

Ueber
die chemische Synthese.

Festrede

zur

**Vorfeier des Allerhöchsten Geburts- und Namensfestes
Seiner Majestät Ludwig II. Königs von Bayern**

gehalten in der

öffentlichen Sitzung der k. b. Akademie der Wissenschaften
zu München

am 25. Juli 1878

von

Dr. Adolf Baeyer,

o. Mitglieder der math.-phys. Classe der k. Akademie.

MÜNCHEN, 1878.
IM VERLAGE DER K. B. AKADEMIE.

Ueber
die chemische Synthese.

Festrede

zur

**Vorfeier des Allerhöchsten Geburts- und Namensfestes
Seiner Majestät Ludwig II. Königs von Bayern**

gehalten in der

öffentlichen Sitzung der k. b. Akademie der Wissenschaften
zu München

am 25. Juli 1878

von

Dr. Adolf Baeyer,

o. Mitgliede der math.-phys. Classe der k. Akademie.



MÜNCHEN, 1878.
IM VERLAGE DER K. B. AKADEMIE.

Hochansehnliche Versammlung!

Vor fünfzig Jahren entdeckte Wöhler die künstliche Darstellung des Harnstoffs. An und für sich von nur mittlerem Interesse bildet diese Entdeckung doch einen Wendepunkt in der Geschichte menschlichen Wissens, weil durch sie zum ersten Mal in überzeugender Weise der Beweis geführt ward, dass die im lebenden Organismus enthaltenen organischen Stoffe in derselben Weise künstlich dargestellt werden können wie die unorganischen.

Bis zum Jahre 1828 nahm man an, dass das lebende Wesen von anderen Kräften regiert würde als die todte Natur. Wie wir uns heute noch dagegen sträuben, die seelischen Vorgänge als einfache Folgen der uns bekannten Eigenschaften der Materie zu betrachten, so glaubte man damals, dass auch die niedern Verrichtungen des Organismus wie Verdauung, Ernährung und Abscheidung nicht mehr brauchbarer Stoffe, durch eine Specialkraft, welche man Lebenskraft nannte, geregelt würden. Als vermessen galt der Gedanke die im Lebensprozess auftauchenden chemischen Gebilde künstlich erzeugen zu wollen, nur Abänderung oder Zersetzung dieser geheimnissvoll entstandenen Stoffe war dem Forscher gestattet. Wie ein Blitzstrahl zerstörte Wöhler's im bescheidensten Gewande auftretende

Entdeckung diesen Wahn. Konnte man den Harnstoff künstlich darstellen, so gab es keine Schranke mehr zwischen organischer und unorganischer Welt und mit frohem Erstaunen sah man der experimentellen Forschung die Möglichkeit eröffnet, die zahllosen Stoffe des Pflanzen- und Thierreichs künstlich darzustellen, vielleicht auch — wenn auch nur in später Zukunft — das grosse Räthsel zu lösen, welches wir Leben nennen.

Was in dem verflossenen halben Jahrhundert in dieser Richtung versucht und erreicht, welche Aufgaben als lösbar erkannt, und welche andere späteren Generationen verbleiben, ich hätte es gern zu dieser festlichen Stunde geschildert. Doch muss ich den Verhältnissen Rechnung tragend mich begnügen mit wenigen Strichen ein Bild von dem heutigen Zustande der chemischen Synthese zu entwerfen und Ihnen zu zeigen, wie diese Wissenschaft alle an die Materie geknüpften Zweige menschlichen Wissens, die speculative Philosophie, die Lehre vom Leben und die Kunst wirthschaftliche Werthe zu erzeugen befruchtend durchdringt.

Die chemische Synthese ist ein System von Methoden, welche den Zweck haben complicirtere Verbindungen aus einfacheren aufzubauen. Die Begriffe einfache und complicirte Verbindung gehören den ersten Elementen der Chemie an, und doch ist es sehr schwierig dem Nichtchemiker eine deutliche Vorstellung von dem Sinn dieses Ausdrucks zu geben. Für den Laien bestehen die wichtigsten Unterschiede der Stoffe in der Aggregatform und in dem mechanischen Verhalten derselben. In der That ist es auch z. B. für die Rolle, welche der kohlensaure Kalk in der Natur spielt, der wesentlichste Umstand, dass derselbe fest und in Wasser nicht löslich ist, und ebenso ist für die Fette ihre eigenthümliche physikalische Beschaffenheit in vielen Beziehungen die wichtigste Eigenschaft. Die heutige Chemie trägt diesen Verhältnissen keine Rechnung, die gasförmige Kohlensäure und der harte Bergkrystall werden durch ein

