien, die unbeweglich, in parallelen, geraden und gekrümmten Linien aneinander gereiht sind (Fig. 10); diese Form scheint Pasteur als *Mycoderma aceti* abgebildet zu haben. Ausserdem finden wir kuglige Zoogloeamassen, theils dicht erfüllt von den elliptischen Bakterien, theils einer *Micrococcus*-art angehörig und aus runden Pünktchen gebildet. Auf jeden Fall erfordert das Essig- und Milchsäure-Ferment noch neue Untersuchungen.

Auch als chromogenes Ferment scheinen gewisse Stäbchenbakterien zu wirken. Wenigstens wird der Farbstoff der gelben und der blauen Milch seit Ehrenberg der physiologischen Thätigkeit von Bakterien (*Vibrionen* nach Ehr.) zugeschrieben; Schroeter (p. 120 und 124 dieses Hefts) bezeichnet dieselben als *Bacterium xanthinum* und *syncyanum*, die Bakterien, welche nach seinen Beobachtungen das Pigment des blaugrünen Eiter erzeugen, als *Bacterium aeruginosum* (l. c. p. 126).

### 7. Fadenbakterien, *Desmobacteria*.

Diese dritte Tribus der Bakterien umfasst zwei Gattungen, von denen die erste grade Fäden besitzt und von mir als *Genus Bacillus* unterschieden, die zweite wellig gebogene oder gelockte, welcher ich den alten, jedoch in einem andern Sinn aufgefassten Namen *Vibrio* beigelegt habe.

Alle Fadenbakterien bestehen aus verlängerten cylindrischen Gliedern, welche, wenn sie isolirt vorkommen, dem *Bact. Lineola* ähnlich sind, durch Quertheilung aber vermehrt, sich zu längeren oder kürzeren Ketten oder Fäden aneinanderreihen; diese Fäden sind jedoch nicht an den Gelenken eingeschnürt wie die Rosenkranzketten (*Torula*-form) der Kugelbakterien, sondern durchweg walzenrund, wie *Oscilla*-



rien, an die sie sich zunächst anschliessen; sie werden in diesem Zustand als Leptothrixfäden bezeichnet. Die Fadenbakterien bilden oft Schwärme, nie aber, wie ich schon in einer Abhandlung von 1853 (Nov. Act. l. c. p. 124) hervorgehoben, Zoogloea-Gallert; doch wechseln auch bei ihnen bewegliche und unbewegliche Zustände, je nach der Anwesenheit oder dem Mangel an Sauerstoff, der Reaction des Mediums und andern noch unerforschten Bedingungen; gewisse Arten scheinen nie bewegt zu sein (*Bacteridium* Dav.)

Auch bei den Fadenbakterien ist es schwierig, Grenzen zwischen den verschiedenen Formen zu ziehen und sie in distincte Arten zu vertheilen. Die Unterschiede, welche wir beobachten, beruhen theils in der Stärke der Fäden, die von der unmessbaren feiner Haarstriche bis zur messbaren Breite von circa 1,5 Mikrom. variirt, und in der Länge derselben, die von der Länge und der Zahl der zur Kette verbundenen Glieder abhängt; theils in der grösseren oder geringeren Flexilität, die bei einzelnen Formen ganz fehlt, bei andern sehr lebhaft ist und an die flexilen Beggiatoen erinnert; theils endlich in der graden Richtung oder mehr oder weniger wellenförmigen Biegung der starren Fäden. Die wellenförmigen Fäden sind es, welche bei ihrer Rotation um die Längsachse oft täuschend den Anschein fortschreitender Undulation oder der Schlängelung gewähren, und dadurch Ehrenberg veranlasst haben, diese optische Täuschung zum Charakter seiner Gattung *Vibrio* zu machen. Die wirklichen Biegungen, welche nur bei längeren Fäden beobachtet werden, sind theils passive, theils spontane, aber, nur wie in den Oscillarienfäden, in unregelmässigem Wechsel den ganzen Faden krümmend und streckend, nicht aber die formbeständigen Wellen alterirend.

Wir unterscheiden zwei Gattungen:

a. Fäden grade: *Genus Bacillus*.

Fäden sehr dünn und biegsam: *Bacillus subtilis*.

Fäden dicker und steif: *Bacillus Ulna*.

Hierher gehören auch die Bacteridien des Milzbrands (*B. Anthracis*), die nach ihrer morphologischen Beschaffenheit sich an *B. subtilis* schliessen, wegen ihrer pathogenen Bedeutung und ihrer Unbeweglichkeit aber als selbstständige Art zu betrachten sind.

b. Fäden wellenförmig gebogen: *Genus Vibrio*.

Fäden dicker mit einfacher Biegung: *Vibrio Rugula*.

Fäden dünn mit mehreren Wellenbiegungen: *Vibrio serpens*.

a. Gattung *Bacillus*.

1. *Bacillus subtilis* (*Vibrio subtilis* Ehr.) Buttersäure-Ferment, *ferment butyrique* Pasteur.

Ehrenberg findet diese Art in der Ruhe ganz steif und grade (*filis tenuissimis rectis*), bei der Bewegung jedoch gradlinig schwimmend und dabei zitternd, wenn auch ohne schlangenartige Bewegung, was er von einer Verschiebung der angeblich kugligen Fadenglieder ableitet; die Länge wird auf  $\frac{1}{36}$ ''' (60 Mikrom.) die Dicke auf  $\frac{1}{2000}$ ''' angegeben, doch zeigt die Abbildung auch Stäbchen, die nur die Hälfte oder  $\frac{1}{4}$  der Länge haben; Dujardin zieht den *Vibrio subtilis* unter die problematischen Arten, die er nicht für Thiere, sondern für Oscillarien hält.

Ich selbst finde die Ehrenbergsche Form als eine in Infusionen, meist zugleich mit *B. Termo* und anderen Bacterien sehr verbreitete, bei der Buttersäuregährung aber, und in anderen Verhältnissen, wo *B. Termo* sich nicht entwickelt, auch ausschliesslich vorkommende Art (Tab. III. Fig. 14).

Die Fäden sind sehr dünn und zart, so dass die Grenze der Gliederungen nicht leicht erkannt wird; nur bei der Quertheilung und beim Lostrennen der Stücke überzeugt man sich, dass die einzelnen Glieder in der Regel 6 Mikrom. lang sind; wir finden diese bald isolirt, und dann von denen des *B. Lineola* schwer zu unterscheiden; gewöhnlich aber Doppelglieder von 12 Mikrom., oder zu dreien (dann 16 Mikrom. lang), und in längeren Reihen; ich habe Fäden von 26, 40, 66 und selbst von 132 Mikrom. Länge gemessen; letztere mögen vielleicht aus mehr als 20 Gliedern bestehen. Die Dicke der Fäden ist nicht direct zu messen, so zu sagen haardünn; der Inhalt zeigt keine Körnchen. Die Fäden sind in hohem Grade, activ und passiv flexil, was ihren Bewegungen einen sehr eigenthümlichen Charakter giebt.

Sie schwimmen grade aus, mit abwechselnden Ruhepausen, bald mit einer gewissen Schwerfälligkeit, bald rasch und gewandt, als bemühten sie sich durch Hindernisse ihre Bahn zu finden, wie ein Fisch, der zwischen Wasserpflanzen seinen Weg sucht; dann bleiben sie eine Zeit lang still; plötzlich zittert der Faden und schwimmt zurück ohne umzudrehen, um bald darauf wieder nach vorn zu schwimmen. Dass sie sich beständig um ihre Achse drehen, ist allerdings bei den walzrunden Fäden eben so wenig direct zu sehen, als etwa die Rotation einer Mühlwelle, sie macht sich nur durch eine Art Zittern der Fäden bemerklich; wenn aber ein Glied behufs der Theilung eingeknickt, ist die Achsendrehung unzweifelhaft. In der Regel

jedoch machen die Faden scheinbare Pendelbewegungen um einen wechselnden Punkt in der Fadenlänge, wobei das vorangehende Ende, wie tastend einen kürzeren Bogen beschreibt als das hintere, das, weil es einen grösseren Kreis durchläuft, sich auch rascher bewegt und daher schwerer fixirt werden kann. Bei lebhafter Pendeldrehung wird der biegsame Faden in Folge des Widerstandes des Wassers passiv gebengt; aber auch activ zeigen namentlich die längeren Fäden spontane flexile Beugungen, indem die beiden Enden sich etwas nähern, wie ein Stab, der sich zum flachen Bogen krümmt; dann schlägt sich der Bogen im Kreise nach der entgegengesetzten Seite; dann streckt er sich wieder grade; in sehr langen Fäden folgen mehrere Biegungen hintereinander in weiten Wellen, wie die vom Winde bewegten Aehren im Kornfeld; echte kurze Schlängelung kommt nicht vor. Beobachtet man die Fäden längere Zeit unter dem Deckglas, so werden die Bewegungen langsamer, durch längere Ruhepausen unterbrochen, ohne doch ganz aufzuhören.

Schon oben habe ich die Vermuthung ausgesprochen, dass bei dieser Art die Bildung von ölhaltigen Dauerzellen oder Gonidien in den Fäden vor sich gehen könne, und dass diese kugligen oder ovalen Gonidien beim Keimen zu jenen beweglichen geschwänzten Formen sich entwickeln möchten, welche ich unter Fig. 13 Tab. III. abgebildet habe?

Pasteur beschreibt das von ihm entdeckte Ferment der Buttersäuregährung als lange dünne bewegliche Vibrionen, die ihre Körper beugen können (effort, qu'ils paraissent faire volontairement au moment de la reproduction); seine Abbildung (Compt. rend. 18. Jan. 1864 Fig. 14) zeigt deutlich erkennbar unseren *B. subtilis*. Dass in der That diese Art bei der Buttersäuregährung betheiligt ist, habe ich, noch ehe ich Pasteur's Abbildung kannte, aus der Thatsache geschlossen, dass bei Lupinen und Erbsen, welche mit destillirtem Wasser in einem zugeschmolzenen Glas-Kölbchen bis auf circa 80° erhitzt wurden, und in Folge dieser hohen Temperatur, durch welche *B. Termo* in der Regel getödtet wird, und des Luftmangels in Buttersäuregährung übergingen, ausschliesslich *B. subtilis* und kein *B. Termo* sich entwickelte, wie ich später noch nachweisen werde.

Pasteur erwähnt auch in seiner Abhandlung über *Generatio spontanea* (Ann. de Chem. et de Phys. 1862 p. 60), dass gekochte Milch sich nach einigen Tagen mit kleinen Vibrionen füllt, die er als eine Varietät des *B. Lineola* bezeichnet, die aber nach der Abbildung unser *Bacillus subtilis* sind; sie wurden erst durch eine Temperatur von 105° getödtet.



Auch die von Rindfleisch in seinen „Untersuchungen über niedere Organismen“ (Virchow's Archiv Bd. 54. 1872) erwähnten und auf Tab. XVIII. fig. 2—5 abgebildeten Bacterien, deren längere Fäden, wie ich glaube mit Unrecht, derselbe von der Verschmelzung mehrerer anfänglich getrennter Glieder ableitet, halte ich für *B. subtilis*; die nämliche Art hat Hoffmann (l. c.) unter Fig. 5 abgebildet, ohne sie von *B. Termo* zu trennen.

2. *Bacillus Anthracis*. Die Bacteridien des Milzbrandes sind zwar von mir selbst nicht untersucht worden; die von Davaine gegebene und auch von dem neuesten Bearbeiter Bollinger (Medizin. Centralblatt 29. Juni 1872) bestätigte Beschreibung zeigt jedoch, dass sie abgesehen von Vorkommen und Fermentwirkung, sich kaum von *B. subtilis* unterscheiden. Davaine beschreibt dieselben als steife Fäden von 4—12, ja bis 50 Mikrom. Länge und fast unmessbarer Breite, nur selten leicht gekrümmt oder gekniet; Bollinger giebt an, dass sie frisch ungegliedert und homogen scheinen, dass man aber bei geeigneter Methode Hülle und Plasma unterscheiden und die Gliederung der Stäbchen in kurz cylindrische Zellen erkennen kann, letztere kommen auch isolirt vor, und stellen die Bacterien-Keime dar; von anderen Bacterien sollen sie sich wesentlich durch eine grössere Gleichmässigkeit der Form und durch ihre Unbeweglichkeit unterscheiden; doch ist letztere auch bei *B. subtilis* zeitweise wenigstens, und unter Umständen gewiss auch dauernd vorhanden.

3. *Bacillus Ulna*. Unter diesem Namen bezeichne ich die steiferen und dickeren Kettenfäden, die durch ihr dichtes feinkörniges Plasma sich unmittelbar an die Oscillarien-Gattung *Beggiatoa* anschliessen und nur durch die kurzen stabförmigen, leicht in kürzere Glieder zerbrechenden Fäden sich unterscheiden (Tab. III. fig. 15.)

Ich beobachtete solche, durch ihre Dicke auffallende Gliederstäbe, theils zerstreut unter anderen Arten, theils und zu Zeiten vorherrschend oder ausschliesslich; so trübte sich zum Beispiel am 21. Nov. 1871 das Wasser (10 gm.) in einem Reagenzglas, welches zwei Tage vorher auf gekochtes Hühnereiweiss gegossen und noch einmal mit diesem aufgekocht, seitdem aber offen stehen geblieben war; die Trübung rührte her von zahllosen Stäben, welche lebhaft und kräftig bewegt, aber steif und wenig flexil, eine distincte Membran und ein dichtes Protoplasma mit dunklen Körnchen deutlich unterscheiden liessen; die einzelnen Glieder waren 10 Mikrom. lang und gegen 2 Mikrom. breit, sie bildeten gerade oder zickzackartig gebrochene Ketten von 2—4 Gliedern, welche deutlich abgesetzt waren; die viergliedrigen Ketten hatten demnach eine Länge von 42 Mikrom. und zeigten um so

wunderlichere Bewegungen, als nicht nur der gesammte Faden rotirte, sondern auch die einzelnen Glieder, indem sie sich zu trennen suchten, an den Gelenken divergirende Bewegungen vollzogen. Schon am 26. Nov. waren alle todt und lagen am Boden in Häufchen, in den zersetzten Fäden traten grössere Tröpfchen hervor; an ihrer Stelle vermehrte sich nun im Wasser *B. subtilis*. Andere gleichzeitig hingestellte Gläser mit gekochtem Eiweiss entwickelten zwar auch Bakterien, aber keine von dieser riesigen Bacillusform.

Ehrenberg giebt von „*Vibrio Bacillus*“ an, dass die Stäbchen langsam fortgleiten, ohne sich zu schlängeln, sich aber zuweilen etwas, doch nie lebhaft schlängeln; ich selbst halte dies für unmöglich. Die Länge der Stäbchen wird von Ehrenberg auf  $\frac{1}{24}$ ''' (80 Mikrom.), die Dicke auf  $\frac{1}{1440}$ ''' angegeben; Dujardin, der unseren *V. subtilis* nicht davon unterscheidet, giebt nur die Hälfte dieser Dimensionen an. Von einer Zusammensetzung aus kugligen Gliedern, die Ehrenberg erwähnt, konnte ich nichts wahrnehmen.

#### b. Gattung *Vibrio* char. emend.

Die beiden hierhin gestellten Arten sind durch die formbeständigen Wellenbiegungen der Fäden charakterisirt, welche bei der Rotation den Anschein der Schlängelung hervorrufen und bilden daher den Uebergang zu den Schraubenbakterien oder Spirillen.

1. *Vibrio Rugula*. Die Fäden dieser Art sind 8—16 Mikrom. lang, mit feinpunktirtem körnigem Inhalt, und weichem dichten Protoplasma; sie sind fast noch einmal so dick wie *Bacillus subtilis*, und unterscheiden sich noch besonders dadurch, dass sie stets schwach aber deutlich ( oder ) förmig gebogen sind, meist derart, dass der Faden in der Mitte wie ein Violinbogen eine flache Curve zeigt, während die Enden fast grade sind (Tab. III. Fig. 16). Wenn der Faden langsam um die Längsachse rotirt, so macht er den Eindruck eines in Bewegung gesetzten Centrubolrers; bei sehr rascher Drehung ist er scheinbar grade und dann mit *B. subtilis* zu verwechseln, sobald aber die Geschwindigkeit etwas nachlässt, sieht man die Biegung gleichzeitig nach beiden Seiten, als befände sich eine Anschwellung in der Mitte (Fig. 16\*), wie sie auch von Dujardin (unter *Lineola*) beschrieben wird; der Eindruck häufiger Schlängelung mit mehreren kurzen Biegungen entsteht, wenn gleichzeitig rasches Vorwärtsschwimmen stattfindet, und daher der Eindruck mehrerer Ortslagen simultan empfunden wird. Die kleinsten Stücke dieses *Vibrio* besitzen bereits eine schwache Bogenkrümmung, ich maass Längen von 8, 9.6, 10.4, 14.4, 17.6 Mikrom.; die letzteren waren in der Theilung begriffen,

die Doppelstäbchen oft im Winkel gekniet, mit selbstständiger Bewegung der beiden Hälften. Längere kommen nicht vor; wohl aber kürzere Formen, die sich besonders rasch der Quere nach wie eine Kurbel drehen oder der Länge nach wie ein behender Aal dahin schwimmen; sie zeigen die Form eines S und eine Welle auf etwa 5 Mikrom. Länge. *Vibrio rugula* vereinigt sich in zahllosen Schwärmen, die sich unter einander verfilzen, und die schon Müller mit Bienenschwärmen verglich; die abgestorbenen Stäbchen bilden Häute. Leenwenhoek entdeckte vermuthlich diese Art im Zahnschleime und in den Fäces bei einer Diarrhöe (animalcula ad instar anguillarum), Ehrenberg, der sie genauer beschreibt, bemerkt, dass sie leicht mit *Bacillus* zu verwechseln sind, (wenn der Bogen sich in eine Ebene projicirt, oder in Folge sehr rascher Rotation wie ein solider Cylinder aussieht), er giebt die Grösse der Stäbchen auf  $\frac{1}{96} - \frac{1}{48}'''$ , unterscheidet sie jedoch nicht von der folgenden Form. Dujardin giebt an, dass die Art 5—8 inflexions zeigte, was auch nur von der folgenden gilt; und dass sie sich abwechselnd zusammenschraubt und einbiegt (resserre et infléchi son corps), was jedoch nicht der Fall ist.

