

IX.

Ueber Einwirkung des electrischen Stromes  
auf die Vermehrung von Bacterien.

Von

Dr. Ferdinand Cohn und Dr. Benno Mendelsohn.

Im Jahre 1875 veröffentlichte Schiel eine Reihe von Versuchen über die Einwirkung des electrischen Stromes auf Bacterienhaltige Flüssigkeiten<sup>1)</sup>. Er glaubte hierbei folgende Resultate erhalten zu haben:

1) Der Gährungspilz ist gegen einen starken Strom unempfindlich; wird letzterer durch eine gährende Flüssigkeit geleitet, so veranlasst er eine noch stürmischere Gährung.

2) Die in einem Heuaufguss befindlichen Organismen besitzen eine grosse Widerstandsfähigkeit gegen den galvanischen Strom, erst nach halbstündiger Einwirkung eines starken Stromes wird alle Zellbewegung vollständig aufgehoben, so dass selbst nach 24 Stunden sich keine Bewegung zeigt.

3) Die Organismen in faulendem Fleischsaft vermindern die Lebhaftigkeit ihrer Bewegung nicht durch einen fünf Minuten hindurch geleiteten starken Induktionsstrom, dagegen wurde durch einen Batteriestrom von 6 Elementen nach 10 Stunden die Bewegung der Zellen aufgehoben und allem Anscheine nach ihre Zahl vermindert.

4) In Pasteur'scher Flüssigkeit gezüchtet, zeigten diese Organismen nach 6 Tagen keine Ortsveränderung; ihre wenig grosse Beweglichkeit wurde durch einen mässigen Induktionsstrom noch mehr herabgesetzt, bei vielen ganz aufgehoben; gegen den constanten Strom zeigten sie sich ausserordentlich wenig widerstandsfähig.

---

<sup>1)</sup> Electrotherapeutische Studien. Deutsches Archiv für klinische Medizin. Band 15 p. 190—194.

5) In einem Gemisch von Fleischflüssigkeit und Pasteurscher Flüssigkeit zeigte sich nach 24 stündiger Einwirkung eines Stromes von 2 Kohlenzinkelementen selbst nach Verlauf von weiteren 24 Stunden noch keine Zellbewegung.

6) Wurde eine Fleischinfusion mit einigen Kubikcentimetern obiger Bacterienbrut versetzt und durch dieselbe mehrere Tage hindurch der Strom von 2 Kohlenzinkelementen hindurch geleitet, so zeigten die Bacterien nur schwach oscillirende Bewegung ohne Ortsveränderung. Die Flüssigkeit war am vierten Tage klarer und es zeigte sich kein Fäulnissgeruch.

7) Wurde durch geeignete Vorrichtungen der Einfluss der electrolitischen Gase eliminirt, so hörte im faulenden Fleischsaft die Ortsveränderung derselben nach  $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$  Stunde vollständig auf. —

Hieraus schliesst Schiel: „dass ein schwacher Strom genügt, um die Entwicklung der Bacterien zu hemmen.“

Ausser der oben erwähnten Arbeit und einer kurzen Notiz von Schiel<sup>1)</sup>, welche die obigen Resultate im Wesentlichen bestätigt, ist keine Untersuchung über das Verhalten der Bacterien gegen den electrischen Strom erschienen. Hiernach gebührt Schiel das Verdienst, diese interessante Frage zuerst angeregt, und ihre Lösung auf experimentellem Wege versucht zu haben. Allein es liegt auf der Hand, dass die von Schiel angestellten Versuche in keiner Weise geeignet sind, die Frage zum Austrag zu bringen, und es schien mir um so wünschenswerther, durch eine neue Untersuchung das Verhalten der Bacterien zum electrischen Strom klarzustellen, als Schiel selbst die Aussicht eröffnet hatte, dass aus demselben sich auch praktisch wichtige Schlussfolgerungen, namentlich mit Rücksicht auf pathogene Bacterien, würden ziehen lassen. Ich habe demnach mit Herrn Dr. Benno Mendelsohn in unserem Institute eine Reihe von Versuchen begonnen, deren Resultate nachstehend dargelegt werden sollen.

Schiel erschliesst die hemmende Wirkung des galvanischen Stromes auf die Entwicklung der Bacterien einzig und allein aus dem angeblichen Aufhören ihrer Bewegung. Dass derartige Beobachtungen aber nichts beweisen, ergibt sich schon aus der bekannten Thatsache, dass Bacterien ihre Bewegungen für kürzere oder längere Zeit einstellen können, um später ihr Schwärmen von Neuem zu beginnen; viele Bacterien gehen selbst dauernde Ruhezustände ein,

1) Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft 1879. April.

ohne deshalb abgestorben zu sein, vielmehr sind sie in diesem Zustande (der Zoogloeaform) der lebhaftesten Entwicklung und Vermehrung fähig.

Wir besitzen nur folgende zuverlässige Kennzeichen für den Nachweis, ob in einer Flüssigkeit die Bedingungen zur Entwicklung von Baeterien enthalten sind oder nicht:

a. Wenn eine durch längeres Kochen keimfrei gemachte Nährlösung, welche alle für diese Organismen erforderlichen Nährstoffe vollständig enthält, mit einem Tropfen der zu untersuchenden Flüssigkeit versetzt wird und nach 24 Stunden bei 30° C. keine Veränderung zeigt, sondern vollständig klar bleibt, so ist dadurch der Beweis gegeben, dass die geprüfte Flüssigkeit von entwicklungs-fähigen Baeterienkeimen frei ist. Sind hingegen letztere in der zu untersuchenden Flüssigkeit vorhanden, und wird mittelst derselben eine Nährlösung unter den oben angegebenen Cautelen infectirt, so zeigt sich nach 24 Stunden die Nährlösung milchig getrübt und trägt an der Oberfläche eine grünliche Scheimschicht von ca. 1 cm Dicke, welche, wie die Trübung, von schwärmenden Baeterien veranlasst wird. Nur wenn die Nährlösung zu arm an Nährstoffen oder die Temperatur zu niedrig ist, wird die milchige Trübung etwas verzögert und tritt erst nach etwa 48 Stunden auf.

b. Bleibt eine Flüssigkeit, welche mit einem von lebenden Baeterien erfüllten Tropfen (Baeterientropfen) versetzt ist, bei 30° durch alle Zeit klar, so beweist dies, dass entweder die für Ernährung und Vermehrung von Baeterien nothwendigen Nährstoffe nicht vollständig in der Flüssigkeit vorhanden sind, oder dass dieselbe Stoffe enthält, welche die Vermehrung der Baeterien verhindern, dass dieselbe für Baeterien sterilisirt ist.

Dieses Erkennungsmittel ist nun durchgängig in den folgenden Untersuchungen angewendet worden, um die Einwirkung des electrischen Stromes auf die Entwicklung der Baeterien in Nährflüssigkeiten zu prüfen. Da es bei derartigen Untersuchungen erforderlich ist, auch in den Zersetzungsprozess, den der Strom in der Nährlösung bewirkt, einen Einblick zu gewinnen, so wurden als Nährflüssigkeit nicht die complex zusammengesetzten organischen Infusionen, sondern unsere mineralische Nährlösung benutzt, welche auf 200 ccm Wasser, 1 g phosphorsaures Kali ( $K_2HPO_4$ ), 1 g schwefelsaure Magnesia, 2 g neutrales weinsaures Ammoniak und 0,1 g Chlorecalcium enthält.

