

Zeitschrift für angewandte Chemie.

1902. Heft 28.

Vorträge, gehalten auf der Hauptversammlung des Vereins deutscher Chemiker in Düsseldorf am 22. und 23. Mai 1902.

Die Mikroorganismen in ihrer Anwendung auf chemische Umsetzungen.

Von Geh. Regierungsrath Prof. Dr. Delbrück, Berlin.

Der Chemiker ist wohl gewöhnt, das Unendlich-Kleine in den Bereich seiner Betrachtung zu ziehen, jedoch nur hypothetisch, rechnerisch. Der Mikrobiologe hat das Unendlich-Kleine wirklich vor sich, allerdings in viertausendfacher Vergrößerung. Wir wollen versuchen, uns eine Vorstellung zu bilden, wie klein diese Organismen sind, mit denen er es zu thun hat. Wenn Sie an die tausende von Centnern Hefe denken, die zur Zeit des Pfingstfestes verbacken worden sind, so ist es gewiss interessant festzustellen, dass jedes Kilogramm dieser Hefe nicht weniger wie zwei Milliarden einzelner Zellen enthielt, und wenn wir die Bacillen, die Spaltpilze zur Grundlage der Betrachtung machen, so ergiebt sich, dass ein Kilogramm Spaltpilzmasse etwa 2000 Milliarden Einzelwesen beherbergt. Sie sind so klein, dass sie sich in ihrer Kleinheit unserem Vorstellungsvermögen vollständig entziehen, und doch können wir diese Wesen sehen, doch können wir sie messen. Aber, was mehr ist, jedes dieser kleinen Wesen stellt einen Mikrokosmos dar, der lebt, sich fortpflanzt, der ernährt werden will; er hat einen Kraftaufwand und einen Stoffumsatz. Zwei oder drei grosse Gruppen solcher Pilze sind es, wenn ich die Schimmel-pilze hinzuziehe, hauptsächlich aber die Gruppe der Hefen und die der Spaltpilze. Hunderte und tausende von Arten, von Rassen unter ihnen giebt es, diese Rassen lassen sich fortpflanzen, lassen sich züchten, unter absoluter Reinhaltung, und in dem tausendsten Gliede der Nachkommenschaft findet sich, dass die Rasseneigenschaften typisch erhalten bleiben und dass wir es zu thun haben mit einer Spezifität, wie wir sie nur bei den höchstorganisierten Wesen kennen.

Diese Pilze nun begleiten uns überall durchs Leben, sie schaffen Nahrung, sie füllen den Becher der Freude, sie bergen aber auch in

sich Tod und Verderben. Seit Alters her sind sie in den Gewerben verwendet worden, und die chemischen Umsetzungen, die sie hervorbringen, bilden die Grundlage zahlreicher grosser Industrien. Die Kohlenhydrate, den Zucker spalten sie mit Leichtigkeit in Alkohol und Kohlensäure. Den Alkohol in vielerlei Gestalt begrüssen wir mit Lust im feurigen Wein, im behaglichen Bier; in der Form des Branntweins stehen wir ihm misstrauisch gegenüber oder drängen ihn zurück und setzen an die Stelle des Trinkbranntweins den Industriespiritus, der eine hohe volkswirthschaftliche Bedeutung schon erlangt hat und eine noch grössere erlangen wird.

Aus dem Alkohol schaffen andere Bacillen die Essigsäure.

Aber bedeutender fast noch ist das Gebiet der Umsetzung von stickstoffhaltigen Stoffen, auf dem sie thätig sind. Ist es doch gelungen, den flüchtigen Gesellen der Luft, den Stickstoff der Atmosphäre zu fesseln mit Hülfe von Mikroorganismen, welche in Symbiose mit den grünen Pflanzen leben. Andere dieser Mikroorganismen haben dafür zu sorgen, dass die Stoffe des thierischen Düngers assimilirbar gemacht werden für die Pflanzen. Andere bewirken die „Ackergare“, bereiten den Boden für den Ackerbau; dritte wieder in ihrem Übereifer zerstören das vorher bereitete Werk und senden den Stickstoff wieder zurück in die Luft, bevor er von den Pflanzen aufgenommen werden konnte. Dies das Gebiet der Agriculturbakteriologie, der jüngsten unter ihren Geschwistern, aber vielleicht der bedeutungsvollsten. Wenn es gelingen sollte, Deutschland einmal selbstständig zu machen in Bezug auf die Ernährung seiner Bevölkerung, so kann das nur geschehen, wenn die Arbeit dieser kleinen Lebewesen von uns beherrscht wird. Die deutsche Landwirtschaft ist gehalten, das ganze weite Arbeitsgebiet der Landwirtschaftswissenschaft nach Seiten der Mikrobiologie neu zu durchforschen, Alles, was Klima und Boden angeht, ist zu prüfen unter dem Gesichtspunkt der Förderung oder Schädigung des Bakterienlebens.