2. *Vibrio serpens* (Tab. III. Fig. 17) unterscheide ich nach dem Vorgange von O. F. Müller dadurch von *V. Rugula*, dass letzterer in jedem Gliede eine einzige oder  $1\frac{1}{2}$  Biegungen zeigt, während die fast um die Hälfte dünneren, nicht flexilen, lockenähnlichen Fäden von *V. serpens* mehrere flache regelmässige formbeständige Wellenbiegungen (in der Regel 3—4) besitzen, bei ihrer Rotation daher entweder 3 oder 4 scheinbare Undulationen oder, bei rascherer Drehung, ebenso viele Anschwellungen zeigen; die kürzesten Glieder sind noch in doppelter Welle gebogen, doch finden wir auch Ketten von 2—4 mitunter geknieten Stücken, die demnach auch eine beträchtlichere Länge und viele Wellen zeigen; ich maass gelockte Fäden von 11.5, 13, 15.6, 19.5, 20.8, 25.7 Mikrom., die Distanz zwischen zwei Wellen beträgt 5—6 Mikrom. Dujardin giebt 23—26 Mikrom. oder 10—15 Wellen an.

Die Bewegung ist, abgesehen von den scheinbaren Undulationen, mit der von *subtilis* übereinstimmend; einen sonderbaren Anblick gewähren Schwärme (Fig. 18) von Millionen dieser Wellenfäden, die sich unter einander verfilzen und wieder entwirren; auch bilden dieselben manchmal lange Stränge, wo unzählige zitternde Stäbchen fast parallel nebeneinander gedrängt sind.



## 8. Schraubenbakterien, Spirobacteria.

Die vierte Tribus der Schraubenbakterien schliesst sich innig an *V. serpens*, der sogar vielleicht besser zu ihr zu stellen ist; sie unterscheidet sich äusserlich von unserer Gattung *Vibrio* durch die dichter und enger gewundene, regelmässige, formbeständige Schraube des Fadens; hierzu kommt, dass ich bei einer Art, *Sp. volutans*, in den flexilen Geisseln eine Organisation beobachtet hatte, welche den übrigen Bakterien bisher fremd war, und die Abtrennung der mit solchen Bewegungsorganen versehenen Arten trotz der äusseren Uebereinstimmung erfordert. Allerdings habe ich diese Geisseln nur bei der grössten Art der Spirillen bis jetzt aufgefunden, doch stimmen die übrigen anscheinend so vollkommen mit dieser überein, dass der nämliche Charakter auch bei ihnen vermuthet werden darf; es muss allerdings der Zukunft überlassen werden, ob nicht, wie Ehrenberg stets behauptet hat, sich die Anwesenheit der Geissel auch noch bei den anderen Gattungen der Bakterien wird nachweisen lassen.

Die vier Arten der Schraubenbakterien, welche ich mit Ehrenberg unterscheide, sind sämmtlich leicht kenntlich; sie kommen gewöhnlich gesellig untereinander vor, doch kann ich mich nicht überzeugen, dass dieselben nur Varietäten oder Alterszustände einer einzigen Species seien. Soviel ich glaube, erscheinen die Spirillen nicht in allen, insbesondere nicht in künstlichen Aufgüssen, sondern nur in solchen, zu denen Flusswasser genommen, so dass ihre Keime nicht durch die Luft, sondern durch das Wasser verbreitet scheinen. Eine eigenthümliche Fermentwirkung ist bei ihnen nicht ermittelt.

Wir unterscheiden nach Ehrenberg zwei Gattungen der Schraubenbakterien:

- a. *Spirochaete* mit flexibler und langer eng gewundener Schraube.
- b. *Spirillum* mit starrer kürzerer und weitläufigerer Schraube.

### a. Gattung *Spirochaete*

umfasst nur eine Art *Spirochaete plicatilis* (Tab. III. Fig. 22), welche ich in meiner Abhandlung von 1853 so ausführlich besprochen habe, dass ich hier nichts nachzutragen finde (l. c. p. 125 Tab. 15. Fig. 10). Sie hat von allen Spirillen die lebhaftesten Rotations- und Flexilitäts-Bewegungen, und ist ziemlich selten. Nenerdings habe ich die *Spirochaete* auch im Zahnschleim aufgefunden. Wunderlich ist die von Polebotnow und Wiesner („Mikroskopische Untersuchungen.“ Stuttgart 1872. p. 134) ausgesprochene Ansicht, dass *Sp. plicatilis* nichts anderes „als eine zarte spiralartige Gefässverdickung sei.“

b. Gattung *Spirillum*.

1. *Spirillum tenue* (Fig. 19), schliesst sich in der Dünne der Fäden zunächst an *V. serpens*, und bildet, wie dieser, dichte Schwärme und eng gedrängte kugelige Haufen, in denen sie fast unbewegt in einander verfilzt sind; Ehrenberg hat mit gewohntem Scharfblick diese Art erkannt und kenntlich abgebildet: filamentis leviter tortuosis (légèrement tortueuses) tenuissimis aufractibus saepe 3—4. Dujardin giebt an, *Sp. tenue* Ehr. sei um die Hälfte stärker als *Undula*; nach Ehrenberg's Text und Abbildung ist jedoch das Gegentheil der Fall. Dujardin vereinigt deshalb ohne Grund *Sp. tenue* mit *Sp. Undula*; seine Figuren zeigen jedoch nur die Form des *tenue*. Die charakteristische Schraubenbewegung der Spirillen ist bei dieser haardünnen Art, die ich Wochen lang zu Millionen in jedem Tropfen eines Aufgusses herumschwärmen sah, ganz besonders rasch, dass sie wie der Blitz hin und her zucken, und dem Beobachter kaum zum Bewusstsein kommen. Die Höhe der eleganten Schraubengänge beträgt 2—3 Mikrom., der Durchmesser derselben etwa eben so viel; der Faden zeigt mindestens  $1\frac{1}{2}$  Windung und ist dann einem Häckchen oder  $\lambda$  oder  $\Omega$  ähnlich; noch häufiger sind jedoch Fäden mit 2, 3, 4, 5 Windungen, daher die Länge 4 bis 15 Mikrom. beträgt.

2. *Spirillum Undula* (Fig. 20) unterscheidet sich durch stärkere Fäden mit etwas weiterer Windung; jeder Schraubengang hat 4 bis 5 Mikrom. Höhe und Durchmesser. Gewöhnlich finden sich Glieder von nur einer halben oder einer ganzen, selten von  $1\frac{1}{2}$  bis 2, ja 3 Spiralwindungen; längere habe ich nicht beobachtet; die überaus rasche Bewegung gestattet kaum ein einzelnes Spirillum längere Zeit zu fixiren; meteorartig fahren sie durch das Gesichtsfeld; bald schnellen sie in ununterbrochenem Rollen dahin wie eine losgelassene Spiralfeder; dann mit dem einen Ende sich festhaltend, machen sie mit dem andern Kreisbewegungen wie eine um einen Faden gedrehte Schleuder; dann wieder sich losmachend schrauben sie sich nach einer anderen Richtung fort; bei langsamerer Drehung erhält man den Eindruck, als ob an den Enden Wirbel durch Geisselfäden erregt werden, doch konnte ich zu keiner Ueberzeugung gelangen. O. F. Müller und Ehrenberg haben *Sp. Undula* schon charakteristisch aufgefasst (filis valde tortuosis, brevibus validioribus, aufractu simplici vel sesquiplici Ehr.) Ehrenberg's *Vibrio prolifer* kann ich von *Sp. Undula* nicht unterscheiden.

3. *Spirillum volutans* (Fig. 21). Diese grösste der Spirillen (filis valde tortuosis, robustis et elongatis Ehr.), der Riese unter den Bakterien, ist ebenfalls schon von O. F. Müller und Ehren-

berg unterschieden, letzterer bildet die Form auch so charakteristisch ab, dass sie auf den ersten Blick wiederzuerkennen ist. Dujardin dagegen scheint *Sp. volutans* gar nicht beobachtet zu haben; denn er erwähnt zwar im Text eine Form dieses Namens, die er im Meerwasser, wie in Aufgüssen von Insecten und Conferven gefunden; seine Abbildung jedoch (Pl. I. Fig. 9) giebt durchaus nicht den Charakter der grossen Schraubenwindungen, sondern die zarten Spiralen von *Sp. tenue* wieder; sie ist, wie fast alle Bacterien-Zeichnungen von Dujardin, für das Wiedererkennen unbrauchbar.

Ich habe *Spirillum volutans* zuletzt seit dem 29. Juli dieses Jahres mehrere Wochen lang in einem Aufguss todter Süsswasserschnecken untersucht, in dem sich diese Art zugleich mit *Sp. tenue*, *Undula*, *Vibrio serpens* und *Rugula* ungeheuer massenhaft entwickelte, und durch Zufügung neuer Nahrung auch in steter Vermehrung erhalten hatte; es liess sich hierbei die Beständigkeit dieser, einander anscheinend so nahe stehenden Arten feststellen. *Sp. volutans* zeichnet sich nicht blos durch die bedeutendere Dicke seiner Faden aus, die zwar etwas variirt, doch 1,5 Mikrom. sicher erreicht so wie durch den dichten, dunkelkörnigen Inhalt, den bereits Ehrenberg bemerkt, sondern auch durch die weit und regelmässig pfropfenzieherartig gedrehte Spirale, deren Höhe 13,2 Mikrom., deren Durchmesser, aber nur die Hälfte, 6,6 Mikrom. beträgt. Eine Windung von *Sp. volutans* ist etwa gleich hoch wie drei von *Sp. Undula*; die Schrauben sind rechts gedreht. Ich habe mich bei dieser Art ganz besonders bemüht, die von Ehrenberg angenommene Gliederung (*distincte articulata*) wahrzunehmen, aber stets vergeblich; dagegen ist die Membran vom Inhalt zu unterscheiden. Die Zahl der Windungen ist in der Regel  $2\frac{1}{2}$ , 3— $3\frac{1}{2}$ ; selten finden sich doppelte Spiralen von 6 bis 7 Windungen. Mitunter sind ein Paar um einander gewunden, gleich den Schlangen des Caduceus. (Fig. 21\*.) Die gewöhnliche Länge ist 25,4 Mikrom. bis 30 Mikrom.; bei horizontaler Lage der Schraube treten gewöhnlich zwei Wellenberge und die Anfänge eines dritten und vierten hervor. Die Theilung geschieht in der Mitte; jede der beiden Theilhälften, die auch isolirt vorkommen, hat  $1\frac{1}{2}$  bis 2 Windungen und 20 bis 23 Mikrom. Länge.

*Spirillum volutans* liegt oft längere Zeit ganz unbeweglich; plötzlich fängt es an sich zu drehen und schreitet langsam schraubend vor und rückwärts, bald schiesst es mit lebhafter Energie schnell dahin, so dass man die Schraubendrehung kaum gewahr wird; mitunter erscheint die Spirale doppelt und gekreuzt, wenn nämlich der Eindruck verschiedener Lagen gleichzeitig auf der Netz-



haut empfunden wird; offenbar liesse sich die Rotationsgeschwindigkeit der Schrauben hieraus bestimmen. Bei langsamer Drehung erhält man den Anschein, als wachse das Vorderende unter den Augen, während das hintere scheinbar eingezogen wird; ich habe diese Verhältnisse bereits vor Jahren bei *Spirulina* erläutert (Nova Acta l. c. p. 129).

Bei solchen, ihren Ort wenig verändernden, nur langsam rotirenden und hin und her wackelnden Spirillen beobachtete ich an beiden Enden einen Wirbel, und entdeckte bei genauer Untersuchung einen langen Geisselfaden an jedem Ende, der peitschenartig hin und her geschleudert oder im Bogen wie ein Lasso umhergeworfen wird. Ich habe seitdem diese Geisseln an allen Exemplaren des *Sp. volutans* erkannt. Sie erinnern dadurch wie durch ihre allgemeine Form und Bewegung in merkwürdiger Weise an die Samenfäden der Bryophyten (Moose, Characeen) die man früher für einfache, spontaner Rotation fähige Spiralfäden mit 2—3 Windungen gehalten, bis Thuret an ihnen zwei Geisseln entdeckte. Doch befindet sich bei diesen Spermatozoiden das Geisselpaar am nämlichen Ende, das dadurch als das vordere bezeichnet und von dem hinteren geissellosen verschieden ist, während bei *Sp. volutans* Vorn und Hinten völlig gleich sind. In der Ruhe sind die Geisseln haekenförmig gekrümmt.

Kein früherer Beobachter hat die Geisseln bei *Sp. volutans* wahrgenommen; dennoch ist die Entdeckung nicht neu. Ehrenberg erwähnt in seinem Infusorienwerk von 1838 p. 43 ein lange räthselhaft gebliebenes Infusorium (*Ophidomonas jenensis*), das er am 18. September 1836 bei Jena im Bassin eines Baches entdeckt und bis zum December in Berlin lebend erhalten hatte.

Eine Abbildung der *Ophidomonas* ist nicht gegeben, aber die Beschreibung des „steifen, pfropfenzieherartig gewundenen Körpers wie der durch Walzen um die Längsachse die optische Täuschung des Schlängelns bewirkenden Bewegung“, und die Dimensionen  $\frac{1}{48}'''$  (40 Mikrom.) stimmen gut mit *Spirillum volutans*. Mit merkwürdigem Scharfblick entdeckte Ehrenberg an seiner *Ophidomonas* nicht bloß die Körnchen (18—24, sogenannte Magenbläschen) sondern auch im Ruhezustand vorn einen deutlichen Wirbel, der von einem sehr feinen Rüssel verursacht wurde. Ehrenberg selbst unterscheidet *Ophidomonas* von *Spirillum* dadurch, dass letzteres, wie er sich ausdrückt, unvollkommene vielfache schiefe Quertheilung, das heisst einen gegliederten Faden besitzt, während der Körper von *Ophidomonas* in einem Panzer stecken soll und sich nur vollkommen theilt, d. h. die Hälften sich nach der Theilung trennen. Ich habe

nich in Folge dessen besonders bemüht, die von Ehrenberg bei *Sp. volutans* angegebene Gliederung der Fäden wahrzunehmen, aber trotz aller angewendeten Reagentien ohne Erfolg. Ich kann daher keinen Unterschied zwischen *Ophidomonas* und *Sp. volutans* finden und vermuthe, dass beide zusammengehören und Ehrenberg nur durch die Auffindung des „Rüssels“ bei den Jenenser Exemplaren, den er bei den übrigen Spirillen übersehen hatte, zur Aufstellung der neuen Gattung veranlasst wurde. Vielleicht ist *Ophidomonas jenensis* eine eigenthümliche Species, da sie olivenbraun sein soll, während unser *Sp. volutans* farblos ist; Ehrenberg hat später sogar eine blutrothe *Ophidomonas* (*O. sanguinea*) entdeckt. Dass *Sp. volutans* Geisseln an beiden Enden besitzt ist sehr auffallend, selbst die aus der Theilung der Schraube hervorgehenden Hälften entwickeln bald die Geisseln an beiden Seiten. Obwohl der Gedanke nahe liegt, dass auch die kleineren Spirillen Geisseln besitzen, ist es mir doch nicht, vielleicht nur ihrer Kleinheit wegen, gelungen, dieselben wirklich wahrzunehmen; bei der provisorischen Natur unserer systematischen Kenntnisse über Bacterien schien es mir jedoch nicht rathsam, *Sp. volutans* von den übrigen Spirillen generisch abzutrennen.

So lange die Verfertiger der Mikroskope uns nicht wesentlich stärkere Vergrößerungen, wo möglich ohne Immersion, zur Verfügung stellen, finden wir uns im Reiche der Bacterien in einer ähnlichen Lage, wie der Reisende, der in einem unbekannten Lande in der Dämmerung umherirrt, wo das Licht nicht ausreicht, um die Gegenstände scharf und sicher zu unterscheiden, und wo er das Bewusstsein hat, trotz aller Vorsicht, sich vor Irrwegen nicht hüten zu können.

### 9. Verwandtschaftsbeziehungen der Bacterien.

Sind die Bacterien Thiere oder Pflanzen? Ein Ueberblick über die Literatur lehrt, dass die Bacterien früher einstimmig zu den Thieren, jetzt wohl von den meisten Naturforschern zu den Pflanzen gestellt werden. Einzelne bezeichnen nach Willkühr gewisse Bacterien als Infusorien (*Microzoaires*), andere Arten, oder wohl auch die nämlichen Arten in anderen Zuständen, als Pilze (*Microphytes*); Pasteur giebt sogar an, dass die Vibrionen als Thiere des Sauerstoffs bedürfen, während die nämlichen Organismen, so weit er sie für pflanzliche Fermente hält, ohne Sauerstoff vegetiren, gegen gewisse dieser Fermente der Sauerstoff sogar Gift sei.

Ich kann in Bezug auf diese Frage nur wenig den Schlussfolgerungen zufügen, welche ich schon im Jahre 1853 zuerst ausgesprochen habe (Nova Acta I. c. p. 130):

„Die Bacterien (*Vibrionien*) scheinen alle in's Pflanzenreich zu gehören, weil sie eine unmittelbare und nahe Verwandtschaft mit offenbaren Algen bekunden.“

Dagegen haben die Bacterien keine Verwandtschaftsbeziehungen zu offenbaren Thieren. Das Thierreich beginnt mit den Infusorien, von denen die allermeisten, die *Infusoria ciliata* eine grosse Menge feiner Flimmercilien besitzen, während eine kleine Zahl, die einfachsten der ganzen Reihe, eine oder mehrere lange Geisseln führen (*I. flagellata*). Selbst die niedersten der *Infusoria ciliata* besitzen, von weiteren Organisationsverhältnissen abgesehen, einen Mund und eine Speiseröhre, durch welche sie feste Nahrung aufnehmen. Auch unter den Flagellaten haben viele Arten einen Mund, und weichen dadurch von allen Pflanzen ab; nur wenige Gattungen, die gewöhnlich zu den *Infusoria flagellata* gestellt werden, entbehren des Mundes (*Euglena* u. a.); diese werden besser mit den Pflanzen vereint. Ebenso wenig haben die Bacterien Beziehungen zu den Rhizopoden, welche einen besonderen höchst einfachen Typus thierischer Organisation repräsentiren.

Nur mit den Monaden könnte eine Verwandtschaft vermuthet werden; die Kugel- und Stäbchenbacterien lassen sich leicht mit kugligen oder elliptischen Monaden verwechseln; sollten die von mir bei *Spirillum* entdeckten Geisseln auch bei den eigentlichen Bacterien gefunden werden, wie Ehrenberg vermuthet hat, so müssten die mundlosen Arten der bisherigen Gattung *Monas* vielleicht unmittelbar mit den geisselführenden Bacterien vereinigt werden.

Die meisten Schriftsteller, welche die Bacterien zu den Pflanzen rechnen, bezeichnen sie als Pilze. Das ist richtig, wenn man unter Pilzen eben alle Zellenpflanzen oder Thallophyten zusammenfasst, welche des Chlorophylls, oder eines äquivalenten Farbstoffs entbehren und keine Kohlensäure assimiliren. Zu den typischen Pilzen jedoch, welche ein fädiges Mycel entwickeln, und sich entweder durch Basidiosporen oder durch Ascosporen fortpflanzen, haben die Bacterien keine Beziehungen.

