XIII.

Die Anaërobiose und die Gährungen.

Von

M. Nencki.

Die Grundidee der Pasteur'schen Theorie der Gährung ist bekanntlich die, dass Gährung Leben ohne atmosphärischen Sauerstoff ist. Diese von verschiedener Seite bezweifelte Möglichkeit des Lebens ist jetzt eine sicher festgestellte Thatsache. Die von Gunning¹⁾ gegen die Anaërobiose erhobenen Bedenken wegen des angeblich nicht luftdichten Verschlusses, sowie der mangelhaften Empfindlichkeit der angewandten Reagentien auf freien Sauerstoff in Pasteur'schen und meinen Apparaten haben sich nicht als stichhaltig erwiesen. Ich habe gemeinschaftlich mit Dr. Lachowicz²⁾ im Widerspruch zu den Angaben Gunning's constatirt, dass in sauerstofffreien Räumen, in welchen jeder Kautschukverschluss vermieden wurde und in welchen das von Gunning als das empfindlichste Reagens auf freien Sauerstoff empfohlene weisse Ferroferrocyanür ($\text{Fe}_2 [\text{FeCy}_6]$) gar nicht gebläut wird, sowohl Fäulniss wie alkoholische Gährung stattfindet. Seither wird die Möglichkeit des Lebens ohne freien Sauerstoff auch von den früheren Gegnern derselben offen oder stillschweigend zugestanden. Dagegen scheint es mir, dass die Bedeutung dieser Thatsache in den Gährungsprocessen von den modernen Bakteriologen nicht richtig gewürdigt, oder geradezu missverstanden wird. So schreibt z. B. Dr. Ferdinand Hueppe (Die Methoden der Bakterienforschung. 3. Aufl. S. 194) Folgendes: „Es ist zu ermitteln, ob die Anaërobiose die Ursache der Zersetzung ist (Pasteur), oder ob dieselbe für den Verlauf der Zersetzung eine mehr nebensächliche Bedeutung hat, wie mir die ganze Frage unter Anerkennung der Thatsache der Anaërobiose deshalb zu liegen scheint, weil

1) Journal f. prakt. Chemie. XVI. Bd. S. 121 und XIX. Bd. S. 352.

2) Pflüger's Archiv. XXXIII. Bd. S. 1. 1883.

fast alle bis jetzt bekannten und genauer untersuchten, der Anaërobiose fähigen Mikroorganismen, Bakterien, Hefen, einige Schimmelpilze, bei sonst durchaus gleich günstigen Bedingungen ihre Wirkungen intensiver ausüben, wenn ihnen Luftsauerstoff, wenn auch im beschränkten Maasse, zugeführt wird, als wenn sie nur auf den chemisch gebundenen Sauerstoff von Kohlehydraten angewiesen sind.“

Also im Gegensatze zu der P a s t e u r'schen Theorie, wonach z. B., weil die Hefezellen nicht atmosphärischen, sondern den im Zuckermolekül an Kohlenstoff chemisch gebundenen Sauerstoff verbrauchen, sie das Zuckermolekül nicht zu CO_2 und H_2O , sondern zu CO_2 und $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ verbrennen und also der Umstand, dass die Hefe nicht den Luftsauerstoff dabei verbraucht, die Ursache der Alkoholbildung aus Zucker ist, hält Hueppe es für wahrscheinlicher, dass das Leben der Hefe ohne atmosphärischen Sauerstoff nicht die Ursache der Zersetzung des Zuckers in Kohlensäure und Alkohol ist, sondern eine mehr nebensächliche Bedeutung habe.

Nach meinem Dafürhalten ist die Auffassung, welcher Hueppe den Vorzug gibt, eine irrige.

