

453

U e b e r
das Wesen der Fäulniss und Gährung

VON
Dr. HELMHOLTZ.

Ueber den Grund der sogenannten freiwilligen Zersetzungsprozesse des Lebens beraubter organischer Substanzen sind bisher unter Chemikern und Physiologen höchst widersprechende Ansichten herrschend gewesen. Beide Theile hatten sich überzeugt, dass solche Stoffe nicht in Fäulniss oder Gährung übergehen, wenn sie in verschlossenen Gefässen ohne Zutritt der Luft bis zum Siedepunkte erhitzt werden; Gay Lussac zeigte ausserdem, dass auch ohne Anwendung einer erhöhten Temperatur die Gährung des Traubensaftes vermieden werden könne, wenn man die Beeren bei sorgfältigem Abschluss der Luft unter Quecksilber ausgepresst. Es stimmten deshalb alle darin überein, dass jene Zersetzungen keine freiwilligen seien, sondern, dass erst der Zutritt eines andern in der Atmosphäre enthaltenen Agens den Anstoss dazu geben müsse. Da es sich nun fand, dass ein Theil des hinzugetretenen Sauerstoffs sich mit den Bestandtheilen der organischen Stoffe verbinde, so glaubten sich die meisten Chemiker zu dem Schlusse berechtigt, dass eben der Sauerstoff durch seine hervorsteckende Verwandtschaft zu diesen Stoffen den Anstoss zum Zersetzungsprozesse gebe, entweder indem durch Oxydation Substanzen entstünden, welche durch katalytische Kraft

das Zerfallen der Masse bewirken, oder indem nach Liebig's Theorie der Gährung die chemische Bewegung, welche mit der Oxydation (Verwesung) verbunden sei, sich auf die übrigen Atome fortpflanze und sich in diesen bei nicht hinreichendem Sauerstoffzutritt als blosser Metamorphose der Verbindung darstelle.

Daneben war es jedoch längst bekannt, dass sich in allen faulenden thierischen und pflanzlichen Substanzen mikroskopische Organismen in ungeheurer Zahl bilden, man hatte bei dem Streite über die *generatio aequivoca* auf das sorgfältigste die Bedingungen, unter welchen sich dieselben entwickeln, bestimmt, und gefunden, dass sobald ein ausgekochter fester oder flüssiger, organischer Stoff nur mit ausgekochtem Wasser und ausgeglühter Luft in Berührung kommt, weder Fäulniss noch Entwicklung von Organismen bemerkt wird, dass sich beide aber sehr bald einstellen, sobald auch nur ein Minimum von einem jener Stoffe hinzutritt, ohne vorher die Siedhitze passirt zu haben; dass ferner auch durch Beimischung starker chemischer Agentien, wie der Säuren, der schweren Metallsalze stets jene beiden Prozesse zugleich verhindert oder aufgehoben werden. Die immer mehr ausgebreitete Anwendung des Microscops lehrte bald auch die Existenz bestimmter Organismen bei der weinigen und sauren Gährung der Zuckersäfte, des Alkohols, der Milch etc. kennen. Besonders wurde Schwan's Beobachtung von der vegetabilischen Natur der Hefe von grosser Wichtigkeit, weil dieselbe eine sehr constante Form darbietet, und sich durch Uebertragung der Pflanzzellen auch in reiner Zuckerlösung, die sonst nicht gährungsfähig ist, Gährung hervorbringen lässt. Auch von diesem Prozesse wies Schwan nach, dass er durch ausgeglühte Luft nicht eingeleitet werden kann. In Betracht der so stetigen Verbindung zwischen den Zersetzungsprocessen und der Entwicklung microscopischer Organismen, so wie der Gleichheit der Mittel, durch welche beide Vorgänge zerstört werden, kamen viele Physiologen zu der Ansicht, dass die Zersez-

zung nur Folge des Lebensprocesses sei, dass sich jene Organismen von den zersetzten Materien genährt, und die Zersetzungsproducte durch die Secretionen von sich gegeben hätten.