Ich erinnere weiter an das Molkereiwesen, wenn es sich darum handelt, die Milch umzuwandeln in schmackhafte Butter, oder den Käse so zu gestalten, dass sein Wohlduft uns wenigstens die angenehme Erwartung erregt, dass wir es mit einem leicht verdaulichen Eiweissstoff zu thun haben.

Das ist ungefähr das Gebiet der industriellen Verwendung der Mikroorganismen.

Die Anwendung ist uralt. Die Erkenntniss, dass man es mit der Arbeit so kleiner heimlicher Gesellen zu thun hat, stammt aus dem Jahre 1837. Schnell folgte die Entwicklung von Schwann und Cagniard Latour bis zu dem grossen Franzosen Pasteur, dann die moderne mit unserem Brefeld, Koch, dem Dänen Hansen, und so ist das Arbeitsgebiet, sofern wir es mit rein gezüchteten Organismen zu thun haben, ein Werk der letzten 20 Jahre. Aber die Kunst, den einzelnen Mikroorganismus, unsichtbar wie er ist, zu isoliren, so dass die Nachzucht gesichert ist, ist so ungemein einfach, besonders nach den Methoden des Professors Lindner in Berlin, dass man heute sagen kann: Jeder Brauer, der auf der Höhe des Könnens seines Berufs steht, ist im Stande, sich seine Reinculturen selbst spielend anzulegen. Es sind aber der Arbeitstheilung halber Züchtungsstationen überall im Deutschen Reiche eingerichtet. Am Rhein haben wir die berühmte Weinbaustation Geisenheim, welche mehrere hundert Hefenculturen bereit hält und in verschiedenen Formen zur Versendung bringt. In Frankfurt a. M. haben Dr. Popp und Dr. Becker eine eigenartige Verwendung der Bacillen gefunden: sie ersetzen die Kalkbeize in der Lederindustrie durch das bacterium erodiens. In Süddeutschland hat die wissenschaftliche Station für Brauerei in München zuerst die Reinhefen für Deutschland hergestellt, und in den Verkehr gebracht; in Berlin das Institut für Gährungsgewerbe, welches im Grossbetrieb Hefen züchtet: auf einen Wurf stellt es 200 kg rassenreine Hefen dar, die in wenigen Stunden in grossen Bottichen erblasen, mit Centrifugen geschleudert, in Filterpressen zu Kuchen geformt der Industrie zur Verfügung gestellt werden. In Kiel besteht die Milchwirtschaftliche Station, die für die Butter- und Käse-Bereitung die geeigneten Pilze züchtet.

Aber es genügt nicht, den reinen Pilz zu haben: er soll jetzt in der Industrie gepflanzt werden und in seiner Reinheit erhalten bleiben. Wir sind aber umgeben von zahllosen Abarten, die sich überall ansiedeln, wo sie Nahrung finden. Es würde daher, wenn auch Reinculturen in den Betrieb eingeführt werden, sehr bald eine Verunreinigung

eintreten. Es gilt also, Regeln zu finden für die Fortpflanzung in der Praxis. Merkwürdigerweise hat sich ergeben, dass diejenigen Industrien, welche eine Tradition haben in der Züchtung der Pilze, bereits bevor man etwas von Reinculturen wusste, Systeme der Fortpflanzung besessen, welche in sich ein System der natürlichen Reinzucht beschliessen; das trifft insbesondere zu für das Brauereigewerbe und das Brennereigewerbe.

Wie das Ding aussieht, möchte ich mit einigen kurzen Worten darlegen.

Diese kleinen Organismen haben ein ausserordentlich ausgeprägtes Feingefühl für die Nahrungsmittel, die ihnen geboten werden, ob sie für sie verdaulich sind oder nicht. Je nachdem der Nährstoff geboten wird, als Stärke, als Dextrin, als Zucker, — aber auch in den verschiedenen Zuckerarten selbst liegen tiefgreifende Unterschiede. In dem Nährboden ist eine der Bedingungen gegeben, ob dieser oder jener Pilz zur Entwicklung kommt; wir sind also im Stande, in der Zusammensetzung des Nährbodens etwas von dem zu betreiben, was wir als natürliche Reinzucht bezeichnen.

Der Zutritt der Luft spielt die allergrösste Rolle. Da sehen wir, wie einige Mikroorganismen, welche für ein bestimmtes Arbeitsgebiet in Betracht kommen, eine Reihe bilden, in der das eine Endglied sich bei reichem Luftzutritt stark entwickelt, das andere im Gegentheil die Luft flieht. Der Industrielle muss diese Verhältnisse kennen, und je, wie mit feinstem Unterschied der Luftzutritt geregelt wird, kann er diesem oder jenem Pilz in der Entwicklung den Vortzug geben. So steht auf der einen Seite als luftbedürftig der Essigpilz und ihm entgegengesetzt der Buttersäurepilz, dem die Luft feindlich gesinnt ist. Eine andere Reihe bilden die Alkoholgährpilze, beginnend mit dem Luft liebenden Kahm, dazwischen die Bäckerhefe, die Brennereihefe, endend mit der untergährrigen Brauereihefe.