In den Bemerkungen zu den Versuchen „Ueber die Anaërobiosefrage“ habe ich ¹⁾ durch einfache Berechnungen gezeigt, dass die Annahme, wonach die in unseren Apparaten nicht mehr nachweisbaren Spuren des etwa noch vorhandenen Sauerstoffs irgend einen Antheil an der Vermehrung der Pilze, deren Stoffwechsel und den Oxydationsproducten hätten, einfach eine Absurdität ist. Unter voller Anerkennung der Gährungstheorie des genialen französischen Forschers habe ich dann an einzelnen concreten Beispielen gezeigt, dass die Anaërobiose die *causa efficiens* der verschiedenen, aber durch ein gemeinschaftliches Merkmal gekennzeichneten Gärungen ist. Weil eben die, die Gährung bewirkenden Organismen den Sauerstoff nicht aus der Luft, sondern aus der Nährsubstanz selbst entnehmen, so kann bei den echten anaërobiotischen Gärungen die Oxydation der organischen Bestandtheile der Nährlösung nie eine vollständige sein und deshalb treten neben dem Endproduct der Oxydation — der Kohlensäure — stets auch Reductionsproducte auf. Im Thierkörper wird z. B. der als Nahrung aufgenommene Zucker zu CO_2 und H_2O nach der Gleichung: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_{12} = (\text{CO}_2)_6 + (\text{H}_2\text{O})_6$ oxydirt. Hefezellen, welche keinen atmosphärischen Sauerstoff aufnehmen, verbrennen ebenfalls den Zucker zu CO_2 , aber durchaus nicht so vollständig wie die thierischen Zellen. Der Zucker wird hier nach der Gleichung: $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 = (\text{CO}_2)_2 + (\text{C}_2\text{H}_6\text{O})_2$ verbrannt. Nach gleichem

1) Pflüger's Archiv. XXXIII. Bd. S. 10.

Modus verläuft die Verbrennung der Glukose durch die anaëroben Spaltpilze bei der Buttersäuregährung oder bei der schleimigen Gährung, wie aus folgenden Gleichungen ersichtlich ist.

Diese Gleichungen sollen nur ausdrücken, dass bei den Gährungen stets einerseits Kohlensäure, andererseits Reductionsproducte auftreten. Sie sind keine Umsetzungsgleichungen im rein chemischen Sinne; denn wie Pasteur gezeigt hat, wird dabei immer ein kleinerer oder grösserer Theil der Nährsubstanz zur Neubildung der Pilzzellen und ihrer sonstigen Stoffwechselproducte verwendet. So ist das bei der schleimigen Gährung als Spaltungsproduct aufgeführte Gummi, wie Nägeli¹⁾ richtig bemerkt, kein Gährungsproduct, sondern die sehr weichen und schleimigen Membranen der die Mannitgährung bewirkenden Spaltpilze.

Aehnlich wie die zuerst aus Zucker entstandene Milchsäure werden auch die Pflanzensäuren, z.B. die Citronensäure, Weinsäure, Aepfelsäure, Schleimsäure u. s. w., welche der sogenannten „Buttersäuregährung“ fähig sind, bei fehlendem Sauerstoff durch die Spaltpilze zu CO_2 oxydirt, wobei andererseits Desoxydationsproducte, wie Buttersäure und Wasserstoff, entstehen. Die Zersetzung der Cellulose, wo neben Kohlensäure, Wasserstoff, Grubengas, Aethylaldehyd und flüchtige Fettsäuren auftreten, die Gährung des Glycerins, das einerseits in Kohlensäure, andererseits in eine ganze Reihe Reductionsproducte, wie Trimethylenglykol, Aethyl- und Butylalkohol, Buttersäure, Capronsäure und Wasserstoff, gespalten wird, sowie die Fäulniss der Proteïnsubstanzen, alle diese Gährungen gehören in die gleiche Kategorie.

Während also in thierischen Organismen, welche atmosphärischen Sauerstoff aufnehmen, die Oxydation der organischen Materie eine nahezu vollständige ist, sehen wir bei den Gährung bewirkenden Organismen, welche den Sauerstoff nicht aus der Luft, sondern aus der Nährsubstanz selbst entnehmen, dass neben der Kohlensäure stets Desoxydationsproducte auftreten. Die Oxydation bei der Anaërobie ist nie eine vollständige und in diesem Sinne nannte ich Gährung ein unvollkommenes Athmen. Sind also die Gährungsproducte durch irgend eine Pilzart bekannt und finden sich neben Kohlensäure Reductionsproducte darunter, d. h. solche Substanzen, welche im Verhältniss zur ver-

1) Journal f. prakt. Chemie. XVII. Bd. S. 409.

