©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Vom Werden und Vergehen organischer Körper.

Von Professor Dr. W. Küster.

Antrittsvorlesung an der K. Techn. Hochschule zu Stuttgart am 26. Januar 1915.

Die Untersuchungen von Lavoisier hatten gelehrt, daß alle Substanzen vegetabilischer oder animalischer Abstammung Kohlenstoff enthalten, alle späteren Analysen hatten diese Erfahrung bestätigt, aber erst August Kekulé wagte es, die organische Chemie als die Chemie des Kohlenstoffs zu definieren.

Von dieser Definition abzuweichen haben wir keinen Grund, ziehen vielmehr mit H. Kolbe den Schluß, daß die ganze Welt der organischen Verbindungen sich von einem gemeinsamen Urkörper, der Kohlensäure, ableiten lassen muß und erblicken den Ursprung in dem großartigsten Prozeß, der sich auf Erden, und zwar in den grünen Teilen unserer Pflanzen, abspielt und den als „Assimilation" zu bezeichnen wir uns gewöhnt haben.

Er ist auch für die Menschheit von allergrößter Bedeutung nicht nur im materiellen Sinne, insofern er die für die Ernährung der Menschen notwendigen Stoffe liefert, die Kenntnis seines Wesens, also seines Chemismus, bedeutet auch eine so handgreifliche Vermehrung unseres geistigen Besitztums und birgt eine solche Machterweiterung über das Geschehen auf Erden in sich, daß wir die uns hier gewordene Aufklärung füglich zu den schönsten Errungenschaften des schaffenden Menschengeistes rechnen dürfen. Und wer nun die langsame Entwicklung der Dinge an der Hand der Geschichte begreifen gelernt hat, wird sich nicht wundern, daß die Aufklärung des Chemismus der Vorgänge bei der Assimilation erst in langen Jahren herbeigeführt wurde. Selbstverständlich fußten auch diese Arbeiten auf dem Erkennen früherer Jahrhunderte und dann namentlich auf den rasch aufeinanderfolgenden Entdeckungen im Gebiete der einfachen Gase und ihres chemischen Verhaltens, die uns in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts und im Anfang des 19. geworden ist.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Schon die Aufstellung des Begriffes und die Bildung des Namens „Gas“ durch von Helmont um 1600, ist hier rühmend zu erwähnen, wennschon dieser Forscher mehr den bei einer Gärung sichtbar werdenden Schaum vor Augen gehabt zu haben scheint, und zwar die Kohlensäure bereits dargestellt, aber sie noch mit anderen Gasen verwechselt hat. Die wichtige Erkenntnis, daß es luftartige Körper gibt, die sich grundsätzlich, also chemisch von der atmosphärischen Luft unterscheiden, verdanken wir Black, der 1755 die Kohlensäure als ein eigenartiges Gas, als ein chemisches Individuum charakterisierte, und dieser bahnbrechenden Entdeckung ist dann innerhalb 20 Jahren die des Wasserstoffs durch Cavendish, des Stickstoffs durch Rutherford, des Sauerstoffs durch Priestley und Scheele gefolgt.

Der Fortschritt, der durch diese letzteren Entdeckungen gemacht wurde, liegt nun aber einerseits darin, daß drei für unsere Sinne nicht unterscheidbare, weil farb-, geruch- und geschmacklose Gase als verschieden erkannt wurden und damit ein neuer Anstoß gegeben wurde, unsere sinnlichen Wahrnehmungen durch chemische Versuche zu unterstützen und zu verschärfen, andererseits in der Erkenntnis von der Natur der Luft, die seit 1775 als ein Gemisch betrachtet wurde, das sich dann bei quantitativen Untersuchungen überall auf Erden fast in konstanten Verhältnissen aus Stickstoff, Sauerstoff und Kohlensäure zusammengesetzt erwies, und in der Erkenntnis von der zusammengesetzten Natur des Wassers. Letztere wurde 1784, 18 Jahre nach der Entdeckung des Wasserstoffs von Lavoisier qualitativ, und wieder 21 Jahre später quantitativ durch Gay-Lussac und Humboldt im Sinne unserer heutigen Formulierung als H_2O festgelegt.

Die Analyse der Luft ist bis auf die Neuzeit Gegenstand fortgesetzter Untersuchungen gewesen, und diese stille Eroberung der Luft hat uns ja nicht nur die Bekanntschaft mit den sogenannten Edelgasen verschafft, die für das Leben auf Erden bis jetzt wenigstens ohne Bedeutung erscheinen, sie hat auch zur Verwertung nicht nur des Sauerstoffs, sondern auch des spröden Stickstoffs geführt und damit Erfolge erzielt, deren Großartigkeit für die Menschheit sich noch gar nicht absehen läßt.

Mit der Kenntnis des Sauerstoffs, der zusammengesetzten Natur der Kohlensäure als Hydrat des Kohlendioxyds und ihres Vorkommens in der Atmosphäre und mit der Kenntnis der zusammengesetzten Natur des Wassers waren aber auch erst die Faktoren geschaffen, die einen Einblick in das Wesen der Assimilation gestatteten.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Nun wurde die Beobachtung Priestley's, daß ein grünes belichtetes Blatt verdorbene Luft wieder atembar mache, von Bedeutung, und Jngenhousz konnte zeigen, daß es sich hierbei um die Entwicklung von Sauerstoff, Senebier, daß es sich um das Verschwinden von Kohlendioxyd handle. Es folgte die Festlegung einer Gewichtszunahme bei diesem Prozess durch Saussure (um 1800), womit bereits die Vermehrung der organischen Substanz in der Pflanze auf Kosten des Kohlendioxyds im Prinzip nachgewiesen war, freilich ohne Anerkennung zu finden. Und auch über die Natur der gebildeten Substanz hätten bereits die Versuche von Boussingault (1802) Aufschluß geben können, der feststellte, daß dem Volumen nach ebensoviel Sauerstoff auftritt wie Kohlendioxyd verschwindet. Zum wenigsten wäre das — vom heutigen Standpunkt aus betrachtet — möglich gewesen unter Anwendung der 1811 aufgestellten bekannten Hypothese Avogadros und unter Verwertung der Erkenntnis, daß sich das Wasser als notwendiges Ingrediens beim Assimilationsprozess erweist. Denn damit waren in der Tat alle Substanzen bekannt, die an dem Prozess teilnahmen, und zwar auch ihrer Menge nach, und man hätte also den Vorgang formulieren können.

Indessen hatten die Chemiker die Wichtigkeit der Assimilation noch nicht erfaßt, Physiologen machten keine chemischen Versuche und die Botaniker unterschieden einmal noch nicht scharf zwischen Assimilation und Atmung und dann sahen sie im Gegensatz zu den Beobachtungen von Saussure den sogen. Humus als Quelle für die Vermehrung der organischen Substanz an. Es bedurfte des Eingreifens von Justus Liebig, um dem Assimilationsprozess die gebührende Stellung anzuweisen.

