Ueber die Gährung.

Von

DR. ADOLF LIEBEN.

Vortrag, gehalten am 10. Februar 1862.

Die Gruppe von Erscheinungen, welche gewöhnlich unter dem Namen der Gährungserscheinungen zusammengefasst werden, von welchem Standpunkt man sie auch betrachten mag, ist jederzeit in hohem Grade berechtigt, unsere Aufmerksamkeit auf sich zu ziehen. Bekanntlich beruhen einige unserer wichtigsten Industriezweige, so die Bereitung des Weins, des Biers, des Branntweins, des Alkohols, des Essigs auf der Gährung, der Gährung verdankt das Brod seine leichte lockere Beschaffenheit und somit seine Verdaulichkeit. Aber nicht dem Praktiker allein, auch dem Forscher, der dem ursächlichen Zusammenhang in diesen verwickelten Erscheinungen nachspäht, bieten dieselben ein reges Interesse, einen Gegenstand eifrigen Nachdenkens und fortgesetzter Beobachtung. So werde ich denn versuchen, insoweit es die kurz zugemessene Zeit mir erlaubt, Ihnen ein klares Bild von dem gegenwärtigen Zustand unserer Kenntnisse in diesem Erscheinungsgebiet zu entwerfen und zugleich an diesem Beispiele zeigen, in welcher Weise wissenschaftliche Wahrheiten errungen werden, wie

mühsam der menschliche Geist in mächtigem durch Jahrhunderte fortgesetztem Streben den Besitz der einfachsten scheinbar geringen Resultate erkämpft.

So wie die politische Geschichte, die wir unter dem Namen Weltgeschichte zu lernen gewohnt sind, uns ein beständiges Streben zeigt, nach materieller und geistiger Hebung bedingt durch verbesserte sociale und politische Einrichtungen und so wie wir hier in dem Vorwärtsschreiten Perioden des Fortschritts und des Rückschritts unterscheiden können, so finden wir ähnliche Erscheinungen auch wieder in der Geschichte jeder einzelnen Wissenschaft, ja jedes einzelnen Forschungsgebietes, das wir an uns vorüberziehen lassen. Alle diese Geschichten laufen mit der politischen Geschichte parallel, sie bilden mit ihr zusammen erst die Weltgeschichte. Nur zu oft sehen wir da den menschlichen Geist sich auf falscher Fährte abmühen, gleichsam als müsste er erst alle Pfade des Irrthums erschöpfen, ehe er den der Wahrheit finden kann. Ob in dem Gebiet der Erscheinungen, die wir heute näher betrachten wollen, wir schon bis zur vollen Wahrheit vorgedrungen sind, — es wäre zum mindesten voreilig, diese Frage mit Ja zu beantworten; mit Zuversicht aber dürfen wir aussprechen, dass der Weg der Forschung der richtige ist, und wenn die Zukunft auch unsere heutigen Ansichten in unvorhergesehener Weise weiter entwickelt, ja theilweise widerlegt, so wird doch selbst ihre Widerlegung mit Benutzung derselben Forschungs-

methode geschehen, die uns zu ihrer Entwicklung geführt hat, nämlich mit Hilfe der Beobachtung und des Experiments.

I.

Wenn das Thier an das Ende seines Lebens angelangt ist, wenn die Pflanze abstirbt, so nehmen die chemischen Kräfte, die bisher im Innern des lebenden Organismus thätig waren, eine andere Richtung. Unter Mitwirkung der Luft und der Feuchtigkeit tritt zuerst an den der Luft ausgesetzten Stellen eine Zersetzung ein, die immer weiter schreitend allmählig die ganze Masse ergreift. Die complicirt zusammengesetzten Stoffe, die wunderbar durch einander gemengt, den Organismus bilden, zerfallen in einfachere Verbindungen, zuletzt entweicht der im todten Leib enthaltene Kohlenstoff als Kohlensäure, der Wasserstoff als Wasser, der Stickstoff in Form von Ammoniak oder Salpetersäure, der Schwefel als Schwefelwasserstoff oder Schwefelsäure, und es bleiben von dem todten Thier nur die Aschenbestandtheile, von dem mächtigen Baum nach 30—40 Jahren nur die Rinde zurück, die der Zerstörung am kräftigsten widersteht. In den meisten Fällen dauert die bei Zutritt der Luft eingeleitete Veränderung auch dann noch fort, wenn die Luft später abgeschlossen wird. Aber nicht immer folgt Zerstörung und Auflösung auf den Tod und nicht immer erfolgt sie erst nach dem Tod.

Das Erste beweisen uns die im sibirischen Eis unverändert aufbewahrten Riesen der Vorwelt, die Mammuthen, die sich, durch Kälte geschützt, mit Haut und Haaren trotz vorüberstreichender Jahrtausende erhalten haben, während uns die Wirkung mancher Gifte schliessen lässt, dass sie schon im lebenden Organismus zu einer Entmischung der Elemente Anlass geben, die natürlich den Tod zur Folge hat.

Diesen Process der Zersetzung, welcher, wenigstens scheinbar, ohne besondere Veranlassung erfolgt und ohne andere Bedingungen voranzusetzen, als eine Temperatur von etwa 10—50°, Gegenwart von Wasser und wenigstens anfangs Gegenwart von Luft, nennt man Fäulniss. Von den zahllosen Stoffen, die sich in den Pflanzen- und Thierorganismen finden, sind nicht viele direct der Fäulniss fähig, wohl aber sind diese wenigen sehr verbreitet. Es gehören im Allgemeinen die schwefel- und stickstoffhaltigen Bestandtheile der Pflanzen und Thiere dazu, das Albumin, Casein, Fibrin, die Leimgebilde, der Schleim, die Galle etc.

Nach der Auffassung, die bis jetzt maassgebend war und die wir in den meisten Lehrbüchern finden, stehen die bisher besprochenen Erscheinungen der Fäulniss in dem innigsten Zusammenhang mit denen der Gährung. Man hat nämlich beobachtet, dass es gewisse Substanzen giebt, die unter nicht genau bekannten Bedingungen, aber immer in Gegenwart fäulnissfähiger Substanzen eine eigenthümliche Zersetzung

erleiden und zwar, was dabei bemerkenswerth ist, ohne etwas Erhebliches an die letzteren Körper abzugeben oder von ihnen aufzunehmen. Die Gegenwart der fäulnissfähigen Körper und ihre beginnende Fäulniss sah man dabei als wesentlich an. Diese Zersetzung nun, die in Gegenwart faulender Körper bei Substanzen, welche selbst nicht fäulnissfähig sind, eintritt, hat man Gährung genannt. Man nennt mit Bezug darauf die letzteren gährungsfähige, die ersteren gährungserregende Körper oder Fermente.

Die für Gährung eben gegebene Definition ist die jetzt gebräuchliche: ich habe sie deshalb hier vorangestellt, obgleich wir uns später überzeugen werden, dass sie dem Wesen der Erscheinung nicht entspricht. Ehe ich in weitere Entwicklungen eingeh, erlauben Sie mir vorerst, Ihnen das Thatsächliche, das Aeusserliche der Erscheinung bei der Gährung in's Gedächtniss zu rufen.

II.

Es giebt verschiedene Gährungen, indem verschiedene Stoffe gährungsfähig sind und sogar derselbe Stoff unter der Einwirkung verschiedener Fermente und je nach den Bedingungen z. B. der Temperatur, verschiedene Producte bei seiner Gährung genannten Zersetzung liefert. Die bekannteste und zugleich die beststudirte Gährung ist die sogenannte

alkoholische Gährung des Zuckers. Auf ihr beruhen die Bereitung des Weines, Biers und Branntweins. Wenn man Traubensaft, der im Wesentlichen aus Wasser, Traubenzucker, eiweissartigen Substanzen, Pflanzensäuren, darunter besonders Weinsäure, endlich einigen Mineralbestandtheilen zusammengesetzt ist, bei 15—20° sich selbst überlässt, so tritt Gährung ein, welche sich durch Entwicklung von Gasblasen, durch eine eigenthümlich wallende Bewegung in der Flüssigkeit und die Bildung eines Schaumes an der Oberfläche bemerkbar macht. Die eiweissartigen Substanzen bei Gegenwart von Luft und Wasser werden gewöhnlich als das Ferment betrachtet, während der Zucker der gährungsfähige Stoff ist, welcher eine Zersetzung erleidet. Das Gas, welches während der Gährung in grosser Menge entweicht, ist die wohlbekannte Kohlensäure. Nach beendeter Gährung wird die Flüssigkeit klar und man findet an ihrem Grunde einen festen Körper ausgeschieden, der zum grossen Theil aus sogenannter Hefe besteht und der im höchsten Grad die Eigenschaft besitzt, als Ferment zu wirken, somit in einer zuckerhaltigen Flüssigkeit Gährung einzuleiten. Es ist hauptsächlich die eiweissartige Substanz des Traubensaftes, welche sich während des Gährungsprocesses in Hefe verwandelt hat. An der Stelle des Zuckers findet man Alkohol, den Hauptbestandtheil des gewöhnlichen Spiritus in der Flüssigkeit. Wenn wir also blos beiläufig den chemischen Process, der bei der Gährung des Weines

stattgehabt hat, uns vergegenwärtigen, so finden wir, dass sich dabei die eiweissartige Substanz in Hefe, der Zucker in Kohlensäure, die entwich, und in Alkohol, der zurückblieb, verwandelt haben. Setzt man die Hefe einer frisch bereiteten Zuckerlösung zu, so vermag sie als Ferment wirkend darin alkoholische Gährung einzuleiten, also den Zucker in Alkohol und in Kohlensäure zu spalten.