gährenden Substanz mehr Wasserstoff und weniger Sauerstoff enthalten, so kann von vorneherein angenommen werden, dass die betreffende Pilzart anaërobiotisch ist. Betonen will ich aber, dass damit durchaus nicht präjudicirt ist, dass die gleiche Pilzart unter anderen Umständen nicht auch aërobiotisch sein kann. Systematische Untersuchungen an gut charakterisirten Pilzspecies unter verschiedenen biologischen Verhältnissen sind bis jetzt zu wenige bekannt, um hierüber etwas Bestimmtes sagen zu können. Die Frage, ob es ausser den „facultativ“ anaërobiotischen auch sogenannte „obligat“ anaërobiotische Mikroorganismen gibt, welche letztere also durch den Luftsauerstoff geradezu getödtet werden würden, betrachte ich als eine offene. Das Letztere erscheint mir kaum wahrscheinlich, denn das, was wir aus den Untersuchungen Pasteur's über eine exquisit anaërobiotische Pilzart, nämlich die alkoholische Hefe, wissen, spricht nicht allein dafür, dass die Hefe unter Absorbtion des atmosphärischen Sauerstoffs lebt und sogar besser wächst und sich vermehrt, sondern Hefezellen, welche bei absolutem Sauerstoffausschluss wachsen und Gährung bewirken sollen, müssen eine Zeit lang der Luft exponirt werden, um hernach gährtüchtig zu sein. Die hierauf bezüglichen Versuche Pasteur's sind von grossem Interesse. Das Ergebniss derselben resumirt er in folgenden Worten ¹⁾: „pour se multiplier dans un milieu fermentescible, hors de toute présence du gaz oxygène, les cellules de levûre doivent être extrêmement jeunes, pleines de vie et de santé, encore sous l'influence de l'activité vitale qu'elles doivent à l'oxygène libre qui a servi à les former, et que peut-être elles ont emmagasiné pour un temps. Plus vieilles, elles ont beaucoup de peine à se reproduire sans air et elles vieillissent de plus en plus; si elles se multiplient, c'est sous une forme bizarre et monstrueuse. Plus vieilles encore, elles restent absolument inertes dans un milieu dépourvu d'oxygène libre. Ce n'est pas qu'elles soient mortes; en général, elles peuvent se rajeunir merveilleusement bien dans ce même liquide, si on les y sème après l'avoir aéré“. Diese Thatsache erkläre ich mir in der Weise, dass in der Leibessubstanz der Hefezelle Materien enthalten sind, zu deren Bildung der Luftsauerstoff nothwendig ist. Nach längerem anaërobiotischen Leben, wobei die Hefezellen sich auch vermehren, wird diese Materie derart verbraucht und an die Tochterzellen vertheilt, dass ein ferneres anaërobiotisches Leben der Zelle nicht mehr möglich ist. Die Zellen verlieren ihre weiche Consistenz, die Zellmembran, wie auch das Protoplasma wird dichter und granu-

1) Etudes sur la bière. 239.

lirt. In einer vor Kurzem erschienenen Abhandlung hat O. Loew¹⁾ die Vermuthung ausgesprochen, dass in einer gährthätigen Pilzzelle zwei Arten von Protoplasma existiren. Die eine Protoplasmaabtheilung besorgt die gewöhnlichen Vorgänge, wie Zellwandbildung, Wachsthum, Theilung, während die andere lediglich Gährwirkung ausübt. Diese Annahme stützt er auf die Analogie mit der grünen Pflanzenzelle, welche auch zweierlei, ganz verschieden functionirende Protoplasmaapparate besitzt: das grüne, Kohlensäure reducirende, sogenannte Chlorophyllkorn und das farblose Protoplasma, welches in der Regel noch weiter differenzirt ist, z. B. einen Zellkern besitzt und die gewöhnlichen Zellfunctionen besorgt; ferner auf die Beobachtung von Nägeli und Fitz, welche fanden, dass man durch Erwärmen auf eine bestimmte Temperatur den Spaltpilzen die Gährthätigkeit nehmen kann, ohne das Leben und die Fortpflanzungsfähigkeit zu vernichten. Sollte sich diese Annahme Loew's bestätigen, so wäre es denkbar, dass zur Bildung des einen oder des anderen Protoplasmas eine zeitweise Zufuhr des atmosphärischen Sauerstoffs nothwendig ist. Für die Hefezelle, ähnlich wie für die thierischen Organismen, hat der Zucker viel mehr respiratorischen als plastischen Werth. Sie verbrennt ihn unter Wärmebildung zum grössten Theil zu CO_2 und $\text{C}_2\text{H}_5\text{O}$ und nur etwa 1 Proc. wird zur Neubildung der Zellsubstanz verwendet. Anders ist es bei der sogenannten schleimigen Gährung. Hier wird ein grosser Theil des Zuckers (45,5 Proc.) zur Bildung der Zellmembran und des Spaltpilzschleims verbraucht.