## I. Versuchsreihe.

### *Einwirkung des constanten Stromes auf die Entwicklung der Bacterien in einer mineralischen Nährlösung.*

1. Die Versuche wurden zuerst so angestellt, dass Reagirgläschen oder kleine Glascylinder mit je 10—20 ccm der klaren Nährlösung angefüllt und sodann mittelst einer Pipette mit ein bis zwei Tropfen einer von Bacterien reich erfüllten Flüssigkeit (Bacterientropfen) inficirt wurden. Durch diese Nährlösung wurden galvanische Ströme von verschiedener Stärke mittelst zweier Platinstreifen, die bis zum Boden der Glascylinder eintauchten und an die Poldrähle der Elemente angelöthet waren, durchgeleitet. Die beiden Platinelectroden wurden durch einen dazwischen gesteckten Glasstab auseinander gehalten. Als Controle wurde bei allen diesen Versuchen gleichzeitig ein Glascylinder mit der nämlichen Nährlösung unter dieselben Bedingungen gebracht, ohne der Einwirkung des Stromes ausgesetzt zu sein; er soll fernerhin kurz als Controleylinder bezeichnet werden.

Versuch 1. Ein Reagirgläschen von 15 mm Querdurchmesser wurde mit ca. 10 ccm Bacteriennährlösung gefüllt und mit einem Bacterientropfen inficirt; durch die Flüssigkeit wurde ein Strom von einem Daniellschen Elemente 24 St. bei 35° geleitet. Nach dieser Zeit war die geprüfte Flüssigkeit und der Controleylinder, auf den also kein Strom gewirkt hatte, fast gleichmässig trübe; unter dem Mikroskop zeigte sich in beiden Fällen die ungeheure Vermehrung von Bacterien als Ursache der Trübung. Der Strom von einem Daniellschen Elemente hatte keine erkennbare Wirkung ausgeübt.

2. Die Daniellschen sogenannten constanten Elemente haben den Nachtheil, dass die Stromstärke aus mehrfachen Ursachen nach einigen Stunden bedeutend nachlässt; es wurden deshalb bei den späteren Versuchen nur die Marié-Davyschen Flaschenelemente benutzt. Dieselben bestehen aus 2 Kohlen- und 1 zwischen ihnen angebrachten Zinkplatte, welche in eine Flüssigkeit von folgender Zusammensetzung eintauchen: 250 g schwefelsaures Quecksilberoxyd, gelöst in 100 g englischer Schwefelsäure und verdünnt mit 1000 g Wasser. Diese Elemente zeichnen sich nicht allein durch ihre bequeme Handhabung, sondern auch durch grosse Constanz der Stromstärke aus. Bei frischer Füllung zeigte sich, an einem Siemensschen Tangenten-Galvanometer gemessen, nach 24 und selbst 48 stündiger ununterbrochener Thätigkeit keine bemerkbare Verminderung der Stromstärke. Erst wenn der grösste Theil des

Quecksilbers aus der Lösung ausgefällt ist, beginnt die Leistung dieser Elemente unsicher zu werden.

Versuch 2. Ein Reagirglas, wie bei Versuch 1 mit Nährlösung gefüllt und mit einem Bacterientropfen inficirt, wurde 24 St. der Stromwirkung eines Marié-Davyschen Elementes ausgesetzt. Nach dieser Zeit war die Versuchsflüssigkeit getrübt, jedoch auffallend weniger als die Flüssigkeit des gleichzeitig in Gang gesetzten Controlversuches ohne Electricität; letztere war wie gewöhnlich milchig getrübt und mit einer grünen Schleimschicht bedeckt.

3. Versuch 3. Um zu ermitteln, in wie fern sich die beiden Pole verschieden verhalten, wurde ein Urohr von 14 cm Länge, dessen Schenkelröhren 15 mm Durchmesser hatten und 35 mm von einander entfernt waren, zu  $\frac{2}{3}$  der Höhe mit der Nährlösung gefüllt, beide Schenkel mit je 1 Bacterientropfen inficirt und das Ganze an einem Gestell vertikal befestigt. Die Poldräthe eines Flaschenelementes tauchten in die Schenkel bis nahe zum Boden ein. Nachdem nun der Strom 24 St. bei  $30^{\circ}$  durch die Flüssigkeit im Urohr circulirt hatte, zeigte sich diese in beiden Schenkeln getrübt, jedoch weniger stark als im Controlcylinder.

Die obigen Versuche ergeben, dass die 24stündige Einwirkung des Stromes von einem Daniellschen Elemente gar keinen, die von einem Marié-Davyschen Flaschenelemente einen retardirenden Einfluss auf die Entwicklung der Bacterien ausübt. Bei dem grossen Leitungswiderstande der Flüssigkeit schien die Stromstärke eines Flaschenelementes nicht hinreichend zu sein, um entscheidende Resultate zu geben, es wurde deshalb bei den folgenden Versuchen stets eine aus 2 Marié-Davyschen Elementen zusammengesetzte Kette benutzt. Dieselbe ergab bei frischer Füllung an dem Galvanometer einen Ausschlag von  $90^{\circ}$ , der nach kurzer Benutzung auf  $75^{\circ}$  sank und selbst nach 48stündigem ununterbrochenen Gebrauche sich fast gar nicht mehr in der Stärke verminderte. Da nun die electrolytische Wirkung der magnetischen proportional gesetzt werden kann, so kann man wohl bei den verschiedenen Versuchen auch auf eine gleichmässige Wirkung der chemischen Zersetzung in der Nährlösung schliessen.

4. Versuch 4 wurde ganz wie Versuch 3 angestellt, jedoch waren hier die Platinelectroden mit den Poldräthen einer Batterie von 2 Flaschenelementen verbunden. Die Platindräthe wurden durch 2, die Schenkel des Urohrs schliessende, durchbohrte Korke in ihrer



Lage festgehalten. Die mit dem Kohlepol verbundene Electrode ist hier die positive, die mit dem Zinkpol verbundene die negative Electrode. Von den Schenkeln des Urohrs wird fortan der die positive Electrode enthaltende als C, der die negative Electrode enthaltende als Zn bezeichnet werden. Nach 24 stündiger Einwirkung des Stromes bei 30° C. zeigte die Flüssigkeit im Zn Schenkel eine geringe Trübung, in derselben fand eine starke Gasentwicklung statt, so dass die Oberfläche der Flüssigkeit mit Schaum bedeckt war; es hatten sich ferner Krystalle von phosphorsaurer Ammoniakmagnesia ausgeschieden, die Flüssigkeit reagirte ganz schwach sauer oder neutral, während die unzersetzte Nährlösung deutlich sauer reagirte.

Im Cschenkel reagirte die Flüssigkeit sehr stark sauer und war hier weder Gasentwicklung noch Krystallauscheidung zu bemerken, die Flüssigkeit war vollkommen klar geblieben. Der Controleylinder zeigte die Flüssigkeit milchig getrübt und mit einer grünen Schleimschicht bedeckt.

5. Es hatte somit im Urohr bei Einwirkung eines Stromes von 2 Marié-Davyschen Flaschenelementen eine electrolytische Zersetzung der Nährflüssigkeit stattgefunden, gleichzeitig war die Vermehrung der Bacterien im Znschenkel, also an der negativen Electrode sehr stark vermindert, im Cschenkel, also an der positiven Electrode so vollkommen aufgehoben, dass sie wenigstens makroskopisch nicht wahrnehmbar war. Dieses nämliche Resultat wurde jedesmal erlangt, so oft auch der Versuch wiederholt wurde.

Zur genaueren Untersuchung der Flüssigkeiten in beiden Schenkeln musste der Versuch derart abgeändert werden, dass nachträgliche Diffusion der Schenkelflüssigkeiten gegen einander nach dem Aufhören der Stromwirkung verhindert werden konnte. Es wurde deshalb das Urohr in der Mitte der Biegung durchgeschnitten, die Hälften durch ein, mittelst Alkohol desinficirtes, kurzes Stück Kautschuckschlauch verbunden und an dieses ein Quetschhahn derart angelegt, dass die beiden Schenkel unmittelbar vor Unterbrechung des Stromes vollkommen abgeschlossen werden konnten.