In ganz ähnlicher Weise auch geht der Gährungsprocess bei der Bereitung des Bieres vor sich. Der Hauptunterschied ist nur der, dass man der zuckerhaltigen Flüssigkeit, welche durch das Keimen und Einmaischen der Gerste erhalten worden ist, Hefe als Gährungserreger zusetzt, während beim Traubensaft ein solcher Zusatz nicht nöthig ist. Als Producte der Gährung erhält man auch hier Kohlensäure, die unter Schäumen aus der Flüssigkeit entweicht, Alkohol und ferner Hefe, die sich theils an der Oberfläche, theils am Boden der Gährungsbottiche ausscheidet.

III.

Was ist nun die eigentliche Ursache der Gährung, warum zerfällt der Zucker in Alkohol und in Kohlensäure? Und wenn man darauf antwortet, dass dies die Wirkung der Hefe sei, so entsteht die zweite Frage, was ist die Hefe? In welchem Verhältniss steht sie zu der eiweissartigen Substanz, aus der sie

entstanden ist? Ist der Zutritt der Luft bei der Gährung nöthig? Und so dringen sich noch zahlreiche Fragen auf, mit deren Beantwortung im Laufe der Zeiten Hunderte von Forschern sich beschäftigt haben.

In der That der chemische Process, den wir eben in der Gährung kennen gelernt haben, unterscheidet sich wesentlich von den chemischen Processen, wie sie gewöhnlich durch Wechselwirkung zweier verschiedener Stoffe eintreten. Giesst man Schwefelsäure zu einer Lösung von kohlen saurem Natron, so entweicht Kohlensäure, weil sie durch eine stärkere Säure aus ihrer Verbindung ausgetrieben wird und es entsteht schwefelsaures Natron. Leitet man Kohlensäure in Kalkwasser, so entsteht ein weisser Niederschlag von kohlen saurem Kalk, weil die Kohlensäure sich mit allen löslichen Basen und so auch mit dem Kalk verbinden kann und weil ferner der kohlen saure Kalk ein weisser in Wasser unlöslicher Körper ist. Wir können uns also von diesen wie von tausend andern chemischen Actionen eine gewisse Rechenschaft geben. Anders ist es bei dem Process der Gährung. Die Hefe, welche die Zersetzung herbeiführt, vermag sich weder mit dem Zucker, noch mit dem Alkohol oder der Kohlensäure chemisch zu verbinden; worin liegt also das Geheimniss ihrer Wirkung?

Gleich räthselhaft wie die alkoholische Gährung sind aber alle jene andern chemischen Prozesse, die

den Namen Gährung führen. Wir begegnen überall derselben Schwierigkeit. Setzt man einer Lösung von Zucker in Wasser anstatt Hefe faulenden Käs und etwas Kreide zu, so verschwindet allmählig der Zucker und man erhält als Hauptproduct diesmal nicht Alkohol und Kohlensäure, sondern Milchsäure, dieselbe Säure, welche auch in der Milch durch eine eintretende Gährung derselben Art sich bildet, wenn man Milch durch einige Zeit sich selbst überlässt. Lässt man bei der Milchsäuregährung die gemengten Substanzen noch länger auf einander einwirken, so tritt eine neue Art der Gährung ein und man erhält Buttersäure neben Wasserstoff und Kohlensäure, die sich gasförmig entwickeln.

Der Zucker ist keineswegs die einzige gährungsfähige Substanz. Das Amygdalin, ein weisser kry stallinischer Stoff, der in den bitteren Mandeln enthalten ist, wird durch die Einwirkung einer eiweissartigen Substanz des sogenannten Emulsins, welches in allen Mandeln den bitteren wie den süssen sich vorfindet, in Bittermandelöl, Blausäure und Zucker gespalten; und so liessen sich noch viele Beispiele derartiger Gährungsprocesse anführen. Stets finden wir dabei einen eiweissartigen Körper neben Zucker oder einer andern gährungsfähigen Substanz, welche in kürzerer oder längerer Zeit in verschiedene Producte zerlegt wird. Das Interesse an diesem eigen thümlichen chemischen Process wird aber noch erhöht, wenn wir uns erinnern, dass die Bedingungen, unter

denen die Gährung vor sich geht, ganz mit denen übereinstimmen, die wir auch im lebenden Organismus überall antreffen. Eiweissartige Substanzen und Wasser sind überall verbreitet, und eine Temperatur zwischen 10^0 und 50^0 ist ja auch im Allgemeinen die für das Leben günstigste. Also scheinen gerade die Gährungsprocesse für die wunderbaren chemischen Vorgänge im Innern unseres Organismus einen Schlüssel abzugeben.

Um den Ursachen der Gährung näher zu kommen, wenden wir zuerst unsern Blick in die Vergangenheit, um so die allmälige Entwicklung unserer Kenntnisse so wie die theoretischen Vorstellungen die darüber möglich sind und die im Laufe der Zeit von verschiedenen Forschern ausgesprochen wurden, kennen zu lernen.

IV.

Die älteste Kenntniss der Weingährung reicht über die Grenze sicherer historischer Nachrichten hinaus. Nach der Sage der Egypter lehrte Osiris, nach der der Griechen Bacchus, nach der Bibel Noah die Menschen den Weinstock bauen und Wein bereiten. Die Egypter und Germanen kannten schon vor dem Anfang unserer Zeitrechnung die Bereitung des Bieres; Moses unterschied gesäuertes von ungesäuertem Brod, war also mit der Brodgährung bekannt. Um die Gährung des Brodes einzuleiten, bedienten sich die

Alten eines Zusatzes von altem sauer gewordenem Teig oder von Bier- oder Weinhefe. Die Kenntnisse der Alten waren übrigens rein empirisch und jeder theoretischen Auffassung baar.

Auch durch die Alchemisten und Jatrochemiker im Mittelalter ward weder die thatsächliche Kenntniss, noch die Theorie der Gährung bedeutend gefördert. In den Schriften von Raymundus Lullus, Basilus Valentinus, Libavius, van Helmont, Lemery etc. werden die Ausdrücke „Fermentum“ und „Fermentatio“ in wenig bestimmtem Sinn gebraucht und häufig bezeichnen die genannten Forscher eine durch irgend einen Zusatz hervorgebrachte chemische Aenderung auch mineralischer Substanzen, besonders wenn Gasentwicklung dabei statt hat, mit Fermentatio. So verwechseln sie das Aufbrausen der Kohlensäure aus Pottasche bei Zusatz einer Säure mit der Gährung und nehmen dem entsprechend an, dass bei der wirklichen geistigen Gährung eine Säure das wirksame Princip sei. Ob der Alkohol bei der Gährung sich erst bilde, oder ob er bereits ursprünglich in der ungegohrenen Flüssigkeit z. B. im Traubensaft oder Malzauszug in unreinem Zustand enthalten sei, das lassen ihre Untersuchungen unentschieden. Sie bezeichnen mit Fermentum auch den Stein der Weisen, denn so wie die Bier- und Weinhefe Pflanzensäfte umwandelt und exaltirt, so müsse der Stein der Weisen an den Metallen ein Gleiches thun und sie dadurch zu Gold veredeln. Auch die Verdauung wird

von ihnen als Gährung aufgefasst, und sowohl die Fäulniss als die Gährung derselben oder doch ähnlichen Ursachen zugeschrieben.

V.