Dagegen stimmen sie in ihrem gesammten morphologischen und entwicklungsgeschichtlichen Verhalten mit den Phycochromaceen überein, deren Zellen Phycochrom, d. h. ein Gemenge eines grünen Farbstoffs (Chlorophyll) mit einem blauen (Phycocyan) enthalten und daher in der Regel spangrün gefärbt sind. Die Phycochromaceen unterscheiden sich von den Bacterien nur dadurch, dass sie Kohlensäure assimiliren, und werden aus diesem Grunde zu den Algen gerechnet. Die Bacterien bilden den Anfang der Phycochromaceenreihe; sie sind



vermuthlich eine der ältesten Gestaltungen des organischen Lebens; sie vereinigen als eine Primordialform verschiedenartige Charaktere und stehen mit verschiedenen Familien der Phycochromaceen in verwandtschaftlicher Beziehung.

Die Kugel- und Stäbchenbakterien sind nächst verwandt mit den Chroococcaceen, jener Abtheilung der Phycochromaceen, deren Zellen isolirt vegetiren oder familienweise durch schleimige Intercellularsubstanz zu sogenannter Palmellengallert verbunden sind. Von den echten Palmellaceen unterscheiden sich die Chroococcaceen durch ihren Gehalt an Phycochrom.

Die nächste Verwandtschaft besitzen unsere Gattungen *Micrococcus* und *Bacterium* mit derjenigen Abtheilung der Chroococcaceen, bei welcher die Zelltheilung nur nach einer Richtung geschieht, während *Sarcina* sich an die Chroococcaceen mit kreuzweiser Zelltheilung (*Merismopedia*) anschliesst (vgl. Naegeli, einzellige Algen 1849 p. 56, Rabenhorst, Flora Algarum europaea vol. II. p. 6). Die Stäbchenbakterien entsprechen der Gattung *Synechococcus* (Cellulae oblongae, singulae vel 2—4 in familias seriatae) deren Arten auf feuchten Felsen blaugrüne Ueberzüge bilden, und ihrer Gestaltung nach vollständig mit *Bacterium* übereinstimmen; *Micrococcus* dagegen unterscheidet sich von *Chroococcus* nur durch die kleinen und farblosen Zellen. Die Zoogloeaartigen Gallert- und Schleimmassen finden wir in der Chroococcaceen-Gattung *Gloeothece* (*Aphanothece*, *Coccochloris*) in ganz übereinstimmender Weise. Doch ist bei letzteren ein Ausschwärmen aus der Gallert nicht beobachtet.

Gallertbildung ist übrigens ein bei niederen einzelligen Organismen häufiger Zustand, und insbesondere die Euglenen, welche gewöhnlich in lebhafter Bewegung im Wasser umher schwärmen, scheiden zu Zeiten durch Aufquellen ihrer Zellhäute einen Schleim aus, mittelst dessen sie sich zu Gallertmassen oder schwimmenden Häuten (*Microcystis Noltii*) verbinden und bewegungslos, aber in lebendiger Zelltheilung, so lange verharren, bis sie von neuem, aus der Intercellularsubstanz tretend, ausschwärmen.

Die Fadenbakterien sind, wie ich ebenfalls schon 1853 ausgesprochen, so nahe mit *Oscillaria*, und zwar mit den farblosen Arten der Untergattungen: *Beggiatoa* (mit spontan beweglichen Fäden) und *Leptothrix* (mit unbeweglichen Fäden) verwandt, dass eigentlich, abgesehen von der Kürze der Fäden, keine wesentliche Scheidung zu bestehen scheint. Die graden *Bacillus* entsprechen der Normalform von *Oscillaria*; die welligen Stäbchen von *Vibrio* finden sich bei *Oscillaria terebriformis* und verwandten Arten wieder. Die

Gattung *Spirochaete* schliesst sich untrennbar an die kleineren *Spirulina*; die Spirillen sind anscheinend nur kürzere Formen desselben Typus. Die Entdeckung der Geisseln bei *Sp. volutans*, welche dieselben an die *Flagellata* anreihet, macht allerdings die natürliche Stellung dieser Organismen wieder zweifelhaft, da keine Oscillarie Geisseln besitzt.

Der Hauptgrund, der so vielen Beobachtern es unmöglich macht, die Bacterien zu den Pflanzen zu stellen, ist die anscheinend willkürliche Bewegung. Dennoch ist nicht der geringste Zweifel, dass diese scheinbare Willkühr nur Täuschung ist. Der Begriff der Willkühr, welcher Empfindung, Bewusstsein, Ueberlegung und Wollen in sich fasst, setzt eine so complicirte psychische Thätigkeit voraus, dass von solcher bei diesen einfachen Organismen nicht die Rede sein kann. Welcher Art die spontane Bewegungskraft ist, welche die Bacterien gleich den Oscillarien und den Diatomeen, den Spermatozoiden und den Zoosporen, durch Rotation um ihre Längsachse dreht, und dadurch zugleich ihre Ortsveränderung inducirt, wissen wir nicht; aber davon sind wir überzeugt, dass dieselbe nicht in die Welt des „Willens und der Vorstellung,“ sondern in das „Reich des Unbewussten“ fällt.

Es könnte die Frage entstehen, ob nicht die Kugelbacterien mit den Alcohol-Hefepilzen (*Sacharomyces*) verwandt seien. Die eigenthümliche Art der Zellenvermehrung von *Micrococcus*, welche die Rosenkranzförmigen Reihen (Torulaform) veranlasst, kann es zweifelhaft machen, ob hier wirkliche Zelltheilung, oder nicht vielmehr Sprossung vorliegt wie bei den Hefepilzen. Der mikroskopische Anblick allein entscheidet nicht. Die Rosenkranzfäden von *Nostoc* entstehen durch Theilung; die Sporenketten von *Aspergillus* oder *Penicillium* dagegen durch Sprossung. Die *Micrococcus*zellen sind zu klein, um unter dem Mikroskop den Vorgang der Zellenvermehrung klar zu verfolgen. Es giebt allerdings Hefe(*Sacharomyces*)arten, welche ganz ähnliche Pigmenthäufchen bilden, wie *Micrococcus*. Die Rosahefe, welche Schroeter (l. c. p. 110 Anmrk.) auf Kartoffeln beobachtet, ist zuerst von Fresenius auf Kleister entdeckt und als *Cryptococcus glutinis* bezeichnet worden (Beiträge zur Mycologie Heft II.); ich ändere den Namen nach neuerer Terminologie in *Sacharomyces glutinis*. Ich habe die Rosahefe sehr häufig in kleinen rosa Pünktchen von  $\frac{1}{2}$  mm. Durchmesser bis zur Grösse von Mohnkörnern auf gekochten Kartoffeln entstehen sehen. Durch Aussaat resp. Impfung vermittelt einer Nadelspitze lässt die Rosahefe sich leicht auf frische Kartoffelstücke verpflanzen, und wächst innerhalb drei Tagen zu schön rosen-



farbenen dicken, jedoch nicht schleimigen, sondern trockenen, im Wasser, wie Stärke, in die einzelnen Zellen zerfallenden Flecken von 1 □ Cm. Fläche und darüber. Auch durch Aussaat auf chemische Lösungen (insbesondere weinsaures Ammoniak) konnte ich die Rosahefe constant vermehren; sie bildet hellrothe Ränder auf, und Absätze in der Flüssigkeit, und zeichnet sich durch kuglige oder ovale Zellen aus, die 4 Mikrom. im kürzeren, 5 Mikrom. im längeren Durchmesser erreichen und einen deutlichen Zellkern enthalten. Zusatz von Wasser verändert anfänglich die Zellen, indem es das Protoplasma contrahirt; später dehnt sich das Plasma in ihnen wieder aus; es bildet sich eine grosse, fast die ganze Zellhöhle erfüllende Vacuole, oder auch 2 bis 4 kleinere. Diese Hefezellen sprossen, wie schon Fresenius fand, auf gewöhnliche Weise, so dass zwei, selten mehr Kugeln durch Sprossung zusammenhängen; unter den grösseren finden sich auch weit kleinere Hefezellen; die Rosahefe reagirt alkalisch. Der rosa Farbstoff ist in frisch vegetirenden Hefezellen nicht wahrzunehmen; in vertrockneten Häufchen, wo die Zellen beim Befeuchten den öartigen Zellkern deutlicher hervortreten lassen, erscheint dieser Kern schwach röthlich gefärbt; in die Flüssigkeit tritt das Pigment nicht über. (Tab. III. fig. 6.)

Wenn kleine Hefezellen constant nach einer Richtung, und nicht, wie gewöhnlich, an mehreren Stellen fortsprossen, oder wenn umgekehrt Kugelbakterien verzweigte Ketten bilden könnten, was ich jedoch nie gesehen habe, so würde eine Unterscheidung beider Formen, abgesehen von den Dimensionen, gewiss nicht ohne Schwierigkeit sein. Für jetzt halte ich jedoch die Aehnlichkeit von *Sacharomyces* und der *Torulaform* des *Micrococcus* nur für eine äusserliche; dass wie Hallier, Karsten, Lüders, Huxley und Andere wollen, Bakterien und Alcoholhefe in einen und denselben Entwicklungskreis gehören, widerspricht allen zuverlässigen Beobachtungen.

Nicht minder entschieden muss ich jeden Zusammenhang zwischen Bakterien und Schimmelpilzen in Abrede stellen. Als ich diese Untersuchungen begann, stellte ich es mir zur Hauptaufgabe zu prüfen, ob Bakterien ausschliesslich aus Keimen *sui generis*, oder ob sie, wie so vielfach behauptet wird, auch aus *Penicillium* und anderen Pilzen (als *Micrococcusschwärmer*) hervorgehen können. Meine Ergebnisse sind durchaus negativ, und in vollem Einklange mit dem, was seitdem Burdon Sanderson (*The origin and distribution of Microzymes [Bacteria] in water and the circumstances which determine their existence in the tissues and liquids of the living body. Second Report concerning the intimate pathology of contagion, Appendix of*



the 13 Report of the Medical officer of the Privy Council; abgedruckt in Quaterly Journal of the Microsc. Society Oct. 1871) und Manassein (in Wiesner, Mikroskopische Untersuchungen: über Beziehung der Baeterien zu *Penicillium glaucum* p. 129) bereits veröffentlicht haben. Abgesehen von den Ergebnissen vorurtheilsfreier mikroskopischer Untersuchungen, die niemals eine Entwicklung von Baeterien zu Mycelpilzen und umgekehrt entdecken lassen, geben auch zwei Experimental-Methoden in dieser Beziehung übereinstimmende und, wie ich glaube, entscheidende Resultate.

Die eine beruht auf der zuerst von Burdon Sanderson hervorgehobenen Erfahrung, dass in chemische Lösungen, die im Uebrigen zur Entwicklung der Baeterien durchaus geeignet sind, selten oder nie Baeterienkeime aus der Luft hineinfallen, auch wenn sie beliebige Zeit offen hingestellt werden, wohl aber Schimmelsporen; dass sich daher in dergleichen offen stehenden Lösungen nach einiger Zeit von selbst Schimmelpilze entwickeln, aber keine Baeterien. Es ist nicht nöthig, meine Versuche, die mir von selbst die obige Thatsache aufdrängten, ehe ich noch die Sanderson'sche Beobachtung kannte, hier einzeln aufzuzählen; sie gaben stets das nämliche Resultat. Wurde ein Reagenzcyylinder sorgfältig ausgekocht, dann mit frisch gekochter Pasteurseher, oder mit der von mir gewählten und später zu beschreibenden Nährflüssigkeit zur Hälfte gefüllt, und dann im Heizkasten oder auch in freier Luft offen hingestellt, so erschienen oft selbst nach Monaten keine Baeterien, wohl aber in der Regel nach wenig Tagen oder Wochen Mycelien, die zuerst an der Oberfläche weisse, strahlige Flöckchen bildeten, und sich rasch vergrösserten und vermehrten; einzelne Flöckchen sanken bald unter oder setzten sich an den Wänden fest und vegetirten reichlich, fructificirten auch in der Luft (in der Regel *Penicillium*, in anderen Fällen *Aspergillus*, *Fusisporium* u. a. Schimmel). Warum aus der Luft keine Baeterienkeime in die Nährflüssigkeit hineinfallen, ist nicht leicht festzustellen; vielleicht sind die Baeterienkeime nicht reichlich genug in der Luft vorhanden, um jede Eprouvette zu besamen; noch wahrscheinlicher ist, dass dieselben zu leicht sind, um die Oberfläche der Flüssigkeit zu durchbrechen; vielleicht ist auch die Membran der Baeterienkeime schwer zu benetzen, so dass, wenn sie auch auf eine Flüssigkeit hinabfallen, sie nicht in dieselbe eindringen, sondern von den Luftströmungen wieder fortgeblasen werden (etwa wie Samen *Lycopodii*). Dagegen mögen die schwereren Schimmelsporen besser an der Oberfläche der Flüssigkeiten haften, rasch benetzt werden, und daher zur Keimung gelangen. Mitunter, wenn auch nach längerer Zeit,

entwickeln sich übrigens auch in chemischen Lösungen die Bacterien von selbst, d. h. durch nachträglich hinabgefallene Keime, die also vielleicht durch besondere Umstände, weil an Staubkörnern oder andern aus der Luft in die Flüssigkeit fallenden Körpern haftend, die oberste Flüssigkeitsschicht durchbrochen haben. Jedenfalls gelingt es leicht, längere Zeit Penicillium und andere Mycelien in einer Flüssigkeit zu cultiviren, ohne dass eine Spur von Bacterien sich entwickelt. Noch leichter ist das Entgegengesetzte; wenn man in ein Reagenzglas mit Nährflüssigkeit Bacterienkeime, ohne Schimmelsporen, oder Mycelfäden aussät, und den Glas-cylinder sodann durch einen Baumwollenpfropf gegen Luftzutritt verschliesst, so vermehren sich die Bacterien durch unbegrenzte Zeit, ohne dass jemals Mycel sich entwickelt. In dieser Beziehung sind meine Versuche, die ein Paar hundert Nummern zählen, völlig überzeugend; sie zeigen eben, dass wenn Bacterien gesät werden, sich nur Bacterien und keine Mycelpilze entwickeln, und umgekehrt durch Aussaat von Schimmelsporen nur Schimmelpilze wachsen, dass aber niemals der eine Organismus aus dem andern hervorgeht.

Eine zweite Methode beruht darauf, dass die Temperaturen, welche Schimmelsporen und Bacterien tödten, verschieden sind; oder vielmehr, dass unter Umständen Schimmelsporen in einer bestimmten Temperatur der Nährflüssigkeit sich länger lebendig erhalten, als Bacterien. Ich werde auf die Beziehungen der Temperatur zu den Bacterien noch später zurückkommen, und beziehe mich hier nur auf die von mir mehrfach constatirte Thatsache, dass in einem Kölbchen mit fäulnissfähigen organischen Substanzen, wenn dasselbe eine Zeitlang gekocht und sodann mit Baumwolle verstopft ist, sich nie Bacterien, wohl aber mitunter Penicilliummycel entwickelt. Ich gebe statt vieler nur ein Paar Beispiele.

Am 26. Mai 1871 kochte ich eine Erbse in einem Glaskölbchen mit etwa 10 G. destillirtem Wasser; unmittelbar nach dem Kochen wurde der Hals des Kölbchen mit Baumwolle verstopft. Zum Gelingen ist erforderlich, dass der Hals lang und in der Mitte wo möglich etwas eingeschnürt ist, damit die Baumwolle nicht leicht zufällig mit der Flüssigkeit in Berührung kommen kann; das Wasser blieb klar, die Erbse unverändert bis zum 28. September, wo ein weisses Penicillium-Mycel sich entwickelte, aber ohne Bacterien und ohne Fäulniss. Am 15. Juni wurde eine in Stücke zerschnittene Erbse in einem ähnlichen Glaskölbchen  $\frac{1}{4}$  Stunde auf 80° erhitzt, dann der Kolbenhals, wie früher, mit Baumwolle verstopft; hier erschien schon am 24. Juni weisses strahliges Mycel im Wasser, das sich in Räschen



ausbreitete, am 30. Juni als *Penicillium fructificirte*; bis zum 7. August hatte sich das *Penicillium* immer weiter verbreitet und die Oberfläche mit schwärzlichem Sporenstaub bestreut, das Wasser aber blieb klar, bacterienfrei und die Erbsen unverändert und ungefault.

Es ist hier nicht der Ort zu ermitteln, ob die *Penicillium*sporen höheren Temperaturen länger Widerstand leisten, als die Bacterien, oder ob die *Penicillium*-Sporen nachträglich aus dem Baumwollenspupf hinabgefallen sind. Die Versuche von Hoffmann, die neuerdings von Manassëin mit besonderer Umsicht wiederholt worden sind, haben ergeben, dass befeuchtete *Penicillium*sporen schon bei mässiger Erhitzung getödtet werden, trockene dagegen sehr hohen Temperaturgraden lange widerstehen, vermuthlich weil sie, als schlechte Wärmeleiter und durch die adhärende Luft noch geschützt, diese Temperatur nur sehr langsam in's Innere eindringen lassen. Für das Verhältniss der Bacterien zu *Penicillium* kömmt es jedoch darauf nicht an; jedenfalls steht fest, dass sich keine Bacterien aus dem *Penicillium*-Mycel entwickeln, und überhaupt nicht in einer Flüssigkeit auftreten, wenn nur *Penicillium*-Sporen, nicht aber Bacterienkeime absichtlich oder unabsichtlich ausgesät worden sind.

Aus alledem ergiebt sich, dass die Bacterien eine in sich abgeschlossene Gruppe von Organismen sind, die mit den Hefe- und Schimmelpilzen in keinem entwicklungsgeschichtlichen Zusammenhang stehen, die ihrer parasitischen Lebensweise wegen allerdings als Pilze bezeichnet werden können, obwohl sie sich von den typischen Pilzen durch den Mangel des Mycels und der Basidio- und Asco-Sporen wesentlich unterscheiden, und deshalb von Naegeli mit Recht zu einer selbstständigen Abtheilung (*Schizomyceten*) erhoben wurden; dass jedoch nach ihren morphologischen und entwicklungsgeschichtlichen Verhältnissen die Bacterien und die *Schizomyceten* überhaupt die nächste Verwandtschaft mit den als *Phycochromaceen* bezeichneten Algen besitzen. In meinem Versuch eines natürlichen Systems der Kryptogamen (Hedwigia 1872 No. I, Bericht der botanischen Section der Schlesischen Gesellschaft für 1871) habe ich deshalb die Bacterien sammt den übrigen *Schizomyceten* mit den Familien der *Phycochromaceen* (*Chroococcaceae*, *Oscillariaceae*, *Nostocaceae* etc.) in eine natürliche Ordnung unter dem Namen *Schizosporeae* verbunden.