Aber gerade die an der citirten Stelle angeführten Versuche Pasteur's zeigen, dass die Hefe dann den Zucker in Alkohol und Kohlensäure zersetzt, wenn sie anaërobiotisch lebt. In dünnen Schichten in Bierwürze der Luft exponirt, lebt die Hefe nach Art der Schimmelpilze und das Verhältniss des zersetzten Zuckers zur neugebildeten Hefe war wie 4 : 1. Anaërobiotisch lebende Hefe zersetzte dagegen 44 mal mehr Zucker, nämlich das Verhältniss des zersetzten Zuckers zur neugebildeten Hefe war = 176 : 1. Uebermässige Sauerstoffzufuhr schwächt die Gährthätigkeit der Hefezellen ab und kann sie sogar gänzlich aufheben. Nach den Versuchen Cochin's²⁾ vermochte Hefe, welche während 24 Stunden bei 20° T. in dünner Schicht der Luft exponirt war, aus 100 Theilen Zucker nur 21 Theile, statt 50 Theile Alkohol zu bilden. Als Hoppe-Seyler³⁾ durch

1) Ueber Formaldehyd. Leipzig 1886. S. 32.

2) Compt. rend. T. XCVI. p. 855. 1883.

3) Ueber die Einwirkung des Sauerstoffes auf Gährungen. S. 9. Strassburg 1882.

eine Rohrzuckerlösung, welche in 100 cem 15 g Rohrzucker enthielt und mit 1 cem Hefebrei versetzt war, Sauerstoff 4 Tage lang hindurchleitete, wurden nur etwa 50 cem von dem letzteren absorbiert. Der Rohrzucker war völlig invertirt, aber es wurden nur Spuren von Alkohol gebildet und das Gewicht des bei der Verdampfung des filtrirten Rückstandes in der Retorte bleibenden Syrups war noch etwas grösser, als das Gewicht des zum Versuche benutzten Rohrzuckers. Im Grunde genommen ist der Unterschied zwischen der Oxydation mittelst des Sauerstoffs aus dem Zuckermolekül wie in der Hefezelle und der Oxydation mittelst des molecularen Sauerstoffs in der thierischen Zelle nur ein gradueller. Vielleicht müssen die in der thierischen Zelle entstehenden reducirenden Moleküle eine viel stärkere Affinität zum Sauerstoff haben, als wie dies in der anaërobiotischen Hefezelle nöthig ist. Den thierischen Geweben wird der Sauerstoff mittelst des Hämoglobins als Molekül $= O_2$ zugeführt. Wir haben durch eine Reihe von Versuchen gezeigt ¹⁾, dass von den Bestandtheilen des Thierkörpers in schwach alkalischer Lösung bei der Bruttemperatur nur zwei, nämlich die Dextrose und die Harnsäure, einigermaassen merkliche Quantitäten molecularen Sauerstoffs absorbiren — Dextrose 14,7 Proc., die Harnsäure 9 Proc. ihres Gewichtes — und die Verbrennung auch dieser Substanzen ist durch den molecularen Sauerstoff keine vollständige. Wir haben ferner gezeigt, dass, damit die Oxydationen in den thierischen Organismen sich vollziehen, in den Geweben Materien mit starker Affinität zu Sauerstoff gebildet werden müssen, ähnlich wie z. B. Benzaldehyd, der schon durch molecularen Sauerstoff oxydirt wird, wobei gleichzeitig atomistischer Sauerstoff entsteht, der dann die übrigen, im Zellinhalt vorhandenen, durch molecularen Sauerstoff nicht verbrennbaren Substanzen ebenfalls oxydirt. O. Nasse hat deshalb vor Kurzem für diese, durch die reducirenden, autooxydablen Moleküle zu Stande kommende Verbrennung in den Geweben den Namen „primäre Oxydation“ und für die Oxydation der nur durch atomistischen Sauerstoff verbrennbaren Substanzen, wie z. B. der Fette, des Alkohols, der aromatischen Kohlenwasserstoffe u.s.w. den Namen „secundäre Oxydation“ vorgeschlagen. Diesen Bezeichnungen, weil sie leichtere Verständigung ermöglichen, stimme ich vollständig bei. Allem Anscheine nach wird das Eiweiss der Nahrung behufs der Verbrennung im Organismus zunächst in solche