Symbol derselben Art dargestellt, und das Bild, welches wir in der Chemie von den Dingen um uns gewinnen, ist so abweichend von dem durch die Sinne vermittelten, dass es ausdrücklich gesagt werden muss: die Chemie lehrt bis jetzt nicht den Grund, weshalb unsere Erdkruste fest, unsere Meere flüssig und unsere Atmosphäre gasförmig ist, sie beschäftigt sich nur mit einem Theil der in der Natur vorgehenden Erscheinungen und abstrahirt von den andern. Um sich zu dieser Abstraktion emporzuschwingen bedarf es eines näheren Eingehens in die der heutigen Wissenschaft eigenthümliche Vorstellung von der Natur der Materie, welche als Grundlage des chemischen Denkens zum Verständniss der chemischen Sprache unentbehrlich ist.

Der Gedanke, dass die Materie nicht bis in die Unendlichkeit theilbar ist, ist so alt wie die Philosophie und hat sich in den verschiedensten Systemen bis auf die Neuzeit fortgepflanzt. Auf speculativem Boden gewachsen, vermochte diese Idee auch nur auf speculativem Boden zu gedeihen und fand keine Stätte in dem Kreise von Gedanken, welche wir mit dem Namen allgemeine Bildung bezeichnen. Erst Dalton gelang es im Anfange dieses Jahrhunderts der atomistischen Theorie einen festen Halt zu geben, indem er nachwies, dass sie mit den Resultaten chemischer Forschung in völligem Einklang steht.

Die Erfahrung lehrt, dass zur Herstellung einer chemischen Verbindung bestimmte Gewichtsmengen der einzelnen Elemente erforderlich sind, deren Verhältniss immer dasselbe bleibt auch unter den verschiedensten Bedingungen. Ein Gewichtstheil Wasserstoff verbindet sich z. B. stets mit dem achtfachen Gewicht Sauerstoff zu Wasser, mag nun das Wasser im Laboratorium des Chemikers dargestellt werden, mag es als Regen vom Himmel fallen, oder in Gesteinen enthalten sein, die es vor Millionen von Jahren umschlossen. Denkt man sich nun die bekannten Elemente in Stücken von be-

stimmter Grösse und zwar derart, dass das Gewicht der Stücke eines jeden Elementes gleich, aber verschieden von dem Gewichte der Stücke eines anderen Elementes ist, so braucht man nur eine bestimmte, in der Regel geringe, Anzahl dieser Stücke zusammenzulegen, um die Zusammensetzung irgend einer beliebigen chemischen Verbindung auszudrücken. Diese Thatsache lässt sich am leichtesten erklären, wenn man annimmt, dass die elementaren Stoffe aus untheilbaren Partikelchen, Atome genannt, zusammengesetzt sind, deren Gewichte in demselben Verhältniss zu einander stehen, wie die groben Stücke. Indem sich diese Atome von verschiedener Art nach einfachen oder complicirten Zahlenverhältnissen aneinanderlagern, bilden sie einfache oder complicirte Atomsysteme, welche als die kleinsten Theile der Verbindungen anzusehen sind, d. h., wie man sich heut zu Tage ausdrückt, als chemische Moleküle. Dies ist Dalton's Atomtheorie.

Will man sich auf Grund dieser Theorie eine Vorstellung von der Natur der Materie bilden, so findet man ein Hinderniss darin, dass man nicht einsieht, wo bei der in Gedanken vorzunehmenden Verkleinerung der Stücke innegehalten werden soll. Diese Verkleinerung kann über alles Mass hinausgehen, ohne die Richtigkeit der Theorie zu beeinträchtigen, wenn nur das Verhältniss der Gewichte dasselbe bleibt. Indem wir so im Unklaren sind, ob die Grösse der Atome in irgend einem durch Zahlen ausdrückbaren Verhältniss zu dem Gewichte der von uns wahrnehmbaren Gegenstände steht, verflüchtigt sich die Atomtheorie zu einem mathematischen Gedanken, der sich ebenso unserem Vorstellungsvermögen entzieht wie die Atomistik der speculativen Philosophie. Und wenn sich daher auch auf dem von Dalton geebneten Boden die atomistische Chemie in üppiger Weise entfalten konnte, so blieb doch immer das Wesenlose des Grundgedankens ein Hinderniss für die Verbreitung der Wissenschaft in weiteren Kreisen und für die Anwendung physikalischer Prinzipien zur Erklärung chemischer Vorgänge. Um so erwünschter