Als in der zweiten Hälfte des siebzehnten Jahrhunderts die chemischen Thatsachen, die bis dahin kaum im Zusammenhang standen, zum ersten Mal in wissenschaftlicher Weise zusammengefasst und durch die sogenannte phlogistische Theorie der Versuch gemacht wurde, dieselben zu erklären, da nahm auch die Kenntniss der Gährungserscheinungen an dem allgemeinen Fortschritt Theil. Willis und Stahl erklärten die Gährung, indem sie annahmen, dass wenn die Elemente eines zusammengesetzten Körpers in Bewegung begriffen seien, so könne diese Bewegung sich auch auf die Elemente eines andern Körpers übertragen. Freilich hatte man damals über die Zusammensetzung der Körper und die Natur der Elemente noch wenig klare Begriffe. Noch hatte man sich von den Vorstellungen der Alten nicht völlig losgerungen und wenn Willis „Sulphur“, „Spiritus“ (worunter Quecksilber verstanden ist), „Sal“, „Aqua“ und „Terra“ als Elemente betrachtet, so steht er damit unstreitig der Aristotelischen Auffassung näher, als unserer heutigen, wonach die Elemente nicht Abstractionen der Eigenschaften, sondern wirklich vorhandene isolirbare Stoffe sind, aus deren Verbin-

derung in bestimmten Verhältnissen alle Körper hervorgehen. So bemerkenswerth daher auch der erwähnte erste Versuch einer theoretischen Erklärung der Gährungserscheinungen ist, für die Wissenschaft blieb er zunächst ohne Einfluss.

Was den Fortschritt in der Kenntniss der That-sachen betrifft, so hebt Stahl Zucker, Mehl und Milch als gährungsfähige Körper hervor, Mac Bride zeigte 1764, dass das bei der Fäulniss und Gährung sich entwickelnde Gas Kohlensäure sei, d. h. identisch mit der damals sogenannten fixen Luft, die sich durch Einwirkung einer Säure auf Marmor entwickelt und welche von Black kurz zuvor entdeckt worden war, und Cavendish bestimmte bald darauf die Menge Kohlensäure, welche eine gewisse Quantität Zucker bei der Gährung entwickelt. Rücksichtlich der Kohlensäure konnte man nicht daran zweifeln, dass sie erst bei der Gährung entsteht. Die Gasentwicklung galt gerade als charakteristisch und es war nur der Irrthum möglich, den wir bereits oben erwähnt haben, dass nämlich andere chemische Prozesse, die von Kohlensäureentwicklung begleitet sind, mit der Gährung verwechselt wurden.

Die Thatsache, dass bei der Gährung aus Zucker Alkohol entsteht, war bereits schwieriger festzustellen und gewann nicht ohne heftigen Widerspruch ihren Platz in der Wissenschaft. Während Becher und Stahl die richtige Ansicht ausgesprochen hatten, behauptete dem entgegen Wiegleb 1776, dass Wein-

geist und Essigsäure als nähere Bestandtheile in den gährungsfähigen Körpern enthalten seien und dass sie bei der Gährung nur abgeschieden würden, ähnlich wie die Asche beim Verbrennen der Pflanzen nicht erst erzeugt, sondern nur von andern Stoffen getrennt und rein erhalten wird.

Dem genialen Begründer der neuern Chemie, der die Wage als unentbehrlichstes Hilfsmittel in die Wissenschaft einführte, dem grossen Lavoisier war es vorbehalten, auch im Gebiete der Gährungserscheinungen den nächsten bedeutenden Schritt nach vorwärts zu thun. Man weiss nicht, ob man an dem seltenen Manne mehr die Kunst bewundern soll auf dem Wege des Experiments, der Natur ihre Geheimnisse abzutrotzen, oder die Kühnheit seiner Schlüsse und die Grösse seiner Conceptionen. In dem kleinen Erscheinungsgebiet, das uns hier allein beschäftigt, erstreckte sich Lavoisier's Thätigkeit darauf, die Zusammensetzung der wichtigsten Körper, die dabei eine Rolle spielen, also des Zuckers, des Alkohols und der Kohlensäure zu ermitteln und daraus einen Schluss auf den chemischen Process, der dabei statt hat, zu ziehen. Nach Lavoisier spaltet sich der Zucker bei der Gährung gerade auf in Alkohol und in Kohlensäure. Die Analysen Lavoisier's sind, der damaligen Zeit entsprechend, ziemlich mangelhaft und wurden erst später namentlich durch Gay-Lussac berichtigt, der Schluss aber, den er daraus zog, dass der Zucker bei der Gährung in Alkohol und Kohlen-

säure zerfällt, ist ziemlich annähernd richtig und galt in der Wissenschaft bis in die neueste Zeit. Uebrigens blieben auch die Resultate, zu denen Lavoisier gelangt war, damals nicht ohne Widerspruch. Fabbroni behauptete, dass die Gährungsproducte nicht bloß vom Zucker, sondern auch vom Ferment stammen, als welches er eine „pflanzlich-thierische Substanz“ (Kleber) betrachtete. Rücksichtlich der vielbesprochenen Frage, ob der Alkohol bei der Gährung entsteht, stellte Fabbroni im Widerspruch mit Lavoisier und nicht minder im Widerspruch mit der früher angeführten Behauptung Wiegleb's die Ansicht auf, dass der Alkohol weder in der ursprünglichen ungegohrenen Flüssigkeit, noch auch nach der Gährung im Weine enthalten sei, sondern dass er erst bei der Destillation durch Einwirkung der Wärme entstehe. Beide Behauptungen wurden später widerlegt. Ich habe sie dennoch nebst manchem andern Irrthum im Vorhergehenden angeführt, weil die Geschichte der Irrthümer kaum minder lehrreich ist als die Geschichte der wahren Entdeckungen. Wahrheit und Irrthum sowohl in Thatsachen wie in Theorien treten oft gleichzeitig und für den gegebenen Zeitpunkt gleichberechtigt in der Wissenschaft auf. Erst eine spätere Zeit, eine weiter entwickelte Wissenschaft vermag zwischen ihnen zu entscheiden. Nur indem wir die verschiedenen Behauptungen, die zu einer Zeit innerhalb desselben Forschungsgebietes aufgestellt werden, kennen lernen, vermögen wir uns eine Vorstellung

von dem Standpunkt der Wissenschaft in eben dieser Zeit zu machen.

Wir haben in dem Stück Geschichte, das ich vor Ihnen aufgerollt habe, aus der Nacht der Unwissenheit und des Irrthums einzelne Wahrheiten aufdämmern sehen, so dass sich der Stand unserer Kenntnisse über Gährung im Anfang unseres Jahrhunderts ungefähr in folgender Weise resumiren lässt. Man wusste, dass es verschiedene Arten von Gährung giebt, davon war aber blos die alkoholische Gährung einigermaßen studirt. Bei der alkoholischen Gährung zerfällt unter dem räthselhaften Einfluss einer Substanz, die aus dem Pflanzen- oder Thierreich stammt, der Zucker gerade auf im Alkohol und Kohlensäure zu ungefähr gleichen Gewichtsmengen.

VI.

Es war Fabbroni, der zuletzt die Aufmerksamkeit der Chemiker auf die gährungserregende Substanz gelenkt hatte. Bald darauf, 1803, entdeckte Thénard bei Untersuchung zahlreicher Fruchtsäfte, dass bei jeder alkoholischen Gährung sich stets eine Substanz abscheidet, welche der Bierhefe vollkommen gleicht und so wie diese die Eigenschaft besitzt, Zuckerlösung in Gährung zu versetzen. Er betrachtete sie demnach als das eigentliche Ferment. Diese Substanz, sagte er weiter, ist thierischer Natur, d. h. sie enthält Stickstoff. Mit dieser Entdeckung, welche

den innigen Zusammenhang zwischen den Gährungen verschiedener Flüssigkeiten bewies, war denn zum ersten Mal die Hefe in das Gebiet der Gährungserscheinungen eingeführt worden.

Ehe wir von der Hefe und ihrer Bedeutung für die Gährung weiter sprechen, müssen wir, um der Zeitfolge Rechnung zu tragen, einer überraschenden Thatsache erwähnen, welche von Gay-Lussac beobachtet wurde und die von grossem Einfluss auf die Ansichten über Gährung gewesen ist. Gay-Lussac fand nämlich, dass Traubensaft für sich allein bei Luftabschluss aufbewahrt nicht in Gährung übergeht, sondern dass, um Gährung einzuleiten, stets die Gegenwart von Luft oder Sauerstoff wenigstens in geringer Menge erforderlich ist. Hat dann die Gährung einmal begonnen, so kann man die Luft abschliessen, ohne ihren Fortgang dadurch zu hindern. Er schloss daraus, dass der Sauerstoff der Luft zur Erregung der Gährung nothwendig sei.