Von vielen unsrer grössten Chemiker wurden jedoch die meisten Facta, worauf sich diese Ansicht stützt, ignorirt und als physiologische Phantasien betrachtet. Die vegetabilische Natur der Hefe verwarfen sie, sich auf eine Beobachtung Ehrenberg's stützend, dass auch unorganische Niederschläge sich zuweilen zu rosenkranzförmigen und ästigen Figuren aneinanderreihen. Dagegen sind in neuerer Zeit entwickeltere Formen gährungerregender Vegetabilien bekannt geworden, wie sie sich namentlich in gährendem diabetischen Harn finden, welche durch Bildung grösserer, länglicher, kernhaltiger Zellen, durch deutliche Entwicklung kugeliger Sporenkörner keinen Zweifel über ihre vegetabilische Natur lassen, und welche ebenfalls fähig sind, wie ich mich selbst überzeugt habe, in Zuckermesser Gährung hervorzubringen. Gegen die Versuche, durch welche dargethan wird, dass geglühte Luft unfähig sei, diese Zersetzungsprocesse einzuleiten, wirft Liebig in der letzten Ausgabe seiner *Agricultur Chemie* ein, dass überhaupt thierische Stoffe in reinen Gefässen viel langsamer faulen als in solchen, welche durch organische Reste verunreinigt sind; Harn und Fleisch soll sich in sorgfältig gereinigten Gefässen 2—3 Wochen ohne bemerkbare Veränderung erhalten. Letzteres habe ich jedoch nie gesehen, wenigstens traten im Laufe des letzten, ziemlich warmen Sommers selbst in ausgekochten Gefässen und Stoffen, sobald sie auch nur einige Minuten nach dem Erkalten frei mit der Luft in Berührung gewesen waren, stets nach 24 bis 72 Stunden die ersten Zeichen der Fäulniss unverkennbar ein; ausserdem lässt es sich durch ganz einfache, leicht auszuführende Versuche so stringent beweisen, als überhaupt nur ein chemisches Experiment beweisen kann, dass geglühte Luft vollkommen unfähig ist, Fäulniss oder Gährung hervorzurufen.

Die Methode, deren ich mich bediente, ist folgende: Ein Glaskolben, der verschiedene organische Substanzen, Theile von Thieren, Fleischstücke, klare Leimlösung oder Traubensaft enthielt, wurde durch einen ganz mit Siegelack überzogenen Cork verschlossen, durch welchen zwei dünne, rechtwinkelig gebogene, dicht neben einander verlaufende Glasröhren führten, deren eine in eine enge Spitze ausgezogen, die andere aber horizontal in einem rechten Winkel abgebogen war, um als Saugrohr zu dienen. Nachdem die Flüssigkeit des Kolbens so weit zum Kochen gebracht war, dass aus beiden Röhren die Dämpfe stark ausströmten, wurde die eine durch etwas Siegelack geschlossen, und die andere während des Erkaltens des Kolbens durch eine Spiritusflamme an einer Stelle bis zum Glühen erhitzt, und nach vollständiger Erkaltung wurde mit der Flamme bis zum Ende des Rohrs allmählig hingegangen, und das letztere gleichfalls mit Siegelack verschlossen. Die dabei eingeströmte Luft war meist bald nach der vollendeten Abkühlung vollständig ihres Sauerstoffs beraubt, wie ich mich durch Untersuchung derselben mittelst Phosphors überzeugte. Waren die angewandten Flüssigkeiten klar, z. B. Glutinlösungen, so entstand dabei ein ganz geringer Niederschlag, übrigens blieb die Flüssigkeit ungeändert. Um nun neuen Sauerstoff hinzuzubringen, erhitzte ich die beiden nebeneinanderlaufenden Röhren an einer Stelle, öffnete dann beide Enden, und sog leise durch das zweite gebogene Rohr die Luft aus dem Kolben aus, wobei von aussen neue durch die enge Oeffnung des ersten langsam einströmte, und die erhitzte Stelle desselben passirte. Auf diese Art konnten beliebige Quantitäten Luft in beliebigen Zwischenzeiten hincingeschafft werden. Die einzige Veränderung, die an den organischen Materien sichtbar wurde, war eine geringe Vermehrung des Niederschlags; übrigens waren dieselben selbst in den heissesten Zeiten des Sommers nach 8 Wochen an Geruch, Geschmack, Ansehen und in ihrem Verhalten gegen Reagentien unverändert, liess man aber auch nur eine geringe Menge un-

geglühter Luft ein, oder war der Verschluss des Kolbens nicht ganz fest, so entstand meist schon nach 2 bis 4 Tagen Fäulniss in ihren gewöhnlichen Erscheinungen mit Infusorienbildung.