Die grössten Unterschiede finden sich aber in Bezug auf das Klimabedürfniss, die Temperatur. Wir haben Mikroorganismen, welche bei 60° C. ein munteres Leben ausführen können; bei 50° C. der Milchsäurepilz; bei 40° der Buttersäurepilz, bei 20° die Hefen, und unter diesen kennen wir die Eskimohefen, die in den kalten Lagerkellern der Brauereien fortwuchern, ihnen entgegengesetzt die Gährpilze unserer ostafrikanischen Brüder.

Man hat aber noch andere Mittel, die Sortierung der Organismen vorzunehmen: das ist die Behandlung mit Reizstoffen. Es ist keineswegs gleichgültig, ob der Nährboden

eine saure oder eine alkalische Reaction hat. Sobald die Reaction sauer ist, werden Hefenpilze siegreich hervorgehen, ist sie alkalisch, so schlägt die Cultur um in Spaltipilze. In der Fähigkeit, die Gegenwart von Säuren zu ertragen bilden die Industriehefen wieder eine Reihe.

Manche Specifca werden angewendet; so erinnere ich an den Hopfen in den Brauereien, der eine Scheidung unter den Pilzen hervorruft.

Wenn wir das Heranwachsen der Culturen betrachten, so ist immer der Effect der, dass unter den gegebenen Umständen der Stärkere den Schwächeren zum Unterliegen bringt. Wir haben aber auch Maassnahmen, industriell verwendet, die das Umgekehrte erzielen, und den Schwachen bevorzugen: ein Stück socialer Praxis.

Das sind die Verfahren, die Pilze zu sondern nach Trieb und Satzverfahren. Der Brauer z. B., welcher obergähriges Bier braut, verwendet einen bestimmten Hefenauftrieb, das heisst er verwendet nur die zu bestimmter Zeit an der Oberfläche erscheinenden Pilze zur Fortpflanzung, weil er weiss, dass zu einer bestimmten Zeit bestimmte Rassen an die Oberfläche gelangen. Der Brauer, der Untergährung betreibt, trennt sorgfältig die Hefenschichten, die er am Boden findet; er weiss, dass in bestimmten Schichten der Pilz sich abgesetzt hat, den er als Edelpilz fortpflanzen will. Diese Edelpilze der Brauereien sind schwächer als gewisse Concurrenten, aber doch versteht es der Brauer, diesen den Vortzug zu geben, indem er von einer bestimmten Stelle die Hefe zur Nachzucht erntet.

Es gibt aber auch Freundschaft und Feindschaft unter den Pilzen. Die Hefen sind die Vorarbeiter für den Essig, denn sie erzeugen den Alkohol, den der Essigpilz seinerseits verzehrt. Die grösste Gegnerschaft besteht zwischen dem Hefepilz und dem Buttersäurepilz. Einer schliesst die Gegenwart des anderen bei energischer Thätigkeit aus. Aber auch Bundesgenossenschaften werden geschlossen. So haben Sie in dem berühmten Berliner Weissbier die gemeinsame Arbeit vor sich eines Hefenpilzes mit einem Spaltipilz, dem Milchsäurepilz; diese beiden arbeiten gemeinsam, schliessen aber einen dritten aus, den Buttersäurepilz, der dem Bier einen anderen und weniger zusagenden Geschmack geben würde. Die Weissbierbrauerei hat es verstanden, bei der Fortzucht einen gewissen Gehalt an Milchsäurespaltipilzen in der Saathefe zu erhalten. Die Wirkung dieser Freundschaft und Gegnerschaft beruht im Wesentlichen auf einer Wirkung der Erzeugnisse, welche die Pilze hervorbringen, mit denen sie ihre Gegner beeinflussen.

Wenn wir das Gebiet überschauen und einige Kunstgriffe der Technik hinzufügen, so ergiebt sich, dass man mit absoluter Sicherheit in der Praxis die Erzielung einer gewollten Reincultur durchzuführen im Stande ist. Erste Bedingung in der Technik ist die Anwendung grosser Aussaatmengen. Wenn man eine gewisse Flüssigkeitsmenge hat, in der ein Pilz gezüchtet werden soll, so kämpft der Pilz der Aussaat gegen seine Feinde, die durch Zufall in die Flüssigkeit gelangen. Von vorn herein eine grosse Menge der Pilze ausgesät, sichert die Reinzucht.

Zweiter Grundsatz ist der, dass dieses Heer von angreifenden Soldaten vertheilt sein muss auf das ganze Terrain, dass eine gute Durchmischung vorhanden sein muss, und die Durchmischung aufrecht erhalten wird. Die Aufrechterhaltung der Durchmischung erreicht man dadurch, dass man die Züchtungsflüssigkeit bewegt, entweder durch Einrichtung eines Rührwerks oder Einblasen von Luft. Die Stärkste auf diesem Gebiet ist die Hefe, die die Bewegung selbst erzeugt. Die Thätigkeit der gährenden, Kohlensäure producirenden Hefe erzeugt selbst die Bewegung; die Hefe eilt dann von Ort zu Ort in der Gährungsflüssigkeit, um den Gegner anzugreifen, ihn direct aufzusuchen.