VII.

Ich übergehe nun einige weniger bedeutende Arbeiten, um zu den wichtigen Untersuchungen überzugehen, welche 1837 ungefähr gleichzeitig von Cagniard de Latour, Kützing und Schwann ausgeführt worden sind.

Schon Leuwenhoek hatte 1680 die Bier- und Weinhefe mikroskopisch untersucht und gefunden,

dass sie aus Kügelchen besteht. Er glaubte bei der Biergährung lösten sich die Getreidekörner in warmem Wasser auf und schieden sich dann wieder als Hefe aus. Dass die letztere bei der Gährung eine Rolle spiele, war ihm ganz unbekannt.

Cagniard de Latour fand nun, dass die Hefe keineswegs ein amorpher Niederschlag sei, wie man bis dahin geglaubt hatte, sondern eine lebende Pflanze niedrigster Ordnung, die während der Gährung sich entwickelt und vermehrt. Er wurde durch diese Beobachtungen zu der Ansicht geführt, dass die Zersetzung des Zuckers zu Alkohol und Kohlensäure in ursächlichem Zusammenhang mit dem Lebensprocess der Hefepflanze stehe. Kützing und Schwann kamen ungefähr gleichzeitig und ohne von den Beobachtungen des französischen Forschers Kenntniss zu haben, zu denselben Resultaten. Nach diesen Untersuchungen und nach späteren sorgfältig ausgeführten mikroskopischen Beobachtungen von Turpin, Quevenne, Mitscherlich u. A., denen sich noch die neuesten Arbeiten Pasteur's anschliessen, kann man sich von der Beschaffenheit der Hefe ungefähr folgende Vorstellung machen.

Die Hefe besteht aus ausserordentlich kleinen, nur unter dem Mikroskop wahrnehmbaren Bläschen, die mit Flüssigkeit gefüllt sind. In dieser Flüssigkeit schwimmen gewöhnlich noch eine Anzahl Kerne, deren Menge mit dem Alter der Zelle zunimmt. Die sehr zarte elastische Wandung der Kügelchen besteht

aus Holzfaser, der flüssige Inhalt aus stickstoffhaltigen Substanzen, die den Proteinkörpern nahestehen, ferner phosphorsauren Salzen und etwas Fett. Die Fortpflanzung dieser Zellen erfolgt in der Weise, dass sich am Umfang eines Kügelchens zunächst ein Vorsprung bildet, der allmähig an Grösse zunimmt und bald mit einer eigenen Membran umhüllt erscheint. Man sieht dann zwei Zellen, die fest an einander haften und wovon die eine grösser ist als die andere. So bald die junge Zelle die Grösse der Mutterzelle erreicht hat, löst sie sich los. Aus diesem eigenthümlichen Verhalten erklärt sich zugleich die Thatsache, dass alle einzelnen etwa in einer Zuckerlösung wirkenden Hefekügelchen gleiche Grösse haben.

Schwann blieb bei der bloss mikroskopischen Untersuchung der Hefe nicht stehen, sondern führte durch seine Arbeiten eine neue und folgenreiche Idee in das Gebiet der Gährungs- und Fäulnisserscheinungen ein. Wenn man eine Infusion von Muskelfleisch in eine Glaskugel einschliesst und zum Sieden erhitzt, so tritt auch nach monatelanger Aufbewahrung weder Fäulniss, noch Infusorienbildung ein. An diesem Resultat wird nichts verändert, wenn man obigen Versuch so einrichtet, dass die Luft über der Fleischinfusion erneuert wird, jedoch in der Weise, dass nur solche Luft in die Glaskugel eintreten kann, die zuvor stark erhitzt worden ist. Was in den eben erwähnten Versuchen für die Fäulniss gilt, das gilt auch für die Gährung. Wenn man mit Bierhefe ver-

setzte Rohruckerlösung zum Sieden erhitzt und dann nur ausgeglühte Luft zutreten lässt, so tritt keine Gährung ein, während sie erfolgt, wenn man gewöhnliche nicht zuvor ausgeglühte Luft zuführt. Die Versuche Schwann's gelangen allerdings nicht immer, so dass die letztere Thatsache nach seinen Experimenten nicht als streng erwiesen angesehen werden kann. Schwann zog jedoch folgenden sehr bemerkenswerthen Schluss aus seinen Untersuchungen. Sowohl Fäulniss als Gährung werden durch einen in der Luft enthaltenen, durch Hitze zerstörbaren Stoff hervorgerufen. Dieser durch Hitze zerstörbare Stoff sind wahrscheinlich die Keime von Schimmelpilzen und von Infusorien, die in der Luft schweben und die, wenn sie in ein geeignetes Medium gelangen, indem sie sich entwickeln und fortpflanzen, Gährung und Fäulniss veranlassen. Ein weiteres Argument für diese Ansicht fand Schwann in der Thatsache, dass diejenigen Gifte, wie z. B. arsenigsaurer Kali, welche Schimmel zerstören, auch die Gährung aufheben. Man kann sich demnach vorstellen, dass die Gährung eine Zersetzung ist, welche dadurch hervorgebracht wird, dass die Hefenpflanze dem Zucker die zu ihrer Ernährung nothwendigen Stoffe entzieht, wobei die nicht in die Pflanze übergehenden Elemente sich vorzugsweise zu Alkohol und Kohlensäure verbinden.

Durch diese Arbeiten Schwann's erhält die früher erwähnte Beobachtung Gay-Lussac's eine ganz andere Deutung. Wenn Traubensaft bei Luftabschluss unver-

ändert aufbewahrt werden kann und durch zutretende Luft in Gährung versetzt wird, so kömmt Dies nicht daher, dass Sauerstoff zur Einleitung der Gährung nöthig ist, wie Gay-Lussac geglaubt hatte, sondern hat vielmehr seinen Grund darin, dass die Luft einen durch Hitze zerstörbaren Stoff (gewisse Pflanzenkeime) enthält, der in einer Flüssigkeit von geeigneter Zusammensetzung Gährung hervorbringt.

Die Resultate, zu denen Schwann gelangt war, wurden durch spätere Untersuchungen von Schultze, Ure, Helmholtz, ferner Schröder und Dusch bestätigt und noch weiter ausgedehnt. Es zeigte sich, dass jenes gährungserregende Agens, das nach Schwann in der Luft enthalten ist, auch auf andere Weise als durch Hitze beseitigt werden kann, z. B. wenn man Luft durch concentrirte Schwefelsäure streichen lässt oder indem man sie durch Baumwolle filtrirt. In beiden Fällen hat die Luft die Fähigkeit verloren, Gährung oder Fäulniss in zuvor zum Sieden erhitzten Flüssigkeiten einzuleiten. Dennoch gibt es hier einige Ausnahmen, und solange es Ausnahmen giebt, muss man in den Schlüssen, die man aus den Beobachtungen ableitet, gar vorsichtig sein. So fanden Schröder und Dusch, dass zwar Fleischbrühe und süsse Malzwürze, die zuvor zum Sieden erhitzt worden sind, in einem Strom von durch Baumwolle filtrirter Luft unverändert bleiben, dagegen aber gerinnt Milch und geht in Gährung über, Fleisch und Eigelb faulen, mag man nun gewöhnliche oder

zuvor filtrirte Luft mit ihnen in Berührung gebracht haben.

Sind es nun Keime pflanzlicher oder thierischer Organismen, die in den faulenden und gährenden Substanzen enthalten sind oder durch die Luft ihnen zugeführt werden, deren Entwicklung Fäulniss oder Gährung hervorbringen?

Wenn man eine mit stickstoffhaltigen Substanzen versetzte Rohrzuckerlösung zum Sieden erhitzt und dann nur ausgeglühte oder durch Baumwolle filtrirte Luft Zutreten lässt, unterbleibt die Gährung deshalb, weil man die in der Flüssigkeit selbst enthaltenen Keime durch Siedhitze zerstört und die Zutretende Luft von allen in ihr suspendirten Keimen befreit hat?

Die im Vorhergehenden angeführten Versuche machen eine derartige Auslegung wahrscheinlich, gestatten aber noch nicht einen sicheren Schluss auf sie zu gründen.