1) M. Nencki und N. Sieber, Untersuchungen über die physiologische Oxydation. Journal f. prakt. Chemie. XXVI. Bd. S. 1. 1882.

labile Moleküle verwandelt und dies ist der Grund für die von Voit und Bischoff gefundene Thatsache, dass die Ausscheidung des Stickstoffes, den wir ja fast nur in Form von Eiweiss in der Nahrung erhalten, nicht von der Muskelthätigkeit, sondern von der Eiweisszufuhr abhängig ist. Das Nahrungseiweiss wird in die labilen, durch molecularen Sauerstoff oxydablen Moleküle verwandelt, und da den Geweben durch das Blut mehr als hinreichend O_2 zugeführt wird, so müssen diese Moleküle im Organismus oxydirt werden. Die Grösse der primären Oxydation ist der Menge des Nahrungseiweisses einfach proportional.

Die Affinität der reducirenden Materie im Protoplasma zu molecularem Sauerstoff muss eine grosse sein, wenn man bedenkt, dass z. B. nach den Versuchen von Troost und Hautfeuille¹⁾ Sauerstoff $= O_2$ erst über 1400° erhitzt in seine Atome gespalten wird, indem er dann Ozonreactionen zeigt. Aus den bekannten Versuchen von Meyer, sowie J. M. Crafts und E. Meyer²⁾ über die abnorme Dampfdichte der Halogene geht hervor, dass die Temperatur, bei welcher die Halogenmoleküle: J_2, Br_2, Cl_2 in ihre Atome zerfallen, eine ebenso hohe — $1280\text{—}1500^\circ$ ist. Bei Gegenwart anderer Elemente geschieht die Spaltung des O_2 schon bei viel niedrigerer Temperatur. So geben nach Gautier³⁾ Gemische von $O_2 + H_2$ bei einer der Rothgluth nahen Temperatur neben unveränderten H_2 und O_2 auch H_2O . Wer sich vergegenwärtigt, eine wie starke chemische Affinität dazu gehört, um das Sauerstoffmolekül in Atome zu spalten, denn nur so kann die Oxydation in den thierischen Geweben geschehen, für den wird die Vorstellung, dass die Hefezelle den Sauerstoff im Zuckermolekül derart verschiebt, um einen Theil des Kohlenstoffes desselben unter Wärmebildung zu CO_2 zu oxydiren, nichts Befremdendes mehr haben.

Ob bei den anaërobiotischen Gährungen einzig und allein der Sauerstoff der vergärenden Substanz zur Oxydation eines Theiles des Kohlenstoffes zu Kohlensäure verwendet wird, oder ob die Gährung bewirkenden Organismen unter Umständen auch anders chemisch gebundenen Sauerstoff, beziehentlich aus dem Wasser zur Oxydation verwenden, betrachte ich als eine ebenfalls noch nicht entschiedene Frage. Gestützt darauf, dass ich bei der Einwirkung von Alkalien auf Eiweissstoffe, speciell beim Schmelzen von Eiweiss mit Kali, fast alle die früher von mir bei der Eiweissfäulniss isolirten

1) Compt. rend. T. LXXXIV. p. 946.

2) Vgl. Fittica's Jahresbericht der Chemie. 1879, 1880 und 1881.

3) Berliner chem. Berichte. II. Bd. S. 750.

Producte auch bei der Kalischmelze erhalten konnte ¹⁾, und mit Rücksicht darauf, dass schmelzendes Kali bei der Einwirkung auf organische Substanzen dieselben dadurch zerlegt, dass es in $KO + H$ zerfällt, glaubte ich annehmen zu können, dass bei der anaërobiotischen Fäulniss der Proteïnsubstanzen die Mikroben das Wassermolekül in Wasserstoff und Hydroxyl spalten und so mittelst des letzteren die Oxydation bei der Fäulniss geschieht. Diese Auffassung des chemischen Mechanismus der Fäulniss ist nicht von der Hand zu weisen, aber bewiesen ist sie nicht. Entscheidung hierüber wird auch kaum durch einen gut durchgeführten Gährversuch bei Luftausschluss mit einer bestimmten Eiweisssubstanz und mittelst einer einzigen Spaltpilzspecies erbracht; es wäre dazu auch die Kenntniss des molecularen Baues des Eiweissmoleküls erforderlich.