Ein weiterer Hauptgrundsatz ist sodann die Vermeidung der „toten Punkte.“ Es darf niemals eine Gährung unterbrochen werden, denn sobald ein Organismus seine Thätigkeit einstellt, ist sofort der Nachbar da, der diese Thätigkeit fortzusetzen sucht, unter vielleicht besseren Bedingungen wie sein Vorgänger.

Wie haben wir uns nun vorzustellen, dass diese Pilze wirken, worauf beruht ihre Kraftentfaltung und zu welchem Zwecke geschieht diese Kraftentfaltung? Es sind einfach die Lebensbedürfnisse der Pilze, die erfüllt werden. Die Pilze haben die Aufgabe, sich die Nahrungsmittel verdaulich zu machen, und in dieser Kunst ist der eine stärker wie der andere. Der eine kann Stärkemehl verdauen, während der andere vorher in Zucker umgewandeltes Stärkemehl verlangt. Worin beruht die Fähigkeit des ersteren, die Stärke sich assimilirbar zumachen? Jede Assimilation hat zur Grundlage die Auflösung des betreffenden Stoffes, und seine Umwandlung so, dass er diffundiren kann durch die Zellwandlung in das Innere des Mikroorganismus. Die Stärke muss also gelöst werden. Die Pilze, die im Conkurrenzkampf auf Stärkemehl angewiesen sind, haben die Fähigkeit, das Stärkemehl selbst aufzulösen, dadurch, dass sie Diastase in sich erzeugen und aus sich heraus an die umgebende Flüssigkeit abgeben.

Alle diese Mikroorganismen unterscheiden sich dadurch voneinander, dass sie stärkere oder schwächere diastatische Enzyme haben. Bis zu welcher Feinheit das geht, hat Emil Fischer nachgewiesen, indem er zeigte, dass jeder einzelne Pilz auf einen bestimmten Nährstoff eingestellt ist, die spezifische Diastase, den Schlüssel besitzt, wie er sich ausdrückt, um das betreffende Kohlehydrat aufzuschliessen, für ihn verdaulich zu machen. Bezuglich der Eiweissernährung liegt die Sache ebenso. Die Mikroorganismen unterscheiden sich dadurch, dass sie einen Eiweissdiastasen erzeugen, dass sie peptische Enzyme aussenden, durch welche die Eiweissstoffe löslich und verdaulich gemacht werden, während die anderen die Darreichung vorverdaulicher Proteine verlangen. Der Parallelismus mit der Organisation höherer Wesen liegt auf der Hand. Erst kürzlich ist gefunden worden, dass die Hefe im Stande ist, selbst Fette auf diese Weise verdaulich zu machen, durch ein Fett spaltendes Enzym, durch die Lipase.

Aber zur Verwendung dieser Nahrungsmittel im Inneren der Zelle ist eine Kraftaufwendung erforderlich, und so finden wir das zweite Gebilde von Enzymen in den Mikroorganismen, die Kraftenzyme. Energie wird freigemacht entweder durch einfache Athmung, indem ein Enzym, die Oxydase den Sauerstoff der Luft auf die aufgenommenen Nährstoffe überträgt und in dieser Weise Wärme erzeugt. Daneben tritt auf die Zymase, ebenfalls ein Kraftenzym; indem die Zymase Alkohol und Kohlensäure spaltet, wird Wärme frei und die Kraftquelle ist erschlossen.

Neben diesen beiden Aufgaben, der Nahrungsversorgung und der Kraftentfaltung, müssen wir nun noch feststellen, dass eine dritte Erklärung für die chemische Arbeit der Pilze existiert, und diese möchte ich bezeichnen mit der Notwendigkeit, Kampfstoffe hervorzubringen, welche die Aufgabe haben, einen Gegner anzugreifen. Zu diesen Kampfstoffen müssen wir rechnen den Alkohol und die Kohlensäure der Hefen, die Milchsäure des Milchsäurepilzes, die Buttersäure des Buttersäurepilzes. Der Kampf der Mikroorganismen spielt sich in der Weise ab, dass der eine den anderen ausschliesst, indem er ein spezifisches Gift für den Gegner erzeugt.

Viel feiner wird die Frage, wenn wir von den Umsatzstoffen, die aus Kohlehydraten entstehen, uns den Eiweissstoffen zuwenden. Es ist wohl nicht zweifelhaft, dass die schlimmen Gifte, welche gewisse Pilze zu erzeugen vermögen, ebenfalls unter den Enzymen zu suchen sind, dass es eiweissartige Stoffe sind, welche die Giftwirkung ausüben. Wissen wir doch, dass gewisse Schimmelpilze, welche Früchte

angreifen und zum Zerfall bringen, in solcher Weise arbeiten, dass sie, die Zellwand auflösend, ein Gift aussenden, die Zelle des Apfels, den sie verzehren wollen, durch Einführung des Giftes tödten und die Säfte der abgestorbenen Zelle zu eigenem Nutz und Frommen verwenden.