Schwann's Versuche gelangen nicht immer, Schröder und Dusch hatten Ausnahmen beobachtet, Niemand hatte die thatsächliche Existenz jener hypothetischen Keime in der Luft nachgewiesen und sie greifbar und sichtbar unter die Linse des Mikroskops gebracht. Endlich, die angeführten Versuche sind sehr delicateser Natur, sie misslingen mitunter und man nahm dann an, dass trotz aller Sorgfalt ein Bläschen gewöhnlicher Luft sich irgendwie eingeschlichen habe. Ist es aber wahrscheinlich, ist

es glaublich, dass die Atmosphäre, indem sie sich über den mit Organismen bedeckten Theil des Erdballs hinbewegt, eine so fabelhafte Menge Sporen und Keime entführt und beständig in Suspension hält, dass jedes kleinste Luftvolum dergleichen Keime einschliesst?

VIII.

Sie sehen, dass sich gegen die von Cagniard de Latour und Schwann eingeführte Hypothese, dass die Gährung durch Entwicklung und Fortpflanzung eines Pflänzchens hervorgerufen und an den Lebensprocess gebunden sei, noch gewichtige Einwürfe machen lassen. Der gewaltigste Einwurf ist aber unstreitig der folgende. Mag sein, dass bei der alkoholischen Gährung jedesmal zugleich mit der Gährung selbst auch eine Pflanze (die Hefenzellen) auftritt, deren Keime entweder in der Flüssigkeit selbst enthalten waren oder durch die Luft zugetragen werden, dies ist aber nicht die allgemeine und wesentliche Bedingung der Gährung. Es gibt eine Anzahl von chemischen Processen, die mit der alkoholischen Gährung die grösste Analogie darbieten, z. B. die Umwandlung des Zuckers in Milchsäure, oder in Buttersäure, die Spaltung des Harnstoffs in Kohlensäure und Ammoniak u. s. w., bei welchen kein organisirtes Wesen auftritt und die man gleichwohl als Gährungsprocesse betrachten muss. Offenbar wird

diejenige Erklärung den Vorzug vor allen andern verdienen, welche das Allgemeine vom Speciellen sondernd das allen Gährungsprocessen Gemeinsame zur Basis nimmt und sie alle auf eine gemeinsame Ursache zurückführt.

Einen solchen Erklärungsversuch hat Liebig gemacht und aus den eben entwickelten Gründen triumphirte seine Ansicht bald über die von Cagniard de Latour und Schwann aufgestellte Hypothese.

Nach Liebig ist der gährungserregende Körper, das Ferment, unter allen Umständen eine im Zustande chemischer Aenderung begriffene Substanz, und dieser Zustand chemischer Aenderung, der auf einer Bewegung der kleinsten Theilchen beruht, vermag sich auf einen benachbarten Körper zu übertragen, indem die kleinsten Theilchen, die ihn zusammensetzen, aus dem Gleichgewicht, das bisher bestand, herausgebracht werden. In der Regel ist das Ferment irgend eine hoch zusammengesetzte stickstoffhaltige Substanz, die unter dem Einfluss von Luft und Feuchtigkeit Zersetzung erleidet.

Liebig's Hypothese, die, wie man sieht, an Willis und Stahl erinnert, war die erste auf alle verschiedenen Gährungen gleichmässig passende rationelle Erklärung für diese verwickelten Erscheinungen. Sie ging von der Thatsache aus, dass bei allen Gährungen neben dem gährungsfähigen Körper eine in Zersetzung begriffene stickstoffhaltige Sub-

stanz zugegen ist, während nur in einem speciellen Fall, bei der alkoholischen Gährung, ein Ferment in Form belebter Pflanzenzellen beobachtet worden war. Auch in dem letzteren Fall wirkt die Hefe nach Liebig nur als faulende Substanz, die den Zustand ihrer Zersetzung auf den Zucker überträgt.

Die geistreiche Erklärung Liebig's wurde allmählig von der Mehrzahl der Chemiker angenommen; dennoch verdrängte sie nicht alle andern Ansichten aus der Wissenschaft.

Während einerseits die sogenannte vitalistische Hypothese, wonach wenigstens bei der alkoholischen Gährung die Zersetzung des Zuckers ursächlich an den Lebensprocess der Hefenzellen geknüpft ist, einzelne Anhänger behielt, gaben anderseits Berzelius und Mitscherlich von den Vorgängen bei der Gährung eine andere Erklärung als Liebig. Nicht weil das Ferment ein in Zersetzung begriffener Körper ist, der die Bewegung seiner kleinsten Theilchen auf den gährungsfähigen Körper überträgt, sondern durch seine blosse Gegenwart, durch den Contact zerlegt es den gährungsfähigen Körper in einfachere Verbindungen ähnlich wie Platinschwamm oder Goldoxyd auf Wasserstoffsperoxyd einwirken. Dabei verschloss sich Berzelius hartnäckig gegen die Thatsache, dass die Hefe ein organisirtes Wesen sei, sondern er betrachtete sie als einen amorphen Niederschlag, der nur zufällig oder in Folge gewisser molecularer Anziehungen, die bei andern Körpern

Krystallisation bedingen, die Form von Kügelchen angenommen habe. Mitscherlich, der selbst sehr sorgfältige mikroskopische Untersuchungen angestellt hatte, erkannte die pflanzliche Natur der Hefe an, theilte aber im Wesentlichen die theoretischen Vorstellungen von Berzelius über die Ursache der Gährung.

Was nun die zersetzende Wirkung der Hefe auf den Zucker durch ihren blossen Contact betrifft, so kann man sich von einer derartigen chemischen Action verschiedene Vorstellungen machen. Entweder die durch Contact wirkende Substanz, hier die Hefe, ist mit einer besondern Kraft begabt, welche die Zersetzung veranlasst (man hat versucht eine sogenannte „katalytische Kraft“ in die Wissenschaft einzuführen), dann hat man aber die Erscheinung nicht erklärt, sondern nur der unbekanntnen Ursache einen Namen gegeben, oder sie wirkt, indem sie durch ihre hinzutretende chemische Anziehung ein anderes Gleichgewicht zwischen den Atomen der Elemente, die den Zucker zusammensetzen, herbeiführt.

Ich kann hier nicht in die Entwicklung eingehen, deren die Hypothese über die Contactwirkungen, wenn man sie in dem zuletzt erwähnten Sinne auffasst, fähig ist. Ebenso hiesse es Ihre Geduld allzusehr ermüden, wollte ich Sie mit allen Gährungstheorien, welche noch ausser den bereits erwähnten, die man als die wichtigsten betrachten kann, aufgestellt worden sind und mit den Gründen, die für und

gegen jede derselben sprechen, bekannt machen *). In unserer Darstellung und dem Schluss zu dem wir gelangen werden, liegt ohnehin die Kritik aller dieser Theorien.

IX.

Wir sind jetzt auf den Standpunkt gelangt, auf dem sich die Wissenschaft noch vor wenigen Jahren befand, und es bleibt mir nur noch übrig, Ihnen von den wichtigen Fortschritten in der thatsächlichen und theoretischen Kenntniss der Gährungserscheinungen zu berichten, die der neuesten Zeit angehören.

Wir verdanken dieselben hauptsächlich den ebenso gründlichen als scharfsinnigen Untersuchungen eines französischen Chemikers Herrn Pasteur, dessen seit mehreren Jahren fortgesetzte und unter einander im innigsten Zusammenhang stehende Forschungen wohl das Bedeutendste sind, das bisher in dem so viel bearbeiteten Gebiet der Gährungserscheinungen her-

*) Denjenigen Lesern, welche vom theoretischen Standpunkte diesem Gegenstand reges Interesse widmen, empfehle ich noch den sehr bemerkenswerthen Versuch einer Theorie der Fermentwirkungen von Traube (Berlin bei Dümmler 1858). Ich habe diese Theorie oben nicht berücksichtigt, theils weil sie bisher noch wenig Eingang gefunden hat, hauptsächlich aber weil sie jedenfalls durchgreifender Modificationen bedarf, um mit den seither von Pasteur festgestellten Thatsachen in Uebereinstimmung gebracht zu werden.

vorgebracht wurde *). Während dadurch einerseits unsere Kenntniss der Thatsachen wesentlich bereichert wird, ergeben sich andererseits theoretische Vorstellungen daraus, welche wenigstens den Weg zu einer künftigen genaueren Erklärung anbahnen. Die früher besprochene Hypothese von Schwann erhält eine feste experimentelle Basis, die von Schröder beobachteten Anomalieen werden erklärt und beseitigt und endlich finden wir, indem wir die verschiedenartigen Gährungen einer eingehenden Betrachtung unterwerfen, die Analogie der äusseren Erscheinung nun auch in der vollkommenen Analogie der Ursachen wieder.