Lassen Sie mich mit den eigenen Worten Liebig's aus dem Jahre 1842 schildern, welches Verdienst er sich auch hier wieder erworben hat:

„In meiner Agrikulturchemie habe ich versucht, in ein dunkles Zimmer ganz einfach ein Licht zu stellen. Alle Möbel waren darin vorhanden, auch Werkzeuge und Gegenstände der Bequemlichkeit und des Vergnügens; aber alle diese Gegenstände waren für die Gesellschaft, die dieses Zimmer zu ihrem Nutzen und Vorteil gebrauchte, nicht klar und deutlich sichtbar. Tappend und aufs Geradewohl fand der eine einen Stuhl, der andere einen Tisch, der dritte ein Bett, in denen er es sich so behaglich wie möglich machte, allein die Harmonie der Einrichtung und ihr Zusammenhang war für die meisten Augen verborgen. Nachdem nun jeder Gegenstand

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

einen Teil von dem wenn auch schwachen Lichte empfangen hatte, so schreien nun viele, daß das Licht in dem Zimmer nichts Wesentliches geändert habe, der eine hatte dies, der andere jenes schon gekannt und benutzt, zusammen hatten alle das Vorhandene schon gefühlt und betastet. Die Chemie, dieses Licht der Erkenntnis, wird aber ohne Nachteil aus diesem Raume nicht mehr entfernt werden können. Der Zweck ist vollständig erreicht."

Bevor sich aber die Chemiker ernstlich mit der Assimilation beschäftigten, wurde durch den Botaniker Hugo v. Mohl in Tübingen 1864 der Nachweis erbracht, der von Cramer und Nägeli, sowie von J. Sachs alsbald bestätigt wurde, daß die Stärke als erstes sichtbares Produkt der Assimilation in den Chloroplasten der Blätter erscheint und damit auch die Klasse der organischen Verbindungen gekennzeichnet, die der Assimilation ihr Dasein verdanken. Denn die Stärke war ja seit Jahrhunderten bekannt und seit 1844 in die Klasse der Kohlenhydrate eingereiht worden, welcher Name damals im Laboratorium Liebig's gebildet wurde, um die mit der Stärke chemisch zusammengehörigen Körper, also auch die bekannten Zuckerarten (Trauben-, Frucht-, Rohr-, Milchzucker) zusammenzufassen.

Wenn nun alle bisher bei der Assimilation gemachten Beobachtungen richtig waren, so stand zu erwarten, daß die neue Beobachtung sich den alten anpassen würde. Und das war in der Tat der Fall: das Auftreten von Kohlenhydraten ergänzte die rechte Seite der Assimilationsgleichung aufs glücklichste, deren linke Seite, wie erwähnt, nebst dem einen Stück der rechten, von früheren Forschern bereits aufgefunden worden war. Wenn Wasser und Kohlendioxyd die Ingredienzien waren und sich ebensoviele cc O_2 entwickelten als cc CO_2 verschwanden, mußte das fehlende Stück ein Körper sein, der gewissermaßen mit Wasser imbibierten Kohlenstoff vorstellte, d. h. einen Körper, der wie die Kohlenhydrate aus C und den Elementen des Wassers besteht.

Aber noch fehlte etwas in der Gleichung, auch nachdem alle beteiligten Stoffe bekannt geworden waren: der sicheren Beobachtung, wonach das Sonnenlicht einen Einfluß auf die Assimilation hat, war noch keine Rechnung getragen. Erst die Verwertung der uns von R. Mayer geschaffenen Erkenntnis von der Erhaltung der Energie und die Einbeziehung der chemischen Energie in die Arten der letzteren brachte auch hier weitere Aufklärung. Im Kohlendioxyd und im Wasser haben wir Endprodukte der Oxydation des C resp. des H vor uns, die chemische Energie nicht mehr enthalten, die

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Kohlenhydrate aber können wir mit Sauerstoff verbinden, und bei dieser Oxydation oder der Verbrennung erübrigen wir Energie als Wärme. Gerade ebensoviel Energie mußte bei ihrer Bildung in sie hineingearbeitet worden sein, und da zu dieser Bildung das Sonnenlicht sich als durchaus notwendig erwiesen hatte, mußte es die uns von der Sonne kommende strahlende Energie sein, die hier verwertet wird.

Der Chemiker nennt nun einen Prozeß, bei dem O entzogen wird, eine Reduktion, und wir wissen jetzt, daß für solche Reduktionen ein Aufwand von Energie nötig ist. Es ist ferner an zahlreichen Beispielen gezeigt worden, daß im Leben der Pflanze wie des Tieres dieser Aufwand gedeckt wird dadurch, daß nicht freier Sauerstoff entsteht, sondern daß entweder ein Teil des zu reduzierenden Stoffes oder ein anderer Stoff gleichzeitig durch diesen Sauerstoff oxydiert wird, wodurch also ebensoviel Energie entsteht, als durch die Reduktion verbraucht wird. Der Assimilationsprozeß nimmt also eine Ausnahmestelle ein, indem sich hier freier Sauerstoff entwickelt und die dem Prozeß von außen zufließende Energie restlos als chemische Energie aufgespeichert wird. Wie bekannt, machen wir von dieser Energie den ausgedehntesten Gebrauch. Tierisches und menschliches Leben wäre auf Erden nicht möglich ohne die Assimilation, denn bis jetzt wenigstens ist nichts darüber bekannt, daß ein Mensch die Sonnenenergie direkt ausnützen kann, und dann liefert ja die Assimilation uns auch den zum Leben nötigen Sauerstoff, worauf ich noch zurückkomme.

Auch die Technik nützt die Schätze aus, die uns die Assimilation liefert, nicht nur durch Herausarbeiten der nützlichen Kohlenhydrate, wie Stärke und Rohrzucker aus den pflanzlichen Rohmaterialien, sondern auch dadurch, daß sie die Naturprodukte veredelt oder sie in andere Stoffe umwandelt, die wir zu gebrauchen uns gewöhnt haben. Ich erinnere an das geduldige Papier, die Kunstseide und die unentbehrliche Schießbaumwolle.

Für die Chemiker stellte aber der Assimilationsprozeß immer noch ein Rätsel vor, insofern der Übergang eines Körpers wie das Kohlendioxyd, der in seiner Molekel nur ein Kohlenstoffatom enthält, in einen Stoff, wie die Stärke, in dem vielleicht Hunderte von Kohlenstoffatomen an einem Molekül zusammengetreten sind, nicht erklärbar erschien. Und — was man nicht definieren kann, sieht als physiologische Chemie man an — schon war mit der Möglichkeit zu rechnen, daß sich das Interesse der Chemiker vom Assimilations-

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

prozeß abwandte, als eine Reihe von Beobachtungen, auf rein chemischem Gebiet gemacht, in ihrer Zusammenfassung zur glücklichen Vermittlerin wurde.

Von Liebig war eine neue Klasse organischer Verbindungen, von ihm Aldehyde genannt, in Gestalt eines Vertreters, des sogen. Acetaldehyds, aufgefunden worden. Ihre enorme Reaktionsfähigkeit wurde erkannt, von Wurtz die Fähigkeit ihrer „Kondensation" erkannt, d. h. das Zusammentreten zweier einfachen Moleküle zu einem doppelt so schweren aufgefunden, der einfachste Vertreter dieser Klasse stellte sich ein und damit ein Körper, der seiner Formel nach mit Wasser imbibierter Kohlenstoff war, und alsbald stellte A. Baeyer 1870 die Hypothese auf, als erstes Produkt der Assimilation möchte dieser Körper, der sogen. Formaldehyd, auftreten, der durch innere Kondensation die Zucker und schließlich unter Austritt von Wasser die Stärke liefern konnte.