## 10. Ueber die Ernährung der Bacterien.

Die Lehre von der Ernährung der Fermentpilze ist durch Pasteur in seiner Abhandlung über die Alcoholgährung (Ann. de Chem. et de Phys. LVIII. 1858, deutsch von Victor Griesmayer. Augs-



burg 1871) gegründet worden. Indem Pasteur an die Entdeckungen von Th. de Saussure und Liebig über die Ernährung der grünen Gewächse anknüpfte, und darauf weiterbaute, zeigte er, dass auch diese niedersten und kleinsten Pflanzen denselben Gesetzen unterliegen. Die Hefepilze bestehen aus denselben chemischen Verbindungen wie alle übrigen Pflanzen; sie enthalten eine Anzahl Aschenbestandtheile, unter denen Kali und Phosphorsäure die wichtigsten, dann Kohle, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff. Sie können nur wachsen und sich vermehren, soweit ihnen diese Elemente als Rohstoffe dargeboten werden, um sich in ihren Zellen zu Bildungsstoffen umzuwandeln. Dass die Aschenbestandtheile für das Wachsthum der Hefepilze ebenso unentbehrlich sind, wie für grüne Pflanzen, ist eine der wichtigsten von Pasteur nachgewiesenen Thatsachen; Sauerstoff und Wasserstoff erhalten sie in Form von Wasser; vom Stickstoff hatte man geglaubt, er werde von den Hefepilzen in Form von Eiweissverbindungen aufgenommen; Pasteur zeigte, dass diese Pilze den Stickstoff assimiliren und zu Eiweissverbindungen (Protoplasma) verarbeiten, wenn er ihnen als Ammoniak geboten wird. Während man also bis dahin geglaubt hatte, dass diese Pilze sich in Bezug auf die Stickstoffaufnahme den Thieren gleich verhalten, welche weder den freien Stickstoff der Atmosphäre noch Ammoniak, sondern ausschliesslich organische Stickstoffverbindungen, insbesondere Albuminate assimiliren, zeigte Pasteur, dass die Hefepilze vielmehr mit den grünen Pflanzen übereinstimmen, insofern sie den Stickstoff in Form von Ammoniak aufnehmen können. Den Kohlenstoff dagegen nehmen die Hefepilze nicht wie die grünen Pflanzen, als Kohlensäure auf, da sie offenbar wegen des mangelnden Chlorophylls Kohlensäure nicht assimiliren können; der Hefepilz entnimmt vielmehr die Kohle, den Hauptbestandtheil seines Plasma wie seiner Zellhaut, aus dem Zucker; nach Pasteur wird sogar der Zucker direct in die isomere Cellulose und in die Fette des Hefepilzes umgewandelt, während ein anderer Theil des Zuckers sich wahrscheinlich mit Ammoniak verbinden kann, um die eiweissartigen löslichen und unlöslichen Bestandtheile der Hefezellen (das Protoplasma) zu bilden. Aus diesen Thatsachen schloss Pasteur, und bestätigte auf experimentellem Wege seine Folgerung, dass die Pilze der Hefe und anderer Fermente sich in einem Medium völlig normal entwickeln und vermehren können, welches besteht aus einem gährungsfähigen Stoff (*matière fermentescible*) und einer Anzahl zweckmässig gewählter krystallisirter Mineralsalze (*Comptes rendus de l'Acad. des sciences* 18. Dec. 1871.) Er hat diesen Satz mit schlagender Argumentation und mit Hülfe geist-

voller Versuche siegreich gegen die gewichtigen Bedenken von Liebig so wie auch gegen die flacheren Angriffe vertheidigt, welche gegen ihn durch Fremy im Schoosse der Pariser Akademie selbst im Anfange dieses Jahres gerichtet wurden.

Pasteur hat es nicht versucht, die von ihm in Bezug auf die Alcoholhefe festgestellten Thatsachen auch auf die von ihm zum Theil als Infusorien betrachteten Bacterien anzuwenden, insbesondere auf diejenigen, welche die Fäulniss veranlassen. Beschränken wir das Wort „Gährung“ auf die Umwandlungen stickstofffreier organischer Verbindungen unter dem Einfluss von Ferment-Organismen, das Wort „Fäulniss“ dagegen auf die analoge Zersetzung stickstoffhaltiger, insbesondere Eiweissartiger Körper, so scheint ein Unterschied zwischen beiden Klassen darin obzuwalten, dass bei der letzteren die Stickstoffverbindungen direct von den durch die Organismen eingeleiteten chemischen Prozessen afficirt werden, während sie bei den Gärungen nur indirect, als Nährstoffe der Fermentpilze, betheiligt sind. Wenn es daher begreiflich ist, dass die Hefepilze sich normal vermehren und Alcoholgährung erregen können in einer Flüssigkeit, welche neben Zucker nur Ammoniak und Aschensalze, aber keine Eiweissstoffe enthält, so könnte man vermuthen, dass die Bacterien der Fäulniss direct auf die Eiweissstoffe angewiesen sind.

Dies ist jedoch nicht der Fall, wie schon aus den von Pasteur gelegentlich gemachten Versuchen und Beobachtungen sich schliessen liess. Bacterien entwickeln und vermehren sich auch in Eiweissfreien Flüssigkeiten, welche den Stickstoff in Form von Ammoniak enthalten. In allen seinen Versuchen benutzte Pasteur die nämliche Mischung, welche heut unter dem Namen der Pasteur'schen Flüssigkeit allbekannt, aus 100 Gewichts-Theilen destillirtem Wasser, 10 Theilen reinstem Candiszucker, 1 Theil weinsaurem Ammoniak und der Asche von 1 Theil Hefe zusammengesetzt ist, deren Gewicht etwa 0,075 der Mischung beträgt. Pasteur machte bereits die Bemerkung, die sich bei der Wiederholung leicht bestätigt, dass, wenn man in diese eiweissfreie Flüssigkeit Hefe aussät, dieselbe oft nicht zur Entwicklung kommt, weil gewisse Infusorien (Bacterien) nebst verschiedenen Schimmelpilzen und Milchsäureferment sich von denselben Nährstoffen ernähren und indem sie im Kampf um's Dasein die Oberhand gewinnen, die Entwicklung des Alcoholferments mehr oder minder hindern. Schon Dujardin hatte 20 Jahre vor Pasteur beobachtet, dass sich eine Lösung von Zucker mit oxalsaurem und phosphorsaurem Ammoniak und Kochsalz, die also keine Eiweissstoffe enthielt, nach 10 Tagen mit einer weissen, ganz aus *Bacterium Termo*

gebildeten Haut bedeckt hatte; auch Süssholzzucker 15 G. mit oxalsaurem Ammoniak 10 G. und Regenwasser 100 G. hatte nach 5 Tagen eine trübe, ganz aus *B. Termo* bestehende Schicht an der Oberfläche gebildet (Histoire des Infusoires 1841 p. 214); in ähnlichen Mischungen entwickelten sich andere Bacteriumarten.

Eine Reihe der erfolgreichsten Versuche nach dieser Richtung hat Burdon Sanderson in seiner bereits citirten Arbeit bekannt gemacht; wenn er Bacterienkeime in Pasteur'sche Flüssigkeit aussetzte, so wurde dieselbe in kurzer Zeit getrübt und mit Bacterien dicht erfüllt, ganz so wie das eine eiweissartige Flüssigkeit thun würde. Diese Erscheinung tritt so beständig auf, dass man sie als ein Kennzeichen benutzen kann, um zu ermitteln, ob in einer Substanz Bacterienkeime enthalten sind oder nicht. Wird nämlich ein Körper oder eine Flüssigkeit, welche Bacterienkeime enthält, in gekochte Pasteur'sche Flüssigkeit gebracht, so entsteht innerhalb 6 Tagen Bacterientrübung; war die Substanz frei von Bacterien, so bleibt die Pasteur'sche Flüssigkeit klar, selbst wenn sie offen steht, da eine Infection durch die Luft, wie schon oben bemerkt, in der Regel nicht stattfindet; es ist daher Pasteur'sche Flüssigkeit ein Reagens auf Bacterien. Durch diese Methode ermittelte Sanderson, dass alles Wasser, filtrirtes, wie nicht filtrirtes, Bacterienkeime enthält, selbst das Schneewasser des reinsten Eises, und das destillirte Wasser, mit Ausnahme allein des frisch destillirten; dagegen existiren in den Geweben und Flüssigkeiten gesunder lebender Thiere und Menschen keine Bacterienkeime, wenn sie vor Verunreinigung durch offene Oberflächen behütet sind; weder frisches noch coagulirtes Blut, noch Muskelfleisch, noch Hühnereiweiss, weder Harn noch Speichel noch Milch, noch selbst reiner Eiter enthält Bacterienkeime, da sie Pasteur'sche Flüssigkeit nicht trüben.

Mit Hülfe derselben Methode konnte auch Sanderson feststellen, durch welche Einflüsse Bacterien getödtet werden; er ermittelte hierdurch, dass oberflächliches Trocknen die Lebensfähigkeit der Bacterien nicht zerstört, wohl aber scharfes Trocknen selbst bei 40° C.; dass Zusatz von 0,5 % Soda, Carbonsäure oder schwefelsaurem Chinin ihre Entwicklung hindert, und daher desinficirend wirkt, nicht aber 0,1 %, dass Zusatz von ozonisirtem Wasser, von 1 % Wasserstoffsuperoxydlösung, von 5 % Chlorwasser Bacterien tödtet u. s. w.

Auch Polebotnow und Manassëin (l. l. c. c.) haben die Bacterienentwicklung in eiweissfreier Pasteur'scher Flüssigkeit beobachtet.



Ich selbst hatte, noch ehe die hier berichteten Versuche bekannt wurden, mir zur Aufgabe gestellt, die Ernährung der Bacterien mit Rücksicht auf die von Pasteur an andern Fermentpilzen gemachten Beobachtungen zu studiren. Ich benutzte anfänglich ebenfalls Pasteursche Flüssigkeit, erkannte jedoch bald, dass dieselbe für Ernährungsversuche mit Bacterien wegen ihres Gehalts an Rohrzucker minder geeignet sei. Dieser ist ein so günstiger Nährboden für den Alcoholhefepilz, so wie für Schimmelarten, dass deren Entwicklung, die nicht immer verhütet werden kann, die Vermehrung der Bacterien beeinträchtigt und die Ergebnisse zweifelhaft macht. Zweitens wird bei längerer Dauer des Experiments insbesondere bei höherer Temperatur, so viel Wasser verdunstet und in Folge dessen die Zuckerlösung so concentrirt, dass sie wiederum keine normalen Bedingungen für Bacterienentwicklung gewährt; wollte man, um dies zu verhüten, von Zeit zu Zeit Wasser zufügen, so würde man ebenso viele Fehlerquellen in das Experiment einführen. Endlich und hauptsächlich ist der Zuckerzusatz darum verwerflich, weil er die Zusammensetzung der Flüssigkeit unnöthigerweise complicirt, und in Folge dessen das Verständniss der Ernährungsvorgänge erschwert.

Während Pasteur und seine Nachfolger die Gegenwart des Zuckers als *matière fermentescible* für die Entwicklung der Fermentorganismen als unentbehrlich aufzufassen scheinen, stellte ich fest, dass der Zucker eben nur für die Alcoholhefe unentbehrlich, dass er aber für die Bacterien durchaus überflüssig ist. Die Ernährung der Bacterien geht eben so gut, ja bei weitem besser vor sich, wenn aus der Pasteur'schen Flüssigkeit der Zucker weggelassen wird. Ich habe daher zu meinen Versuchen immer nur eine Flüssigkeit angewendet, welche in 100 Theilen destillirtem Wasser 1 Theil weinsaures Ammoniak und circa 1 Theil Aschenbestandtheile enthält.

Pasteur benutzte zu seiner Flüssigkeit wirkliche Hefenasche, welche bekanntlich ausserordentlich schwer kohlenfrei darzustellen ist. A. Mayer (Untersuchungen über die Alcoholische Gährung 1870) brachte einen wesentlichen Fortschritt, indem er den Antheil der einzelnen in der Hefenasche enthaltenen Mineralbestandtheile an der Ernährung der Alcoholhefe experimentell ermittelte, und statt der durch Calciniren erzeugten Asche vielmehr eine Normallösung der in der Hefenasche enthaltenen Salze in ähnlicher Weise zu benutzen lehrte, wie bei den Wasserculturen höherer Pflanzen die Aschensalze immer nur in Lösung zugesetzt werden. Ich benutzte die Mayersche Normallösung der mineralischen Nährsalze (0,1 G. phos-

phorsaures Kali, 0,1 G. krystallisirte schwefelsaure Magnesia, 0,01 drei basisch phosphorsaurer Kalk) auf 20 Cub. Cm. destillirtes Wasser; hierin wurden 0,2 G. weinsaures Ammoniak aufgelöst. Ich werde die hier bezeichnete Mischung, welche gewöhnlich für je einen Versuch verwendet wurde, als normale Baacteriennährflüssigkeit bezeichnen; diese Flüssigkeit reagirt schwach sauer und ist vollkommen wasserklar; zu vielen Versuchen verwendete ich nur die Hälfte obigen Quantums; auch bemerke ich, dass, wo es nicht auf quantitative Bestimmungen ankömmt, zu denen ich der Mitwirkung eines Chemikers bedurft hätte, geringe Abweichungen in der procentischen Zusammensetzung das Resultat nicht wesentlich beeinträchtigen; insbesondere benutzte ich häufig auch die Wolf'sche oder Knop'sche Nährsalzlösung, welche aus phosphorsaurem Kali, schwefelsaurer Magnesia, salpetersaurem Kalk, oder (wenn es sich um Abwesenheit der Salpetersäure handelte) Chlorealcium besteht. Wenn es darauf ankam, sie von Baacterienkeimen frei zu halten, wurde die Flüssigkeit vor dem Versuche gekocht.

Bei allen Versuchen wurde die Einführung der Baacterienkeime nicht dem Zufall überlassen, sondern Baacterien methodisch ausgesät. Ich liess zu diesem Zwecke Erbsen, Lupinen, Mais und andere Pflanzensamen in einem Glase mit gewöhnlichem Wasser faulen, in Folge dessen die Flüssigkeit dick, trübe und stinkend wurde, von unzähligen Baacterien dicht erfüllt ward und Monate lang so verblieb. In diesen Aufgüssen fanden sich verschiedene Arten, namentlich *Bacillus* und *Micrococcus*; doch war *B. Termo* weit überwiegend und vermehrte sich in der Regel eine Zeit lang oder anhaltend ganz allein, fast ohne fremde Beimischung; es beziehen sich daher die Ernährungsversuche zunächst auf *Bacterium Termo*. Von dem faulenden Aufguss wurden bei jedem Versuche 1—2 Tropfen der normalen Nährflüssigkeit zugesetzt, dann durch Schütteln gleichmässig vertheilt, was bei der geringen Menge des Zusatzes keine irgend bemerkliche Trübung zur Folge hatte. Ich werde diesen Zusatz als Baacterientropfen bezeichnen.

Zu den Versuchen wurden theils gewöhnliche, theils mit Füßen versehene Reagenzylinder, theils Glaskölbehen von 10—20 CC. Inhalt mit längerem oder kürzerem Halse benutzt, die vorher, wenn erforderlich, ausgekocht waren. Da die Versuche meist im Winter 187 $\frac{1}{2}$  angestellt wurden, so wurden die Versuchseylinder, um eine constante höhere Temperatur zu erzielen, in einen von mir für Keimversuche im Pflanzenphysiologischen Institut construirten Blechkasten gestellt, zwischen dessen doppelten Wänden sich Wasser befindet,

das durch eine unter dem Blechkasten befindliche kleine Gasflamme mit Hilfe eines Bunsen'schen Regulator constant auf 30—35° C. erwärmt wird, und diese Temperatur dem innern Raume des Blechkastens, der durch eine Glasplatte oder ein Glasdach abgeschlossen wird, mittheilt. Es ist der nämliche Apparat, den auch Ciesielski bei seiner in diesem Heft aufgenommenen Abhandlung über Einfluss der Schwerkraft auf die Wurzeln benutzt hat; in solchen Heizkästen konnte ich eine grosse Zahl von Versuchscylindern gleichzeitig und durch Wochen und Monate bei einer constanten höheren Temperatur erhalten, welche der Vermehrung der Bakterien am günstigsten scheint. Unter den zahlreichen Versuchen wähle ich nur einzelne aus.

Am 12. November 1871 wird ein Bacterientropfen in normale Nährflüssigkeit gebracht; nach zwei Tagen ist die Trübung sichtbar, nach sechs Tagen ist dieselbe ganz milchig und undurchsichtig; an der Oberfläche schwimmt eine  $\frac{1}{2}$  Centim. hohe fast ölige Schleimschicht, die ausschliesslich aus dicht gedrängten schwärmenden Bakterien besteht und eine grünliche Färbung hat; ausser *B. Termo* befinden sich auch *Bacillus subtilis*, *Micrococcus Crepusculum* in der Flüssigkeit; Wolken von *Zoogloea* hatten sich gebildet. Eine am 16. November gleich zusammengesetzte Nährflüssigkeit war schon am 18. trübe, wurde bald milchig, grünlich, undurchsichtig, an der Oberfläche mit dicker Bacterienschleimschicht, und verblieb so bis zum 9. December, allmählich schlug sich in beiden Versuchen ein weisser pulveriger flockiger Absatz nieder, der aus *Micrococcus*, *Bacterium*, *Bacillus* bestand und die Höhe von 1 Cm. erreichte, während die Flüssigkeit sich klärte; kein Mycel wurde gebildet. In beiden Fällen sah die Flüssigkeit genau so aus, als ob in ihr ein todter Thier- oder Pflanzenkörper faulte.

Sehr überraschend wenn auch selbstverständlich ist der enorme Einfluss der Aschenbestandtheile; am 19. November wird in einem Reagenzcyliner eine einprocentische Lösung von weinsaurem Ammoniak mit einem Bacterientropfen, jedoch ohne mineralische Nährsalze angestellt; sie bleibt bis zum 29. klar; an diesem Tage werden noch zwei Bacterientropfen zugesetzt; am 4. December ist die Flüssigkeit schwach getrübt, am 9. December ist die Trübung kaum zu bemerken, total verschieden von den gleichzeitig mit mineralischen Salzlösungen angestellten Versuchen, bei denen die Flüssigkeit, wie gesagt, milchig wurde. Alle ähnlichen Versuche geben das nämliche Resultat, dass nämlich in einer Nährflüssigkeit ohne Zusatz von Aschensalzen zwar eine geringe Vermehrung der Bakterien stattfindet, unzweifelhaft auf Kosten der im Bacterientropfen selbst zugefügten geringen Menge von



Salzen; aber die Trübung nimmt nicht zu, wie bei Gegenwart von Mineralnährstoffen, sondern verhardt auf einem geringen Grade. Dagegen sind die mineralischen Nährsalze ohne weinsaures Ammoniak für die Ernährung der Bakterien nicht ausreichend. Ein Reagenzcyylinder, welcher in 20 G. destillirtem Wasser phosphorsaures Kali, schwefelsaure Magnesia und Chlorecalcium in erforderlicher Quantität (in Summa 0,2 G.) enthält, bleibt selbst nach Zusatz von zwei Bacterientropfen durch einen Monat völlig klar, da die Bakterien sich nicht vermehren. Noch weniger vermehren sich die Bakterien in reinem destillirtem Wasser, wie vergleichshalber durch Zusetzen eines Bacterientropfens in einen mit destillirtem Wasser gefüllten Reagenzcyylinder festgestellt wurde.