Betrachten wir zunächst die alkoholische Gährung. Niemals tritt nach Pasteur alkoholische Gährung ein ohne dass Hefezellen dabei auftreten und diese letzteren entstehen niemals ohne Keim, der entweder in der gährungsfähigen Flüssigkeit enthalten ist oder, in den meisten Fällen, durch die Luft zugeführt wird. Die Hefe wirkt nicht als faulende Substanz, noch durch Contact, sondern in allen Fäl-

*) Ich habe die, allem Anscheine nach, vortrefflichen Untersuchungen van den Broek's, die mir übrigens nur auszugsweise bekannt geworden sind, im Folgenden nicht angeführt, da sie sich nur auf einen kleinen Theil des von Pasteur so erfolgreich bearbeiteten ganzen Gebietes erstrecken und zu damit übereinstimmenden Resultaten geführt haben. Ueber die Prioritätsfrage fälle ich hier natürlich kein Urtheil.

len durch ihren Lebensprocess, durch ihre Entwicklung und Fortpflanzung. Auch findet man stets das Gewicht der Hefe am Ende der Gährung vermehrt, indem der Zucker und, wofern stickstoffhaltige Substanzen in der Lösung zugegen waren, auch diese zur Nahrung und Entwicklung der Hefe beigetragen haben. Schon daraus folgt, dass der Zucker bei der Gährung nicht einfach in Alkohol und Kohlensäure zerfällt, wie man bis dahin geglaubt hatte. In der That hat Pasteur gefunden, dass eine viel complicirtere Zersetzung statt hat. Neben Alkohol und Kohlensäure, die der Menge nach allerdings die Hauptproducte sind, bilden sich stets auch noch Glycerin und Bernsteinsäure, die bei jeder alkoholischen Gährung mit derselben Constanz wie die Hauptproducte auftreten. Aber auch damit ist die Reihe der Umwandlungsproducte des Zuckers bei der Gährung nicht erschöpft. Ein Theil desselben verwandelt sich in Holzfasern und dient den während der Gährung neu entstehenden Hefezellen als umhüllende Membran, während ein anderer kleiner Theil sich in Fett umsetzt, das, wie ich früher angeführt habe, einen nie fehlenden Bestandtheil der Hefe bildet.

Besonders lehrreich und für die Pasteur'sche Theorie beweisend ist folgender Versuch:

Man bereitet eine Lösung von Zucker in Wasser, setzt eine lösliche stickstoffhaltige Substanz, ferner etwas phosphorsaure Salze (am besten die beim

Einäschern der Hefe zurückbleibenden Salze) zu und trägt nun in die so vorbereitete Mischung, welche für sich allein und vor den in der Luft enthaltenen Keimen geschützt beliebig lang unverändert aufbewahrt werden kann, eine beinahe unwägbare Spur Hefe ein. Bald darauf beginnt eine regelmässig verlaufende Gährung, der Zucker zerfällt in Alkohol, Kohlensäure, Glycerin und Bernsteinsäure, während zugleich aus der gesäeten Hefe zahllose neue Hefezellen entstehen. In diesem Versuche ist die Entwicklung des Hefenpflänzchens und der durch sie bedingte Gährungsprocess auf seine einfachsten und unerlässlichen Bedingungen zurückgeführt. Fehlt irgend einer der in der angegebenen Mischung enthaltenen Stoffe, unterdrückt man z. B. die stickstoffhaltige Substanz oder die Salze, so tritt keine Gährung ein. Die Erklärung ist leicht zu geben. Wir wissen, dass jede Hefezelle aus einer Holzfasermembran besteht, welche stickstoffhaltige Substanzen, Salze und etwas Fett einschliesst. Der Zucker liefert der sich entwickelnden Hefezelle Holzfaser und Fett, für die nicht minder nothwendigen stickstoffhaltigen Substanzen und Salze muss anderweitig gesorgt sein.

Als stickstoffhaltige Substanz kann man auch ein Ammoniaksalz verwenden. Der Versuch gewinnt dann noch ein bedeutendes physiologisches Interesse, denn wir sehen hier aus lauter krystallisirbaren Stoffen, die nie vorher organisirt waren, ein Pflanze entstehen, freilich nicht ohne von aussen zugeführten Keim.

Immerhin aber können wir den wichtigen Schluss ziehen, dass die Proteinkörper, welche den Zelleninhalt bilden, sich unter den bekannten Bedingungen des Versuches nur aus Zucker und Ammoniak bilden konnten.

Unterlässt man das Säen der Hefe in dem früher besprochenen Versuch und lässt nur das Gemisch von Zucker, stickstoffhaltiger Substanz und Salzen frei an der Luft stehen, so tritt gleichfalls Gärung ein, indem dann die Luft die Keime zuführt. Aber man begreift leicht, dass es dann einerseits von der zufälligen Zusammensetzung der Luft abhängt, was für Keime zugeführt werden, und andererseits von der Beschaffenheit der Mischung, ihrer alkalischen oder sauren Reaction, der Natur der stickstoffhaltigen Substanz u. s. w., welche Keime in diesem Medium sich am besten entwickeln können. Dem entsprechend tritt in solchem Falle nicht immer alkoholische, sondern häufig Milchsäure-Gärung auf und in den meisten Fällen erscheinen beide Gärungen gleichzeitig. Wir werden bald sehen, dass die Milchsäure-Gärung an ganz ähnliche Bedingungen wie die alkoholische Gärung geknüpft ist.

Gegen den obigen Versuch und die daraus abgeleitete Betrachtungsweise, dass nämlich alle zur Ernährung der Hefepflanze erforderlichen Bedingungen vereint sein müssen, damit diese sich entwickle und dadurch Gärung einleite, lässt sich einwenden, dass auch in reiner Zuckerlösung durch

Hefenzusatz Gährung hervorgebracht wird. Dieser Widerspruch ist jedoch nur scheinbar. Während oben zur Erregung der Gährung eine blossе Spur von Hefe genügt, ist in letzterem Falle ein relativ grösserer Zusatz erforderlich. Da nun Hefe, wenn sie in Wasser gebracht wird, einen Theil ihrer stickstoffhaltigen Substanzen und Salze an letzteres abgibt, so stellen sich auch in dem Falle der reinen Zuckerlösung von selbst dieselben Bedingungen her, die wir oben als unerlässlich zur Entwicklung und Fortpflanzung der Hefe und somit zur Gährung kennen gelern haben.

Zutritt von Luft oder Sauerstoff ist nach Pasteur weder zum Beginn, noch zum Fortgang der Gährung erforderlich (ausser insofern die Luft Fermentkeime zuführt).

Ich habe Sie im Vorhergehenden mit den wichtigsten Resultaten Pasteur's in Bezug auf die alkoholische Gährung bekannt gemacht. Sie sehen, welche Präcision dadurch unsere schwankenden Kenntnisse auf diesem Gebiet gewonnen haben. Brauche ich erst hervorzuheben, dass die Entdeckung des Glycerins und der Bernsteinsäure als constante Producte der Gährung, somit als Bestandtheile des Weins, Biers und aller gegohrner Flüssigkeiten auch von grosser praktischer Bedeutung ist? Gewiss ist die Gegenwart dieser Substanzen für den Geschmack und die Wirkung der geistigen Getränke nicht ohne Einfluss.

X.

Aber noch überraschender sind die Resultate desselben Forschers bei der Milchsäure - Gährung. Wenn man einer Zuckerlösung faulenden Käs und Kreide zusetzt, so tritt nach einiger Zeit eine Gährung ein, bei der in der Regel statt des verschwindenden Zuckers eine grosse Anzahl von Producten gleichzeitig auftritt. Man erhält Milchsäure, Mannit, Gummi, Buttersäure, Alkohol, Kohlensäure, Wasserstoff und zwar von einem Fall zum andern in ziemlich wechselnden Verhältnissen. Statt des Käses kann man so ziemlich jede andere plastische stickstoffhaltige Substanz der Zuckerlösung zusetzen, ohne dass sich an dem Resultat etwas ändert. Gerade der Umstand, dass so vielerlei Substanzen Milchsäuregährung veranlassen, ohne dass man jemals dabei die Gegenwart eines organisirten Ferments ähnlich der Hefe wahrgenommen hätte, wurde als ein unwiderlegliches Argument gegen die Hypothese, dass die Gährung Wirkung eines Lebensprocesses sei, und als kräftige Stütze für Liebig's Theorie von der Ferment - Wirkung faulender Substanzen angesehen.