war es daher, als diese Lücke in unserer Erkenntniss durch eine neu entstandene physikalische Disciplin, die mechanische Wärmetheorie in ihrer Anwendung auf gasförmige Körper, in der befriedigendsten Weise ausgefüllt wurde. Zwar waren schon früher von Avogadro aus der Betrachtung der Gase wichtige und für die theoretische Chemie sogar fundamentale Folgerungen gezogen worden, indessen übertrafen die neuen Erfolge die alten doch weit in Bezug auf die Vertiefung unserer Vorstellungen. Das Schattenhafte früherer Speculationen machte deutlichen und fasslichen Vorstellungen Platz, welche zeigten, dass die von Democrit geträumten und von Dalton gedachten Atome Wesen sind, die unserer Welt und unserer Fassungskraft so nahe stehen, wie Niemand es je geglaubt hat. Deshalb, und damit die chemischen Gedanken, mit denen wir uns zu beschäftigen haben, vor Ihren Augen dasselbe Leben und dieselbe Körperlichkeit gewinnen, welche sie in der Vorstellung des heutigen Chemikers besitzen, sei es mir gestattet, an dieser Stelle Einiges aus der Gastheorie einzuflechten.

Wenn Wärme nichts anderes als Bewegung ist, so müssen auch die kleinsten Theile eines Gases in fortwährender Bewegung sein. Trifft ein solches Partikelchen, welches man Gasmolekül nennt, mit einem andern zusammen, so muss wegen der Undurchdringlichkeit der Materie eine plötzliche Aenderung der Bewegungsrichtung eintreten, beide prallen von einander ab wie zwei Billardbälle, und das Ganze lässt sich, wie ein berühmter Physiker treffend bemerkt hat, einem Mückenschwarm vergleichen, der an einem warmen Abend über dem Wasser tanzt. Man gelangt auf diese Weise durch rein physikalische Betrachtungen zu einer Zertheilung der Materie, welche der auf chemische Resultate begründeten Ableitung der Begriffe „Atom“ und „Atomverbindung“ entspricht, jedoch hat die erstere Methode den Vortheil, dass sich die dabei ergebenden kleinsten Theile in Bezug auf alle mechanischen Verhältnisse, auf Geschwindigkeit und Art der Bewegung und selbst auf Grösse untersuchen lassen.

So kann man sich z. B. nach O. E. Meyer von der Grösse des Querschnittes eines solchen Partikelchens in folgender Weise eine Vorstellung bilden:

„Wenn alle in einem Kubikcentimeter Luft von gewöhnlichem Drucke enthaltenen Moleküle dicht neben einander in einer Ebene ausgebreitet würden, so würden dieselben eine Fläche von 1,77 Quatradmeter bedecken. Stellen wir uns nun vor, es werde ein Stück einer festen Substanz zu Pulver zerstossen, so werden wir mit dem erhaltenen Pulver eine um so grössere Fläche bestreuen können, je feiner die Substanz pulverisirt wurde. Diesem Bilde entsprechend werden wir uns die Luftmoleküle, welche trotz ihres leichten Gewichtes eine so grosse Fläche, wie angegeben, bedecken könnten, als einen äusserst feinen Staub, als sehr kleine Körnchen, aber in ausserordentlich grosser Anzahl vorstellen müssen.“

Was den Durchmesser eines einzelnen Theilchens betrifft, so berechnet sich derselbe beim Wasser auf ungefähr einen halben milliontel Millimeter, eine Grösse, von der sich man sehr wohl eine Vorstellung machen kann. Ein gutes Mikroskop vergrössert 1000mal, denkt man sich also ein Stäubchen, dessen Durchmesser 1000mal kleiner ist als der eines Körnchens, welches unter dem Mikroskop betrachtet einen Durchmesser von einem Millimeter zu haben scheint, so hat man ein Bild von der Grösse eines Gasmoleküls.