Dass dagegen in gewöhnlichem Wasser Bacterienkeime enthalten sind, wie schon Sanderson nachgewiesen, beweist nachstehender Versuch. Am 18. November werden zwei Reagenzcyylinder ausgekocht und gleichzeitig mit 20 G. gekochter Normalflüssigkeit gefüllt; die Oeffnung des einen wurde sofort, die des andern nach Zusatz von drei Tropfen Brunnenwasser mit einem Baumwollpfropfen verschlossen, letztere Flüssigkeit ist nach fünf Tagen bereits sehr trübe, an der Oberfläche bildet sich Zoogloea; sie bleibt so bis zum 9. December, wo sich bereits ein reicher Bacterienniedersehlage abgesetzt; der andere Cylinder (ohne Zusatz von Brunnenwasser) ist bis zum 9. December völlig klar geblieben.

Obige Versuche ergeben, dass Bakterien sich normal und zum vielmillionenfachen Quantum der ursprünglich ausgesäeten Menge vermehren in einer Flüssigkeit, welche durchaus frei von Eiweissverbindungen und Zucker, neben einer gewissen Menge von Mineralstoffen (Phosphorsäure, Kali, Schwefelsäure, Kalk und Magnesia) nur Ammoniak und Weinsäure enthält. Es leuchtet ein, dass in unsern Versuchen das Ammoniak die Stickstoff-, die Weinsäure die Kohlenquelle der Bakterien ist.

Ich untersuchte nun zunächst, ob nicht auch andere organische Säuren den Bakterien die Kohle für ihre Zellen liefern können.

Versuche, bei welchen in der normalen Nährflüssigkeit der Weinsäure Bernsteinsäure, Milchsäure, Essigsäure substituirt wurden, erwiesen, dass diese organische Säuren von den Bakterien assimiliert werden können; doch scheint die Weinsäure die günstigste Nährflüssigkeit abzugeben.

Am 23. November wurden vier Reagenzcyylinder mit 20 G. destillirtem Wasser beschickt, in diesem 0,2 G. bernsteinsaures Ammoniak gelöst; dreien wurde die erforderliche mineralische Nährsalzlösung

beigegeben. Dem ersten Cylinder wurde ein Bacterientropfen zugefügt; er wurde am 27. November trübe, am 29. November milchig, vom 4.—9. December sehr trübe, am 13. Februar war die Flüssigkeit wieder klar, und ein Absatz von Bacterien am Boden niedergeschlagen. Der zweite Cylinder erhielt keinen Bacterientropfen, er blieb völlig klar; der dritte Cylinder erhielt einen Bacterientropfen, aber keine mineralischen Nährsalze; er war nach vier Tagen schwach, nach sechs Tagen etwas stärker getrübt; am 9. December war er bei weitem minder trübe als der erste Cylinder; in einem vierten offen stehenden Cylinder, dem ebenfalls keine Bacterien zugefügt waren, und der acht Tage lang klar geblieben war, erschien am 4. December *Penicillium-Mycel*, das sich reichlich vermehrte, und noch am 14. Febr. fortvegetirte; auch Bacterien hatten sich eingefunden.

Am 23. Januar wurde eine Lösung von neutralem essigsaurem Ammoniak (1 %) in destillirtem Wasser mit mineralischer Nährsalzlösung und einem Bacterientropfen angestellt; dieser vermehrt sich anfangs nicht, weil sich *Mycel* entwickelt hat; allmählich aber trübt sich die Flüssigkeit und wird bis zum 10. Februar ganz milchig von zahllosen schwärmenden Stäbchenbacterien, während sich an der Oberfläche eine dichte Schleimschicht von Kugel- und Stäbchenbacterien, und gleichzeitig ein blaugrünes lösliches Pigment bildet und die Flüssigkeit intensiv färbt. Wir werden sehen, dass essigsaures Ammoniak die Pigmentbildung durch chromogene *Micrococcus*arten begünstigt. Doch vermehren sich die Bacterien im essigsauren Ammoniak auch ohne Pigment. Eine Lösung von neutralem essigsaurem Ammoniak (10 Tropfen in 10 Gm. Wasser mit Nährsalzen) wurde am 5. Mai mit einem Bacterientropfen versetzt und ist fünf Tage später ganz trübe und zugleich alkalisch geworden, jedoch ohne sich zu färben.

Mit Milchsäure hat schon Pasteur experimentirt; er berichtet in der Sitzung der Pariser Akademie vom 18. December 1871, dass wenn man zu einer Lösung reinsten milchsauren Kalks phosphorsaures Ammoniak, Magnesia und Kali und eine kleine Menge schwefelsaures Ammoniak nebst einem Bacterientropfen (*Vibrio Pasteur*) zusetzt, die Vibrionen sich zahllos vermehren und in der Flüssigkeit bewegen, bis die Milchsäure total verschwunden ist; alsdann fallen die Vibrionen todt auf den Boden des Gefässes. Meine eigenen entsprechenden Versuche bestätigten dies.

Auch andere Kohlenverbindungen werden von den Bacterien assimilirte, insbesondere Rohrzucker, Milchzucker, Glycerin und Cellulose. In Bezug auf den Zucker scheint dies bereits aus den Versuchen mit der Pasteur'schen Flüssigkeit hervorzugehen, und ist auch so

von Pasteur selbst aufgefasst werden; indess haben wir erwiesen, was Pasteur übersehen zu haben scheint, dass in der Weinsäure der angewendeten Ammoniakverbindung ein ausreichender Nahrungsstoff für die Bacterien gegeben ist. Um daher den Nährwerth des Zuckers festzustellen, muss die Pasteur'sche Flüssigkeit so modificirt werden, dass das weinsaure Ammoniak durch salpetersaures Ammoniak ersetzt wird. A. Mayer hat diesen Versuch bereits für Alcoholhefe angestellt, ich selbst habe gefunden, dass eine solche Flüssigkeit auch Bacterien reichlich zu ernähren vermag; dasselbe hat sich aus meinen Versuchen mit Milhzucker ergeben. Eine Lösung von 0,2 G. Milhzucker in 20 G. Wasser und Zusatz von 0,2 G. salpetersaurem Ammoniak ist schon nach zwei Tagen trübe von zahllosen Kugel- und Stäbchenbacterien, zwischen denen auch jene eigenthümlichen schon oben erwähnten hefeartigen Zellen auftreten; nach sieben Tagen ist die Flüssigkeit stark sauer durch die erzeugte Milchsäure, allmählich bildet sich ein weisser Absatz (vgl. Tab. III. fig. 5).

Am 29. November werden in 20 G. destillirten Wasser 0,1 G. Glycerin und 0,1 G. salpetersaures Kali, so wie 0,1 G. mineralische Nährsalze gelöst, die Flüssigkeit gekocht, nach dem Abkühlen zwei Bacterientropfen zugesetzt; die Flüssigkeit trübt sich bis zum 9. December durch zahllose Bacterien, die auch einen Absatz bilden; allmählich entwickelt sich Mycel, welches den Bacterien die Nahrung entzieht.

Dass Cellulose von gewissen Bacterien assimilirt wird, schliesse ich aus der schon von Mitscherlich gemachten Beobachtung, dass Vibrionen ein eigenthümliches Ferment bilden, welches Cellulose löst. (Monatsbericht der Berliner Akademie 1850. März.)

Nur eine Kohlenstoffverbindung ist mir bekannt, die von den Bacterien nicht assimilirt wird, nämlich die Kohlensäure. In kohlensaurem Ammoniak vermehren sich Bacterien nicht.

Auch der Harnstoff ist keine Nährflüssigkeit für Bacterien, offenbar weil er dem kohlensauren Ammoniak gleich zusammengesetzt ist. Am 27. Januar wurden in drei Reagenzcyllindern je 0,2 G. krystallisirter Harnstoff in je 20 G. destillirtem Wasser gelöst; dem ersten Reagenzcyllinder wird ein Tropfen Bacterien, dem zweiten ein Bacterientropfen und 0,2 G. mineralischer Nährsalze, dem dritten nichts zugesetzt; alle drei sind bis zum 28. Februar völlig klar.

Einem vierten Reagenzcyllinder wurde am 3. Februar ausser Harnstoff und mineralischen Nährsalzen noch 0,2 G. weinsteinsaures Kali zugefügt; nach drei Tagen in die Flüssigkeit trübe; am 19. Februar milchig, am 4. März dick milchig, ganz undurchsichtig geworden.



Der letzte Versuch beweist, dass der Harnstoff allein von Bacterien nicht assimilirt wird, wohl aber in Verbindung mit einer stickstofffreien Kohlenverbindung, und dass insbesondere bei Gegenwart von Weinsäure der Harnstoff zwar nicht als Kohlenstoff-, wohl aber als Stickstoffquelle für die Bacterien dienen kann.

Auch die Salpetersäure kann, wie ich glaube, den Bacterien ihren Stickstoff liefern, doch ist es schwer darüber zur völligen Gewissheit zu gelangen, weil es fast unmöglich ist, Ammoniakfreie Reagentien zu erlangen. So trübten sich Lösungen von Glycerin und salpetersaurem Kali, wie schon oben erwähnt; eine Lösung von Weinstein und salpetersaurem Kali am 30. Januar angestellt, war am 3. Februar sehr trübe, am 19. Februar schwach milchig, indem sich ein Absatz gebildet hatte; am 28. Februar war sie fast ganz klar geworden und reagierte sauer.

Indess belehrt uns das Nessler'sche Reagenz, dass in den angewendeten Lösungen auch stets Ammoniak, mitunter sehr reichlich enthalten ist. Ehe ich diese Thatsache constatirte, gewährte es mir nicht geringe Ueberraschung, auch in anscheinend stickstofffreien Nährflüssigkeiten mehr oder minder reiche Bacterienentwicklung zu beobachten. So wurde eine am 20. Februar angestellte zweiprocentige Lösung von käuflichem Milchzucker ohne allen fremden Zusatz schon am 24. Februar trübe unter reichlicher Bacterien- und Hefeentwicklung; am 27. war sie sauer; der durch das Nessler'sche Reagenz erzeugte starke gelbe Niederschlag bewies jedoch die Anwesenheit von Ammoniak im Milchzucker.

Ebenso trübten sich Lösungen von weinsteinsaurem Kali und Cremor tartari, ohne Zusatz einer Ammoniakverbindung, durch reichliche Bacterienentwicklung mehr oder minder, wobei sich in der Regel auch Mycelpilze einfanden; das Nessler'sche Reagenz liess jedoch erkennen, wie grosse Mengen Ammoniak diese Stoffe aufgenommen hatten.

Wenn so viele chemische Lösungen, selbst solche, welche allem Leben feind zu sein scheinen, wie z. B. Schwefelsäure, Arsenik, Sublimat, Eisenvitriol u. s. w., insbesondere aber Weinsäure, phosphorsaures Natron etc. sich bei längerem Stehen von selbst trüben oder schimmeln, so ist ohne Zweifel dabei das Ammoniak betheiligt, welches diese Stoffe aus der Luft mehr oder minder reichlich eingesogen haben.

Salpetersaures Ammoniak allein vermag die Bacterien nicht zu ernähren und trübt sich daher auch nicht, wie mehrere Versuche herausstellten; offenbar, weil es den Bacterien nicht den Kohlenstoff

darbieten kann. Eine Nährflüssigkeit dagegen, welche in 20 G. Wasser 0,1 G. weinsteinsaures Kali und 0,1 G. salpetersaures Ammoniak enthält, ist äusserst günstig für die Vermehrung der Bacterien, die in 3—5 Tagen die Flüssigkeit milchig machen und an der Oberfläche sich in dickem Schleim anhäufen.

Aus obigen Beobachtungen können wir den Schluss ziehen, dass die Bacterien in völlig normaler Weise und in grösster Ueppigkeit sich vermehren, sobald sie die erforderlichen Aschenbestandtheile in Lösung vorfinden und ihren Stickstoff aus Ammoniak oder Harnstoff, wahrscheinlich auch aus Salpetersäure, ihre Kohle aus irgend einer organischen Kohlenstoffverbindung, entnehmen können. Die Bacterien stimmen daher mit den grünen Pflanzen darin überein, dass sie den in ihren Zellen enthaltenen Stickstoff in Form von Ammoniakverbindungen assimiliren, was die Thiere nicht vermögen; sie unterscheiden sich dagegen von den grünen Pflanzen dadurch, dass sie den Kohlenstoff nicht aus der Kohlensäure zu entnehmen vermögen, sondern nur organische kohlenhaltige Verbindungen, insbesondere Kohlenhydrate und deren Derivate, assimiliren, und in dieser Beziehung mit den Thieren übereinstimmen.

Dieser Satz gilt zunächst für *Bacterium Termo*; es bleibt noch zu ermitteln ob er auch für alle Bacterienarten Anwendung findet, oder ob nicht einzelne Arten auf bestimmte Kohlenverbindungen angewiesen sind, wie etwa die Alcoholhefe auf Zucker; bis jetzt ist jedoch kein Fall der Art bekannt.

Auffallend ist, dass die so verschiedenartige Zusammensetzung des süssen und Meerwassers auf die Entwicklung der Bacterien keinen Einfluss zu haben scheint; es werden wenigstens die sämmtlichen continetalen Arten, von *B. Termo* bis zu *Sp. volutans*, auch aus dem Meere erwähnt.

### 13. Ueber die Fermentwirkungen der Bacterien.

Die Fäulniss stickstoffhaltiger thierischer oder pflanzlicher Gewebe und Säfte ist weder eine aus den chemischen Affinitäten ihrer Atome von selbst hervorgehende Umlagerung der Molecule, welcher dieselben unterliegen, sobald sie dem Einfluss des Lebens entzogen sind.

Noch ist Fäulniss die Folge einer spontanen Verbindung dieser Molecule mit dem Sauerstoff der Atmosphäre.

Die Fäulniss ist vielmehr ein von Stäbchenbacterien (*Bacterium Termo*) erregter chemischer Prozess. So wie Zucker sich niemals von selbst in Alcohol und Kohlensäure zersetzt, nur durch die Hefe-

pilze zur Gährung erregt wird, so faulen organische stickstoffhaltige Substanzen nie von selbst, sondern nur, wenn sie durch die Lebensthätigkeiten und die Vermehrung der Stäbchenbakterien zersetzt werden.

Dieser Satz ergiebt sich nicht bloß aus der mikroskopischen Untersuchung faulender Stoffe, in denen sich zwar vielerlei Pilze und Infusorien zu entwickeln pflegen (saprophile Organismen), ausschliesslich constant aber nur Stäbchenbakterien (*B. Termo*) die wir daher als saprogene oder Fäulnisbakterien schlechthin bezeichnen können.

Der nämliche Satz drängt sich mit überzeugender Gewissheit auf aus einer vorurtheilsfreien Erwägung der zahlreichen Versuche über *Generatio aequivoca*, welche seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts in sinnreicher Methode ausgesonnen und in den letzten Jahren ganz besonders vermännigfaltigt sind.

Ich habe im Laufe des vorigen Jahres diese Versuche, auf die ich noch zurückkomme, wiederholt, und ohne Ausnahme das nämliche Resultat erhalten: Keine Fäulnis entsteht, wenn zu einer stickstoffhaltigen organischen Substanz Bakterien nicht zutreten können, nachdem die früher etwa vorhandenen getödtet worden sind. Fäulnis beginnt, sobald Bakterien, wenn auch in geringster Zahl, absichtlich oder unabsichtlich zugeführt werden; sie schreitet vor in demselben Verhältniss, in dem die Bakterien sich vermehren; sie wird verlangsamt, wenn die Bakterien (z. B. in niedriger Temperatur) geringere Lebensthätigkeit entwickeln, sie wird zum Stillstand gebracht durch alle die Einflüsse, welche die Vermehrung der Bakterien gänzlich hemmen oder dieselben tödten; alle Bactericiden Mittel sind daher auch antiseptische oder desinficirende. Umgekehrt vermehren sich die Bakterien nur so lange, als sie Fäulnisfähige Stoffe vorfinden, sind die Stoffe ausgefault, so hört auch die lebendige Thätigkeit und die Vermehrung der Bakterien auf; dieselben gehen in Ruhezustand über, in dem sie lange Zeit verharren können.

In dem neusten Manifest in der Sitzung der Pariser Akademie vom 18. December 1871, in welchem Pasteur seine Gährungstheorie gegenüber der Liebig'schen vertheidigt, fasst er den Unterschied beider in folgender Weise zusammen: Nach der Ansicht von Liebig und den meisten Chemikern sei Gährung eine Bewegung, welche von den todten und in spontaner Zersetzung begriffenen Eiweissstoffen auf einen gährungsfähigen Stoff, zum Beispiel auf Zucker übertragen wird; es sei daher Gährung ein „correlatives Phänomen des Todes;“ Pasteur dagegen behauptet, dass nur dann Gährung erregt werde, wenn mikroskopische, meist pflanzliche Organismen



sich auf Kosten eines Theils der gährungsfähigen Substanz ernähren und vermehren; alle Gährung sei von Leben begleitet, beide Vorgänge beginnen und enden gleichzeitig; es sei daher Gährung ein correlatives Phänomen des Lebens.

Wir wenden diese Lehre auch auf die Fäulniss an und stellen den paradoxen Satz auf: Fäulniss ist ein correlatives Phänomen nicht des Todes, sondern des Lebens.

Fragen wir aber, auf welche Weise die Bakterien Fäulniss erregen, so lässt uns die Chemie, welche die Phänomene der Fäulniss nur wenig studirt hat, im Stich; wir müssen uns darauf vertrösten, bis von dieser Seite uns Aufklärung geboten wird, und uns für jetzt darauf beschränken, die biologischen Verhältnisse der Bakterien bei der Fäulniss festzustellen.

Soviel ich glaube, könnten möglicherweise vier verschiedene Beziehungen der Bakterien zur Fäulniss in Betracht gezogen werden. Entweder können die Bakterien eiweissartige Stoffe dadurch zersetzen, dass sie dieselben ganz oder theilweise assimiliren und durch eine Art Stoffwechsel in die Substanz ihrer eigenen Zellen umformen, etwa wie das Thier bei der Verdauung die Eiweissstoffe der Nahrungsmittel in sein Fleisch und Blut verwandelt.