Es sind also enzymatische Kräfte, welche in den Mikroorganismen thätig sind, und für den Industriellen kommt es nun darauf an, diese Kraftquellen zur Entwicklung zu bringen. Mit der alten Theorie Pasteur's, dass die Förderung des Lebens der Organismen unter allen Umständen auch die Förderung ihrer Wirkung hervorbringt, ist ein für alle Mal zu brechen. Nicht der Pilz ist das Wirkende, sondern die Enzyme, welche er erzeugt.

Das Endglied des langen Kampfes um diese Frage hat Buchner geliefert, indem er feststellte, dass man die Gährwirkung der Hefe loszulösen vermag von ihrem Leben, und dass man ebenso wie die Umbildung von Stärke in Zucker durch Diastase zu betrachten hat die Umbildung von Zucker in Alkohol und Kohlensäure, hervorgebracht durch ein Enzym, die Zymase. Wenn das aber der Fall ist, so gewinnen wir eine ganz andere Auffassung von der chemischen Wirkung der Organismen, dann kommt es darauf an, erstens den Pilz zu züchten, zweitens zu einem bestimmten chemischen Effect das betreffende Enzym in ihm zu entwickeln und zu stärken, Wachsthum und Wirkung des Pilzes aber vollständig von einander zu unterscheiden.

Wie kann man aber da einen Einfluss üben? Die Studien über die Mälzerei, besonders von Hayduck, haben Aufschluss darüber gegeben. Die Enzyme sind Eiweissstoffe, sind Gebilde aus Eiweissstoffen. Nur eiweissreiche Gerste giebt diastasreiches Malz. Soll ein enzymreicher Pilz gezüchtet werden, so muss er reichlich mit Eiweiss ernährt werden. Je mehr Eiweiss die Hefe in sich ansammelt, — die eine kann bei passender Ernährung 50 Proc. mehr davon haben als die andere — um so grösser wird die Gährkraft, der Gehalt an Zymase.

Dann ist bei der Fortpflanzung dafür zu sorgen, dass der Organismus nicht sein Interesse concentrirt lediglich auf die Hervorbringung möglichst vieler Zellen. Wenn eine gewisse Zahl Zellen da ist, die man zu einem Effect gebraucht, so muss man dafür sorgen, dass eine weitere Vermehrung nicht stattfindet. Dann werden neu zugefügte Eiweissstoffe in den Organismus aufgenommen und können nun verwendet werden zur Entwicklung der stärksten enzymatischen Kräfte. Mittel, die Vermehrung zu begrenzen, sind

gegeben in der Verhinderung der Bewegung, in dem Abschluss der Luft, in der Anhäufung von Umsatzstoffen, Zusatz von Antisepticis u. s. f. Begrenztes Wachsthum bringt einen eiweissreichen Mikroorganismus hervor, welcher in Folge dessen eine starke enzymatische Wirkung auszuüben vermag.

Aber das ist nicht das Einzige. Wenn wir uns vorstellen, dass der Pilz bestimmte Enzyme zu bestimmten Zwecken erzeugt, dann werden wir ihn durch bestimmte Reizungen, welche wir üben, zur Entwicklung dieser Enzyme nöthigen können. Sobald Sie eine Hefe arbeiten lassen in einer Flüssigkeit, welche wenig Zucker enthält, dann verschwindet die Zymase. Geben Sie der Hefe eine Flüssigkeit mit reichlich Zucker, so liegt die Aufgabe für die Hefe vor, diesen Zucker anzugreifen und zu spalten; dann entwickelt sie ungeheure Mengen von Zymase. Ein anderes Reizmittel. Kleine Mengen Buttersäure, der gährenden Flüssigkeit zugesetzt, verstärken die Zuckerspaltung. Buttersäure ist der Kampfstoff des Buttersäurebacillus, dieses starken Hefengegners. Gleichgültig, ob die Buttersäure stammt von dem persönlich anwesenden Gegner, oder ob sie als reine Säure zugesetzt wird, immer bringt sie die Hefe zu starker Zymasebildung. Und so dürfen wir annehmen, dass die Hefe bei Reizung durch Buttersäure sich zum Kampf rüstet durch Aufspaltung von Zucker und Entsendung von Kohlensäure, diesem starken Pilzgift. Gleichzeitig setzt die Sprossung aus, es ist, als wenn sie sich zurückzöge; sie empfindet den Angriff eines Gegners und bereitet den Kampf durch Entwicklung des Kampfenzymas.