Auch die Zahl der Moleküle lässt sich bestimmen. In einem Liter Luft sind annähernd 21,000 Trillionen Theilchen, welche in einem durchschnittlichen Abstand von 3—4 milliontel Millimeter sich befinden, wenn man sie sich gleichmässig im Raume vertheilt deckt, und von denen ein jedes den 10,000 trillionten Theil eines Grammes wiegt. Es ergiebt sich aus diesen Rechnungen, welche nur annähernd aber doch aller Wahrscheinlichkeit nach nicht weit von der Wahrheit entfernt sind, dass die Grösse des Moleküles durch-

aus nicht etwas verschwindend Kleines ist, und dass wir mit unsern Sinnen derartige Dimensionen unter Umständen sehr wohl erfassen können. Hat doch z. B. Faraday Goldhäutchen hergestellt, deren Dicke er auf 5milliontel Millimeter, d. h. auf das fünffache des durchschnittlichen Durchmessers eines Gasmoleküls schätzt.

Ueerblicken wir jetzt die gewonnenen Resultate, so sind wir einerseits zu der Ueberzeugung gelangt, dass die Materie aus untheilbaren Atomen von unbekannter Grösse besteht, welche sich nach gewissen einfachen Zahlenverhältnissen miteinander zum chemischen Molekül von ebenfalls unbekannter Grösse verbinden, und andererseits, dass die Gase aus isolirten, in Bewegung begriffenen materiellen Partikelchen zusammengesetzt sind, deren Grösse durch milliontel Millimeter gemessen wird. Versuchen wir jetzt zu ermitteln, in welcher Beziehung die Atome zu den Gasmolekülen stehen, und betrachten wir zu diesem Zweck die Vorgänge, welche bei der unter Chlorwasserstoffgasbildung stattfindenden Explosion eines Gemenges gleicher Volume Wasserstoff- und Chlorgas vor sich gehen.

Zunächst ist begreiflich, dass die Verbindung der Wasserstoff- und Chlortheilchen nur in dem Moment stattfinden kann, wo sie zusammenstossen, und es ist daher nöthig, sich eine Vorstellung von der Art und der Stärke dieses Anpralls zu verschaffen. Die Geschwindigkeit, mit der sich nach den Annahmen der Gastheorie die Moleküle bewegen, ist sehr gross, aber verschieden je nach der Natur des Gases. So besitzt das Wasserstofftheilchen bei 0° eine mittlere Geschwindigkeit von 1700 m. in der Sekunde, während ein Lufttheilchen nur 450 und ein Chlorgastheilchen 280 m. in derselben Zeit durchlaufen könnte. Trotz dieser colossalen Geschwindigkeit ist die Länge des Weges, welchen ein solches Theilchen durchmisst, wegen der Häufigkeit der Zusammenstösse mit anderen Theilchen doch nur gering und beträgt bei der Luft nur den fünfundzwanzigsten Theil der kleinsten noch durch das Mikroskop erkennbaren Länge.

Die Zahl dieser Zusammenstöße ist enorm und beträgt in einer Sekunde 4700 Millionen; die Hin- und Herbewegungen eines Lufttheilchens geschehen also 100,000mal schneller als die Schwingungen desselben bei dem höchsten hörbaren Tone.

Die Stärke des Anpralls muss eine furchtbar heftige sein, man kann sich von derselben bei dem Zusammenstoss zweier Lufttheilchen eine Vorstellung machen, wenn man sich denkt, dass zwei Steine, welche aus einer Höhe von 12 Kilometer herabfallen, in entgegengesetzter Richtung an einanderprallen.

Der Chemiker betrachtet nun immer nur einen solchen Einzelvorgang und legt diesen seinen Formeln zu Grunde, so dass eine chemische Gleichung auf der einen Seite ein Bild gibt von der Beschaffenheit der Moleküle vor dem Zusammenstoss und auf der andern Seite von ihrer Beschaffenheit nach demselben. Dabei ist die Zahl der bei einem Einzelvorgang mitwirkenden Moleküle übrigens nicht blos auf 2 beschränkt, es können auch 3, 4 und mehr Moleküle zu gleicher Zeit auf einander einstürmen und Veranlassung zur Entstehung von mehr oder weniger neuen geben.

Das Verdienst diese Seite der Frage beantwortet zu haben, gebührt dem italienischen Physiker Avogadro, welcher schon im Jahre 1811 den für die Chemie von fundamentaler Bedeutung gewordenen Satz aufstellte: In gleichen Volumen verschiedener Gase sind gleich viel Gasmoleküle enthalten. Da nun Gay-Lussac kurz vorher gefunden hatte, dass die Gase sich miteinander in sehr einfachen Verhältnissen dem Volumen nach, z. B. 1:1 oder 1:2 und so weiter mit einander verbinden, so waren in diesen Zahlen auch die Anzahl der Moleküle gegeben, welche auf einander wirken.