Die in dieser Weise mittelst zweier Flaschenelemente angestellten Versuche ergaben nach 24 Stunden, dass wie bisher die Flüssigkeit im Znschenkel von Bacterien getrübt und mit abgeschiedenen Krystallen von phosphorsaurer Ammoniakmagnesia bedeckt, die Reaction sehr schwach sauer oder neutral war; die Flüssigkeit am Cpole reagirte stark sauer und war vollkommen klar geblieben. Blieb nach Schliessung des Quetschhahnes und Unterbrechung des Stromes der Apparat

noch weitere 24—48 Stunden bei 30° stehen, so nahm weder die Trübung der Flüssigkeit im Znschenkel merklich zu, noch auch wurde die Klarheit der Flüssigkeit im Cschenkel im mindesten getrübt, auch bei noch längerem Stehenbleiben trat hier niemals eine Trübung ein. Während nun das Mikroskop im Znschenkel als Ursache der Trübung zahlreiche Bacterien in lebhafter Schwärmbewegung nachwies, zeigten sich im Cschenkel nur ganz vereinzelt anscheinend unbewegliche Bacterien; dagegen entwickelte sich meist bei längerem Stehen an der Oberfläche der Flüssigkeit im Cschenkel eine Kahlhaut von sprossenden Hefezellen, in einzelnen Fällen kamen auch schwimmende Mycelflockchen zur Entwicklung. Die Bacterien waren nach einiger Zeit verschwunden und nur Sprossenverbände von Hefezellen vorhanden.

6. Um zu ermitteln, in welcher Zeit der electriche Strom im Stande ist, die oben beschriebenen Wirkungen hervorzurufen, wurde der Versuch 4 in der Weise abgeändert, dass der Strom 6, 12 und 48 St. durch die Flüssigkeit circularte. Es ergab sich, dass eine 6stündige Einwirkung des Stromes nicht ausreicht, um im Cschenkel die Entwicklung der Bacterien zu verhindern, indem beide Schenkel 24 Stunden nach Unterbrechung des Stromes getrübt waren. Dagegen reichten 12 Stunden der Stromwirkung in der Regel aus, um den Cschenkel zu sterilisiren, während der Znschenkel sich trübte. Eine 48stündige Einwirkung des Stroms zeigte nur die oben erwähnten Erscheinungen: völlige Klarheit im Cschenkel, mässige Trübung im Znschenkel, während im Controleylinder die reichlichste Bacterienentwicklung stattgefunden hatte.

Selbst wenn die Flüssigkeit am + Pol nachträglich auf's Neue mit 1—2 Bacterientropfen inficirt wurde, blieb eine Vermehrung derselben gänzlich aus, auch bei längerem Stehen entstand keine Trübung, wohl aber bildete sich nach einiger Zeit eine Kahlhaut von *Saccharomyces* auf der Oberfläche.

Die Flüssigkeit im Cschenkel war demnach durch einen Strom von 2 Elementen für Bacterien sterilisirt worden; gleichwohl waren die in ihr vorhandenen Bacterienkeime nicht getödtet, wie folgender Versuch ergab: Zwei Reagenzgläschen mit gekochter Nährlösung, die sich wochenlang nicht getrübt hatten, also vollständig desinficirt waren, wurden vermittelst ausgeglühter Pipette mit je 1 bis 2 Tropfen von jener Flüssigkeit inficirt, die im Cschenkel 24 Stunden der Stromwirkung von 2 Flaschenelementen ausgesetzt gewesen war. Die Reagenzgläser wurden mit Watte verschlossen und sodann 24 Stunden in einem Wärmkasten bei 30° stehen gelassen,

sie waren am folgenden Tage mit *Bacterien* getrübt, während ein gleichzeitig angestellter, nicht inficirter *Controlcylinder* klar geblieben war.

Dass die Flüssigkeit im *Znschenkel* während der Zeit des Stromdurchganges eine weit geringere Trübung als die Flüssigkeit im *Controlcylinder* zeigt, ist bereits bemerkt worden; auch durch Zusatz eines frischen *Bacterientropfens* wird die Trübung im *Znschenkel* nicht erheblich vermehrt; dagegen veranlasst ein Tropfen der Flüssigkeit aus dem *Znschenkel* in frische gekochte Nährlösung übertragen, nach 24 Stunden bei 30° C. die gewöhnliche milchige Trübung und Schleimbildung.

Hierdurch ist festgestellt:

- 1) Durch 24 stündige Einwirkung eines constanten electricischen Stromes von 2 Flaschenelementen wird eine Nährlösung am + Pol in Bezug auf *Bacterien* vollständig sterilisirt, da weder die der Stromwirkung ausgesetzten, noch auch nachträglich zugeführte *Bacterienkeime* sich in ihr vermehren können.
- 2) Die Flüssigkeit am — Pol wird nicht vollständig sterilisirt, wohl aber wird sie nur in beschränktem Maasse für Ernährung und Vermehrung von *Bacterien* geeignet; die Schwämbewegungen derselben werden nicht aufgehoben.
- 3) Dagegen werden weder am —, noch selbst am + Pole die *Bacterien* durch die Stromwirkung getödtet, da dieselben in frische Nährlösung übertragen, sich völlig normal vermehren.
- 4) Die für *Bacterien* sterilisirte Flüssigkeit am + Pol gestattet noch reichliche Vermehrung von *Kahmhefe* und *Mycelpilzen*.

7. In den bisherigen Versuchen war die Zersetzung der Nährflüssigkeit durch den electricischen Strom nur eine unvollkommene gewesen, was sich am deutlichsten in der fast neutralen Reaction der Flüssigkeit im *Znschenkel* zeigte, sie hätte offenbar alkalisch reagiren müssen, wenn die Salze der Nährlösung ihre Basen vollständig nach der negativen *Electrode* hätten hinüber wandern lassen. Umgekehrt konnte in der Flüssigkeit im *Cschenkel* stets noch die Anwesenheit von *Ammoniakverbindungen* nachgewiesen werden. Es liess sich vermuthen, dass in dieser unvollkommenen Zersetzung der Grund für die nur wenig gestörte Entwicklung der *Bacterien* am *Znschenkel* zu suchen sei. Es musste deshalb festgestellt werden, ob nicht durch einen stärkeren Strom gleichzeitig mit einer vollständigeren *Electrolyse* der Nährlösung auch am *Znschenkel* die Entwicklung der *Bacterien* gänzlich verhindert werden könnte. Diese Frage zu entscheiden wurden folgende Versuche angestellt.



Ein Urohr, in der oben angegebenen Weise zerlegbar, wurde wie bisher zu zwei Drittel mit Nährlösung gefüllt und seine beiden Schenkel mit je einem Bacterientropfen inficirt, alsdann durch das Urohr mittelst zweier, bis auf den Boden der Schenkel tauchenden Platinelectroden ein electricischer Strom von 5 kräftigen Elementen (drei grossen Bunsenschen Zink-Kohle- und zwei Marié-Davyschen Flaschenelementen) geleitet. Sofort beim Beginn des Versuches stiegen im Znschenkel Gasblasen in reichlicher Menge auf, aber auch im Cschenkel trat Gasentwicklung ein, wenn auch in sehr geringem Maasse. Nach 24 Stunden, während deren der Apparat sich in einer Temperatur von  $30^{\circ}$  befand, hatten sich jedoch die Gasbläschen auch am Kohlepol beträchtlich vermehrt, ihre Menge blieb jetzt nicht weit hinter der im Znschenkel aufsteigenden zurück. Am Boden des Znschenkels hatte sich eine beträchtliche Menge eines weissen, pulverigen, krystallinischen Niederschlags von phosphorsaurer Ammoniakmagnesia angesammelt.