Die chemischen Verbindungen, welche vorzugsweise gährungsfähig sind, sind die mehratomigen Alkohole, die Kohlehydrate und die Oxysäuren. Je mehr ein Körper Hydroxyle enthält, um so geeigneter ist er im Allgemeinen für die Gährung, und es ist der hydroxyliche Sauerstoff, welcher zur Oxydation bei der Anaërobiotose verwendet wird. Von hohem Interesse ist es, dass dabei nicht der Wasserstoff, sondern stets der Kohlenstoff oxydirt wird. Bei den anaërobiotischen Gärungen entsteht neben CO_2 nicht etwa H_2O , sondern der Wasserstoff tritt entweder als solcher auf, oder es bilden sich wasserstoffreichere Reductionsproducte.

Als einen zweiten, nicht mit der Anaërobiotose im Zusammenhange stehenden chemischen Process habe ich bei den Gärungen die hydrolytischen Spaltungen bezeichnet und sie namentlich in den Fällen, wo sie mittelst der in den Gährungsorganismen gebildeten löslichen Enzymen geschehen, mit der Verdauung der Thiere verglichen, während die Bildung der Kohlensäure bei Gärungen den Oxydationen in den Geweben der Thiere entspricht. Ein solches Enzym ist das Invertin der Hefe, sowie das von Wortmann ²⁾ in den Bakterien gefundene stärkelösende Enzym. Allem Anscheine nach geschieht auch die Umwandlung des Zuckers in Milchsäure bei der sogenannten Milchsäuregährung durch das *Bacterium lactis* ebenfalls mittelst eines Enzyms. Als die einzigen Producte der Milchsäuregährung fand Boutron Milchsäure und Kohlensäure. Dieser Befund wurde in der neuesten Zeit durch eine sorgfältige Unter-

1) Journal f. prakt. Chemie. XVII. Bd. S. 97 und 105. 1878.

2) Zeitschrift f. physiol. Chemie. VI. Bd. S. 318.

suchung Hueppe's¹⁾ bestätigt. Andere Spaltungsproducte ausser den oben bezeichneten hat Hueppe nicht gefunden und sind die bei der Milchsäuregährung gefundenen flüchtigen Fettsäuren u. s. w. auf unreine Culturen zurückzuführen. Nach der günstigsten Methode von Bensch werden bei der technischen Bereitung etwa 60 Proc. Milchsäure von der theoretisch berechneten Menge erhalten. Dass die Milchsäuregährung nicht einfach nach der Gleichung: $C_6H_{12}O_6 = (C_3H_6O_3)_2$ verläuft, geht schon daraus hervor, dass ausser Milchsäure als zweites Spaltungsproduct Kohlensäure auftritt. Hueppe machte aber die interessante Beobachtung, dass ausser dem *Bacillus lacticus*, des vorzugsweise verbreiteten und wirksamen Milchsäurebildners, es noch andere Mikroben gibt, welche Zucker in Milchsäure verwandeln. Hueppe allein gibt deren fünf an und dies war auch für Dyrmont die Veranlassung, zu untersuchen, ob Milzbrandbacillen in zuckerhaltigen Nährlösungen den letzteren nicht zunächst in Milchsäure spalten. Das Ergebniss war, wie aus nachfolgender Abhandlung ersichtlich, ein negatives.