Kehren wir jetzt wieder zu unserem Beispiel der Einwirkung von Wasserstoff auf Chlor zurück, so ergibt sich aus dem Umstand,

dass sich gleiche Volume dieser beiden Gase mit einander verbinden, der Schluss, dass auch die Anzahl der auf einander wirkenden Moleküle von Wasserstoff und Chlor eine gleiche sei, und dass daher aller Wahrscheinlichkeit nach der Einzelvorgang darin besteht, dass ein Molekül Wasserstoff mit einem Molekül Chlor zusammenstösst und sich dabei mit diesem unter Bildung von Chlorwasserstoffmolekülen vereinigt. Ebenso leicht ist es, die fernere Frage zu beantworten, wie viel Moleküle Chlorwasserstoff durch die Einwirkung von einem Molekül Wasserstoff auf ein Molekül Chlor entstehen. Das Volum des entstandenen Chlorwasserstoffgases ist nämlich ebenso gross, wie die Summe der Volumina des angewendeten Wasserstoff- und Chlorgases, die Anzahl der entstandenen Moleküle ist daher auch gleich der Anzahl der zur Verwendung gekommenen, d. h. 1 Molekül Wasserstoff und 1 Molekül Chlor geben 2 Moleküle Chlorwasserstoff.

Aus dieser einfachen Betrachtung ergibt sich sofort der Schluss, dass die Gasmoleküle gespalten werden können und daher nicht identisch mit den Atomen sind. Die Spaltungsstücke dagegen, von denen je eines vom Wasserstoff sich mit je einem vom Chlormolekül zu einem Chlorwasserstoffmolekül vereinigt, sind nicht mehr spaltbar, weil es kein Molekül giebt, welches weniger Wasserstoff oder Chlor enthält als das Chlorwasserstoffmolekül, sie sind also die wahren Atome. Dass diese aus dem Verhalten der Gase abgeleiteten Atome nun in allen Beziehungen mit den Atomen der Chemiker übereinstimmen, ist eine der schönsten Entdeckungen, welche der menschliche Geist je gemacht hat. Die Körperlichkeit des Gasmoleküls überträgt sich auf das Atom, da dieses beim Wasserstoff ja die Hälfte des ersteren ausmacht, und mit Erstaunen sehen wir in dem Liter Wasserstoffgas eine begrenzte Zahl untheilbarer Wesen vor uns, Weltkörper einer neuen Welt, deren Bahnen wir messen, deren Formen wir berechnen und deren winziges Gewicht wir wägen können. Im gasförmigen Zustande fahren diese zu Weltsystemen vereinigten Atome in rasender Eile hin und her, verdichten wir aber

die Gase durch Druck oder Kälte zu einer Flüssigkeit oder einem festem Körper, dann ermatten ihre Flügel, sie legen sich dicht aneinander und bilden nun durch gegenseitige Anziehung complicirtere Systeme, deren Anordnung die Physik noch nicht zu enträthseln wusste. Der Chemie gelingt es indessen die Gasmoleküle auch in diesem gefesselten Zustande aufzufinden und die Grösse der ihnen entsprechenden Atomsysteme auch bei Verbindungen festzustellen, welche, wie der Zucker, nie gasförmige Gestalt annehmen können.

Stellt man sich nun ein solches aus Atomen bestehendes Gebäude, welches Gas- oder chemisches Molekül genannt wird, vor, so kann man in Bezug auf den inneren Bau zwei Annahmen machen. Entweder bewegen sich die Atome alle um einander und befinden sich in jedem Moment in einer anderen Stellung, oder sie sind fixirt und beschreiben um einen Gleichgewichtspunkt streng von einander gesonderte Bahnen.

Die Erfahrung lehrt, dass die letztere Ansicht die richtige ist, und dass es daher möglich ist zu bestimmen, in welcher Weise die Atome mit einander verbunden sind. Obgleich dieses Problem in vielen Fällen ein sehr complicirtes ist — enthält doch z. B. ein Molekül Rindertalg nicht weniger als 57 Atome Kohlenstoff, 110 Atome Wasserstoff und 6 Atome Sauerstoff — so hat doch gerade in diesem Punkte die Chemie die schönsten Erfolge erzielt und bestimmt die Art der Atomverbindung in diesem und in noch complicirteren Molekülen mit der grössten Leichtigkeit. Es beruht dies auf dem höchst bemerkenswerthen und wunderbaren Umstande, dass die Atome sich mit einander nur nach den einfachsten Verhältnissen verbinden, so dass sich ein Atom Kohlenstoff z. B. höchstens nur mit vier anderen Atomen verbinden kann. Denkt man sich eine grosse Anzahl von Atomen nach so einfachen Gesetzen mit einander verkettet, so erhält man Gebilde, die ihrer Anordnung und Verzweigung nach mit einer Koralle oder einem Baum verglichen werden