Der Strom wurde nach 24stündiger Einwirkung unterbrochen, nachdem vorher die Schenkel des Urohres durch einen Quetschhahn geschieden worden waren. Die Flüssigkeit im Controlcylinder war nach dieser Zeit milchig getrübt und mit einer Schleimschicht bedeckt. Die Flüssigkeit im Urohr war in beiden Schenkeln völlig frei von Bacterien, im Cschenkel ganz klar und stark sauer, im Znschenkel von den oben erwähnten Krystallen schwach getrübt und stark alkalisch. Auch nach Verlauf von weiteren 24 Stunden trat keine Vermehrung von Bacterien ein.

8. Um zu beurtheilen, ob durch den Strom von 5 Elementen die Bacterien auch vollständig getödtet worden waren oder nicht, wurden mittelst eines geglähten Glasstabes 4 Cylinder mit gekochter und bei Watterverschluss erkalteter Nährlösung inficirt, und zwar 2 Cylinder mit je 3 Tropfen der Flüssigkeit vom Znschenkel, die beiden anderen mit je 3 Tropfen vom Cschenkel. Nach 48stündigem Stehen bei  $30^{\circ}$  war die Flüssigkeit in sämmtlichen 4 Cylindern vollkommen klar geblieben; auch nach mehrtägigem Stehen blieben die Flüssigkeiten unverändert, mit Ausnahme eines Cylinders, der durch den Wechsel des Watterverschlusses wahrscheinlich nachträglich inficirt worden war. In den zur Infection benutzten Tropfen waren demnach entwicklungsfähige Bacterienkeime nicht mehr vorhanden; die vor Beginn des Versuches zugesetzten Bacterien mussten demnach durch die Stromwirkung getödtet sein. Ausserdem war aber auch die Nährflüssigkeit selbst sterilisirt, d. h. zur Ernährung und Vermehrung von

Bakterien unfähig gemacht worden. Denn wenn die Flüssigkeit in beiden Schenkeln des Urohrs, welche 24 Stunden der Stromwirkung von 5 Elementen ausgesetzt gewesen, mit je einem Bacterien-Tropfen versetzt und dann drei Tage bei  $cc. 30^{\circ}$  sich selbst überlassen wurde, so zeigte sich nach dieser Zeit nicht die mindeste Trübung der Flüssigkeit, die zugesetzten Bacterien hatten sich also nicht vermehrt.

9. Wie schon bemerkt, reagierte unmittelbar nach der Unterbrechung des electricischen Stromes von 5 Elementen die Flüssigkeit im Znschenkel stark alkalisch, im Cschenkel stark sauer; als aber 5 Tage später die Reaction derselben von neuem geprüft wurde, zeigte sich zwar im Kohleschenkel wie früher eine saure Reaction, die Flüssigkeit im Znschenkel aber reagierte jetzt neutral. Demnach hatte die verschwundene Alkalicität der Flüssigkeit im Znschenkel von einer flüchtigen Basis hergerührt.

Bei einer Wiederholung des Versuches, wo ein Strom von 5 Elementen durch eine Nährflüssigkeit im Urohr geleitet wurde, und sowohl die vollständige Sterilisation der Flüssigkeit, wie die Tödtung der zugefügten Bacterien in der oben beschriebenen Weise eintrat, erwies sich drei Tage später die Flüssigkeit im Znschenkel noch schwach alkalisch, allein es verschwand die Bräunung des zur Prüfung der Reaction benutzten Curcumapapieres schon beim schwachen Erwärmen. Offenbar war jene flüchtige Base im Znschenkel Ammoniak gewesen.

Erwärmte man von den Krystallen abfiltrirte Flüssigkeit aus dem Znschenkel mit Kalilauge, so liess sich die Gegenwart von Ammoniak sehr deutlich erkennen; dagegen zeigte die Flüssigkeit vom Cschenkel bei gleicher Behandlung nur Spuren von Ammoniak. Phosphorsäure war in beiden Schenkeln nur in sehr geringer Menge vorhanden.

Die Resultate dieser Versuche lassen sich kurz in den folgenden Sätzen zusammenfassen:

- 1) Der galvanische Strom einer Batterie von 5 kräftigen Elementen tödtet die in einer Nährflüssigkeit vertheilten Bacterien vollständig, wenn er 24 Stunden durch die Flüssigkeit circulirt; ein Tropfen dieser Flüssigkeit in frische Nährlösung übertragen, ruft keine Trübung hervor.
- 2) Die Nährflüssigkeit wird durch den Strom an beiden Polen vollkommen sterilisirt; auf's Neue zugeführte Bacterien entwickeln sich daher nicht in derselben.
- 3) Der Strom ertheilt der Flüssigkeit im Cschenkel (+ Pol) eine stark saure, der im Znschenkel (— Pol) eine stark alkalische

Reaction, letztere verschwindet nach einiger Zeit, da sie von einer flüchtigen Base, dem Ammoniak, herrührt.

- 4) Am  $+$  Pol findet eine reichliche Ausscheidung von phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia, an beiden Polen eine Entwicklung von Gasen statt.

10. Wir kommen nun zu der Cardinalfrage: Worauf beruhen die von uns nachgewiesenen Wirkungen electricischer Ströme auf die Vermehrung der Bacterien in mineralischen Nährflüssigkeiten?

Zur Entscheidung dieser Frage müssen wir näher auf die Wirkungsweise des Stromes eingehen. Nach den bekannten Thatsachen der Electrolyse werden am positiven Pole (hier in dem Cschenkel) die Säuren und am negativen Pole (hier im Znschenkel) die Basen in Freiheit gesetzt. In welcher Reihenfolge und Menge die in unserer Nährflüssigkeit vorhandenen Salze ( $H_2O$ ,  $K_2HPO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $CaCl_2$ ,  $C_4O_6H_4 \cdot 2(NH_4)$ ) zersetzt werden, hängt von ihrer Leitungsfähigkeit für den electricischen Strom und von dem molecularen Zusammenhange der Atome in jenen Verbindungen ab. Es lag unserer Untersuchung fern, die Zwischenproducte dieser Zersetzung zu verfolgen; für unseren Zweck wird es genügen, nur die Endresultate derselben in's Auge zu fassen.

a) Unter den obwaltenden Umständen wird, so lange in unserer Nährlösung noch unzersetztes Ammoniaksalz vorhanden ist, am negativen Pol stets nur Ammoniak, als schwächste und flüchtigste Base, frei werden, welches Salz auch zuerst zersetzt werden mag. Bei der grossen Menge des vorhandenen weinsauren Ammoniaks wird selbst ein starker Strom längere Zeit circuliren müssen, um eine vollständige Zersetzung desselben zu bewirken. Das am  $-$  Pole frei werdende Ammoniak bewirkt aber die sofortige Bildung von schwerlöslicher phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia; daher tritt bei unvollständiger Zersetzung durch relativ schwache Ströme am  $-$  Pol keine alkalische Reaction ein. Nur bei sehr kräftiger Stromwirkung bleibt ein Theil des Ammoniaks in der Flüssigkeit gelöst; vermuthlich wird ein anderer Theil mit dem dort reichlich frei werdenden Wasserstoffe in die Luft fortgerissen.