Eine Hochflut chemischer Arbeiten ist dieser Hypothese gefolgt, welche bezweckten, die Möglichkeit des Übergangs von Formaldehyd in Zuckerarten experimentell darzutun. Das Resultat kann als ein positives bezeichnet werden, wenn es auch nur auf großem Umwege gelungen ist, gerade die natürlich vorkommenden Zucker zu erzeugen. Von praktischer Bedeutung sind diese Synthesen nicht geworden, wohl aber haben sie zu einer wohlfeilen Art der Herstellung des Formaldehyds geführt, dessen Verwendung zur Herstellung von Farbstoffen und Heilmitteln als geradezu unerschöpflich bezeichnet werden kann.

Vom rein chemischen Standpunkt aus betrachtet bietet die Formaldehydhypothese eine befriedigende Erklärung für die Assimilation des Kohlendioxyds und die Entstehung der Kohlenhydrate. Die Physiologen aber machten geltend, daß ein so starkes Gift wie der Formaldehyd unmöglich als ein normales Produkt in der Pflanze entstehen könne, ohne ihr Schädigungen zuzufügen, ein Einwand, der zunächst auch durch experimentelle Verfolgung der Wirkung von Formaldehydlösungen erhärtet erschien. Neuerdings haben sich allerdings Ausnahmen ergeben, bei denen eine schädigende Wirkung durch Formaldehyd nicht festgestellt werden konnte, und vor allem wurde darauf hingewiesen, daß die Kondensation des Formaldehyds oder, wie letzthin behauptet wurde, des Oxymethylens, zu größeren Molekülen sofort beim Entstehen erfolgen muß. In der Tat muß sich das empirisch dem Formaldehyd gleich zusammengesetzte, aber in der Atomgruppierung sich vom Formaldehyd unterscheidende

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Oxymethylen in Analogie mit seiner Muttersubstanz, dem Methylen, die sich noch stets kondensiert hat, ehe man ihrer habhaft werden konnte, und deshalb als nicht existenzfähig angesehen wird, sofort beim Entstehen umwandeln, so daß die kleine Modifikation der Baeyer'schen Hypothese uns zu einer noch befriedigenderen Auffassung der Vorgänge bei der Assimilation gelangen läßt. Aber es ist endlich vor zwei Jahren auch der schon immer geforderte direkte Nachweis vom Vorhandensein des Formaldehyds neben zahlreichen anderen Stoffen bei Verarbeitung sehr großer Mengen von Blättern der Hainbuche gelungen. Fassen wir also alle Resultate zusammen und nehmen wir das in vielen Pflanzenfamilien sicher nachgewiesene Vorkommen von Blausäure hinzu, also eines nicht minder starken Giftes, das auch sofort beim Entstehen unschädlich gemacht wird dadurch, daß es chemisch von Zuckern gebunden wird, in welcher Form wir die Blausäure tatsächlich antreffen, so dürfen wir sagen, daß der Assimilationsprozeß des Kohlendioxyds wenigstens in der Hauptsache eine uns befriedigende Erklärung gefunden hat. Doch muß erwähnt werden, daß noch immer zahlreiche Forscher bei der Arbeit sind, die mit anderen Reduktionsprodukten des Kohlendioxyds als primäre Produkte der Assimilation rechnen, denn diesen Prozeß im Glase zu erzielen, ist noch nicht gelungen. Es ist in dieser Beziehung nur einmal behauptet worden, daß aus Kohlendioxyd und Wasser Formaldehyd zu erhalten sei durch Sonnenlicht unter Mitwirkung anorganischer Kolloide, und zwar des Urani- resp. des Ferrioxyds.

Wir kennen also die Bedingungen noch nicht völlig, unter denen sich die Assimilation vollzieht, denn mit der Kenntnis der Bedingungen, sagt Liebig, ist die Arbeit getan. Eine der Bedingungen, die für die Assimilation notwendig sind, haben wir bis jetzt auch noch nicht erwähnt, ganz abgesehen von den wirksamen Strahlen und den Temperaturgrenzen, auf deren Rolle ich nicht näher eingehen will. Der Prozeß der Assimilation kann sich aber nicht vollziehen, wenn der grüne Farbstoff der Blätter nicht vorhanden ist, das Chlorophyll. Was dessen Rolle betrifft, so darf an eine aktive Beteiligung chemischer Art gedacht werden, nachdem Untersuchungen der neuesten Zeit uns einen Einblick in die chemische Natur des Chlorophylls verschafft haben. Danach ist das Chlorophyll ein organischer Körper von basischer Natur, der als integrierenden Bestandteil Magnesium enthält. Es kann demnach keinem Zweifel unterliegen, daß er imstande ist, Kohlensäure chemisch zu binden, was

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

durch die kolloide Verteilung des Chlorophylls im Blattgewebe, also durch die Entwicklung einer großen Oberfläche begünstigt werden muß. Ist die Bindung des Kohlendioxyds aber erfolgt, so wird auch die chemische Umwandlung leichter eintreten können, denn das Gas wird ja jetzt festgehalten und kann sich den reduzierend wirkenden Einflüssen nicht mehr entziehen. Leider herrscht über den Chemismus dieser Reduktion noch völliges Dunkel, denn wenn wir auch bereits wissen, daß es zwei Chlorophylle gibt, von denen das eine sauerstoffreicher ist als das andere, so fehlen doch vorerst noch Anhaltspunkte dafür, daß das sauerstoffärmere durch Reduktion aus dem ersteren entstanden ist, daß es zur Abgabe von Formaldehyd befähigt ist und durch Aufnahme von Kohlendioxyd wieder in das erste Chlorophyll übergeht. Doch steht zu hoffen, daß wir mit der fortschreitenden Erkenntnis der chemischen Konstitution der Chlorophylle den Schlüssel zu dem Tor finden werden, das aus dem Dunkel ins Helle führt. Und es steht auch zu hoffen, daß — wenn wir auch den Assimilationsprozeß so bald nicht werden nachmachen können, da er an das Leben der Pflanze gebunden ist, — daß wir Mittel und Wege finden werden, ihn zu fördern und damit eine weitere Quelle für die Erzielung noch größerer Schätze an Kohlenhydraten auffinden werden, die der Erhaltung des Menschengeschlechtes zugute kommen werden. In dieser Hinsicht wäre noch zu erwähnen, daß man an eine Düngung mit Kohlendioxyd bereits gedacht hat und daß man der Düngung durch Magnesiumsalze erhöhte Aufmerksamkeit zuwendet, seitdem der Magnesiumgehalt des Chlorophylls als ein zum Wesen dieses Farbstoffs gehöriger erkannt worden ist.

Aus unseren Betrachtungen, die sich ja auf Beobachtungen und Untersuchungen sowohl, wie auf die chemische Natur der Ingredienzien des Assimilationsprozesses, des Kohlendioxyds und des Wassers, stützen, folgt, daß die aus Kohlen-, Wasser- und Sauerstoff allein aufgebauten organischen Körper die primären Produkte der Assimilation sind. Die Kohlenhydrate sind die ersten Kinder der Sonne, und ihre Eigenschaft, den polarisierten Lichtstrahl zu drehen, dürfte vielleicht auf die Mitwirkung des Sonnenlichts bei ihrem Entstehen zurückzuführen sein. So folgern wir, daß alle anderen organischen Stoffe sekundärer Natur sind und daß sie sich aus den Kohlenhydraten entweder durch Umwandlung oder mit Hilfe anderer Stoffe gebildet haben.