Als das empfindlichste Reagens gegen die Fäulniss zeigte sich mir für diese und andere Versuche eine mit Lackmus gefärbte klare Glutininlösung; denn ehe noch durch den Geruch die Fäulniss mit Sicherheit erkannt werden konnte, äusserte sie sich schon durch eine Desoxydation und Entfärbung des Pigments. Die Farbe des letzteren stellt sich schnell wieder her, wenn man die Flüssigkeit in flachen Gefässen der Luft aussetzt, oder sie mit derselben schüttelt; in geschlossenen oder engen Gefässen verschwindet sie aber sehr bald wieder, bleibt dagegen, wenn man die Fäulniss durch Kochen unterbricht, unverändert, bis die letztere wieder von Neuem eintritt. Hierbei ist jedoch zu bemerken, dass sich die Flüssigkeit auch ohne Fäulniss entfärbt, wenn sich darin feste Fleischtheile befinden, oder durch Oxydation eine grössere Menge eines festen Niederschlags gebildet wird, weil sich dann der Farbstoff mit diesem verbindet; dann färbt sich die Flüssigkeit auch durch Sauerstoffzutritt nicht wieder. Mit dem Mikroskop findet man in der durch Fäulniss entfärbten Flüssigkeit eine fein granulirte Masse, welche sich bei 400maliger Vergrösserung als eine Zusammenhäufung kleiner Kügelchen erkennen lässt, und grössere stabförmige Thiere, welche sich langsam und um ihre Längachse rotirend fortbewegen.

Uebrigens darf man das hier aufgefundene Factum zunächst nur auf die Zersetzungen der stickstoffhaltigen näheren Organbestandtheile der lebenden Wesen beziehen, namentlich auf die proteinhaltigen und leimartigen Verbindungen, indem die langsamen Zersetzungen anderer Stickstoffverbindungen unabhängig vom Zutritt der Luft auch in verschlossenen und ausgekochten Gefässen vor sich gehn. Ich habe in dieser Beziehung bis jetzt erst den Harnstoff und die Cyanwasserstoffsäure untersucht. Ersteren stellte ich, um ihn ganz frei von

andern thierischen Stoffen zu erhalten, aus dem cyansauren Ammoniak dar; seine Zersetzung in kohlen-saures Ammoniak unterscheidet sich schon dadurch wesentlich von der Fäulniss dass sie in der Siedhitze schneller vor sich geht, als bei gewöhnlicher Temperatur. Ich verschloss die Lösungen der beiden genannten Stoffe in zugeschmolzenen Glasröhren, und legte sie so in kochendes Wasser; sie zersetzten sich eben so schnell, wie andere Theile derselben Lösungen, welche frei mit der Luft in Berührung waren. Ist Harn in ausgekochten Gefässen eingeschmolzen, so geht diese langsame Zersetzung des Harnstoffs vor sich, ohne eine faulige Zersetzung der übrigen thierischen Stoffe hervorzurufen.

Um noch auf eine andere Methode die Einwirkung des Sauerstoffs auf organische Stoffe zu untersuchen, schloss ich Fleisch, Leimlösungen, Traubensaft ausgekocht ein, und bewirkte durch einen mittelst Platindrähte hindurchgeleiteten electrischen Strom eine Wasserzersetzung, aber auch hier war das entwickelte Sauerstoffgas nicht im Stande, Fäulniss oder Gährung hervorzubringen. Dieses Resultat widerspricht einem Versuche von Gay Lussac, welcher in unter Quecksilber ausgepresstem Traubensaft durch den electrischen Strom Gährung hervorgerufen haben will; es kann aber auch bei der gewissenhaftesten Reinigung der Gefässe, des Quecksilbers etc., wie es sich bei den Untersuchungen über generatio aequivoca zeigte, kein Experiment bindende Kraft haben, wobei irgend ein Theil des Apparates, oder irgend eine der angewendeten Substanzen nicht vorher bis zur Siedhitze erwärmt ist. Dasselbe lässt sich einwenden gegen die Versuche desselben ausgezeichneten Chemikers, bei denen nach der Einbringung einer geringen Quantität Sauerstoffs Gährung entstand, Versuche, auf welche Liebig ein besonderes Gewicht legt, weil sich nicht einsehen liesse, wie in das zur Gasentwicklung gebrauchte Manganhyperoxyd oder chlorsaures Kali organische Keime hineinkommen könnten.