Enzyme wirken wie verdünnte Säuren oder Alkalien. Von Hoppe-Seyler²⁾ rührt die Beobachtung her, dass, wenn Dextrose mit concentrirter Natronlauge auf dem Wasserbade erwärmt wird, bei der dabei stattfindenden heftigen Einwirkung neben wenig Brenzcatechin und anderen nicht definirten Producten 10—20 proc. Gährungsmilchsäure entsteht. Nach den Beobachtungen von Sieber und mir³⁾ werden beim Digeriren von Traubenzucker mit Alkalien bei der Bruttemperatur circa 50 Proc. des Zuckers in Milchsäure verwandelt. Die Bildung der Milchsäure geschieht auch bei sehr geringem Alkaligehalt. Als 9 g Traubenzucker, 9 g Kalihydrat in 3 Liter Wasser gelöst, also eine nur 0,3 proc. Lösung, bei 35—40° digerirt wurden, war der Zucker nach 10 Tagen völlig verschwunden. Kohlensaure Alkalien oder Ammoniak vermögen aus Dextrose keine Milchsäure zu bilden, wohl aber Ammoniumbasen von der allgemeinen Formel: $R_4.N.OH$. Durch Digestion von Zucker mit Tetramethylammoniumhydroxyd, sowie Cholin in Verdünnungen, wie wir sie oben bei Kalihydrat beschrieben, erhielten wir ebenfalls Milchsäure. Kreatinin sowie Guanidin bilden dagegen aus Zucker keine Milchsäure. Es war naheliegend, auf Grund dieser Beobachtungen nach einem milchsäurebildenden Enzym in dem menschlichen Organismus zu suchen, zumal dessen Auffindung von wesentlichem Werthe für

1) Mittheil. aus d. kaiserl. Gesundheitsamte in Berlin. 1884. II. Bd. S. 342.

2) Berliner chem. Berichte. VI. Bd. S. 346.

3) Journal f. prakt. Chemie. XXIV. Bd. S. 498 und XXVI. Bd. S. 1.

die Erklärung des Diabetes wäre. Unsere damaligen Bemühungen waren ohne Erfolg, auch konnten wir die Annahme Hammarsten's¹⁾, dass in der Magenschleimhaut ein milchsäurebildendes Enzym enthalten sei, nicht bestätigen. Ich halte es trotzdem für möglich, dass die Umwandlung des Zuckers in den Organismen und so auch durch den *Bacillus lacticus* eine Enzymwirkung ist. Es ist eben nicht nothwendig, dass jedes Enzym durch unsere gewöhnlichen Lösungsmittel aus den Zellen extrahirbar sei; es kann aber auch sein, dass die Umwandlung des Zuckers in Milchsäure nicht mittelst eines extrahirbaren Enzyms, sondern durch die chemischen Umsetzungen in der lebendigen Zelle geschieht. Chemisch ist die Spaltung der Dextrose in Milchsäure ein rein hydrolytischer Process. Das *Bacterium lactis* ist ein aërobiotischer Pilz. Die Milchsäurebildung durch dasselbe entspricht der Spaltung des Rohrzuckers in Dextrose und Lävulose durch das Invertin der Hefe. Mittelst des atmosphärischen Sauerstoffs verbrennt es andererseits den Zucker, resp. die daraus gebildete Milchsäure zu CO_2 und H_2O .

Wie physiologisch gänzlich verschiedene Processe im gewöhnlichen Sprachgebrauch mit dem gleichen Namen „Gährung“ bezeichnet werden, das zeigt am besten der Vergleich der Alkohol-, der Essig- und der Milchsäuregährung. Bei dem ersten, anaërobiotisch verlaufenden Oxydationsprocesse wird der Zucker mittelst des Sauerstoffs aus dem Zuckermolekül nur theilweise zu CO_2 oxydirt und infolge dessen entsteht als Reductionsproduct der Alkohol. In einer Nährlösung, welche einige Procente Alkohol enthält, wird durch das aërobiotische *Bacterium aceti* der Alkohol unter Aufnahme des atmosphärischen Sauerstoffs zu Essigsäure oxydirt. Diese Essiggährung kann aber durch den gleichen Pilz verdorben werden; denn wie Pasteur zeigte, findet die Essigbildung nur so lange statt, als der oxydirte Alkohol durch erneuerten Zusatz ersetzt wird. Ist nämlich kein Alkohol mehr vorhanden, so verbrennt das *Bacterium aceti* die Essigsäure vollständig zu CO_2 und H_2O . Es ist also nur eine Phase im Stoffwechsel des Pilzes, nämlich die unvollkommene Oxydation des Alkohols, welche wir Essiggährung benennen. Bei der Milchsäuregährung endlich ist es nicht das Reductions- oder das Oxydationsproduct im Stoffwechsel des Pilzes wie in den vorhergehenden Fällen, sondern das hydrolytische, vielleicht durch Enzymwirkung entstandene Product, das zur Bezeichnung des ganzen Processes als „Milchsäuregährung“ Veranlassung gab.

Bern, im April 1886.

1) Journal f. prakt. Chemie. XXVI. Bd. S. 40.