Durch eine Umwandlung, die sich chemisch durch eigenartig verlaufenden Austritt von Wasser charakterisiert, also durch einen

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

physiologisch wohlbegründeten Vorgang, dürften die an Wasserstoff und Sauerstoff armen, kohlenstoffreichen Verbindungen entstanden sein, die wir weit verbreitet im Pflanzenreiche antreffen. Sie wurden früher wohl auch als sogen. aromatische Verbindungen bezeichnet und als theoretische Stammsubstanz wird das Benzol betrachtet. Schon ein Kohlenhydrat, der Muskelzucker oder Inosit, ist ein Derivat des Benzols, die Blütenfarbstoffe leiten sich von ihm ab und namentlich weit verbreitet sind die hierher gehörigen Gerbstoffe, die ja auch im größeren Maßstabe Verwendung finden. Enthalten nun auch die letzteren außer den sechs Kohlenstoffatomen, die bereits den eigentlichen Zuckerarten eigentümlich sind, ein siebentes, auf dessen Herkunft wir noch zurückkommen, so treten sie doch, wie so viele organische Verbindungen, in der Natur mit dem Traubenzucker verbunden auf, was auf genetische Beziehungen zwischen letzterem und den Gerbstoffen hinweist. Es würde mich zu weit führen, die chemisch in der Tat denkbaren Beziehungen zwischen Zuckern und anderen Klassen organischer Verbindungen zu entwickeln, auch wäre solch Vorhaben nur mit Zuhilfenahme unserer chemischen Formelbilder ausführbar. Ich will nur erwähnen, daß solche Beziehungen selbst zwischen den Zuckern und den sogen. ätherischen Ölen angenommen werden, deren Verwendbarkeit als Wohlgerüche eine blühende Industrie ins Leben gerufen hat.

Mit Hilfe anderer Stoffe aber müssen die stickstoff-, schwefel- und phosphorhaltigen organischen Körper aus den Kohlenhydraten hervorgegangen sein, und das gilt auch für die Aufnahme der sogen. Aschenbestandteile, also der Metalle Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium und Eisen, um die wichtigsten der physiologisch wichtigen Metalle namhaft zu machen, die also im Leben auf Erden eine Rolle spielen. Die Aufklärung der Assimilation im erweiterten Sinne, also das Entstehen von stickstoff-, schwefel-, phosphorhaltigen organischen Substanzen ist nun auch in der Neuzeit Gegenstand intensiver Forschung geworden, bisher insofern ohne durchschlagenden Erfolg, als wir über den Chemismus der hier sich abspielenden Prozesse noch nicht ein abschließendes Resultat zu verzeichnen haben.

Was zunächst den Stickstoff betrifft, der ja einen wesentlichen Bestandteil gerade der in der lebenden Substanz stets sich vorfindenden Eiweißarten auch der Menge nach ausmacht — er beträgt rund ein Sechstel des Eiweißmoleküls —, so wissen wir jetzt, daß eine ganze Anzahl nieder entwickelter Pflanzen die wertvolle Fähigkeit besitzt, den elementaren Stickstoff zum Aufbau der Leibes-

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

substanz unter geeigneten Bedingungen zu verwerten. Wie das geschieht, wie also der Stickstoff dem Kohlenhydratmolekül eingefügt wird, ist nicht geklärt. Wir können nur sagen, daß auch hier ein Reduktionsprozeß einsetzen muß, da ja das Eiweiß in bezug auf den Stickstoff ein Ammoniakderivat ist und zum Übergang von Stickstoff in Ammoniak eine Aufnahme von Wasserstoff, also eine chemische Reduktion, eintreten muß. Aber jedenfalls ist uns durch Hellriegel's Entdeckung bewußt geworden, warum ein Unterpflügen von Lupinen, in deren Gemeinschaft eine Anzahl der elementaren Stickstoff assimilierenden Pilze ihr Fortkommen finden, für den Boden von Wert ist, und insofern wenigstens wissen wir mehr als die alten Römer, welche diese Art des Düngens auch schon ausübten, aber lediglich auf Grund empirischer Erfahrung. Ob auch einigen Heferassen die Fähigkeit zukommt, elementaren Stickstoff verwerten zu können, ist nach neueren Untersuchungen leider wieder fraglich geworden. Es wäre sonst eine der wichtigsten Existenzfragen für die Menschheit, die Nutzbarmachung der unendlich großen Vorräte an Stickstoff, der einerseits nur mit großem Aufwand an Kraft in eine chemische Verbindung übergeführt werden kann, andererseits, wie wir sahen, ein Sechstel der lebenden Substanz ausmacht und bei der Verbrennung der letzteren in elementarer Gestalt wieder in die Atmosphäre zurückkehrt, auf einfachstem Wege gelöst. Können wir doch Hefen in größtem Maßstabe züchten! So ist denn auch bereits vom Leiter des Instituts für Gärungszwecke berechnet worden, daß die jetzt schon im Laufe eines Jahres gewonnene Hefe in bezug auf ihren Stickstoffgehalt 700 000 Stück Großvieh gleichkommt, die also gespart werden könnten, wenn wir uns entschließen würden, Hefe statt Rindfleisch zu genießen. Und es wird auch bereits Hefe in uns wohlschmeckender und bekömmlicher Form auf den Markt gebracht. Jedenfalls können wir Hefen, was den Stickstoff betrifft, mit Ammoniumsalzen ernähren, wofür sie uns insofern danken, als dann unter den Produkten ihrer Tätigkeit die uns so lästigen Fuselöle fehlen, und das Ammoniak kann ja nicht nur aus den Steinkohlen, sondern auch direkt aus den Elementen gewonnen werden. In dieser Hinsicht schließen sich also die Hefen den höheren Pflanzen an, denen ja bekanntlich Ammonsalze als Düngung zugeführt werden. Und die Bildung stickstoffhaltiger Stoffe aus stickstofffreien mit Hilfe von Ammoniak, z. B. gerade aus Kohlenhydraten, ist sogar im Laboratorium möglich und wird oft verwendet. Allerdings die Herstellung der sogen. Aminosäuren, das sind die Bausteine des Eiweiß, aus Kohlenhydraten

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

und Ammoniak ist uns noch nicht gelungen, muß aber als chemisch möglich zugegeben werden. Es gehört dazu die Ersetzung von Wasser durch Ammoniak und eine Zuführung von Sauerstoff. Vielleicht spielt gerade diese Oxydation, die wir noch nicht nachmachen können, im Leben der Pflanze insofern eine Rolle, als sie das notwendige Gegenstück ist zu den vielen Reduktionen, die bei den Umsetzungen während des Lebens auftreten.

Viel schwieriger ist der Einblick in die Prozesse, welche für die Aufnahme des Stickstoffs und die Eiweißbildung aus salpeter- oder salpetrigsauren Salzen, in denen Stickstoff mit Sauerstoff verbunden ist, maßgebend sind. Wir wissen nur, daß es möglich ist, unseren Kulturpflanzen den Stickstoffbedarf in Form von Salpeter zuzuführen und machen von diesem Wissen ausgiebigsten Gebrauch. Hier muß eine gewaltige Reduktion eintreten, sowohl Entziehung von Sauerstoff wie Anlagerung von Wasserstoff. Es ist aber zurzeit noch z. B. eine umstrittene Frage, ob bei diesem Reduktionsprozeß das Sonnenlicht mitwirkt oder nicht. Bildung von freiem Sauerstoff aus Nitraten ist zwar unter dem Einfluß ultravioletter Strahlen im Laboratorium beobachtet worden, ob aber eine Sauerstoffentwicklung ähnlich wie bei der Assimilation des Kohlendioxyds auch nach Zuführung von Nitraten aus der lebenden Pflanze eintritt, ist noch nicht einmal untersucht worden. Fällt das Resultat negativ aus, so muß die Reduktion des salpetersauren Salzes, gleichviel ob sie durch Bakterien oder durch die höheren Pflanzen bewirkt wird, Hand in Hand gehen mit einer Oxydation organischer Substanz, wahrscheinlich der Kohlenhydrate. Und da wir sahen, daß zur Bildung der Aminosäuren Sauerstoff nötig ist, so birgt vielleicht der Salpeter zwei für die Eiweißbildung nötige Faktoren in sich: den Stickstoff und die Oxydation.