Aus allen diesen Experimenten geht hervor, dass weder

der Oxydationsprocess, noch die der Fäulniss ähnliche freiwillige Zersetzung des Harnstoffs, noch die mächtige, chemische Bewegung, welche durch den electricen Strom hervorgerufen wird, im Stande sind, die Fäulniss oder Gährung einzuleiten. Auch kann keiner der gewöhnlichen, durch Siedhitze nicht veränderlichen Bestandtheile der Atmosphäre den Anstoss geben, weder Stickstoff noch Kohlensäure, noch Wasserstoff oder das neuerdings von Liebig nachgewiesene Ammoniak. Uebrig bleiben nur noch zwei Substrate, denen wir diese Wirkung zuschreiben können, nämlich die in der Luft verbreiteten Exhalationen fauliger Substanzen, wie sie von Liebig zugleich mit dem Ammoniak aus dem Regenwasser abgeschieden sind, oder die Keime organischer Wesen, auf deren allgemeine Verbreitung man aus den Erscheinungen scheinbarer generatio aequivoca schliessen muss. Die einwohnende Thätigkeit beider wird durch die Siedhitze aufgehoben, und beiden können wir die Fähigkeit zuschreiben, Fäulniss zu erregen, möglicherweise könnten die Anhänger der generatio aequivoca auch den ersteren die Fähigkeit zuschreiben, Organismen zu erzeugen, sie gleichsam als gasförmig verbreitete Zeugungsstoffe betrachten. Die Frage, welches dieser Agentien das wirksame sei, hat durch Liebig's geistvolle Deductionen eine grosse Wichtigkeit nicht nur für die organische Chemie sondern auch für die Lehre von den Contagien und Miasmen erlangt. Ich habe deshalb fäulnissfähige Stoffe so abzusperren gesucht, dass der Zutritt auch noch so kleiner fester Körperchen, wie es die Keime mikroskopischer Organismen sind, verhindert werde, nicht aber der von flüssigen oder gasförmigen Stoffen. Durch chemische Mittel konnte die Trennung beider Agentien nicht gelingen, weil dieselben stets Fäulniss und Leben zugleich zerstören, aber sie ist mir vollständig auf rein mechanischem Wege gelungen, indem ich in abgesperrte fäulnissfähige Flüssigkeiten durch eine Blase hindurch mittelst der Endosmose faulende Flüssigkeiten oder reines Wasser eintreten liess. Zu diesem Ende überband ich

eine Oeffnung einer tubulirten Vorlage mit einem Stück Blase, und leitete aus der anderen eine Glasröhre mit ausgezogener Spitze heraus; brachte die zu untersuchenden Substanzen in der Vorlage zum Sieden, erhitzte während der Abkühlung derselben das Rohr, schmolz es endlich zu, und setzte die Blase in eine fäulnissfähige Flüssigkeit oder in Wasser. Oder noch einfacher: ich füllte ein etwas weites Reagirgläschen mit der zu untersuchenden Flüssigkeit ganz an, band eine Blase mit Einschluss möglichst weniger Luft über, erhitzte es vorsichtig bis 100° C., wobei sich die kleinste Schadhafteigkeit der Blase durch Austritt der innen stark gepressten Flüssigkeit zu erkennen gab, und stellte es nach vollendeter Abkühlung umgekehrt in eine andere Flüssigkeit. Die Fäulniss trat in diesen Fällen in der eingeschlossenen Substanz fast eben so schnell ein, wie in einer nicht abgesperrten, gab sich durch den bekannten widerlichen Geruch und Geschmack, durch Entfärbung des Lackmus, Entwicklung von Gasarten aus Proteinverbindungen, durch Verwandlung des Leims in extractive Materien zu erkennen, dagegen ist das Ansehen einer auf diese Weise faulenden Flüssigkeit ein durchaus anderes; dieselbe bleibt nämlich vollkommen klar, Fleischstücke zerfliessen nicht zu einem trüben Brei, sondern behalten trotz der von ihnen ausgehenden Gasentwicklung vollständig ihre Structur, sogar bis zu den Querstreifen der Primitivbündel, werden consistenter, wie ganz hartgekochtes Eiweiss, und bei der mikroskopischen Untersuchung findet man nicht die geringste Spur von Infusorien oder regelmässigen feinen vegetabilischen Bildungen, die sich sonst in so grosser Menge zu zeigen pflegen. Dass hier nicht bloss eine Transfusion der Fäulnissproducte von aussen in den inneren Raum stattfindet, lässt sich am besten daran erkennen, dass die Gasentwicklung von Fleischstücken, sobald sie einmal angefangen hat, nicht aufhört, auch wenn man das Gefäss aus der äusseren Flüssigkeit herausnimmt, und die Blase durch eine Schicht Siegellack vor der Berührung mit der Luft schützt. Das hierbei entwickelte Gas wird zu