Es können ferner die Bakterien in ihren Zellen einen besondern Stoff erzeugen und wieder ausscheiden, welcher als ungeformtes, flüssiges Ferment auf das Eiweiss lösend und chemisch verändernd wirkt, etwa wie die Zellen des Gerstenkorns Diastase erzeugen und ausscheiden, welche Stärkekörner löst und in Zucker umwandelt.

Es kann endlich auch das Verhältniss der Bakterien zum Sauerstoff sein, in welchem der Schlüssel ihrer Fermentthätigkeit zu suchen ist; sei es nun dass dieselben den Eiweissstoffen, in denen und auf deren Kosten sie sich entwickeln, Sauerstoff entziehen, oder dass sie umgekehrt auf dieselben activen Sauerstoff übertragen; sie können sich daher, um die von Moritz Traube in seiner bedeutenden Abhandlung über Gährung eingeführten Bezeichnungen anzuwenden, entweder als Reductions- oder als Oxydationsfermente verhalten.

Möglicherweise können auch zwei oder mehrere dieser Thätigkeiten combinirt wirken. —

Was zunächst das Verhältniss der Bakterien zum Sauerstoff betrifft, so wird allgemein anerkannt, dass sie des Sauerstoffs in hohem Grade bedürfen, und es kann nicht zweifelhaft sein, dass auch bei den Bakterien Stoffwechsel und Vermehrung, wie die aller lebenden Zellen, nur unter Aufnahme von Sauerstoff und Ausscheidung von Kohlensäure vor sich geht. Um sich davon zu überzeugen, in welchem

Grade die atmosphärische Luft die Vermehrung der Bakterien fördert, dazu genügt ein Blick auf die Schleimmassen, welche sich an der Oberfläche bakterienhaltiger Flüssigkeiten anhäufen. Aber daraus folgt noch nicht, dass die Fermentwirkungen der Bakterien in gradem Verhältniss zur Sauerstoffaufnahme stehen; ebenso wenig folgt, dass die Fermentwirkung der Bakterien um so grösser sein müsse, je reichlicher sie sich vermehren. Auch der Alcoholhefepilz vermehrt sich am stärksten, wenn er an der Oberfläche zuckerhaltiger Flüssigkeit möglichst reichlich mit Luft in Berührung kommt, wie das in den Presshefenfabriken veranaltet wird; aber die Fermentthätigkeit des Hefepilzes ist bei weitem grösser, d. h. es wird durch ihn bei weitem mehr Zucker in Alcohol umgewandelt, wenn er bei Ausschluss der Luft vegetirt, obwohl er sich alsdann bei weitem weniger vermehrt. Es steht zwar nicht fest, ob und in wie weit auch bei den Bakterien analoge Verhältnisse stattfinden, doch sollte ich meinen, dass in meinen künstlichen Ernährungsversuchen die am Boden einer vielleicht 20 Cm. tiefen, von gedrängten Bakterien dicht erfüllten Flüssigkeitsschicht befindlichen Bakterien nur geringe Sauerstoffmengen zur Verfügung haben können. Dass gewisse Bakterien für ihre Fermentthätigkeit des Sauerstoffs entbehren können, ja durch Sauerstoff darin gehindert werden, hat Pasteur selbst für die Organismen des Buttersäureferments zuerst nachgewiesen, die vielleicht umgekehrt ihrem Medium Sauerstoff entziehen mögen. Dagegen scheint die Fermentwirkung der Essigbakterien und der chromogenen Pigmentbakterien auf der Uebertragung von Sauerstoff zu beruhen. Wie immer auch die Bakterien sich zum Sauerstoff verhalten, so lässt sich begreifen, dass ihre gleichmässige und dichte Vertheilung in der Flüssigkeit und ihre unablässigen Bewegungen die Uebertragung des Sauerstoffs auf die Substanzmolecule oder auch das Umgekehrte in ausserordentlich viel kürzerer Zeit bewirken müssen, als dies durch blosse Gasdiffusion ohne Bakterien geschehen könnte.

Keineswegs aber kann sich die Betheiligung der Bakterien an der Fäulniss auf ihr Verhältniss zum Sauerstoff reduciren. Es steht fest, dass auch bei der Fäulniss, wie das Pasteur von der Gährung aussagt, ein beständiger Stoffwechsel stattfindet zwischen den lebenden Bakterien, welche wachsen und sich vermehren, und zwischen der faulenden Substanz, welche von ihnen assimilirt wird; dass die Bakterien mit anderen Worten sich von den faulenden Eiweissstoffen ernähren.

Nun haben wir aber durch die künstlichen Ernährungsversuche erwiesen, dass die Bakterien das Material zu ihren Zellen aus dem Ammoniak und der Weinsäure oder einer äquivalenten Kohlenver-



bindung entnehmen können, während ihnen bei der Fäulniss eiweissartige Nahrung geboten wird.

Man könnte freilich Zweifel erheben, ob die künstliche Ernährung der Bacterien durch Ammoniakverbindungen als eine normale anzusehen sei, und ob nicht vielmehr die Vorgänge bei der künstlichen Ernährung wesentlich von denen verschieden sind, welche bei der Fäulniss stattfinden. Ich glaube jedoch annehmen zu dürfen, dass dies nicht der Fall sei.

Die Massenentwicklung der Bacterien in künstlichen Nährflüssigkeiten steht der in faulenden Eiweissstoffen nicht im Mindesten nach, während z. B. die Hefezellen sich in der Pasteur'schen Flüssigkeit zugestandenermassen bei weitem weniger vermehren als in Bierwürze u. s. w. Von den einzelnen Vorgängen und Producten, welche bei der künstlichen Vermehrung der Bacterien vorkommen, lässt sich freilich nicht positiv nachweisen, dass sie mit denen der natürlichen Ernährung identisch sind, da wir über beide nur sehr wenig wissen. Doch habe ich wenigstens das beobachtet, dass gewisse Fäulnissgerüche nicht an die Eiweissstoffe gebunden sind, sondern von den Bacterien auch aus künstlichen Nährflüssigkeiten erzeugt werden; wenn diese sich in normaler Nährflüssigkeit (weinsauerm Ammoniak) derart vermehrt haben, dass dieselbe milchig ist, so entwickelt sie einen deutlichen Geruch nach faulem Käse, obwohl keine Spur von Eiweissstoffen in der Lösung vorhanden ist.

Noch entscheidender beweisen meine Versuche mit den chromogenen *Micrococcus*-arten, dass in künstlicher Ernährung (durch Ammoniakverbindungen) gewisse Bacterien genau dieselben Producte erzeugen, wie in natürlicher (durch Eiweissstoffe), dass daher in beiden Fällen die nämlichen Assimilationsprozesse stattfinden müssen.

Wie aus der Abhandlung von Schroeter hervorgeht, entwickeln verschiedene Arten von Pigmentbacterien, meist zur Gattung *Micrococcus* gehörig, auf gekochten Kartoffeln eine Reihe sehr charakteristischer Farbstoffe, indem sie sich offenbar auf Kosten der Eiweissstoffe in den Kartoffeln vermehren. Die Pigmentbacterien der gekochten Kartoffeln lassen sich, wie lange bekannt, auch auf andere Eiweissstoffe, Käse, Fleisch, Hühnereiweiss, Brod, Kleister, Reis und Maispolenta übertragen und vermehren, und erzeugen aus deren stickstoffhaltigen Bestandtheilen die nämlichen Farbstoffe. Ich selbst habe gefunden, dass die nämlichen Pigmentbacterien sich in völlig normaler Weise entwickeln und vermehren, und dass sie die nämlichen Farbstoffe erzeugen in künstlichen Lösungen, welche Ammoniak und eine organische



Kohlenstoffverbindung, aber keine Spur von Eiweissstoffen enthalten.

Es hat sich aus meinen Versuchen herausgestellt, dass ein Gemisch von essigsauerm und weinsauerm Ammoniak für die Vegetation gewisser Pigmentbakterien und die Erzeugung ihrer Farbstoffe die günstigste Nährflüssigkeit ist. Den grössten Theil der Pigmente in künstlichen Lösungen erhielt ich durch Zufall, indem ich in eine solche Nährflüssigkeit einen Bacterientropfen brachte, der selbst völlig farblos war, in dem aber jedenfalls die Keime der betreffenden *Micrococcus*arten enthalten waren. So wenig man durch Aussetzen von gekochten Kartoffeln in feuchte Luft mit Bestimmtheit den rothen Farbstoff des *Micrococcus prodigiosus* oder ein anderes Bacterien-Pigment erziehen kann, sondern es dem Zufall überlassen muss, ob die Luft die Keime dieser oder jener Art auf die Kartoffelscheibe aussät, so konnte ich auch in den künstlichen Lösungen nicht nach Willkühr ein bestimmtes, noch überhaupt ein Pigment erzeugen, sondern es hing vom Zufall ab, ob dieser oder jener Keim in die Flüssigkeit gerieth; sobald sich aber Pigment gebildet, konnte ich dasselbe durch Uebertragung der Bacterienhäute in neue Nährflüssigkeit in der Regel weiter vermehren.

Zuerst erhielt ich das blaue Laemus-Pigment, als ich am 29. Januar 1872 2 Cubcm. concentrirter Lösung von saurem weinsteinsaurem Kali, 2 Cubcm. offizinelles essigsaueres Ammoniak und 1 Cubcm. Nährsalzlösung mit 8 Cubcm. destillirtem Wasser anstellte und dieser Flüssigkeit einen Bacterientropfen zusetzte; am 3. Februar war dieselbe schwach, am 6. sehr stark getrübt; am 8. fing sie an sich schwach blaugrün zu färben, am 12. Februar zeigte sie reines Blau, das sich von Tag zu Tag kräftiger und intensiver entwickelte und gleichzeitig klärte; am 17. Februar nach 19 Tagen war die Flüssigkeit klar und prachtvoll blau wie Kupfervitriol. Die tägliche Steigerung der Farben-Intensität beweist, dass sich ununterbrochen neues Pigment bildete. Die ursprüngliche Trübung rührte neben der Entwicklung des eigenthümlichen Weinsäuremycels von zahllosen Stäbchenbakterien her, die sich jedoch allmählich am Boden absetzten und die Flüssigkeit klar liessen, während ein *Micrococcus*, der eine dicke gallertartige Haut auf der Oberfläche bildete, als Erreger des blauen Pigments anzusehen ist. Die Flüssigkeit reagirte Anfangs neutral und schwach sauer, wurde aber bald alkalisch, noch ehe die Pigmentbildung bemerkbar war, und blieb so bis zu Ende. Nachdem die klare blaue Flüssigkeit abfiltrirt war, wurde am 17. Februar der zurückgebliebene blaue Bacterienabsatz mit neuer Nährflüssigkeit übergossen; diese färbte sich bis

zum 28. Februar, nahm aber keine rein blaue, sondern eine lauchgrüne Farbe an; an diesem Tage wurde wiederum neue Nährflüssigkeit auf den Bakterien-Rückstand gebracht, die am 4. März bläulich, am 8. schön blau war und täglich an Intensität und Klarheit zunahm.

Eine grosse Zahl von Versuchen, in denen die Nährflüssigkeit in verschiedenen Verhältnissen abgeändert, und statt des Cremor tartari auch neutrales weinsteinsaures Kali, oder auch weinsaures Ammoniak dem essigsauren Ammoniak zugefügt wurde, gaben in der Regel ähnliche Resultate, indem die Nährflüssigkeit bald früher bald später alkalisch wurde und sich darauf erst grünlich, dann blau oder lauchgrün färbte. Die Uebertragung der Pigmentbakterien in die Nährflüssigkeit wurde mitunter dem Zufall oder vielmehr dem aus der Luft herabfallenden Staube überlassen, bald durch Einführung einer Micrococcushaut aus einer bereits gefärbten Flüssigkeit bewirkt. In einzelnen Fällen trat die Färbung schon am folgenden Tage, bei anderen Versuchen erst nach Wochen ein; so zeigte eine am 29. Januar angestellte Mischung von 0,4 G. weinsaurem Kali und 0,4 G. essigsaurem Ammoniak in 40 G. destillirtem Wasser erst am 19. Februar eine schwach grünliche, am 8. März intensiv blaue Färbung, während eine am 3. Februar gleich zusammengesetzte Nährflüssigkeit schon am 5. Februar trübe, am 8. Februar stark milchig, aber bereits intensiv blaugrün, wie Kupferchlorid, am 19. schön blau wie Kupferoxyd-Ammoniak war; später wurde die Lösung von neuem blaugrün; am 1. April hatte sie eine röthlich braune Farbe angenommen.

In einer ebenfalls am 3. Februar in gleichem Verhältniss angesetzten Nährflüssigkeit war nach neun Tagen die erste Spur grünlicher Färbung bemerklich, nachdem sich an der Oberfläche eine dicke Gallert von Kugelbakterien und in der Flüssigkeit zahllose *B. Termo* gebildet hatten; bis zum 16. Tage war die Flüssigkeit rein und intensiv lauchgrün, ohne Spur von Blau, geworden. In einer am 6. Februar angestellten Lösung von weinsaurem und essigsaurem Ammoniak trat schon nach drei Tagen die bläuliche Färbung mit alkalischer Reaction auf, die sich bis Ende Februar zu hellblauer Intensität steigerte; am 2. März wurde aus unbekannten Ursachen die Flüssigkeit schwach sauer; gleichzeitig wurde der Farbstoff roth und blieb so bis Ende April.

Ich habe das blaue und das lauchgrüne Pigment auch aus einer einprocentigen normalen Nährstoff-Lösung von essigsaurem Ammoniak und den mineralischen Nährsalzen, aber ohne Zusatz von weinsaurem Salze erhalten. Dagegen scheint dieses Pigment und seine verschiedenen Modificationen sich ohne essigsaures Ammoniak nicht zu

bilden. Eine normale Nährstoff-Lösung von weinsaurem Ammoniak blieb nach Zusatz von *Micrococcus cyaneus* vom 16. bis 30. März farblos; als aber am 30. März ihr ein Paar Tropfen essigsaures Ammoniak zugesetzt waren, zeigte sie schon Tags darauf eine bläuliche Färbung.

Das saftgrüne Pigment, welches ich von *Micrococcus chlorinus* abgeleitet habe, entsteht jedoch in einer normalen Nährstoff-Lösung von weinsaurem und ohne essigsaures Ammoniak, indem sich an der Oberfläche eine gelbgrüne Gallertschicht bildet, und der Farbstoff allmählich tiefer nach unten sich verbreitet. Noch in diesen Tagen experimentirte ich mit einer normalen Nährstoff-Lösung, in welcher seit mehren Wochen die Bacterienvermehrung vorüber war und ein sehr reichlicher Bacterienabsatz sich niedergeschlagen hatte; auf diesen Rückstand wurde am 10. August frische Nährstoff-Lösung aufgegossen, zwei Tage später wurde dieselbe trübe; nach vier Tagen hatte sich eine schön gelbgrüne Flüssigkeitsschicht an der Oberfläche gebildet; ein dickes Micrococcushäutchen, das oben schwamm, war der Erzeuger des Farbstoffes.

Dass sich auch gelbes und rosa Pigment auf künstlichen Nährstoff-Lösungen durch Aussaat des *Micrococcus luteus* und des *Sacharomyces glutinis* vermehren lässt, habe ich schon früher bemerkt; doch theilen sich diese Farbstoffe, da sie in Wasser nicht löslich sind, der Flüssigkeit nicht mit.

Meines Erachtens lässt sich die Erzeugung von Pigmenten in künstlichen Nährstoff-Lösungen durch absichtlich oder zufällig ausgesäte Pigmentbakterien nur so verstehen, dass diese Organismen einen Theil des Ammoniaks und der Essig- resp. Weinsäure aus der Nährflüssigkeit assimiliren, und daraus zunächst ihre eigenen Zellhäute und ihr Plasma, so wie das Pigment bilden. Wo das Pigment in Wasser unlöslich ist, wie z. B. bei der Rosahefe (*Sacharomyces glutinis* Fres.), kann kein Zweifel sein, dass dasselbe in den Zellen selbst enthalten ist; dasselbe gilt auch von den unlöslichen Pigmenten der Kugelbakterien (*Micrococcus prodigiosus* und *luteus*), obwohl bei letzteren das Pigment auch aus den Zellen in die Intercellularsubstanz ausgeschieden werden muss, da es von Schimmelpilzen aufgenommen wird (vgl. Schroeters Bemerkungen in diesem Heft p. 114). Bei den in Wasser löslichen Pigmenten des *M. cyaneus*, *chlorinus*, *aurantiacus* kann angenommen werden, dass der Farbstoff zunächst ebenfalls in den lebenden Zellen gebildet und durch Exosmose in die Nährflüssigkeit ausgeschieden wird; es könnte aber auch der Farbstoff direct aus der Nährflüssigkeit unter dem Einfluss der Bacterien erzeugt



werden, indem dieselben in Folge ihrer Assimilationsthätigkeit und unter Betheiligung des atmosphärischen Sauerstoffs die Molecule der Nährflüssigkeit zu Lagerungsveränderungen erregen, welche Stoffe von alkalischer Reaction und bestimmter Farbe hervorbringen.

Wie dem auch sei, soviel steht fest, dass dieselben Pigmente durch dieselben Organismen sich bei künstlicher Ernährung wie bei eiweissartiger Nahrung erzeugen; daraus kann mit grosser Wahrscheinlichkeit gefolgert werden, dass die Assimilationsprozesse in den Pigmentbakterien, und wahrscheinlich bei den Bakterien überhaupt, die nämlichen seien, möge nun ihnen der Stickstoff in Form von Ammoniak oder in Form von Eiweisskörpern geboten werden.

Dieses Resultat führt zu weiteren Schlussfolgerungen. Es entsteht die Frage: Ist es wahrscheinlich, dass die nämlichen Zellen, welche die Fähigkeit besitzen, durch ihre Assimilationsthätigkeit ihr Plasma aus Ammoniakverbindungen selbst zu erzeugen, dieses Plasma auch unmittelbar als fertiggebildete Eiweissstoffe aufnehmen sollen? Ich möchte diese Frage verneinen; denn so viel wir von der Ernährung der Thiere und Pflanzen wissen, so assimilirt derselbe Organismus nicht ohne Unterschied organische und anorganische Verbindungen; diejenigen Pflanzen, welche Kohlensäure assimiliren, nehmen keine Kohlenhydrate auf, und diejenigen Pflanzen, welche Humusverbindungen bedürfen, vermögen sich nicht von Kohlensäure zu ernähren; die Thiere, welche Eiweissstoffe als Nahrung verbrauchen, können ihr Blut nicht aus Ammoniak bilden, und umgekehrt nehmen die grünen Pflanzen Ammoniak, aber keine Albuminate auf. Ist es nicht wahrscheinlicher, dass auch die Bakterien, die, wie wir nunmehr wissen, Ammoniak assimiliren, keine fertigen Eiweissstoffe in ihre Zellen aufnehmen? Die meisten der Eiweissverbindungen, welche faulen, sind ja zunächst in Wasser gar nicht löslich und können daher ohne Veränderung von den Bakterien gar nicht aufgenommen werden (z. B. der Kleber der Pflanzensamen, das gekochte Eiweiss, das Fibrin der Muskeln etc.).