Freilich hat man mit einer verdünnten Lösung von Salpeter bisher noch keine Oxydation im Laboratorium erzielt, auf der andern Seite ist aber gerade in neuester Zeit gezeigt worden, daß es nur einer bestimmten Anregung durch einen sogen. Katalysator bedarf, um sauerstoffreiche Salze, wie der Salpeter es auch ist, in Lösung zu einem oxydierend wirkenden Agens zu machen. So dürfen wir hoffen, auch für unseren Fall einmal Aufklärung zu erhalten.

Wie sehr aber die Meinungen auseinandergehen, möge damit belegt werden, daß einige Forscher die Umwandlung des Salpeterstickstoffs in den der Blausäure in Erwägung ziehen und daß durch deren Verbindung mit den Zuckern, die ja auch im Laboratorium

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

geübt wird, auf einigen Umwegen Aminosäuren entstehen. Jedenfalls müssen wir wohl die Cyanwasserstoffsäure heranziehen, wenn wir an die Bildung von sauren Molekülen mit 7 Kohlenstoffatomen, wie sie z. B. in den Gerbstoffen vorliegen, denken, denn bei der Bildung der Kohlenhydrate spielt die „Drei“ und Vielfache von ihr die Hauptrolle. Die Blausäure aber kann, wie wir sehr genau wissen, auf chemisch gangbarem Wege zur Bildung einer organischen Säure beitragen, die ein Kohlenstoffatom mehr enthält als das Ausgangsmaterial.

Ganz ähnlichen Verhältnissen wie beim Salpeter begegnen wir bei der Assimilation des Schwefels. Hier sind es Sulfate, welche verbraucht werden, und zwar in der Weise, daß eine Reduktion eintritt, denn im Eiweiß ist ein Baustein, das Cystin, enthalten, der zwei Schwefelatome in Verbindung mit zwei Molekülen einer Aminosäure, dem sogen. Alanin, enthält. Daß sich dann bei der Fäulnis des Eiweiß leicht Schwefelwasserstoff entwickelt, ist ja bekannt. Es bedeutet diese Erscheinung chemisch eine weitere Reduktion, wie denn überhaupt die Fäulnis erregenden Pilze eine eminente Reduktionskraft besitzen. Auch sonstige schwefelhaltige Verbindungen, die man aus bestimmten Pflanzen — ich erinnere an den Knoblauch und den Senf — gewinnen kann und die sich gewöhnlich durch ihren Geruch oder Geschmack verraten, sind ihrer Zusammensetzung nach durch Reduktion der Sulfate des Bodens entstanden zu denken. Denn es ist bemerkenswert, daß sich auch die schwefelhaltigen Cyanverbindungen, wie z. B. die Senföle, in Verbindung mit Zuckern vorfinden, also gerade wie die Blausäure, und daß daneben noch Sulfate chemisch gebunden enthalten sind, was auf die Abstammung der schwefelhaltigen organischen Körper aus dem genannten anorganischen Material hinweist.

Nitrate und Sulfate werden also bei ihrer Verarbeitung im Pflanzenleibe reduziert, ohne daß wir über die korrespondierende Oxydation etwas aussagen können.

Ganz anders verläuft die Bildung phosphorhaltiger organischer Materie. Der Phosphor kann nur als Phosphat gebraucht werden, und alle bekannten phosphorhaltigen Klassen organischer Verbindungen, die Phosphoglobuline, zu denen z. B. das Casein der Milch gehört, die Phosphatide, die Nucleinsäuren, sie enthalten alle wie das Phosphat die sogen. Orthophosphorsäure. Hier findet also keine Reduktion statt und es ist sicher, daß sogar die Fäulnispilze eine solche nicht auszunützen vermögen. Es ist daher nicht nur die Annahme in das

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Reich der Fabel zu verweisen, daß die Irrlichter durch selbstentzündlichen Phosphorwasserstoff bedingt seien, sondern es ist auch der seinerzeit viel bewunderte Ausspruch „ohne Phosphor — kein Gedanke“ nicht richtig. Er basierte auf der Beobachtung, daß das Gehirn reich ist an Phosphatiden, den sogen. Lecithinen. Da aber auch in diesen der Phosphor als Phosphorsäure enthalten ist, kann bei einer Ablösung aus der organischen Verbindung nicht Energie entstehen, die auf Rechnung des Phosphors zu setzen wäre, selbst wenn man annimmt, was aber nicht zutreffen dürfte, daß die Phosphatide des Gehirns am Stoffwechsel lebhaft beteiligt sind. Überhaupt kann bei der Erzeugung der phosphorhaltigen organischen Verbindungen der Natur des Vorgangs entsprechend nur wenig Energie gebraucht werden und ebensowenig wird bei ihrer Zersetzung frei. —

Wenn wir eine organische Substanz verbrennen, so ergibt sich eine Asche, welche Salze des Kaliums, Natriums, Calciums und Magnesiums und des Eisens enthält. Diese Elemente fehlen nie, und wir schließen, daß sie notwendig sind. Wahrscheinlich spielen auch noch andere Elemente eine Rolle; gewiß ist, daß es Spielarten gibt, die eine Ausnahme von der großen Masse bilden insofern, als sie ein sich sonst wenig für den physiologischen Aufbau eignendes Element gebrauchen. Ich erinnere an das blaue, Kupfer haltende Blut mancher Mollusken und an den neuerdings beobachteten Vanadingehalt des Blutes der Ascidien. Für gewöhnlich sind es die auf Erden am häufigsten vorkommenden Elemente, die auch eine physiologische Rolle spielen, mit Ausnahme des Siliciums und Aluminiums, und es ist ja ganz klar, daß im Kampf ums Dasein diejenigen Organismen siegen mußten, die sich den gegebenen Bedingungen gerade in chemischer Hinsicht am besten angepaßt haben. Einige dieser Elemente, das Fluor, das Mangan, finden sich in äußerst kleiner Menge, so daß der Beweis noch aussteht, ob ihre Anwesenheit durchaus notwendig ist, aber auch Jod und sogar das Eisen, ohne die wir nicht bestehen könnten, finden sich in bescheidener Menge, und es ist daher gar nicht ausgeschlossen, daß manche wunderliche Arzneimittel früherer Zeit, ich nenne nur die Austernschalen, doch einen Zweck gehabt haben, dem man unbewußt nachging, und daß der Genuß von Tee, in dem sich Mangan befindet, die uns notwendige Ergänzung unseres verschwindend geringen Manganvorrats herbeiführt.