Bei der Einwirkung von nur 2 Elementen reagirte die Flüssigkeit im Znschenkel fast neutral und war daher der Entwicklung von Bacterien nicht hinderlich; dass jedoch die Vermehrung der Bacterien eine weit beschränktere war, als in unzersetzter Nährlösung, erklärt sich zur Genüge aus der Thatsache, dass die Flüssigkeit im Znschenkel eines grossen Theils ihrer Nährstoffe durch Ausscheidung von phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia beraubt war.

b) Die am positiven Pole gleichzeitig vor sich gehenden Zersetzungen endigen mit dem Freiwerden der Säuren, welche in den Salzen der Nährlösungen enthalten sind, und zwar zunächst der Weinsäure, als der schwächsten und in grösster Menge vorhandenen Säure. Vermuthlich erleidet die Weinsäure jedoch theils durch den Strom selbst, theils durch den am  $+$  Pol frei werdenden Sauerstoff eine weiter gehende Zersetzung. Dass sich am  $+$  Pol Sauerstoffbläschen bei schwächeren Strömen gar nicht, bei kräftigeren nur in geringerem Maasse entbinden, ist sicherlich zum grössten Theile dieser Oxydation zuzuschreiben. Gleichwohl genügt die durch den Strom von 2 Elementen veranlasste Zersetzung der Flüssigkeit im Cschenkel, um diese gänzlich zu sterilisiren, d. h. die Vermehrung der in ihr vorhandenen Bacterien zu verhindern, nicht aber um diese selbst zu tödten, da sie sich, in frische Nährlösung übertragen, in dieser weiter entwickeln.

Demgegenüber wird durch eine Batterie von 5 Elementen die Flüssigkeit im Urohr nicht bloss im Cschenkel sondern auch im Znschenkel vollständig sterilisirt, wobei die letztere stark alkalisch wird, und die Bacterien werden in beiden Schenkeln getödtet.

11. Es entsteht hierbei die Frage: sind diese Wirkungen der Electricität als physiologische oder als chemische aufzufassen? beruhen sie auf specifischen Erregungen der Bacterien, oder auf der Electrolyse der Nährlösung? oder treten beide Effecte vereint in Wirksamkeit?

Für die Thatsache, dass sich die Bacterien in einer durch den Strom zersetzten Nährlösung nicht mehr entwickeln können, scheint die Abwesenheit unentbehrlicher Nährstoffe eine ausreichende Erklärung abzugeben. Wir haben bereits nachgewiesen, dass der Flüssigkeit im Cschenkel das Ammoniak, im Znschenkel die Phosphorsäure fehlt, Grund genug, um in beiden Schenkeln eine Vermehrung der Bacterien unmöglich zu machen. Dennoch muss gefragt werden, ob nicht durch die Electrolyse auch Verbindungen gebildet werden, welche an sich auf die Bacterien tödtlich wirken. Dies konnte durch das Experiment entschieden werden.

Nachdem durch die Nährlösung in einem Urohr der Strom von 5 Elementen 24 Stunden hindurchgeleitet war, wurden beide Schenkel mit je 2 Bacterientropfen versetzt und sodann der Apparat bei  $30^{\circ}$  48 Stunden sich selbst überlassen. Alsdann wurde aus beiden Schenkeln je 1 Tropfen in Cylinder mit gekochter Nährlösung übertragen; und zwar wurden 2 Cylinder aus dem Znschenkel, 2 andere aus



dem Cschenkel inficirt. Nach 24 Stunden war in denjenigen Cylindern, welche vom Znschenkel inficirt waren, eine reichliche Bacterientwicklung eingetreten; die zwei anderen vom Cschenkel aus inficirten Cylinder waren klar geblieben und veränderten sich nicht auch bei weiterem 24stündigem Stehen.

Bei diesem Versuche waren die im Tropfen nachträglich zugesetzten Bacterien nur der Einwirkung der durch den electricischen Strom veränderten Nährflüssigkeit, nicht aber des Stromes selbst ausgesetzt gewesen. Wenn die Electrolyten, nachdem sie mit neuen Bacterienkeimen versetzt waren, gleichwohl die Fähigkeit verloren hatten, eine frische Nährlösung mit Erfolg zu inficiren, wie das mit der Flüssigkeit im Cschenkel der Fall war, so ist dadurch der Beweis geliefert, dass die in letztere übertragenen Bacterien nach 48stündiger Berührung mit derselben getödtet sind, d. h. ihre stark saure Reaction bewirkt an sich das Absterben der Bacterien.

Zweifelhaft ist dagegen, ob das freie Ammoniak ebenfalls tödtlich einwirkt auf die in den Znschenkel übertragenen Bacterien; denn da dasselbe sich, wie wir oben gesehen, während der Dauer des Versuchs verflüchtigte, so ist fraglich, ob die Trübung der vom Znschenkel aus inficirten Nährlösungen nicht davon herrührt, dass die später übertragenen Bacterien der Einwirkung des Ammoniaks nicht mehr ausgesetzt waren.

Unsere Versuche haben demnach ergeben, dass die Tödtung der Bacterien durch 24stündige Einwirkung eines Stromes von 5 Elementen aus der chemischen Thätigkeit desselben sich vollständig erklärt; für eine specifisch physiologische Wirkung der Electricität dagegen haben sich keine sicheren Thatsachen ergeben. Wir haben schon bemerkt, dass durch 24stündige Einwirkung einer Batterie von 2 Elementen die Schwämbewegungen der Bacterien zwar im sterilisirten Cschenkel, nicht aber in dem neutral gebliebenen Znschenkel aufgehoben waren.

Die folgende Versuchsreihe bekräftigt dieses Ergebniss.

## II. Versuchsreihe.

*Einwirkung des Inductionsstromes auf die Entwicklung der Bacterien in mineralischer Nährlösung.*

12. Zur Entscheidung der Frage, ob die von uns beobachteten Wirkungen des electricischen Stromes auf die Bacterien als physiologische oder als chemische aufzufassen seien, erscheint vor allem der Inductionsstrom geeignet, da von ihm bekannt ist, wie bedeutend

seine physiologische und wie gering seine chemische Wirkung ist. Schiel hatte die Wirkung des Inductionsstromes auf die Bacterien als eine dem constanten Strom ähnliche, jedoch weit schwächere bezeichnet.

Folgende Versuche wurden von uns mit dem Inductionsstrome angestellt:

Zwei gleich grosse Reagirgläser wurden mit Nährlösung gefüllt und mit je 1 Bacterientropfen inficirt. Das eine der Gläser diente als Controlcylinder, durch das andere wurde bei 35° 22 Stunden lang ein Inductionsstrom mittelst zweier bis auf den Boden des Cylinders eintauchender, von einander durch einen Glasstab geschiedener Platinelectroden geleitet.

Der Strom wurde von einem Flaschenelement vermittelt eines Dubois'schen Schlittenapparats erzeugt, dessen Nebenrolle ganz über die Hauptrolle geschoben war. Nach dieser Zeit waren beide Cylinder gleichmässig milchig von Bacterien getrübt und zeigten die charakteristische Schleimschicht an der Oberfläche.

Ein zweiter Versuch, welcher ganz analog dem vorigen angestellt wurde, bei dem jedoch 2 Flaschenelemente zur Stromerzeugung benutzt waren, gab genau das nämliche Resultat.

Auch als der von 2 Flaschenelementen erzeugte Inductionsstrom durch ein mit Nährlösung gefülltes und mit 1 Bacterientropfen inficirtes Urohr geleitet wurde, war nach 24 Stunden die Flüssigkeit in beiden Schenkeln des Urohres gleichmässig von Bacterien milchig getrübt, ganz so wie in dem gleichzeitig inficirten Controlcylinder.