Aus diesen Erwägungen möchte ich die Vermuthung aufstellen, dass die Fäulnissbakterien die Fähigkeit besitzen, die Eiweiss-Molecule zu spalten, und zwar in Ammoniak, welches zunächst von ihnen assimilirt wird, und in andere Stoffe, welche als Nebenproducte der Fäulniss in der Flüssigkeit gelöst bleiben. Der Fäulnissprozess scheint mir eben auf der Spaltung der Eiweiss-Molecule in Ammoniak und andere flüssige und gasförmige, grossentheils noch unbekannte Verbindungen zu beruhen, in ähnlicher Weise wie die Gährung auf der

Spaltung des Zuckers in Alcohol und Kohlensäure, Glycerin und Bernsteinsäure beruht. Bei der Pigmentfäule werden gewisse Nebenproducte der Spaltung der Eiweiss-Molecul dadurch sichtbar, dass sie eben gefärbt sind; bei der eigentlichen Fäulniss werden sie zum Theil durch den Geruch charakterisirt. Vielleicht wird ein Theil des von den Bacterien aus den Eiweissstoffen erzeugten Ammoniaks dazu verwendet, um die unlöslichen Eiweissverbindungen im Verlauf der Fäulniss löslich zu machen. Dass dies geschehen muss, ergibt sich von selbst aus der Thatsache, dass z. B. hartgekochtes Hühner-eiweiss, Muskelfasern u. s. w. durch die Fäulniss sich allmählich in Schleim auflösen und völlig zerstört werden. Dass bei der Fäulniss Ammoniakverbindungen entstehen, ist übrigens bekannt und lässt sich auch in unsern Versuchen durch das Nessler'sche Reagenz leicht nachweisen. Die Wirkung des Harnferment ist vermuthlich auch auf die Assimilirung des Ammoniaks durch den *Micrococcus ureae* zurückzuführen.

Worauf aber beruht die Fähigkeit der Bacterien, Eiweiss-Molecul zu spalten? Ist sie eine unmittelbare Function ihres Vegetationsprozesses, in ähnlicher Weise, wie etwa die Kohlensäure durch die Lebensthätigkeit der grünen Zellen gespalten wird? Oder wird durch den Assimilationsprozess der Bacterien im Innern ihrer Zellen eine chemische Verbindung erzeugt, welche, wieder ausgeschieden, das Eiweiss löst und zersetzt, gleich den Verdauungsflüssigkeiten? Sind die Bacterien selbst das Ferment? Oder erzeugen sie nur ein flüssiges Ferment? Es würde zu weit führen, all die Analogien zusammenzustellen, welche mehr für die eine oder für die andere Alternative zu sprechen scheinen; genug, dass bis jetzt keine von beiden zur Evidenz gebracht worden ist.

Noch weniger klar als bei der Fäulniss und der Pigmentbildung lässt sich bis jetzt die Thätigkeit der Bacterien in den übrigen Fällen ihrer Fermentwirkungen übersehen, am wenigsten natürlich in ihren Beziehungen zu den Contagien.

So lange man nicht zwischen Bacterien und Bacterien unterschied und an den Satz glaubte, dass aus einer beliebigen Schimmelspore alle übrigen Schizomyceten und Mycelpilze hervorgehen können, so lange konnte auch die Contagienfrage keine wissenschaftliche Grundlage gewinnen.

Der erste Schritt zum Fortschritt war gethan, als man die pathogenen Bacterien von den saprogenen zu unterscheiden versuchte und zugleich nachwies, dass die überall verbreiteten Bacterien der Fäulniss das Contagium nicht erzeugen, sondern vielmehr zerstören. Die Beobach-

tung von Davaine, dass in gefaultem Milzbrandblut die Bacteridien sich nicht mehr finden, und dass dasselbe das Contagium nicht überträgt, wie die entsprechenden Untersuchungen von Klebs über Pyaemie, lassen hieran keinen Zweifel, während gleichzeitig die Filtrirversuche von Klebs und die Diffusionsversuche von Chauveau beweisen, dass das Contagium nicht in den flüssigen Theilen des *Virus*, sondern in den festen, und ohne Zweifel in den mikroskopischen Organismen seinen Sitz hat. Die Beobachtungen, welche Schroeter und ich über die Zerstörung der von Kugelbakterien erzeugten Pigmente durch überwiegende Vermehrung von Stäbchenbakterien gemacht, geben unserer Unterscheidung der pathogenen und saprogenen Bacterien eine positive Unterstützung.

So sicher nun, wie ich glaube, die Thatsache, dass gewisse Bacterienarten die Träger von Contagien sind, so schwierig, ja unmöglich ist es bis jetzt, auf dieser Thatsache weiter zu bauen. Die vier Möglichkeiten, welche ich in Bezug auf die Fermentthätigkeit der Fäulnisbakterien in's Auge gefasst, müssen auch bei der Contagienfrage zur Erwägung kommen. So hat Bollinger zur Erklärung der deletären Wirkungen der Anthraxbacteridien die Theorie aufgestellt, dass diese Organismen eine chemische Affinität zum Sauerstoff besitzen, dass sie denselben mit grosser Begierde und in grosser Menge den rothen Blutkörperchen entziehen und bei ihrer ungeheuren Anzahl bald Sauerstoffmangel und Kohlensäureüberladung im Blute zur Folge haben. Alle pathologischen Erscheinungen an milzbrandkranken Thieren und Menschen seien daher Erscheinungen des O-Mangel und der CO<sup>2</sup>-Ueberladung; die Wirkung der Bacterien sei analog der Blausäurewirkung, die Erscheinungen der Blausäurevergiftung dieselben, wie beim apoplectiformen *Anthrax*.

Dagegen hatten Klebs und Oertel das Resultat gezogen, dass die Bacterien der *Septicaemie*, *Pyaemie* und *Diphtherie* das Blut und die Organe, welche sie belagern und durchsetzen, theils durch Entziehung von Nährstoffen, die sie für sich selbst assimiliren, theils durch mechanische Gefässverstopfungen und Blutstauungen, theils endlich durch eine allgemeine Blutvergiftung afficiren und degeneriren.

Die tödtlichen Wirkungen der meisten Insectenpilze beruhen wiederum grösstentheils darauf, dass das Blut, statt zur Ernährung des Thiers verwerthet zu werden, in Pilzmycel umgewandelt wird, dass das Thier sozusagen „im Pilz erstarrt“ (vergleiche meine Zusammenstellung hierher gehöriger Thatsachen in dem Aufsatz „über eine neue Krankheit der Erdraupen“ im ersten Hefte dieser Beiträge).

Auch in anderen Fällen mag die Thätigkeit der pathogenen Bacte-



rien darauf beruhen, dass sie das Blut und die Gewebe ihrer Wirthe verzehren und gleichzeitig Spaltungen und Neucombinationen der Molecule erregen. Die Assimilationsproducte mögen in den Bacterienzellen selbst eingeschlossen bleiben, wie die unlöslichen Pigmente, oder sie mögen wieder ausgeschieden werden, wie die löslichen Farbstoffe, oder direct im Blute sich bilden, wie die Essigsäure im Alcohol; diese ausserhalb der Bacterien befindlichen Assimilationsproducte mögen schon in minimalen Mengen als flüssige Gifte wirken, wie dies vom *Septicin* angenommen wird; in anderen Fällen mögen die pathogenen Bacterien die Rolle eines Oxydations- oder eines Reductionsferments spielen.

Wir sind nicht weit genug, um die einzelnen Fälle zu unterscheiden; da die pathogenen Organismen vermuthlich verschiedenen Arten, Rassen und Varietäten angehören, mögen in verschiedenen Contagien verschiedene Fermentwirkungen in Betracht kommen. Das Studium der leichter dem Experiment zu unterwerfenden saprogenen, zymogenen und chromogenen Bacterien und insbesondere ihres Verhaltens in den von mir nachgewiesenen künstlichen Nährstoff-Lösungen, wird, wie ich hoffe, den Weg zeigen, durch welchen auch für jene hochwichtigen Fragen weitere Aufklärung zu erwarten ist.

## 12. Verhalten der Bacterien zu extremen Temperaturen.

Während in den letzten Jahren hauptsächlich der angebliche Polymorphismus der Bacterien die Naturforscher und Aerzte Deutschlands beschäftigte, hat in England und Frankreich insbesondere das Verhältniss der Bacterien zur Urzeugung das lebhafteste Interesse, nicht blos in wissenschaftlichen Kreisen, in Anspruch genommen. Wer einmal die Versuche von Needham und Spallanzani, von Appert, Schwann, S. Schultze, Schröder, v. Dusch und Pasteur wiederholt hat, (vergleiche die klare Zusammenstellung in Pasteur, Mém. sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère, Ann. de Chem. et de Phys. 1862, oder in der Inaugural-Dissertation von Georg Lunge, de fermentatione alcoholica. Breslau 1859) dem scheint es schwer begreiflich, dass eine vollkommen abgethane Streitfrage immer von neuem zum Gegenstand der Controverse gemacht wird. Nichts ist leichter, als diese Versuche zu wiederholen; zu ihnen eignen sich besonders solche stickstoffhaltige Körper, welche in warmem und kaltem Wasser unlöslich, auch nach längerem Kochen das Wasser nicht trüben; denn man kann bei diesen den Beginn der Bacterienentwicklung und der von ihnen erregten Fäulniss auch ohne mikroskopische Untersuchung so-

fort an der Trübung des Wassers erkennen, obwohl, wie schon bemerkt, absolute Gewissheit über Anwesenheit und Abwesenheit der Bakterien nur durch das Mikroskop zu gewinnen ist. Ich benutzte gewöhnlich hartgekochtes Hühnereiweiss, in kleine Würfel zerschnitten, oder Pflanzensamen (Erbsen, Bohnen, Lupinen), welche geschält, dann längere Zeit in destillirtem Wasser gekocht wurden, wobei die ersten gefärbten Aufgüsse so lange erneuert wurden, bis das Wasser nach dem Kochen vollkommen klar und farblos blieb. Schneidet man stärkehaltige Samen in kleinere Stücke, so ist der beim Kochen gebildete Kleister sorgfältig abzuspülen, weil er sonst Trübung veranlasst. Werden nun Samen oder hartgekochtes Eiweiss im offenen Kölbchen mit destillirtem Wasser so lange gekocht, dass eine gleichmässige Erhitzung der angewendeten Substanz auf 100° angenommen werden kann, wozu jedoch mindestens 1 Stunde gehört, wird dann der Hals des Kölbchens (nach Spallanzani) zugeschmolzen, oder (nach Schroeder und Dusch) mit Baumwolle verstopft, so bleibt das Wasser durch unbegrenzte Zeit klar, Samen oder Eiweiss unverändert, es entsteht weder Trübung, noch Bakterienabsatz, noch Fäulniss. Ganz besonders überraschend ist auch der Pasteur'sche Versuch, durch hakenförmiges Abwärtsbiegen des Kolbenhalses das Eindringen von Bakterien in die Versuchsflüssigkeit zu hindern; ich habe in der That Kölbchen mit einer gekochten Erbse nunmehr acht Monate völlig bakterienfrei und ungefault erhalten, obwohl die abwärts gebogene Spitze des Kolbenhalses offen, und eine gewisse Luftcirculation durch Temperaturschwankungen im Kolbenraume stattfindet; als ich in einem solchen Kölbchen mit abgebogenem Halse, in dem eine Erbse mit destillirtem Wasser sechs Monate lang bakterienfrei geblieben war, mittelst der Handwärme die Luft verdünnt und beim Wiederabkühlen einen Bacterientropfen eingesaugt hatte, so begann zwei Tage darauf die Fäulniss. In mehreren Fällen gelang übrigens der Pasteur'sche Versuch nicht, und es entwickelten sich Bakterien in der Kolbenflüssigkeit, was auch nicht zu verwundern ist. Bei einem Versuch nach Schroeder und Dusch blieb Eiweiss vom 16. April bis Ende November rein weiss, während das Wasser allmählich durch den Baumwollenpfropf verdunstete, aber auch dann entwickelten sich keine Bakterien auf dem in feuchter Luft liegenden Eiweiss; denn als ich am 21. November destillirtes Wasser aufgoss, trübte sich dasselbe nicht, was der Fall gewesen wäre, wenn sich Bacterienschleim gebildet hätte; das Wasser aber musste Keime zugeführt haben; denn schon Tags darauf begann die Fäulniss; am 25. November wimmelte das Wasser von Stäbchenbakterien. Wenn

in einem mit Baumwolle verstopften K lbehen das eingeschlossene Wasser durch Schütteln zum Benetzen des Baumwollpropfes gebracht wird, so entwickeln sich sofort Fäulnissbakterien, deren Keime von der Baumwolle abgespült sein müssen. Es ist übrigens auffallend, und nur durch die geringe Menge der in der Luft enthaltenen Bakterienkeime erklärlich, dass die Baumwolle die letzteren abfiltrirt; denn eine bakterienreiche Flüssigkeit wird durch das viel dichtere Filtrirpapier nicht zurückgehalten; bei einem Versuch gingen selbst durch ein 16faches Filter noch vereinzelte Bakterien; durch Ablösen der Papier-Schichten und Ausdrücken der in ihnen enthaltenen Flüssigkeit liess sich ermitteln, dass durch zwölf Lagen eine grössere Zahl, durch neun sehr viele, und durch fünf eine ungeheure Menge Bakterien hindurchgingen.

Wenn jedoch Männer, wie Frankland und Bastian, für die *generatio aequivoca* der Bakterien in die Schranken treten, und selbst ein so geistvoller und exacter Dialectiker wie Pasteur den französischen Heterogonisten gegenüber keinen leichten Stand hat, so liegt dies offenbar nicht allein an den unlogischen Schlüssen und den schlechten Experimenten der Anhänger der *generatio aequivoca*, sondern es sind in der That noch einige nicht völlig unaufgeklärte Verhältnisse, die zwar, wie ich überzeugt bin, die Hauptsache nicht berühren, aber doch den Zweifel erklärlich machen.

Alle die oben berührten Versuche haben eine dreifache Prämisse, 1) dass im Wasser und den thierischen oder pflanzlichen Geweben, welche dabei verwendet werden, Bakterien ursprünglich vorhanden sind, oder doch sein können; 2) dass diese Bakterien durch Kochen getödtet werden; 3) dass neue Bakterien aus der Luft herabfallen, wenn dies nicht durch Zerschmelzen der K lbehen, durch Baumwollenpfropfe, oder einfach durch Abw rtsbiegen des Kolbenhalses verhindert wird. Gegen alle diese Voraussetzungen lassen sich Bedenken erheben.

Dass in allen organischen Körpern, z. B. in gekochtem Hühner-eiweiss, einem frisch geschälten Samen, dass im Blut oder Fleisch eines frisch getödteten gesunden Thieres bereits Bakterien enthalten sind, widerspricht den oben referirten Versuchen von Burdon Sanderson; sicher ist dagegen, dass in allem Wasser Bakterien vorhanden sind, wenn auch oft nur in geringer Zahl und ohne Vermehrung, vielleicht im Ruhe- oder Dauerzellenzustand; dass diese Keime jedoch bald in Vegetationsth tigkeit treten und sich in's Unendliche vermehren, sobald sie geeignete Nahrung finden; und dass durch Berührung mit unreinen Oberflächen, wie dies bei der



Vorbereitung zu den Versuchen kaum zu vermeiden ist, auch die ursprünglich bacterienfreien Körper leicht inficirt werden.

Dass aus der Luft Bacterienkeime herabfallen, wird zwar allgemein angenommen, steht aber ebenfalls mit den Burdon Sander-son'schen, von mir theilweise bestätigten Versuchen in Widerspruch, wonach wenigstens in gekochten künstlichen Nährstoff-Lösungen aus der Luft zwar Schimmelsporen aber keine Bacterien zugeführt werden. Auch Rindfleisch in seinen Untersuchungen über niedere Organismen (Virchow's Archiv LIV.) gelangte selbständig zu diesem Ergebniss. Ich habe als Grund dafür angenommen, dass die Bacterienkeime in der Luft zu spärlich und zu leicht, möglicherweise auch schwer benetzbar sind, daher auf der Oberfläche der Flüssigkeit liegen bleiben, und ohne einzudringen und sich zu vermehren, wieder fortgeblasen werden.

Wenn statt künstlicher Nährstoff-Lösungen organische Gewebe gekocht, und dann offen stehen gelassen werden, so dauert es mitunter auch längere Zeit, ehe sich Bacterien einfinden. Ein Reagenzcyylinder, in welchem am 16. April eine Erbse gekocht, und dessen freie aufrechte Spitze offen geblieben war, hielt sich sieben Wochen lang bis zum 26. Mai ohne Bacterien; dann aber begann Fäulniss unter steigender Trübung, bis schliesslich die Erbse durch Auflösung der Intercellularsubstanz und Auseinanderfallen der Zellen in stinkenden schmutzigen Brei zerflossen war. Wasser, das in einem offenen Kölbchen am 11. März mit einer Erbse gekocht war, blieb klar bis zum 11. April; dann begann die Trübung, die von Tag zu Tag zunahm. Ein Reagenzcyylinder, in welchem am 16. April 3 G. hartes Hühnereiweiss mit 10 G. Wasser gekocht, und der dann durch Zuschmelzen hermetisch verschlossen war, blieb bacterienfrei, das Wasser klar, das Eiweiss fest und ungefärbt bis zum 21. November, wo durch einen Sprung der Hals aufgebrochen wurde; sofort trat Fäulniss ein; am 25. November war schon alles durchgefäult. Es lässt sich aus diesen und hundert ähnlichen Versuchen schliessen, dass zwar aus der Luft die Inficirung mit Bacterien nur langsam und weit schwieriger geschieht, als durch Wasser und unreine Oberflächen, dass jedoch der Staub, der nebst grösseren Körpern (z. B. Fliegen, Motten und andern Insekten) in offene Gefässe fällt, früher oder später auch Bacterien einführt.

Dass endlich Bacterien der Siedhitze nicht widerstehen, scheint selbstverständlich; ja der Analogie nach sollte vermuthet werden, dass schon Erwärmen auf Temperaturen unter 100° die Bacterien tödten müsse. Wenn jedoch derartige Versuche mit thierischen oder pflanzlichen Geweben angestellt werden, so geben dieselben auffallend

unsichere und widersprechende Resultate; ja es fehlt nicht an Angaben der zuverlässigsten Beobachter (Schwann u. A.), dass selbst Erhitzen auf und über  $100^{\circ}$  die Entwicklung der Bakterien nicht immer hindert. Pasteur giebt die äusserste Widerstandsgrenze für Bakterien in sauer reagirender Milch auf  $105^{\circ}$  C. an. Auf die Beobachtungen von Wyman und Crace Calvert, welche noch weit höhere Temperaturen annehmen, will ich hier nicht weiter eingehen.