Dank Liebig's Eingreifen existiert ja wohl keine Unklarheit mehr darüber, daß die anorganischen Salze Nährstoffe, also unent-

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

behrlich sind, sowohl für die Pflanzen wie für die Tiere, und daß auch ausgewachsene Individuen bald zugrunde gehen, wenn sie mit aschefreier Nahrung ihr Leben fristen müssen, ist durch Versuche erwiesen. Die Hoffnung aber, die Wöhler zum Ausdruck brachte: „daß Liebig die wichtige Entdeckung vorbehalten sein möchte, wie die unorganischen Materien bei der Entwicklung der Organismen wirken, was ihre chemische Funktion dabei ist", sie ist nicht nur in Beziehung auf Liebig nicht in Erfüllung gegangen, wir stehen auch heute noch nach 70 Jahren vor einem zu lösenden Rätsel. Es haben sich sogar die Schwierigkeiten vermehrt, die sich einem Einblick in die Art der Aufnahme entgegenstellen, z. B. durch die Beobachtung, daß bei der kalireichen Kartoffel eine Düngung mit Natronsalpeter von besserer Wirkung ist als die Zuführung von Kalisalzen. Einen Fortschritt unserer Erkenntnis können wir darin erblicken, daß die Aufnahme von basischen Aschenbestandteilen nicht nur durch eine Salzbildung mit organischen Säuren erfolgen kann, sondern daß auch nicht ausgesprochen sauren Charakter tragende Atomgruppierungen imstande sind, anorganische Basen zu binden, und zwar äußerst fest. Aus der Pflanzenchemie ist hierfür der Magnesium bindende organische Teil des Chlorophylls ein klassisches Beispiel, ein sehr ähnlich aufgebauter organischer Komplex, aus sogen. Pyrrolderivaten gebildet, spielt im Blut der höheren Tiere als das Eisen bindende Substrat die gleich wichtige Rolle.

Hier tritt der Wert des Magnesiums wie des Eisens klar vor Augen, denn Chlorophyll ohne Magnesium, Hämoglobin ohne Eisen, sie sind undenkbar. Aber Chlorophyll bildet sich nicht, wenn die Pflanze kein Eisen unter den Nährsalzen findet, und Chlorophyll enthält kein Eisen, die Menge der Stärke in der Kartoffel soll sich nach dem Vorhandensein von Kalisalzen richten und die Stärke enthält kein Kalium, die Gärung verläuft am besten bei Gegenwart von Phosphaten, und Ingredienzien wie Produkte dieses Prozesses sind phosphorfrei! Wir müssen also schließen, daß wichtige Umsetzungen chemischer Art an das Vorhandensein der anorganischen Bestandteile geknüpft sind, d. h. gefördert resp. reguliert werden, der Aufbau organischer Körper sowohl wie ihr Abbau.

Wie nun die Synthese, abgesehen von der Assimilation des Kohlendioxyds, geregelt ist durch Austritt von Wasser und oft begleitet ist von einer Reduktion, so stellt sich der Abbau ein durch Aufnahme von Wasser und durch Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlendioxyd. Wasser, Kohlensäure und Sauerstoff, sie

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

regeln, in gewaltigen Massen wirkend, das Antlitz der Erde, sie regeln auch das Leben eines jeden Geschöpfes, das die Erde hervorbringt. Und beim Aufbau und beim Abbau unterstützen die anorganischen Salze die sogenannten Enzyme.

Über das Wesen der in diese große Klasse gehörigen Verbindungen sind wir trotz außerordentlich vieler Versuche nur erst sehr mangelhaft unterrichtet. Wir wissen nur, daß sie in der Kompliziertheit ihrer Zusammensetzung weit über dem Eiweiß stehen und daß die Größe ihres Moleküls Eigenschaften bedingt, die die Enzyme der lebenden Substanz nahestellen. Denn wenn wir sie auch durch „Gifte" oft nicht schädigen können, so töten wir sie doch durch Erhöhung der Temperatur, denn wir beobachten, daß die von ihnen ausgehende spezifische Wirkung alsdann ausbleibt. Und nur an ihrer Wirkung erkennen wir sie, d. h. wir schließen aus einer bestimmten Wirkung auf das Vorhandensein eines bestimmten Enzyms. Und nun sehen wir beim Eiweiß abbauenden Enzym des Gerstenkorns, daß diese Wirkung durch Kalksalze begünstigt wird, und begreifen, warum eine mit kalkhaltigem Wasser angesetzte Gerste ein an Spaltungsprodukten des Eiweiß reiches Bier liefern kann.

Da wir aber über die chemische Zusammensetzung der meisten Enzyme noch wenig unterrichtet sind, kann natürlich über das Entstehen dieser so wichtigen Körper noch gar nichts ausgesagt werden.

Während nun in den Pflanzen die Hydrolyse und der durch die Atmung bedingte oxydative Abbau der organischen Substanz jedenfalls der Menge nach hinter den chemisch entgegengesetzten Vorgängen des Aufbaus zurücktreten, haben wir im Organismus der Tiere eine Umkehrung der Verhältnisse zu konstatieren. Hier überwiegt also der Abbau wieder unter Mitwirkung von Wasser und Sauerstoff, vermittelt durch Enzyme. Aber ein grundsätzlicher Gegensatz ist es nicht. Auch das Tier baut die Substanz seines Leibes auf, und zwar aus den Bausteinen, in die seine Nahrung in seinen der Verdauung dienenden Organen zerfallen ist. Ein Teil der Nahrung aber und beständig ein Teil der Leibessubstanz wird vollständig abgebaut und dient zur Bestreitung der zum Leben nötigen Energie, und so entstehen wieder einfachst gebaute Körper, die von den Pflanzen wieder verwertet werden können. Der Kreislauf des Stoffes hat sich vollzogen. Bei den Tieren mit rotem Blut wird der oxydative Abbau der Leibessubstanz vermittelt durch einen wohlbekannten Stoff, den man sogar krystallisiert erhalten kann, und der wohl aus diesem Grunde niemals den Enzymen zugerechnet worden ist, obwohl

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

er alle Anwartschaft darauf hat, in diese wichtige Klasse eingereiht zu werden. Es ist unser roter Blutfarbstoff, das Hämoglobin, dessen sauerstoffübertragende Wirkung in ihrem Chemismus bereits recht gut aufgeklärt werden konnte. Daß das Hämoglobin Eisen enthält, ist bekannt und wurde erwähnt, daß sein organisches Gerüst dem des Chlorophylls sehr ähnlich ist, haben die Untersuchungen der Neuzeit zur Evidenz erwiesen. Und so sehen wir auch hier wieder die Abhängigkeit der höheren Tierwelt von den höheren, den Chlorophyll führenden Pflanzen aufs klarste erwiesen. Denn es kann keinem Zweifel unterliegen, daß die Bausteine des Hämoglobins in der Pflanze gebildet werden, daß das Tier sie mit der Nahrung aufnimmt und vielleicht etwas umformt. Der wesentliche Unterschied besteht im anorganischen Teil: an derselben Stelle der organischen Gerüstsubstanz steht im Chlorophyll das Magnesium, im Hämoglobin das Eisen. Und die verschiedene Wirkung: hier Abbau, dort Aufbau, sehen wir also lediglich an die genannten beiden Metalle geknüpft. Bedienen wir uns doch auch im Laboratorium des Magnesiums zu Synthesen, und wir wenden Eisen an, wenn wir durch Oxydation einen Abbau erreichen wollen.

Wenn wir es uns nun recht überlegen, so ist es gar nicht wunderbar, daß die beiden diametral entgegengesetzt wirkenden Farbstoffe in ihrem organischen Teil zueinander gehören, sondern es ist eine Forderung der Vernunft, daß dem so ist. Denn die beiden Farbstoffe sind die beiden Pole, um die sich das höhere Leben zur Jetztzeit stofflich dreht, wenn der eine nicht wäre, könnte der andere nicht sein, d. h. sie müssen chemisch verwandte Körper sein.