Alle unsere Versuche mit dem Inductionsstrome haben, ohngeachtet seiner starken physiologischen Wirkung, keinerlei Einfluss auf die Vermehrung der Bacterien ergeben; nicht einmal eine Verzögerung in der Entwicklung derselben war nachweisbar. Hält man hiergegen die geringe electrolytische Wirkung des Inductionsstromes, so erhält dadurch die bereits aus unserer ersten Versuchsreihe gezogene Schlussfolgerung, dass die Beziehungen des constanten galvanischen Stroms zur Vermehrung der Bacterien von seiner chemischen Wirkung abhängen, eine gewichtige Bestätigung.

### III. Versuchsreihe.

*Einwirkung des constanten Stromes auf die Entwicklung des Micrococcus prodigiosus.*

13. Es schien uns wünschenswerth die Einwirkung des electricen Stromes auf die Vermehrung auch solcher Bacterien zu beobachten, die sich nicht in Flüssigkeiten, sondern auf der Oberfläche von

festen Substraten entwickeln. Zu diesem Zwecke wurde *Micrococcus prodigiosus* als Versuchsobjekt gewählt, weil derselbe in seiner augenfälligen lebhaft rothen Färbung ein äusserst günstiges Erkennungsmittel darbietet und zugleich in seinem ganzen Verhalten die grösste Analogie mit gewissen pathogenen Bacterien darbietet. Er wurde in der schon oft geschilderten Weise auf gekochten Kartoffeln gezüchtet<sup>1)</sup>). Ungeschälte Kartoffeln wurden in der Mitte glatt durchgeschnitten und die Oberflächen beider Hälften mit geringen Mengen des *Micrococcus* bestrichen, so dass die Kartoffel kaum merklich rosa angehaucht erschien. In die Oberfläche der einen Hälfte wurden 2, an den Poldrähnen einer galvanischen Batterie angelöthete, 5 cm lange und 8 mm breite Platinstreifen parallel neben einander mit den Längskanten 5—6 mm tief eingesenkt.

Die zweite Kartoffelhälfte sollte zur Controle bei der Entwicklung des *Micrococcus* dienen; sie wird als Control-Kartoffel bezeichnet werden. Unter normalen Kulturbedingungen bedeckte sich ihre Oberfläche in bekannter Weise innerhalb 24 Stunden stets mit einer scharlachrothen Schleimschicht, aus der Vermehrung des *Micrococcus* entstanden.

Beide Hälften der Kartoffel wurden in gesonderte Bechergläser in schräger Lage eingesenkt und die Gläser mit Deckel verschlossen. Der eine Deckel war durchbohrt, um die Platindrähne der Electroden durchzulassen, welche mit der Batterie in Verbindung standen.

Die Stromstärke ist bekanntlich abhängig von dem Widerstande im Schliessungsbogen, in unserem Falle von der Entfernung der Platinelectroden von einander; die folgenden Versuche wurden deshalb zum Theil bei einer Entfernung der Platinstreifen von 1 cm, zum Theil bei einem Abstände derselben von 2 cm angestellt.

A. Die Electroden sind 1 cm von einander entfernt.

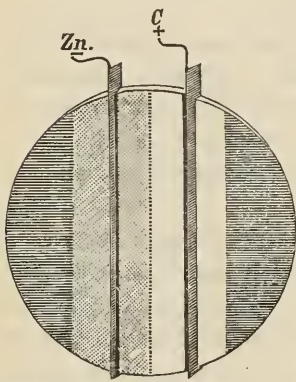
14. Durch eine in oben angegebener Weise präparirte Kartoffel, deren Platinstreifen 1 cm von einander entfernt waren, wurde bei 30° ein Strom von einem Flaschenelement geleitet. Nach 24 Stunden war der Raum zwischen beiden Electroden, ebenso wie der ausserhalb derselben befindliche Theil der Kartoffeloberfläche gleichmässig mit rothem *Micrococcus* überzogen.

Bei einem wiederholtem Versuch blieb zu beiden Seiten längs der positiven Electrode (Kohlepol) eine schmale Zone in einem Abstände von 2 mm von *Micrococcus* frei. Die Controlkartoffel war auf der ganzen Oberfläche gleichmässig von rothem *Micrococcus* überzogen.

<sup>1)</sup> Vergl. den Aufsatz von Dr. Wernich in diesem Heft p. 105.

Da sich somit ein Flaschenelement zu schwach erwies, um entscheidende Resultate zu erzielen, so wurde an seiner Stelle eine Batterie von 2 Elementen in den folgenden Versuchen angewendet. Liess man einen solchen Batteriestrom 48 Stunden bei 33° auf eine Kartoffel wirken, so blieb nach dieser Zeit der ganze Raum zwischen den Electroden farblos, also vollkommen frei vom *Micrococcus prodigiosus*, ebenso zeigte sich ausserhalb der Electroden zu beiden Seiten ein 3—5 mm breiter farbloser Streif. An den weiter abgelegenen Theilen der Kartoffeloberfläche hatte sich der rothe Micrococusschleim entwickelt. (Vergl. Fig. 1.)

Fig. I.



Schematischer Querschnitt einer von einem galvanischen Strom durchflossenen Kartoffel; Zn die negative, C die positive Electrode; die saure Hälfte ist weiss belassen, die alkalische diagonal, die mit rothem Micrococcus überzogenen Streifen horizontal schraffirt.

Zu beiden Seiten der Polplatten, insbesondere aber auf ihren einander zugekehrten Innenseiten entstanden gewöhnlich keilförmige Furchen, deren Abstand nach der Oberfläche hin sich vergrösserte und in denen die Platinstreifen steckten; es machte den Eindruck, als ob durch Austrocknen ein Schwinden des zwischen den Electroden befindlichen Kartoffelgewebes stattgefunden hätte; doch war an ein wirkliches Austrocknen in dem abgeschlossenen Raume der Bechergläser nicht zu denken; vielmehr ist die Ursache wohl in einer durch den Strom veranlassten Wanderung der Flüssigkeiten zu suchen; in diesen Furchen entwickelte sich kein rother Micrococcus.

15. Eine genauere Untersuchung zeigte die ganze Kartoffel in ihrem Inneren auffallend verändert; es liessen sich nunmehr an ihr zwei scharf abgegrenzte Hälften von völlig abweichendem Aussehen unterscheiden, deren Grenzen in der Mittellinie zwischen den beiden Electroden verlief. Die eine Hälfte, welche unter dem Einflusse der negativen Electrode gestanden, erschien dunkler, bräunlich gefärbt, gallertartig durchscheinend und mit Flüssigkeit durchtränkt, sie reagierte deutlich alkalisch; die andere, von der positiven Electrode beeinflusste Hälfte, hatte ihr ursprüngliches Aussehen beibehalten, aber eine stark saure Reaktion angenommen; sie besass auch stark sauren Geschmack und war anscheinend trockener geworden, als sie Anfangs gewesen. Diese scharfe Sonderung in eine alkalische, braune, durch-



scheinende und eine saure gelbliche Hälfte liess sich beim Schlitze parallel der Oberfläche bis in die Tiefe durch die ganze Masse der Kartoffel verfolgen.

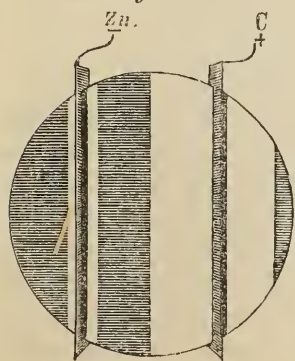
Die saure Hälfte hatte gleichzeitig vom Rande aus nach der Mitte vordringend oft eine rothe Färbung angenommen, die jedoch nicht vom *Micrococcus prodigiosus*, sondern von einem flüssigen Farbstoffe (Erythrophyll) herrührte, der sich offenbar unter dem Einflusse der durch Electrolyse freigewordenen Säure aus dem farblosen Zellsaft der Kartoffel entwickelt hatte. In der alkalischen Hälfte hatte sich kein Erythrophyll gebildet.