Im Juni 1871 stellte ich mit Unterstützung des Herrn Stud. Troschke derart Versuche an, dass je eine geschälte Erbse in einem Kölbchen mit circa 5 G. destillirtem Wasser gekocht, abgekühlt, sodann ein Bacterientropfen zugesetzt, darauf das Kölbchen im Wasserbade bei einer bestimmten Temperatur  $\frac{1}{4}$  —  $\frac{1}{2}$  Stunde erwärmt, sodann der Kolbenhals mit Baumwolle verstopft wurde. Das Resultat war folgendes:

Nach Erwärmung auf  $45^{\circ}$ ,  $55^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  begann Fäulniss innerhalb drei Tagen; bei  $65^{\circ}$  trat anfänglich keine Veränderung ein, doch begann das Faulen etwas später; bis zum 7. August war die Erbse in gelbbraunen schmutzigen Brei aufgelöst.

Bei  $75^{\circ}$  faulte die Erbse nicht; das Wasser blieb jedoch nicht klar, sondern opalisirte und bildete einen geringen Bacterienabsatz; bei einem zweiten Versuch trat Fäulniss ein.

Bei  $80^{\circ}$  faulte die Erbse nicht; das Wasser blieb klar, es entwickelte sich ein weisses Mycel, das bis zum 20. Juni als *Penicillium fructificans*; in einem zweiten Versuch zeigten sich nach  $\frac{1}{2}$  stündiger Erhitzung weder Bakterien noch *Penicillium*, noch Fäulniss; in einem dritten trat, trotz dreiviertelstündiger Erhitzung, nach ein Paar Tagen Fäulniss ein; ein vierter gab nach halbstündiger Erhitzung geringe Trübung und Absatz, doch keine Fäulniss.

Bei Temperaturen über  $80^{\circ}$  trat weder Bacterienentwicklung noch Fäulniss ein.

Die Ungleichheit der Resultate zwischen  $65$  und  $80^{\circ}$  schrieb ich anfänglich dem Umstande zu, dass in unseren Versuchen die höhere Temperatur zu kurze Zeit eingewirkt, und dass nur der Bauch der Kölbchen im Wasserbade eingesenkt war, der Hals herausragte; dass also möglicherweise durch den Wasserdunst Bakterien in diesen kälteren Theil geführt wurden, wo sie in niedriger Temperatur lebendig bleiben und später in das Innere des Kölbchens zurückfliessen konnten. In der That ergab sich, dass, wenn das Wasser im Kölbchen kochte, das Thermometer in der Mitte des Halses nur  $78$ — $79^{\circ}$ , nahe der Mündung des Halses  $50$ ,  $53$ ,  $57$ ,  $59^{\circ}$  im Mittel  $55^{\circ}$  zeigte. Es wurde daher eine zweite Versuchsreihe so abgeändert, dass das Kölbchen

mit 5—10 G. Aq. dest., einer Erbse und einem Bacterientropfen beschickt, am Halse zugeschmolzen, und sodann in einem Becherglase vollständig unter Wasser versenkt wurde, welches durch eine Gasflamme durch längere Zeit auf 60—100° erhitzt werden konnte. Aber auch so blieben die Resultate ungleich, indem bald keine, bald reichliche Trübung durch Bacterien erfolgte; wirkliche Fäulniss fand jedoch bei höherer Erwärmung nicht statt; nach einiger Zeit hörte die Vermehrung der Bacterien auf; diese bildeten einen geringen Absatz; die Erbsen wurden nicht merklich angegriffen; wurde das Kölbchen geöffnet, so entwich Gas unter Zischen, das offenbar unter starkem Druck gestanden war; bei einem unter Wasser geöffneten Kölbchen entwich das Gas so gewaltsam, dass die ganze Flüssigkeit im Moment herausgeschleudert wurde; das Gas hatte einen Geruch nach Buttersäure; bei der mikroskopischen Untersuchung stellte sich heraus, dass sich in der Regel nicht *Bacterium Termo*, sondern *Bacillus subtilis* vermehrt, und zum Theil zu Leptothrixfäden und dichten Haufengewirren entwickelt hatte. Es scheint demnach, dass in diesem stärker erhitzten Kölbchen nicht Fäulniss, sondern Buttersäuregährung eingetreten war, woran allerdings auch die begrenzte Luftmenge ihren Antheil hatte; doch scheint in der That *Bacillus* höheren Temperaturen länger zu widerstehen als *B. Termo*. In Kölbchen, welche längere Zeit gekocht waren, entwickelten sich überhaupt keine Bacterien.

Für die Ungleichheit der Resultate bei Erwärmung thierischer oder pflanzlicher Gewebe zwischen 60 und 100°, welche bald Bacterien entwickeln lässt, bald nicht, weiss ich keine andere Erklärung, als dass diese Körper in trockenem Zustande eingeführt, notorisch sehr schlechte Wärmeleiter sind, dass sie die Temperatur des heissen Wassers nur sehr langsam und ungleich annehmen, und daher möglicherweise einzelne Bacterien von der Einwirkung der höheren Temperaturgrade geschützt bleiben. Es schien daher wünschenswerth, die Frage dadurch zu vereinfachen, dass alle festen und trockenen Körper ausgeschlossen und die absolute Temperaturgrenze, bis zu welcher Bacterien lebendig und entwicklungsfähig bleiben, durch Erwärmen derselben in einer künstlichen Nährflüssigkeit ermittelt wurde.

Auf meine Bitte übernahm Herr Dr. Horwath aus Kiew im pflanzenphysiologischen Institut diese Versuchsreihe, und ich erlaube mir die Resultate derselben hier nach seinem Berichte anzuschliessen:

„Es wurden 100 G. einer Normal-Nährflüssigkeit nach der schon oben (p. 196) angeführten Vorschrift angefertigt.



In diese Lösung wurde 1 C. C. Bakterien-Flüssigkeit (Wasser, welches sehr viel bewegliche Bakterien enthielt) gegossen und dann das Ganze zur gleichmässigen Vertheilung geschüttelt. Mit dieser Bakterien und die zu deren Entwicklung nöthigen Nährstoffe enthaltenden Flüssigkeit wurden gleich grosse Kölbchen gefüllt und dann zugeschmolzen.

Die Erwärmungs-Versuche zeigten ausnahmslos die vollkommenste Bestätigung der früher zahlreich gemachten Versuche, wonach 20 Minuten langes Verweilen der bakterienhaltigen Flüssigkeit in Wasser von  $100^{\circ}$  C., die Fähigkeit der Bakterien sich zu vermehren total vernichtet.

Aus diesem Grunde richteten sich seit dieser Zeit unsere Versuche nur auf die Wirkung der Temperaturen unter  $100^{\circ}$  C., ohne Berücksichtigung der Angaben, nach welchen die Bakterien  $100^{\circ}$  C. und mehr aushalten sollten.

Wir halten es für nöthig, sogleich die Methode anzugeben, mit welcher wir unsere Resultate erlangten; dieselbe zielte hauptsächlich darauf hin, dass das ganze Kölbchen die erwünschte Temperatur annähme.

Die bakterienhaltige Nährflüssigkeit wurde zu je 5 C. C. in 10 C. C. fassende Kölbchen von gleicher Form hinein gethan.

Dann wurden die Kölbchen zugeschmolzen und unter warmem Wasser bei verschiedenen Temperaturen bald kürzere bald längere Zeit gehalten; wobei die Kölbchen von Zeit zu Zeit, ohne aus dem Wasser gehoben zu werden, geschüttelt wurden.

Als Parallel- und Controlversuche wurden immer zwei Reagenz-Cylinder mit derselben Bakterien-Flüssigkeit gefüllt und nicht gekocht; der eine von ihnen zugeschmolzen, der andere offen gelassen; beide zeigten stets reiche Bakterien-Vermehrung; was ihre und ihrer Genossen Lebensfähigkeit deutlich documentirte.

Bei diesen Versuchen stellte sich ohne Ausnahme heraus, dass sich in den Kölbchen, welche während einer Stunde einer Erwärmung von  $60$ — $62^{\circ}$  C. unterworfen waren, keine Bakterien entwickelten und dass die hineingethane Flüssigkeit daher vollkommen klar blieb; Kölbchen mit Bakterien-Flüssigkeit dagegen, welche nur auf  $50^{\circ}$  C. oder  $40^{\circ}$  C. erwärmt wurden, wurden getrübt in Folge der Vermehrung der Bakterien nach einer Zeit von zwei bis drei Tagen.

Man braucht kaum zu erwähnen, dass in Kölbchen, welche eine Erwärmung von  $70$ ,  $80$ ,  $90^{\circ}$  C. erlitten, niemals eine Trübung eintrat.

Die Thatsache, dass die Trübung in einem Kölbchen, welches nur eine Stunde einer Temperatur von  $50$ — $52^{\circ}$  C. unterworfen wurde,

weit früher eintrat als in einem solchen, das zwei Stunden dieselbe Temperatur auszuhalten hatte, lässt vermuthen, dass 60° C. wahrscheinlich nicht die niedrigste Temperatur ist, welche die Bacterien tödtet, sondern dass eine vielleicht wenige Grade geringere Wärme schon genügt, ihre Vermehrung zu hindern.

Dass indess das längere Erwärmen allein in einem solchen Falle nicht schädlich ist, beweist die schon am ersten Tage eingetretene Trübung in einem Kölbchen, welches drei Stunden lang (also länger wie alle früheren) einer Erwärmung von 40° C. ausgesetzt war.

Wenn die Versuche gezeigt haben, dass 60 Grad und vielleicht noch weniger Wärme im Stande ist, die Bacterien-Entwicklung zu verhindern; so ist damit nicht gesagt, dass bei praktischer Anwendung 100° C. Wärme zur Tödtung der Bacterien nicht nöthiger wären als 60° C.; denn unsere späteren Versuche zeigten, dass in einem Kölbchen, welches neben der angewandten Nährflüssigkeit noch eine Lupine enthielt, Bacterien sich entwickelten, obgleich unter denselben Bedingungen (Erwärmung in demselben Gefässe zu gleicher und während der gleichen Zeit) ein anderes Kölbchen mit derselben Flüssigkeit — aber ohne Lupine — keine Spur von Trübung wahrnehmen liess.

Wenn unsere Versuche demnach ergeben, dass in künstlicher Nährflüssigkeit die Bacterien durch eine Temperatur von höchstens 60° ihrer Entwicklungsfähigkeit beraubt werden, so können die entgegenstehenden Beobachtungen, bei denen Bacterien, welche mit organischen Geweben bis zu 100° erhitzt werden, dennoch Vermehrung zeigten, wohl nur aus einer nicht gleichmässigen Erwärmung erklärt werden.“

Was das Verhalten der Bacterien gegen niedere Temperaturen anbelangt, so ist es eine bekannte Thatsache, dass durch die Kälte der Eintritt der Fäulniss aufgehalten, und daher auch die Lebensthätigkeit, und insbesondere Vermehrung der Bacterien suspendirt wird, während mit steigender Temperatur beide Erscheinungen gleichmässig beschleunigt werden. Jedermann weiss, dass im Winter Fleisch langsamer fault, Milch langsamer gerinnt, Bier später sauer wird, als im Sommer. Die Mammuthleichen, welche mit Haut und Haar sich im sibirischen Eise durch ungezählte Jahrtausende unverändert erhielten, sofort aber in kürzester Zeit durch Fäulniss zerstört werden, sobald sie durch Schmelzen des Eises einer etwas höheren Temperatur ausgesetzt sind, beweisen, dass unter 0° eine Fermentthätigkeit der Fäulniss-Bacterien überhaupt nicht eintritt. Es war daher von Wichtigkeit zu ermitteln, ob durch Erfrieren die Bacterien in derselben Weise getödtet werden, wie dies durch Erwärmen bis auf 60° von

uns nachgewiesen ist. Die von Herrn Dr. Horwath angestellten Versuche stellten jedoch das Gegentheil heraus; sie weisen darauf hin, dass diese Organismen eine sehr bedeutende Kälte ohne Nachtheil aushalten können. Die Erfrierungsversuche wurden folgendermassen angestellt: ein Reagenzcyylinder wurde am 6. Juni 1872 zur Hälfte mit bacterienhaltiger Nährflüssigkeit gefüllt und mit einem Kork verschlossen, durch den ein Thermometer gesteckt war, das bis in die Flüssigkeit reichte. Zur Sicherheit war der Kork sorgfältigst ausgekocht, das Thermometer mit Ammoniak gereinigt und das Glas des Reagenzcyinders über der Flüssigkeitssäule ausgeglüht.

Hierauf wurde der Cylinder bis zum oberen Rand in eine Kältemischung gesteckt, zugleich mit ihm auch ein zugeschmolzenes, mit der nämlichen Bacterien-Flüssigkeit versehenes Kölbchen in die Kältemischung gebracht.

Der Verlauf der Temperatur im Reagenzcyylinder war folgender:

|           |            |          |
|-----------|------------|----------|
| 12 h. 30' | Temperatur | 0° C.    |
| 1 h. 30'  | „          | — 16° C. |
| 1 h. 45'  | „          | — 17° C. |
| 3 h. 30'  | „          | — 18° C. |
| 4 h. 30'  | „          | — 18° C. |
| 5 h.      | „          | — 17,5.  |
| 6 h.      | „          | — 14° C. |
| 7 h. 30'  | „          | — 9° C.  |

Am folgenden Tage (7. Juni) wurden diese Gefässe bei 15° C. Lufttemperatur ganz klar herausgenommen; am 8. Juni war nach einer mehr als siebenstündigen Erfrierung eine deutliche Vermehrung der Bacterien durch Trübung der Flüssigkeit zu erkennen.

Eine zweite Reihe von Versuchen theils mit zugeschmolzenen Kölbchen, theils in den auf obenerwähnte Art behandelten Reagenz-Cylindern, in denen durch 18 Stunden bacterienhaltige Nährflüssigkeit dem Erfrieren ausgesetzt wurde, wobei jedoch die Temperatur nicht unter — 7° C. fiel, liess ebenfalls in sämmtlichen Gefässen nach dem Aufthauen Bacterienvermehrung deutlich erkennen.

Aus diesen Versuchen ergibt sich, dass die Bacterien durch sehr niedrige Temperaturen, die mehrere Stunden einwirken, nicht getödtet werden; wohl aber verfallen dieselben schon bei 0°, wahrscheinlich schon bei etwas höherer Temperatur, in Kältestarre, in welcher sie ihre Beweglichkeit und Vermehrung, und in Folge dessen auch ihre Fermentwirkung, nicht aber die Fähigkeit verlieren, bei höherer Temperatur ihre Entwicklung wieder zu beginnen. Beim Aufthauen einer Versuchsflüssigkeit,



in welcher auch *Spirillum volutans* mit eingefroren war, liess sich direct unter dem Mikroskop beobachten, dass die Schraubenfäden längere Zeit völlig unbewegt und scheinodt waren, allmählich aber bei steigender Erwärmung des Objectglases kehrten sie in's Leben zurück und fingen ihre Bewegungen wieder an. *Euglenen*, die mit eingefroren waren, waren dagegen sämtlich getödtet und desorganisiert, desgleichen alle höheren Infusorien und Räderthiere, mit Ausnahme encystirter Vorticellen, deren contractile Vacuole die Fortdauer des Lebens bezeugte.

Breslau, im August 1872.

## Figuren - Erklärung.

### Tafel III.

- Fig. 1. *Micrococcus prodigiosus* (*Monas prodigiosa* Ehr.) Kugelbakterien des rothen Pigment einzeln, zu 2, auch zu 4 zusammenhängend; die übrigen Pigmentbakterien sind von dieser durch das Mikroskop nicht zu unterscheiden.
- Fig. 2. *Micrococcus vaccinae*. Kugelbakterien aus der Pockenlymphe in Vermehrung, zu kurzen 4—8 gliedrigen, graden oder verbogenen Ketten und zu unregelmässigen Zellhaufen verbunden.
- Fig. 3. Zoogloeaform der Micrococcusarten, Häute oder Schleimschichten durch dichte feingekörnte Punktirung charakterisirt. (*Mycoderma* Pasteur.)
- Fig. 4. Rosenkranzketten (Torulaform) von *Micrococcus Ureae* aus dem Harn.
- Fig. 5. Rosenkranzketten und hefeartige Zellhaufen aus dem weissen Absatz einer sauer gewordenen Lösung von Milhzucker.
- Fig. 6. *Sacharomyces glutinis*. (*Cryptococcus glutinis* Fresen.) Sprossende Hefe, bildet schöne rosa Häufchen auf gekochten Kartoffeln.
- Fig. 7. *Sarcina spec.\** aus dem Blute eines gesunden Mannes, \*\* auf der Oberfläche eines mit *Micrococcus luteus* überzogenen Hühnereies, gelbe Häufchen bildend.
- Fig. 8. *Bacterium Termo*, frei bewegte Form.
- Fig. 9. Zoogloeaform von *Bacterium Termo*.
- Fig. 10. Bakterienhaut, durch linienartig aneinandergereihte Stäbchenbakterien gebildet, von der Oberfläche sauer gewordenen Bieres.
- Fig. 11. *Bacterium Lineola*, frei bewegte Form.
- Fig. 12. Zoogloeaform von *B. Lineola*.
- Fig. 13. Bewegliche Fadenbakterien mit kugligen oder elliptischen stark lichtbrechenden Köpfchen, vielleicht aus Gonidien gekeimt.

- Fig. 14. *Bacillus subtilis*, kurze Cylinder und längere, sehr flexile, z. Th. in Theilung begriffene bewegliche Fäden.
- Fig. 15. *Bacillus Ulna*, einzelne Glieder und längere Fäden, z. Th. in ihre Glieder zerbrechend.
- Fig. 16. *Vibrio Rugula*, einzeln oder in Theilung, bei \* scheinbar angeschwollen in Folge rascher Rotation.
- Fig. 17. *Vibrio serpens*, Fäden länger oder kürzer, z. Th. in Stücke sich theilend, bei \* zwei Fäden umeinander gedreht.
- Fig. 18. Schwarm von *V. serpens*, die Fäden verfilzt.
- Fig. 19. *Spirillum tenue*, einzeln und in Schwärmen verfilzt.
- Fig. 20. *Spirillum Undula*.
- Fig. 21. *Spirillum volutans*, \* zwei Spiralen umeinander gedreht.
- Fig. 22. *Spirochaete plicatilis*.

Sämmtliche Figuren sind von mir mit der Immersionslinse IX. Hartnack Ocular III. unter einer Vergrößerung von 650 gezeichnet.



Taf. III.