Aber auch die fertig ausgebildeten Organismen verändern sich fortgesetzt in sich, scheinbar ruhend, indem der Gehalt an Enzymen schwankt. Wenn man einen grösseren Posten Hefe in zwei Theile zerlegt und den einen in der Wärme, den anderen in der Kälte lagert, dann verliert die in der Kälte lagernde Hefe an Peptase, nimmt zu an Zymase; die warmgelagerte Hefe verliert die Zymase und erzeugt neue Peptase. So haben wir die merkwürdige Thatsache, dass man Hefe von feststehender chemischer Zusammensetzung nur durch Veränderung der Lagerungstemperatur in einen bestimmten physiologischen Zustand versetzen kann, in welchem sie zu bestimmten Wirkungen besonders befähigt wird. Kalt gelagerte Hefe ist zymasereich, besitzt eine ganz grossartige Gährkraft; warm gelagerte Hefe steigert in sich den Gehalt an Peptase und erwirbt eine ungeheure Kraft, Eiweissstoffe aufzulösen. So kommt es darauf an, für die chemische

Wirkung der Organismen einen bestimmten physiologischen Zustand zu haben; über die Hefe wissen Sie also leidlich Bescheid; für die Untersuchung anderer Organismen ist die Bahn frei.

Wenn man alle diese Gesichtspunkte überschaut und weiss, wie sie in den Gährungsgewerben benutzt werden, so begreift man die grossartigen Fortschritte, welche diese Industrien in den letzten zwanzig Jahren gemacht haben. Es ist zu constatiren, dass wir heutzutage ein Bier von einer Reinheit und Sicherheit in der Herstellung haben, wie man es früher nicht gekannt hat. Da ist zu constatiren, dass dem Brennereigewerbe die Umwandlung von Zucker in Alkohol in solcher Vollständigkeit gelingt, dass man von theoretischer Ausbeute sprechen kann, und eine weitere Folge ist, dass die Alkoholerzeugung auch eine wachsende Verbilligung erfahren hat. Es ist die Frage, ob bei dieser Situation die chemische Industrie nicht in der Lage wäre, einen Gewinn zu ziehen; denn mit dieser Verbilligung des Fabrikationsverfahrens hat sich gleichzeitig vollzogen eine Verbilligung der Erzeugung landwirtschaftlich erzeugter Kohlehydrate. Wir haben eine Zuckerrübencultur, eine Kartoffelcultur, welche auf den Hectar Land Quantitäten von Kohlehydraten im Jahre hervorbringen, welche weit das übertreffen, was an Kohlehydraten man etwa bei der Waldcultur zu gewinnen im Stande ist. Wir haben billige Rohstoffe und billige Verfahren, und da ergiebt sich die Frage: wie weit kann der Alkohol der chemischen Industrie weiter dienstbar gemacht werden? Heutzutage ist es nicht mehr zweifelhaft, dass er mit dem Petroleum auf dem Gebiete der Licht-, Wärme- und Krafterzeugung zu concurren vermag; ja ich halte es wohl des Studiums werth, ob nicht die chemische Herstellung der Essigsäure aus essigsaurem Kalk alsbald abgelöst werden wird durch die Umwandlung des Alkohols in die Gährungsessigsäure. Denn auch in der Essigfabrikation sind die Verluste, die man bei der Umwandlung in Essigsäure hat, durch die Entwicklung der Wissenschaft auf diesem Gebiete auf ein viel geringeres Maass herabgedrückt worden.

Aber die Gährungstechnik, welche die Herstellung der Getränke betrifft, ist es nicht, die die chemische Industrie interessirt. Es ist mehr die Milchsäure-, die Buttersäuregährung. Es ist zu beklagen, dass diese Fabrikationen, insbesondere die der Buttersäure noch auf so niedriger Stufe stehen. Die chemische Industrie arbeitet hier, mit einzelnen glänzenden Ausnahmen, nach rein empirischen traurigen Methoden. Daher die unnatürlich

hohen Preise, z. B. für Buttersäure, welche die technische Verwendung hindern.

Erstaunlich ist es mir, dass das Gebiet der höheren Alkohole, so weit mir bekannt, Seitens der Chemie noch nicht angeschnitten ist. Früher wusste man nicht, was man mit dem Fuselöl machen sollte; heute sind die Gährungen so rein, dass nur wenig Fuselöl bei der Gährung gebildet wird, und es herrscht Mangel an höheren Alkoholen. Es giebt Spaltpilze genug, welche für solche Zwecke industriell verwendet werden könnten. Die chemische Industrie sollte sich dieses Arbeitsmittels nicht entschlagen und die bereiten und vorhandenen bakteriologischen Kräfte auszunützen verstehen.

Aber auch die peptischen Enzyme, welche die Mikroorganismen hervorbringen, sollten ein grösseres Verwendungsgebiet erlangen. Ein Anfang ist gemacht durch die Fabrikation der Hefenextracte, welche bestimmt sind, den Fleischextract zu verdrängen.

Ich habe das Gefühl erwecken wollen, dass hier ein grosses neues Arbeitsgebiet für die chemische Industrie aufzuschliessen wäre; aber es sollte sich diese Industrie nicht beschränken auf die Herstellung der Umsatzstoffe, welche diese Mikroorganismen hervorbringen, sondern sie sollte die Darstellung der Enzyme selbst sich zur Aufgabe machen. Das ist ja in gewissem Grade auch schon der Fall. Die Diastase wird in chemischen Fabriken hergestellt, das Pepsin wird gewonnen. Ein neues Ergebniss ist die Herstellung der Zymase; denn die Buchner-sche Trockenhefe, Ätherhefe, die mit Äther niedergeschlagen wird, sie ist nichts Anderes als eine Form, die zymatische Kraft der Hefe auf die Dauer zu erhalten.