$\frac{2}{3}$ von kaustischem Kali absorbiert, und schwärzt schnell eine Bleisalzlösung. Aus diesen Versuchen geht hervor, dass die Fäulniss unabhängig von dem Lebensprocesse bestehen kann, und nur in der Form durch diesen geändert wird, dass zu ihrer Einleitung der Zutritt faulender Flüssigkeiten oder Dünste hinreicht, und dass organische Wesen nur dann entstehen, wenn die Möglichkeit des Zutritts fester Körper (also auch organischer Keime) vorhanden ist.

Dieselben Versuche habe ich an Weinmost angestellt, wobei ich die den eingeschlossenen Most abschliessende Blase in eben solchen gleichfalls ausgekochten Most stellte. Letzterer ging in 36 bis 48 Stunden in heftige Gährung über, die in 8 Tagen grösstentheils vollendet war, der abgesperrte Most dagegen zeigte durchaus keine Veränderung, keine Hefebildung und keine Gasentwicklung. Durch Endosmose vermehrte sich sein Volumen etwas, und er nahm einen leicht weinigen Geruch und Geschmack an; entfernte man die äussere Flüssigkeit, so nahm sein Volumen nicht weiter zu, auch war im Verlaufe von 8 Tagen durchaus keine weitere Veränderung zu bemerken. Wurde nach Ablauf dieser Zeit das Gefäss geöffnet, so trat die Gährung später nicht so leicht ein, wie in ganz frischem Most, entwickelte sich aber sehr schnell beim Zusatz der geringsten Menge gährender Flüssigkeit. Die weinige Jährung ist demnach an den Zutritt eines festen Körpers gebunden, der durch die Blase zurückgehalten wird, und unter welchem wir uns nur die Hefe denken können, deren vegetabilische Natur nicht mehr zu bezweifeln ist. Dem Fäulnissprocesse entspricht in den Fruchtsäften die sogenannte schleimige Gährung, welche mit üblen Gerüchen und meist mit Schimmelbildung verbunden ist, und unter solchen Umständen eintritt, welche die Ausbildung der weinigen Gährung verhindern.

Die Ansicht, welche sich aus diesen Resultaten von der Fäulniss bildet, ist folgende:

1) Die Fäulniss ist ein Zersetzungs-Process der protein-

haltigen und leimartigen Materien, der sich von ähnlichen Zersetzungsprocessen anderer stickstoffhaltiger Verbindungen, z. B. derer des Cyans, durch die Fähigkeit unterscheidet, sich auf andere Massen derselben Stoffe fortzupflanzen, und nie anders als durch eine solche Fortpflanzung, vielleicht auch aus dem Lebensprocess zu entstehen scheint. Von diesen primären Zersetzungen sind jedoch die secundären anderer nicht fäulnisfähiger Stoffe, welche faulenden Flüssigkeiten zugemischt sind, zu unterscheiden.

2) Sie kann unabhängig vom Leben bestehen, bietet aber den für die Entwicklung und Ernährung von lebenden Wesen fruchtbarsten Boden dar, und wird dadurch in ihren Erscheinungen modificirt. Eine solche, durch Organismen modificirte, und an diese gebundene Fäulnis ist die Gährung.

3) Sie gleicht dem Lebensprocesse auffallend durch die Gleichheit der Stoffe, in denen sie ihren Sitz hat, durch ihre Fortpflanzungsfähigkeit, durch die Gleichheit der Bedingungen, welche zu ihrer Erhaltung oder zu ihrer Zerstörung nöthig sind.