Pasteur hat nun dargethan, dass bei der Milchsäuregährung stets ein organisirtes Ferment in kleiner Menge auftritt, das als specifisch angesehen werden kann und genau dieselbe Rolle wie die Hefe bei der

alkoholischen Gährung spielt. Es ist eine graue Masse, die mit freiem Auge betrachtet, der Hefe ähnlich sieht, unter dem Mikroskop aber sich wesentlich von ihr unterscheidet. Die Kügelchen des Milchsäureferments sind bedeutend kleiner als die Hefekügelchen, so klein, dass es schwer fällt, ihre Natur als Pflanzenzellen durch blosse Beobachtung festzustellen, und das ist zugleich der Grund, weshalb ihre wahre Beschaffenheit früheren Beobachtern entgangen war. Folgender Versuch Pasteur's ist hier entscheidend. Man sät etwas von obiger Substanz (dem Milchsäureferment) in eine Zuckerlösung, der man phosphorsaure Salze und ein Ammoniaksalz, am besten auch noch etwas kohlen sauren Kalk zugesetzt hat. Als bald tritt Milchsäure-Gährung ein, während zugleich die Menge jener als Ferment wirkenden unlöslichen Substanz bedeutend zunimmt.

Statt Milchsäureferment selbst zu säen, genügt es auch obige Mischung an gewöhnlicher Luft stehen zu lassen und gewissermaassen der Luft das Säen der Fermentkeime zu überlassen. Die Bedingungen des Versuches sind der Entwicklung gerade des Milchsäureferments besonders günstig.

Da hier keine eiweissartigen Substanzen, welche Niederschläge bilden könnten, zugegen sind, so kann man schliessen, dass die gesäete Substanz aus lebenden Zellen bestand, welche in dem geeigneten Medium, in dem sie alle Bedingungen ihrer Ernährung

vereint fanden, sich vermehrten und dadurch Milchsäure-Gärung einleiteten.

Eine Schwierigkeit ist nur die, das spezifische Milchsäureferment vollkommen rein und die Milchsäuregärung frei von jeder andern Art der Gärung zu erhalten. Da nämlich die natürlichen Bedingungen für die alkoholische, für die sogenannte schleimige, für die Milchsäure-, für die Buttersäure-Gärung beinahe dieselben sind, da ferner in der Luft sich Keime aller Art vorfinden, so treten in den meisten Fällen, wenn man nicht besondere Vorkehrungen getroffen hat, verschiedene Gärungen nebeneinander auf, indem sich in der gährenden Flüssigkeit auch die entsprechenden verschiedenen Fermente zugleich entwickeln. Dies ist die Ursache für die Bildung der zahlreichen oben angeführten Producte, die gewöhnlich bei der Milchsäuregärung erhalten werden, und je nachdem die eine oder andere Art der Gärung überwiegt erhält man bald mehr Alkohol, bald mehr Milchsäure, bald mehr Buttersäure u. s. w.

Die Bedingungen, von denen es zumeist abhängt, ob in einer gährungsfähigen Flüssigkeit, die man etwa an freier Luft also in Berührung mit verschiedenartigen Keimen stehen lässt, die eine oder andere Gärung eintritt, sind hauptsächlich die Natur der in der Flüssigkeit enthaltenen stickstoffhaltigen Substanz und die alkalische oder saure Reaction der Mischung. So tritt, im Falle die stickstoffhaltige Substanz ein Ammoniaksalz ist, Milchsäuregärung viel leichter

ein als alkoholische; alkalische Reaction ist der Milchsäure- und Buttersäuregährung besonders günstig, während in einer sauer reagirenden Flüssigkeit alkoholische leichter als Milchsäure-Gährung statthaben kann. Ebenso liegt es auch an der Natur der stickstoffhaltigen Substanz, dass ausgepresster Traubensaft, den man an der Luft stehen lässt, niemals in Milchsäure, sondern stets in alkoholische Gährung übergeht.

In allen Fällen bei der alkoholischen wie bei der Milchsäure-Gährung sind die stickstoffhaltigen Substanzen nicht das Ferment, sondern nur die Nahrung des Ferments.

XI.

Ganz dasselbe gilt auch von der sogenannten schleimigen Gährung, bei der Mannit und ein Gummi entstehen. Auch hier wird die Gährung durch ein eigenthümliches organisirtes Ferment eingeleitet.

XII.

Ich habe gelegentlich der Milchsäuregährung angeführt, dass unter den Producten, die gewöhnlich dabei erhalten werden, sich auch Buttersäure befindet, dass dieselbe aber das Resultat einer eigenen Gährung ist, die nur häufig zugleich mit und neben der Milchsäuregährung statt hat. Es ist Pasteur ge-

lungen, das eigentliche Ferment der Buttersäuregärung, das von der Hefe und dem Milchsäureferment verschieden ist, aufzufinden, und die dabei gewonnenen Resultate gehören mit zu den interessantesten der ganzen Untersuchung. Auch das Buttersäureferment ist keine faulende Substanz, sondern ein organisirtes lebendes Wesen, diesmal aber ist es nicht eine Pflanze, sondern ein Thierchen niedrigster Ordnung, ein Infusorium. Diese Thierchen, die sich frei bewegen und von einem Ort zum andern begeben können, haben die Gestalt cylindrischer Stäbchen, deren Länge 0.002 mm. bis 0.02 mm. und Dicke circa 0.002 mm. beträgt. Sie sind es, welche durch ihren Lebensprocess die Buttersäuregärung veranlassen, gerade so, wie die Hefepflanze alkoholische Gärung einleitet, und zwar vermögen sie nicht allein in Zucker, sondern ebenso auch in Mannit oder in Milchsäure die gleiche chemische Umsetzung herbeizuführen. Niemals also geht Milchsäuregärung von selbst in Buttersäuregärung über, wie man früher geglaubt hatte, sondern dazu ist stets die Gegenwart der beschriebenen Thierchen erforderlich. In den gewöhnlichen Fällen wird durch die Luft der Keim zu ihrer Entwicklung zugeführt.

Man kann nun diese Infusorien in ein geeignetes Medium säen, gerade wie wir's bei der Hefe gethan haben und, merkwürdig genug, die Bedingungen ihrer Ernährung und Fortpflanzung sind ebenso einfach, lassen sich ebenso auf das genaue Maass des Uner-

lässlichen zurückführen wie dort. Wenn man in eine Zuckerlösung, der man phosphorsaure Salze und Ammoniak zugefügt hat, diese Infusorien sät, so entwickeln und vermehren sie sich während dem entsprechend Buttersäuregährung eintritt.

Der Lebensprocess dieser Thiere bietet aber ausser ihrer Wirkung als Ferment noch eine andere und sehr bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit dar. Während nämlich alle andern Thiere Sauerstoff aus der Luft aufnehmen und in Folge eines Verbrennungsprocesses in ihrem Innern Kohlensäure aushauchen, braucht der Buttersäurevibrien keine Spur freien Sauerstoffs oder Luft zum Leben. Ja nicht nur dass er keinen freien Sauerstoff braucht, sondern der Sauerstoff tödtet ihn. Wenn man in eine Flüssigkeit, in der die Buttersäuregährung in vollem Gange ist, Kohlensäure einleitet, so wird das Leben der Vibrien durchaus nicht beeinträchtigt, lässt man aber einen Luftstrom durch die Flüssigkeit streichen, so gehen nach kurzer Zeit alle Vibrien zu Grunde und damit hört zugleich die Buttersäuregährung auf. Es liegt nahe zwischen der Eigenthümlichkeit des Buttersäureinfusoriums, ohne freien Sauerstoff leben zu können und seiner Wirkung als Ferment einen Zusammenhang zu vermuthen und die Wahrscheinlichkeit wird noch erhöht, wenn wir uns daran erinnern, dass die früher besprochenen als Fermente wirkenden Pflänzchen gleichfalls keines freien Sauerstoffs zum Leben bedürfen.

XIII.