Bei der Wiederholung dieser Versuche ergab sich, dass der farblose Streifen an der Aussenseite der positiven Electrode in der Regel erheblich, selbst um das Doppelte breiter war, als längs der — Electrode. Manchmal hatte sich auch in der Mittellinie zwischen den beiden Electroden an der Grenze der sauren und alkalischen Kartoffelhälfte ein violett-rother Längsstreif des *Micrococcus prodigiosus* von sehr geringer Breite gebildet (Vergl. Fig. I); vermuthlich war in diesen Fällen auch die Stromstärke durch den längeren Gebrauch der Elemente vermindert, so dass in der schmalen Grenzlinie, wo die saure und die alkalische Hälfte sich berührten und neutralisirten, die Vermehrung des *Micrococcus* nicht gehindert war. Wurde der Abstand der Electroden weiter genommen, so erschien der violette Mittelstreif entsprechend breiter; auch lag er der — Electrode meist um 2 bis 3 mm näher.

#### B. Die Entfernung der Platinelectroden beträgt 2 cm.

16. Es wurde ein Strom von 2 Flaschenelementen 24 Stunden lang bei 30° durch die Kartoffel geleitet. Nach dieser Zeit war das in den Platinstreifen eingeschlossene, 2 cm breite Stück der Kartoffel-

Fig. II.



oberfläche in eine farblose und in eine rothe Hälfte der Länge nach geschieden, die zwischen den Polplatten mit scharfer Grenze derart aufeinander stiessen, dass der scharlachrothe Streif von dem farblosen durch einen violett-rothen ganz schmalen Saum getrennt erschien. Der rothe Streifen, von *Micr.* gebildet, verlief längs der — Electrode, war jedoch von dieser durch eine schmale farblose Zone von 2—3 mm Breite abgegrenzt; längs der anderen, äusseren Seite der

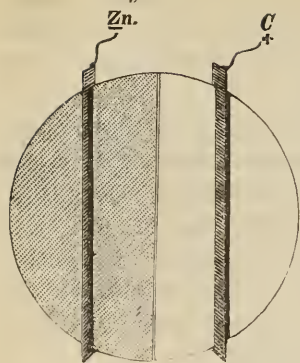
— Polplatte hatte sich der *Micrococcus*, jedoch ebenfalls erst in einem Abstand von 2 mm, als rother Ueberzug entwickelt, dagegen blieb längs der Aussenseite der + Electrode ein Strich von 1 cm Breite farblos, von da ab bis zum Rande der Kartoffel hatte sich scharf abgegrenzt der *Micrococcus* wieder entwickelt. (Vergl. Fig. 2.) Es war also durch die — Electrode zu beiden Seiten in einer Breite von 1 cm die Entwicklung des rothen *Micrococcus* unterdrückt worden, während derselbe sich zu beiden Seiten der + Electrode mit Ausnahme eines Streifens von 2—3 mm zu beiden Seiten normal entwickelt hatte. Das Innere der Kartoffel war eben so verändert, wie in dem früheren Versuch.

Die Grenze zwischen der alkalischen und der sauren Hälfte im Innern entsprach genau der Grenzlinie zwischen dem farblosen und dem rothen Streifen an der Oberfläche. Gewöhnlich verlief die Grenze zwischen farblosem und rothem Streifen nicht genau in der Mitte, sondern lag der + Electrode erheblich, selbst um mehr als das Doppelte näher, als der negativen, so dass der farblose Streifen 5—6 mm, der rothe dagegen 12—13 mm breit war.

17. Es blieb nun noch übrig, durch das Experiment zu ermitteln, ob nicht, entsprechend der Wirkung starker Ströme auf Bacterien in Nährlösungen auch die Entwicklung des *M. prodigiosus* auf der Oberfläche der Kartoffeln durch einen sehr kräftigen Strom gänzlich verhindert werden könnte. Zu diesem Zwecke wurde durch eine mit *M. prodigiosus* inficirte Kartoffelhälfte mittelst zweier Platinelectroden, die 2 cm von einander, wie in dem vorigen Versuche in dieselbe eingelassen waren, ein Strom von 3 Bunsenschen und 2 Marié-Davyschen Flaschenelementen 24 Stunden lang hindurch geleitet; die vom Strome durchflossene Kartoffel hatte in dieser Zeit die schon oben geschilderten Veränderungen in ausgeprägtestem Maasse erlitten. Die von der negativen Electrode beeinflusste Hälfte war sehr stark alkalisch geworden, die hierdurch veranlasste Bräunung des Curcumapapieres wich auch beim Erwärmen desselben nicht, rührte also von einer nicht flüchtigen Base her.

Die Kartoffelsubstanz in dieser Hälfte zeigte nicht nur das bräunliche, gallertartige, durchscheinende Aussehen, sondern sie war auch sehr stark gequollen, wahrscheinlich in Folge der Einwirkung des Alkali's auf das Stärkemehl der Kartoffel, so dass sie mit scharf abfallendem Rande sich an 3 mm über die angrenzende stark saure Hälfte erhob. Letztere, welche unter dem Einfluss der + Electrode gestanden, hatte ihr Aussehen wenig verändert, doch zeigte sie sich anscheinend trocken im Gegensatz zu der ganz nassen glänzenden alkalischen Hälfte. Die Grenzlinie zwischen saurer und alkalischer

Fig. III.



Hälfte verlief zwischen den beiden Electroden, doch näher der negativen; diese steckten in tiefen breiten Furchen, deren Ränder nach innen zu klaffen, so dass die Polplatten nur an den Aussenwänden der Furchen fest anlagen. Die Furche, in der die + Electrode steckte, war trocken, dagegen die der — Electrode mit reichlicher, lebhaft schäumender Flüssigkeit ausgefüllt. Der rothe *Micrococcus* hatte sich gar nicht entwickelt (vergl. Fig. 3). Die der

Stromwirkung exponirte Kartoffel war also völlig farblos geblieben, während die Controlkartoffel sich vollständig mit dem rothen Ueberzug bedeckt hatte. Wohl aber hatte sich, wie bei früheren Versuchen, von der Schale aus nach innen hin in der sauren Hälfte der Kartoffel rothes Erythrophyll gebildet.

Diese Kartoffelhälfte wurde nun 24 Stunden bei 30° sich selbst überlassen, allein es zeigte sich auch nach dieser Zeit das Aussehen derselben nicht verändert, der *Micrococcus* war durch den kräftigen Strom getödtet worden. Aber auch die Kartoffel selbst war, und zwar in beiden Hälften, sterilisirt; denn auch eine neue Infection konnte auf ihrer Oberfläche keine Vermehrung des rothen *Micrococcus* bewirken, mit Ausnahme der neutralen Grenzlinie zwischen alkalischer und saurer Hälfte, wo sich ein ganz schmaler rother Saum entwickelte.