Die Erkenntnis von den im Tierleibe sich abspielenden Synthesen hat sich erst in der Neuzeit recht entwickelt; viele wichtige Fragen, wie z. B. das Auftreten von verschiedenartigem Eiweiß in verschiedenen Geweben harren noch der Aufklärung. Vor allem ist es auch noch nicht gelungen, über einen allerwichtigsten Vorgang Klarheit zu schaffen, geschweige ihn nachzumachen, ich meine die Bildung von Fett aus Kohlenhydraten, ein Prozeß, der sich ja auch im Pflanzenleibe abspielt. Es muß eine gewaltige Reduktion stattfinden und damit geht parallel ein großer Gewinn an Energie, wie daraus erhellt, daß wir von einem Gewichtsteil Fett mehr als das Doppelte der Wärmemenge gewinnen, die uns dasselbe Gewicht eines Kohlenhydrats liefert. Es wäre also von allergrößter Bedeutung, diesen Prozeß beherrschen und ihn vervollkommnen zu lernen. Einstweilen fehlt aber jede Einsicht und wir müssen uns darauf be-

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

schränken, Tiere mit Kohlenhydraten zu mästen, um Fett zu gewinnen, oder solche Gewächse anzupflanzen, in deren Samen beim Reifen sich Fett an der Stelle von Kohlenhydraten bildet. Nur einer Erfahrung auf diesem Gebiete möchte ich noch gedenken: wir wissen, daß Wasser und Fett physiologische Gegensätze sind. Unter normalen Umständen schon sind wasserreiche Gewebe fettarm, wasserarme fettreich, und zwar vertritt das Fett oft quantitativ die fehlende Wassermenge. Diese Vertretung kann anormale Dimensionen annehmen, namentlich unter dem Einfluß bestimmter Gifte. Die Erfahrung aber hat man ja bekanntlich beim Menschen insofern verwertet, als man die fettleibigen unter ihnen eine Wasserkur durchmachen läßt, wobei man allerdings nur dem Symptom, nicht aber der Ursache des Übels abhelfen kann.

Tritt aus einfachen Fettsäuren des Fetts noch Sauerstoff in Form von Kohlendioxyd heraus, so entstehen sauerstofffreie Körper, sogen. Kohlenwasserstoffe, die natürlich eine noch höhere Verbrennungswärme als die Fette besitzen. Dieser Vorgang hat sich nun in größtem Maßstabe in langen Epochen der Erde abgespielt und aus dem Fett der Fauna und Flora längst vergangener Zeiten einen Vorrat von Heiz- und Brennstoffen geliefert, den wir als Erdöl bezeichnen und der ja seit nunmehr 56 Jahren höchst energisch ausgebeutet wird. Übrigens ist sehr wahrscheinlich auch das Eiweiß an der Bildung des Erdöls beteiligt und an der Hand chemischer Formelbilder ist ersichtlich, daß die Bausteine des Eiweiß, die Aminosäuren, durch Abspaltung von Kohlendioxyd und Ammoniak in Kohlenwasserstoffe übergehen können. Diesem Prozeß können wir den Vorgang an die Seite stellen, der uns die unermeßlichen Vorräte an Kohlen aller Art aus vorweltlicher Flora geschaffen hat. Hier haben wohl hauptsächlich Kohlenhydrate selbst die Umwandlung erfahren, die zur Vermehrung des Gehalts an chemischer Energie geführt hat. Das Heraustreten von Sauerstoff und Wasserstoff als H_2O muß ja nach unserer Definition eines Kohlenhydrats zu reinem Kohlenstoff führen, wenn die Wasserabgabe vollständig geworden ist. Die Bildung der Kohlen und des Erdöls sind demnach Prozesse des Vergehens organischer Verbindungen, wie sie nur unter ganz eigenartigen Verhältnissen Platz greifen konnten.

Kehren wir noch einmal zu den Prozessen zurück, bei denen der Abbau kompliziert gebauter organischer Stoffe, besonders der Kohlenhydrate, unter Mitwirkung von Wasser in den lebenden Organismen erfolgt.

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Höhere Pflanzen haben sie uns geliefert. Aber es gibt eine ganze Reihe nieder entwickelter Pflanzen, die kein Chlorophyll besitzen und demnach wie die Tiere darauf angewiesen sind, sich die zu ihrem Leben nötige Kohlenstoffenergie in Form von Kohlenhydraten zu verschaffen. Es sind die Pilze. Am meisten interessieren uns unter diesen in Beziehung auf den Abbau von Kohlenhydraten die Hefearten, denn ihre Tätigkeit machen wir uns ja zunutze, und so ist die durch die Hefe hervorgerufene Gärung von großer praktischer und auch von größter wissenschaftlicher Bedeutung. Lassen doch viele Beobachtungen bereits den Schluß zu, daß die Tätigkeit der Hefezelle eine ganz unerwartet große Ähnlichkeit mit der Tätigkeit der Zellen höherer Tiere aufweist. Um nur eines anzuführen: es sind nur wenige natürliche Zucker, die von der Hefe wie vom Menschen verwertet werden, und die Kunstprodukte, welche den natürlichen Zuckern in allen Eigenschaften gleichen und sich nur durch entgegengesetzte Drehung des polarisierten Lichtes unterscheiden, die sogen. Spiegelbilder unserer Zucker, sie werden weder von der Hefe noch vom Menschen verwertet.

Die Erkenntnis des Gärungsvorganges hat sich ebenso langsam entwickelt wie die des Assimilationsprozesses und ihre Geschichte ist nicht minder reich an allgemein interessierenden Entdeckungen von bleibendem Wert und großer Bedeutung.

Zunächst wurde die Hefe als etwas Nebensächliches angesehen, so von Lavoiseir, der den Nachweis erbrachte, daß es der Zucker ist, der bei der Gärung in Alkohol und Kohlensäure zerfällt, und von Gay-Lussac, der den Prozeß quantitativ verfolgte und zeigte, daß das Zuckergewicht ziemlich genau in der Summe der Gewichte von Alkohol und Kohlensäure wieder erscheint.

Erst Theodor Schwann dachte an Ernährungsvorgänge, nachdem er 1837 die Natur der Hefe als Pflanze dargetan hatte. Und nun entbrannte der berühmte Streit zwischen Physiologen und Liebig und unabhängig hiervon der sehr lebhafte Austausch der Meinungen zwischen Liebig und Berzelius, der die Hefe einen Katalysator nannte und als solchen wirken ließ. Liebig verfocht bekanntlich eine chemische Unterlage des Gärungsvorganges, wonach das zerfallende Eiweiß der Hefe eine Bewegung in das Zuckermolekül hinein übertrage, die zur Bildung von Alkohol und Kohlensäure führen solle. Demgegenüber ersann Pasteur seine berühmten Versuche, aus denen er 1858 lückenlos den Schluß ziehen konnte, daß nur lebende Hefe die fragliche Umsetzung bewirken kann. Die vermittelnde Annahme

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Moritz Traube's, es möchte in der Hefe ein Enzym vorhanden sein, das die Gärung bewirkt, konnte nicht mit Beweisen belegt werden, hatte doch schon Lüdersdorff 1846 versucht, aus zerriebenen Hefezellen das gesuchte Enzym zu isolieren, angeregt durch eine Idee Nägeli's, die den Zucker spaltende Wirkung ginge direkt und ausschließlich vom lebenden Protoplasma der Hefe aus.