Der Vorwurf, dass die chemische Industrie sich diese Kräfte zu wenig dienstbar gemacht habe, ist nach einer Richtung ungerecht, denn in Wirklichkeit ist eines der wichtigsten und bedeutungsvollsten Gebiete mit grosstem Erfolge Seitens der Chemiker in Angriff genommen worden, und zwar die Herstellung von Enzymen, denn die Serum-industrie ist schliesslich, wie ich annehmen zu können glaube, nichts weiter wie eine Enzymindustrie. Wir können wohl nicht feststellen, dass die Frage der Bildung der Toxine, der Entstehung der Antitoxine gelöst sei, für mich aber und vom Standpunkte der Gährungstechnik ist diejenige Theorie, welche annimmt, dass wir es wenigstens bei einem grossen Theil der Toxine und Antitoxine mit Enzymen zu thun haben, die wahrscheinlichste. Die Vielgestaltigkeit der Antitoxine braucht uns dabei nicht zu erschrecken, denn genau dieselbe Vielgestaltigkeit haben

wir bei den Enzymen der verschiedenen Pilze, z. B. bei den Diastasen. Wenn wir die Verschiedenartigkeit der Peptasen und Pepsine noch nicht kennen, so beruht das einfach darauf, dass dieses Arbeitsgebiet überhaupt soeben erst angeschnitten wurde.

Ich meine nun, wenn wir wissen, dass die Mikroorganismen, wie die Hefe, auf Reizung, auf einen Angriff durch einen anderen Pilz mit der Entwicklung enzymatischer Kräfte antworten, wenn diese enzymatischen Kräfte nicht nur Spaltarbeit verrichten unter Erzeugung von Kampfstoffen, dann ist der Schritt nicht weit, auch unter den lediglich auflösenden Enzymen nach Kampfenzymen zu suchen.

Die Wirkung der Lysine, dieser bei gewissen Impfungen entstehenden Antitoxine beruht darauf, dass sie im Stande sind, einen feindlichen Organismus, und zwar einen bestimmten, und nur diesen bestimmten, aufzulösen und dadurch zu vernichten.

Die Erscheinung der Selbstverdauung der Hefe scheint hier Aufschlüsse zu geben, da haben wir eine Andeutung, wie diese Antitoxine entstehen, und gelangen endlich zu dem weiteren Schluss, dass Antitoxine zu Autotoxinen werden, so dass der Organismus sich selbst zerstört. Nichts interessanter, als diese Selbstzerstörung bei der Hefe zu verfolgen. Sobald die Hefe in Ruhezustand befindlich auf eine wärmere Temperatur gebracht wird, dann erwachen bei der wärmeren Temperatur die Lebensbedürfnisse. Da aber die Hefe sich nicht in einem Nährmittel befindet, so entsteht ein Hungerzustand. Der Hungerzustand hat den Effect, dass alle enzymatischen Kräfte zum Leben erweckt werden; die Diastase fängt an zu arbeiten und löst das Glykogen auf; die Peptase fängt an zu arbeiten und löst die als Reservestoffe niedergelegten Eiweissstoffe auf. Sobald diese verbraucht sind, wendet sich das Enzym an ein anderes Object seiner Thätigkeit; es entsteht — so stelle ich es mir vor — ein Kampf der Enzyme mit einander; die Peptase ist aber unter gewissen Temperaturverhältnissen die stärkere, und die Peptase zerstört die Zymase. Ist auch dieses Arbeitsgebiet erledigt, dann wendet sich dieser Arbeitssclave gegen den eigenen Herrn, und die Peptase, indem sie den Zellkern angreift, tödtet sie auflösend die sie selbst erzeugende Zelle.

So können wir diese Frage hinüberspielen lassen auf das allgemeine biologische Gebiet, können feststellen, dass jede Zelle — und ich nehme an, dass das nicht bloss bei den Mikroorganismen der Fall ist, dass vielmehr die Zellen höherer Pflanzen und Thiere sich

ebenso verhalten — dass in jeder Zelle dieselbe Kraft, die beste Kraft es ist, die Kraft, welche die Nahrung bereitet, die Um- schaffung der Nahrungsmittel in verdauliche Form bewirkt, dass — sage ich — diese Kraft schliesslich die Ursache des Todes wird. Das Gleichgewicht des Lebens wird gestört, wenn durch Eingriffe irgend welcher Art die Bildung und Rückbildung der Enzyme nicht mehr dem Bedürfniss angepasst wird. Es giebt nun keine feinere Einstellung der Lebensvorgänge als die auf eine bestimmte Temperatur; diese Normaltemperatur abgeändert — geht das Gleichgewicht verloren und ungeregelt werden die Lebensenzyme zu Autotoxinen. So lange die Enzyme geregelt producirt werden, nur so weit als sie notwendig sind, ist der Organismus der Gebietende; in dem Moment, wo diese Regelung aufhört, werden sie zur Ursache des Todes. Viele Erscheinungen, bei denen wir einen Infectionspilz als Ursache des Todes angesehen haben, werden wir der neuen Auffassung einordnen müssen. Noch klarer wird das Bild, wenn wir der synthetischen Arbeit der Pilze noch mehr unser Interesse zuwenden.