18. Die Resultate der dritten Versuchsreihe stimmen mit denen der ersten überein. Der constante galvanische Strom bewirkt eine electrochemische Zersetzung der Flüssigkeiten in der gekochten Kartoffel, in Folge deren sich dieselbe in eine scharf abgegrenzte saure Hälfte an der + Electrode (entsprechend dem Cschenkel in Urohr), und in eine alkalische Hälfte an der — Electrode (wie im Znschenkel) sondert. Beide Electroden hemmen oder unterdrücken in ihrer Nähe und zwar auf beiden Seiten die Entwicklung des *Micrococcus*, jedoch die positive Electrode in bei weitem höherem Grade, als die negative. In der sauren Hälfte wird die Entwicklung des *Micrococcus* schon bei relativ schwächerem Strom (2 Elemente) durch die + Electrode bis zu 1 cm Abstand zu beiden Seiten verhindert, während in der alkalischen Hälfte der hemmende Einfluss der — Electrode sich meistens nur bis zu 2—3 mm Abstand geltend macht. Letzteres erklärt sich daraus, dass *Micrococcus prodigiosus* überhaupt nicht nur

auf alkalisch reagirendem Substrat vermehrt; jede gekochte Kartoffel reagirt alkalisch; der rothe Micrococcusschleim selbst zeigt stark alkalische Reaction; durch Säuren verändert der Micrococcus seine Färbung und geht bald zu Grunde.

Ein kräftiger Strom von 5 Elementen tödtet die übertragenen Micrococcuskeime ebensowohl auf der alkalischen wie auf der sauren Hälfte, und macht dieselben dauernd zur Entwicklung dieses Organismus unfähig, auch an der — Electrode, da bei der Kartoffel an letzterer fixes Alkali, nicht wie bei den Nährlösungen flüchtiges Ammoniak, frei wird. Die Wirkungen des galvanischen Stromes auf die Vermehrung des *Micrococcus prodigiosus* lassen sich daher auf seine chemischen Thätigkeiten zurückführen.

#### IV. Ergebnisse.

*Die Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen sich in folgenden Sätzen zusammenfassen:*

A. Einwirkung des galvanischen Stromes auf die Vermehrung der Bacterien in mineralischer Nährlösung.

1. Ein Element lässt je nach der Stromstärke gar keine oder nur eine retardirende Einwirkung auf die Vermehrung der Bacterien erkennen.

2. Eine Batterie von 2 kräftigen Elementen sterilisirt innerhalb 12—24 Stunden am + Pol die Nährlösung vollständig, so dass sich in ihr weder die der Stromwirkung ausgesetzten, noch auch nachträglich zugeführte Bacterien vermehren.

3. Am — Pol wird die Nährflüssigkeit nicht vollständig sterilisirt, aber sie wird nur in beschränktem Maasse für Ernährung und Vermehrung der Bacterien geeignet; die Schwärmbewegungen derselben werden nicht aufgehoben.

4. Weder am +, noch am — Pole werden die Bacterien durch die Stromwirkung zweier Elemente getödtet, denn in frische Nährlösung übertragen, vermehren sie sich in dieser völlig normal.

5. Die für Bacterien sterilisirte Nährflüssigkeit am + Pol gestattet noch reichliche Vermehrung von Kammhefe und Mycelpilzen.

6. Eine Batterie von 5 kräftigen Elementen tödtet die in der Nährflüssigkeit vertheilten Bacterien innerhalb 24 Stunden vollständig, ein Tropfen dieser Flüssigkeit in frische Nährlösung übertragen ruft deshalb keine Trübung in dieser hervor.

7. Die Nährflüssigkeit wird durch einen solchen Strom an beiden



Polen sterilisirt; auf's Neue zugesetzte Bacterien vermehren sich daher nicht in derselben.

8. Die Einwirkung des constanten Stromes auf die Bacterien lässt sich durch die electrolytische Zersetzung der Nährflüssigkeit ausreichend erklären, welche um so vollständiger ist, je kräftiger und je länger der Strom auf die Flüssigkeit eingewirkt hat.

9. Bei möglichst vollständiger Zersetzung wird die Flüssigkeit am  $+$  Pol stark sauer, am  $-$  Pol stark alkalisch, bei schwächeren Strömen an letzterem nur schwach sauer oder neutral. Die alkalische Reaction verschwindet nach einiger Zeit, da sie von einer flüchtigen Base (Ammoniak) herrührt.

10. Am  $-$  Pol findet reichliche Gasentwicklung statt, am  $+$  Pol wird solche nur bei sehr kräftigen Strömen bemerklich.

11. Am  $-$  Pol wird phosphorsaure Ammoniak-Magnesia ausgeschieden; in Folge dessen enthält die Flüssigkeit nach längerer Einwirkung sehr kräftiger Ströme am  $-$  Pol keine Phosphorsäure, am  $+$  Pol kein Ammoniak in Lösung, besitzt also nicht mehr die zur Ernährung und Vermehrung von Bacterien unentbehrlichen Nährstoffe vollständig; ausserdem scheint die freie Säure am  $+$  Pol unmittelbar tödtlich auf die Bacterien einzuwirken.

12. Eine specifische physiologische Einwirkung des constanten galvanischen Stromes ist bei relativ schwächeren Strömen nicht vorhanden, bei stärkeren wenigstens nicht nachweisbar. Die physiologisch so wirksamen Inductionsströme lassen auf die Vermehrung der Bacterien in mineralischer Nährlösung keine Einwirkung erkennen.

B. Einwirkung des constanten galvanischen Stromes auf die Entwicklung von *Micrococcus prodigiosus* an der Oberfläche gekochter Kartoffeln.

13. Die Wirkungen werden bedingt einerseits durch die Stärke des Stromes, andererseits durch die Leitungswiderstände in der Kartoffel, welche mit der Entfernung der Electroden wachsen.

14. Die Flüssigkeiten in der Kartoffel vertheilen sich so, dass durch die ganze Tiefe derselben die eine Hälfte am  $+$  Pol stark sauer, die andere Hälfte am  $-$  Pol stark alkalisch wird, letzteres durch fixes Alkali. Die beiden, gleich- oder ungleichgrossen Hälften stossen in der Mittellinie der Kartoffel mit scharfer Grenzlinie aneinander; die Grenzlinie ist neutral.

15. Beide Hälften unterscheiden sich durch ihre Färbung, sowie dadurch, dass die saure Hälfte an Flüssigkeit verarmt, die alkalische gallertartig quillt, durchscheinend bräunlich und feucht erscheint.

16. Sowohl die +, als die — Electrode verhindern die Vermehrung des *Micrococcus prodigiösus* in ihrer Umgebung und zwar an beiden Seiten, jedoch die + in bei weitem stärkerem Maasse. Bei schwächerer Stromwirkung erscheint daher zu beiden Seiten der + Electrode ein mehr oder minder breiter scharf abgegrenzter farbloser Streifen, während zu beiden Seiten der — Electrode die Entwicklung des *Micrococcus* nur in einer ganz schmalen Zone unterbleibt, die übrige Fläche der alkalischen Hälfte aber sich mit dem rothen Ueberzuge bedeckt.

17. Je kräftiger die Stromwirkung, desto breiter wird an beiden Electroden die Zone, wo sich der *Micrococcus* nicht vermehren kann; bei sehr kräftigen Strömen entwickelt sich der *Micrococcus* gar nicht, die zugeführten Keime werden getödtet und beide Kartoffelhälften mit Ausnahme der neutralen Grenzlinie für *Micrococcus* sterilisirt.

18. Die Einwirkungen des galvanischen Stromes auf die Vermehrung des *Micrococcus prodigiösus* lassen sich auf die electrolytischen Wirkungen des Stromes zurückführen.

Breslau, Pflanzenphysiologisches Institut der Universität Breslau.  
Dez. 1879.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur Biologie der Pflanzen](#)

Jahr/Year: 1879

Band/Volume: [3\\_1](#)

Autor(en)/Author(s): Cohn Ferdinand Julius, Mendelsohn Benno

Artikel/Article: [Ueber Einwirkung des electrischen Stromes auf die Vermehrung von Bacterien 141-162](#)