Erst 1896 ist es dann bekanntlich E. Buchner gelungen, den ausstehenden Beweis für die enzymatische Natur unseres Vorgangs zu erbringen, womit der Streit zu einer beiden Teilen gerecht werdenden Erledigung gebracht worden ist. Denn wir können die Gärung nunmehr zwar ohne lebende Hefe zur Auslösung bringen, sind aber nicht imstande, das wirkende Prinzip anders als aus der Hefe zu gewinnen. Es wird Zymase genannt und zeigt sich wirksam nur gegen dieselben Zucker wie die Hefe selbst, wie denn überhaupt auch hier wieder ein weitgehender Parallelismus zwischen Enzym und lebender Zelle festgestellt werden konnte, denn seit der Entdeckung Buchner's ist man eifrig bemüht gewesen, die Bedingungen genau festzulegen, unter denen die Zymase am besten wirken kann. Dann hat man es sich aber auch angelegen sein lassen, einen tieferen Einblick in den Chemismus der Zuckerspaltung selbst zu gewinnen, die schließlich zum Alkohol und zur Kohlensäure führt. Denn dem Entstehen dieser Endprodukte muß eine Umwandlung des Zuckermoleküls voraufgehen, in die ein Einblick bisher nicht möglich war, weil Zwischenprodukte nicht gefaßt werden konnten wohl wegen des raschen Verlaufs des Vorgangs bis zum Ende. So hat man sich begnügen müssen, die chemisch möglichen Zwischenprodukte, die auf anderem Wege dargestellt werden konnten, auf ihr Verhalten der Hefe gegenüber zu untersuchen, wobei sich ergeben hat, daß bei der Umwandlung des Zuckermoleküls das Wasser eine Hauptrolle spielen muß, und zwar entweder in der Art, daß es in verschiedener Weise angelagert und wieder abgespalten wird, oder dadurch, daß es mit seinen beiden Bestandteilen gleichzeitig wirkt, d. h. daß an einer Stelle eine Reduktion durch Wasserstoff, an anderer eine Oxydation durch Sauerstoff eintritt. Letztere führt zur Kohlensäure, erstere zum Alkohol, in dem aber nur noch ein Teil der im Zucker vorhandenen Energie wieder erscheint. Bei der Gärung geht also chemische Energie des Kohlenstoffs verloren, die, wenn sie durch Hefe selbst erfolgt, in der Vermehrung der Hefe als Stickstoffenergie ihren Ausgleich findet. Lernt man also diese voll zu verwerten, so ist der wichtigste Einwand gegen die Gärungsgewerbe,

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

vom wirtschaftlichen Standpunkt betrachtet, gehoben. Die Schädlichkeit des Alkohols ist natürlich eine andere Frage; ohne näher auf sie einzugehen, möchte ich hier nur darauf hinweisen, daß, wie bereits erwähnt, die Zellen der höheren Tiere höchst wahrscheinlich den Zuckerabbau in ganz ähnlicher Weise regeln wie die Hefe, d. h. daß im Körper des Tieres Alkohol als Zwischenprodukt auftritt. — Der Streit zwischen Berzelius und Liebig ist noch nicht erledigt. Katalysatoren, d. h. solche Körper, deren Anwesenheit scheinbar genügt, um einen Prozeß den gewünschten Verlauf nehmen zu lassen, ohne daß sie selbst direkt beteiligt erscheinen, spielen in Wissenschaft und Technik der Neuzeit eine immer bedeutender werdende Rolle und zunächst als nicht durchführbar erscheinende Prozesse vollziehen sich gehorsam nach Auffindung der richtigen Vermittelung.

Wenn sich nun Liebig gegen das Wort „Katalysator" mit Recht gewendet hatte, weil ein Wort von vielen mißverständlich als Erklärung angesehen werden kann und wird, also dazu beitragen kann, es bei dem Wort bewenden zu lassen, statt der wirklichen Ursache nachzuspüren, so ist diesem Einwand zwar wirksam Abbruch getan worden dadurch, daß man mit „Katalysator" eine Substanz bezeichnet, die einen Vorgang beschleunigt, womit aus dem Wort ein Begriff geworden ist, mit dem man rechnen kann. Aber in dieser Definition ist inbegriffen, daß das Objekt schon von selbst die betreffende Umsetzung erfahren kann. Und wenn wir nun wissen, daß das Objekt, wie z. B. der Traubenzucker, sich nicht nur in einer Richtung umsetzen kann, sondern daß eine ganze Reihe von Verwandlungen möglich sind, zu denen dann auch eine ganze Reihe verschiedener Katalysatoren gehören, so fordert diese Beobachtung eine Ergänzung der oben gegebenen Definition dahin, daß als Katalysator eine Substanz zu bezeichnen ist, die einen Vorgang in einer bestimmten Richtung beschleunigt. Und in dieser Definition ist inbegriffen, daß der Katalysator chemisch an dem Vorgang sich beteiligt, womit der Kern der Auffassung von Liebig wieder zur Geltung gelangt. Was wir abgeleitet haben, muß aber die experimentelle Prüfung aushalten, und in der Tat haben wir Beobachtungen, aus denen hervorgeht, daß diese Prüfung in unserem Falle bestanden wird. Es ist z. B. gefunden worden, daß die enzymatische Verdauung des Eiweiß im Glase, zu einem bestimmten Punkt gelangt, plötzlich stille steht. Dann aber hat sich ein Niederschlag gebildet, aus dem ein Verdauungsprodukt des Eiweiß, das Tyrosin, herausgeholt werden kann, und dieser Niederschlag enthält zugleich das

©Biodiversity Heritage Library, www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

verdauende Enzym, den Katalysator. Er kann aus ihm wieder frei gemacht werden und wirkt dann weiter. So findet die merkwürdige Tatsache, daß der Katalysator unverändert bleibt, eine Erklärung in der Annahme, daß eine zweite Phase des Prozesses ihn wiederherstellt, nachdem er in einer ersten aktiven Anteil genommen hat, womit auch die Tatsache, daß kleinste Mengen des Katalysators große Mengen des Objektes bewältigen können, eine uns befriedigende Erklärung findet.

Innerhalb der Chemie kämpft die anorganische Richtung mit der organischen um den Vorrang. Es gab eine Zeit, in der die organische Chemie dominierte, aber als sie auf der Höhe stand, hatte sie bereits ihren besten Trumpf an die anorganische abgegeben, als die Natur der zusammengesetzten Äther erkannt und im Zusammenhang damit dem Wasser wieder die Formel H_2O gegeben wurde. Seitdem lebte die organische Chemie hauptsächlich der inneren Ausgestaltung, ihre schönsten Erfolge beim Studium von Naturprodukten zeitigend, aber vielfach am toten Material arbeitend. Und auf diesem Gebiete mußte sie schließlich hinter der anorganischen Chemie zurückstehen, die hier naturgemäß die höheren Trümpfe in der Hand hatte. Aber schon bereitet sich ein Umschwung vor, gerade von der anorganischen Chemie hat die organische mächtige Anregung erhalten, um auf den ihr eigensten Gebieten vorgehen zu können, auf dem Gebiete der organisierten Chemie. Und daß sie hier höchsten Nutzen bringen kann und wird, steht außer Zweifel.

Sie wird das prophetische Wort Justus Liebig's einlösen: aus der organischen Chemie wird sich die Physiologie, werden sich die Gesetze des Lebens entwickeln.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg

Jahr/Year: 1915

Band/Volume: 71

Autor(en)/Author(s): Küster William

Artikel/Article: Vom Werden und Vergehen organischer Körper. 124-144