Wir haben im Vorhergehenden einige der wichtigsten Gährungsprocesse näher kennen gelernt und gesehen, welche Erklärung sie im Sinne der neuern Pasteur'schen Arbeiten erhalten. Dieselbe Forschungsmethode und dieselbe Betrachtungsweise sind auch auf alle andern Gährungen anwendbar und wiewohl die Untersuchungen Pasteur's noch nicht abgeschlossen sind, können wir nicht mehr daran zweifeln, dass es sich hier um ein allgemeines Gesetz handelt, das sich immer klarer und bestimmter herausstellen wird, je weiter die Forschung voranschreitet. Bereits hat Pasteur nachgewiesen, dass die Gährung der Weinsäure, die eigenthümliche Gährung des Alkohols, bei der er sich zu Essigsäure oxydirt, die Gährung des Harnstoffs, wobei dieser Körper sich in Kohlensäure und Ammoniak spaltet, an ganz ähnliche Bedingungen geknüpft sind, durch vollkommen analoge Ursachen veranlasst werden, wie die früher eingehend betrachteten Gährungsprocesse. Sollte es sich aber auch im weiteren Verlaufe der Untersuchung herausstellen, dass irgend eine der chemischen Zersetzungen, die man jetzt in die Gruppe der Gährungen zu stellen pflegt, durch ganz andere Ursachen als die oben dargelegten bedingt wird, so würde dadurch nichts von obigen Resultaten umgestossen, sondern man müsste wahrscheinlich nur daraus schliessen, dass jener chemische Process zu einer anderen Gruppe von Erscheinungen als zu der der Gährungen zu rechnen sei.

XIV.

Wenn wir nunmehr die gewonnenen Resultate in ihrem Zusammenhang überblicken und die am Eingang gestellte Frage: „Was ist die Ursache der Gährung“ wiederholen, so sehen wir klar, dass ein gewaltiger Schritt zur Lösung dieser Frage geschehen ist — und doch ist es nur der erste Schritt, auf den noch viele weitere folgen müssen.

Das Gesetz, zu dem wir gelangt sind, das die Resultate aller bisherigen Forschung in wenig Worte zusammenfasst und den heutigen Stand unserer Kenntnisse über Gährung wiedergibt, lautet etwa so:

Jede Gährung ist ursächlich an das Leben und die Entwicklung gewisser einfacher Pflanzen- oder Thierarten geknüpft. Durch den Lebensprocess wird sie bedingt, sie beginnt mit ihm und hört mit ihm auf. Alles was das Leben jener organisirten Wesen beeinträchtigt oder vernichtet, beeinträchtigt oder vernichtet auch die Gährung.

XV.

Woher kömmt aber die zersetzende Einwirkung jener organisirten lebenden Pflänzchen oder Thierchen, die wir als Fermente kennen gelernt haben, auf den gährungsfähigen Stoff? Scheiden sie während ihres

Lebens einen pepsinartigen Stoff aus, der die Umwandlung bewirkt und dann wieder verschwindet? In diesem Falle bestände die nächste Aufgabe darin, diesen Stoff, der als eigentlichstes Ferment zu betrachten wäre, zu isoliren und mit seiner Hilfe allein dieselben Wirkungen hervorzubringen, welche wir jetzt an die Gegenwart organisirter Wesen geknüpft sehen. Oder nehmen jene als Fermente wirkenden Organismen den gährungsfähigen Stoff als Nahrung in sich auf, um dann gewissermassen als Excremente die Gährungsproducte wieder von sich zu geben? Wir wissen es nicht. Wir können die Wirkung jener Zellen mit der gewisser Drüsen vergleichen, welche aus Blut Flüssigkeiten von anderer Zusammensetzung bereiten. Sei dem wie immer, die oben erwähnte Beobachtung, dass alle als Fermente wirkende Wesen, gleichviel ob pflanzlicher oder thierischer Natur des freien Sauerstoffs zu ihrem Leben nicht bedürfen, wird bei der künftigen Erklärung gewiss von Bedeutung sein. Es scheint gerade den wesentlichen Charakter dieser Classe auszumachen, dass sie im Stande sind, gewissen Verbindungen den darin enthaltenen Sauerstoff zu entziehen und dieselben dadurch zu zersetzen. Den Sauerstoff aber, den sie der Verbindung entzogen haben, vermögen sie vielleicht auf eines oder das andere der durch die Zersetzung erhaltenen Spaltungsproducte zu übertragen.

Wir wollen uns hier mit diesen blossen Andeutungen einer künftigen weitergehenden Lösung des

Gährungsproblems begnügen und ehe wir schliessen, noch eine andere Seite dieses interessanten Gegenstandes in's Auge fassen.

XVI.

Es wurde im Vorhergehenden mehrfach erwähnt, dass wenn man eine für die Gährung vorbereitete Flüssigkeit von der geeigneten Zusammensetzung an der Luft stehen lässt, dieselbe in Gährung übergeht, indem sich zugleich das entsprechende organisirte Ferment in ihr entwickelt. Hier sind nur zwei Fälle möglich. Entweder jene auf der untersten Entwicklungsstufe stehenden Pflänzchen und Thierchen, die als Fermente wirken, entstehen aus der Flüssigkeit selbst etwa unter Mitwirkung des atmosphärischen Sauerstoffs durch „generatio aequivoca“, oder sie verdanken gewissen immer in der Luft schwebenden Keimen ihre Entstehung, die sich entwickeln und fortpflanzen, so bald sie in ein geeignetes Medium gelangen. Wir haben uns in dem Vorhergehenden bereits für den zweiten Fall entschieden und ich habe jederzeit hervorgehoben, dass es zur Einleitung der Gährung eines belebten Fermentes und zu dessen Entstehung eines von aussen zugeführten Keimes bedarf. Wenn man daher eine gährungsfähige Flüssigkeit, in der man durch Erhitzen jeden in ihr selbst enthaltenen oder an den Gefässwänden haftenden Keim zerstört hat, sorgfältig gegen die Berührung

mit neuen Keimen schützt, indem man sie entweder vollkommen einschliesst, oder nur solche Luft zu ihr gelangen lässt, die durch Ausglühen oder Filtriren oder Behandlung mit Schwefelsäure u. s. w. gereinigt worden ist, so tritt niemals Gährung ein. Sind nun wirklich derlei Keime der einfachsten Pflanzen- und Thierarten immer und überall in der Luft enthalten, und zwar in solcher Menge, dass sie sich auf alle der Luft ausgesetzten Gegenstände niederschlagen?

Pasteur hat ihre Existenz in der Atmosphäre direct nachgewiesen. Er hat zugleich dargethan, dass, wie sich voraussehen liess, die Luft an verschiedenen Orten bald mehr, bald weniger, bald auch gar keine Keime enthält. In grossen Städten enthält sie mehr, auf dem Lande weniger, in tiefen Kellern, wo sie stets ruhig bleibt, oder auf beträchtlichen Höhen, fern von allem Leben, ist sie meist ganz frei davon. Wir können auf das Detail der Versuche, wodurch diese Resultate festgestellt wurden, hier nicht eingehen; es würde uns Dies viel zu weit von unserm eigentlichen Gegenstand entfernen und in das streitige Gebiet der „generatio aequivoca“ führen.

Wir halten hier inne. Meine Absicht war es blos, aus der Entwicklungsgeschichte der Wissenschaft ein Kapitel hervorzuheben, um an dem einzelnen Falle klarer das Vorwärtsschreiten des menschlichen Geistes zu veranschaulichen.

Seitab von der staubumwirbelten Heerstrasse, auf der die grossen Völkerzüge wandern, ehrgeizige Fürsten hadern, Propheten bekehren, Scheiterhaufen lodern und der Schlachtruf verwegener Führer rastlos weiter treibt, — zieht sich ein stiller Pfad hin von den Hallen, die einst des Sokrates und Aristoteles Wort belebte, zu den ehrwürdigen Klöstern des Mittelalters, zur einsamen Kammer des Philosophen, zu den Laboratorien, in denen der Geist des neunzehnten Jahrhunderts schafft. Langsam und mühsam nur schreitet der Wanderer auf ihm fort, denn indem er vorwärts schreitet, muss er selbst ihn erst bahnen, bald den steilen Felsen überklettern, bald die Nacht des Urwalds durchdringen, bald der sonnenverbrannten Wüste den labenden Quell entlocken; aber der einmal gebahnte Pfad bleibt für den fernen Enkel, der ihn leicht wie im Fluge zurücklegt und aus eigener Kraft weiter fortführt durch Gebiete und Reiche, von denen der Vorfahr kaum geträumt hat. Das Ziel aber, das unendlich weite, dem man mehr und mehr und unendlich sich nähert, ist die Wahrheit.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1863

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Lieben Adolf

Artikel/Article: [Ueber die Gahrung. 473-518](#)