Ich schilderte Ihnen, wie der Abbau sich in der Zelle vollzieht, das niedergelegte Glykogen wieder aufgelöst und der Zelle zur Verfügung gestellt wird; ebenso wahrscheinlich mit den Eiweissstoffen. Aber dieser Abbau vollzieht sich, indem gleichzeitig in derselben Zelle auch beobachtet wird neuer Ansatz von Stoffen. Ebenso bei keimendem Getreide, ebenso in den Mikroorganismen: an derselben Stelle können neben einander analytische und synthetische Thätigkeiten beobachtet werden. Bei keimendem Getreide z. B. wird der schon gebildete Invertzucker revertirt, wird in Stärkemehl oder Rohrzucker zurück verwandelt. Wir sind auf der Suche nach diesen Revisionen, aber wir sind erst am Anfang der Forschung. Das aber haben Hill und Emmerling schon gezeigt, dass in der That die Hefepilze revertirende Kräfte in sich haben, welche vollständig vom Leben losgelöst werden können und daher zu den Enzymen zu rechnen sind. In dem Moment, wo wir die revertirenden Enzyme kennen, können wir uns neugierig, zaghafte Schritte in der That den Fragen der organischen Synthese durch das Leben nähern. Nicht mit Unrecht ist ausgesprochen worden, dass vielleicht dieselben Kräfte es sind, dieselben Enzyme, deren Spaltarbeit wir kennen, die unter gewissen physikalischen und chemischen Verhältnissen zur Synthese übergehen. Die Enzymforschung im Anschluss an die Er-

forschung der Mikroorganismen hat in den letzten zwanzig Jahren kaum erwartete Erfolge aufzuweisen, und doch sind wir wohl erst am Anfang der Erkenntniss. Ich glaube aber aussprechen zu dürfen, dass die chemische Industrie sich hier und da von der Retorte frei machen sollte, um von der grossartigen Kraft, die in den Enzymen ihr zur Verfügung steht, mehr Gebrauch zu machen wie bisher.

Ueber die Energiedichte des Thermits und einige neue technische Anwendungen der Aluminothermie.

Von Dr. Hans Goldschmidt.

Ostwald bezeichnete auf der Hauptversammlung der deutschen elektro-chemischen Gesellschaft im Jahre 1898 in Leipzig das aluminothermische Verfahren, das ich dort zum ersten Male im Anfangsstadium, mit einigen Experimenten verbunden, vortrug, als „einen Hochofen und Schmiedefeuer in der Westentasche“ und hat damit in witziger Weise sehr treffend das Wesentliche dieser Erfindung gekennzeichnet, d. h. die grosse Energiedichte, die damit in so einfacher Weise zu erreichen ist.

Heute sei es mir gestattet, diesem Aus- spruch eine zahlenmässige Grundlage zu geben, die natürlich nur eine annähernde sein kann. Um einen Anhalt zu gewinnen, mögen zunächst die Verbrennungswärmen einer Anzahl von Elementen (für je 1 kg) mit Sauer- stoff zum Vergleich mit der des Aluminiums hier aufgeführt werden.

Die Zahlen sind den Tabellen von Landolt und Börnstein (II. Auflage 1894) entnommen. Leider fehlt hier gerade die Angabe über Aluminium. Diese Zahl verdanke ich Herrn Dr. Strauss, Chef des physikalischen Laborato- riums der Firma Friedrich Krupp in Essen.

H zu H_2O . . .	34 553	(Joule)
C zu CO_2 . . .	7 859	(Berth und Pet.)
Al zu Al_2O_3 . . .	7 140	(Strauss) ¹⁾
Mg zu MgO . . .	6 010	(Rogers)
P zu P_2O_5 . . .	5 747	(Andrews)
Na zu Na_2O . . .	3 293	(Woods)
Ca zu CaO . . .	3 284	(Thomsen)
S zu SO_3 . . .	2 165,6	(Berthelot)
As zu As_2O_5 . . .	1 462,5	(Thomsen)
Fe zu FeO . . .	1 352,6	(Favre & Silbermann)
Zn zu ZnO . . .	1 291,3	(dies.)
Cu zu CuO . . .	593,6	(Joule)
Sn zu SnO . . .	573,6	(Andrews)
Pb zu PbO . . .	243,0	(Thomsen)
Bi zu Bi_2O_5 . . .	95,5	(Woods)
Ag zu Ag_2O . . .	27,31	(Thomsen)

¹⁾ In Ferd. Fischer, Handbuch der chemischen Technologie 1900, (4. bez. 15. Auflage) S. 343 ist die Bildungswärme von Al_2O_3 mit 3920 angegeben, dies entspricht für 1 kg Aluminium 7 259.