können, und es ergiebt sich als Resultat unserer Betrachtungen folgender einfacher Satz: Die Materie besteht aus baumförmig verzweigten Atomsystemen, Moleküle genannt, welche im gasförmigen Zustande isolirt, im flüssigen und festen dagegen einander genähert sind. Die analytische Chemie beschäftigt sich mit der Zerlegung grösserer Systeme in kleinere, die synthetische baut dagegen aus den kleineren grössere auf und verfährt dabei wie der Architekt, nur dass anstatt des Mörtels die Anziehungskraft der Atome benützt wird. Je grösser diese ist, desto fester wird das Gebäude sein, und desto mehr neue Theile werden sich ohne Gefahr des Zusammensturzes mit den alten vereinigen lassen. Durch eine solche Festigkeit der Bindung zeichnet sich vor allen Elementen der Kohlenstoff aus, und desshalb hat sich auch die chemische Synthese durch das Studium der kohlenstoffhaltigen Verbindungen vorzugsweise entwickeln können.

Alle organischen Wesen enthalten Kohlenstoff, in tausend mannigfachen Verbindungen tritt uns dieses Element im lebenden wie im todtten Organismus entgegen, zahlreicher noch sind die kohlenstoffhaltigen Substanzen, welche der Chemiker im Laboratorium erzeugt, und wie seltsam contrastirt damit das Verhalten des Kohlenstoffs selbst, der schwarzen Kohle! Statt der starken und nach vielen Seiten hin entwickelten Anziehungskraft, welche das Kohlenstoffatom in den Verbindungen zeigt, finden wir das Element den meisten Stoffen gegenüber ganz indifferent, weder Wasserstoff noch Chlor wirken darauf, selbst nicht in der Glühhitze, und fast nur Sauerstoff und Schwefel vermögen es bei hoher Temperatur zu verbrennen.

Diese scheinbare Indifferenz, welche dem Nichtchemiker die Chemie des Kohlenstoffs in einem räthselhaften Lichte erscheinen lässt, ist gerade eine Folge der energischen Anziehungskraft, welche ein Atom auf das andere ausübt. Es ist derselbe Grund, welcher den Diamanten so unveränderlich und beständig erhält, und welcher

den Kohlenstoff befähigt, jene zahllosen Gebilde hervorzurufen, die unsere Erde bevölkern. Ein Stoff, der im Stande sein soll, den Kohlenstoff in eine Verbindung überzuführen, muss vorher das feste Band lösen, welches ein Atom an das andere knüpft. Ist dies aber einmal geschehen, und ist das aus seiner Verkettung herausgerissene Kohlenstoffatom mit dem Sauerstoffmolekül der Luft als Kohlensäure davongeflogen, dann bedarf es ebenso wieder der energischsten Mittel, um den Sauerstoff abzustreifen und die Kohlenstoffatome in schwarze Kohle zurückzuführen.

Wenn man sich daher die Aufgabe stellt, von dem einfachsten Kohlenstoff haltenden Molekül zu einem complicirteren vorzuschreiten, so wird man nicht von der schwarzen Kohle, sondern, da das isolirte Kohlenstoffatom nicht existirt, von den einfachsten Verbindungen desselben, von der sauerstoffhaltigen Kohlensäure oder dem wasserstoffhaltigen Grubengas ausgehen müssen. Die Kohlensäure ist in der Natur der Ausgangspunkt für die zahllosen, complicirten Substanzen, welche der Pflanzenorganismus erzeugt, da wenigstens die grünen Pflanzen ihren gesammten Bedarf an Kohlenstoff dieser Quelle entnehmen. In der Geschichte der Pflanze haben wir ein abgerundetes Bild der chemischen Synthese vor Augen. Wie aus der Kohlensäure sich während des Lebens Pflanzensäure, Zucker und Eiweiss, und nach dem Tode brauner Humus und endlich schwarze Kohle erzeugen, so rücken die in der Kohlensäure getrennten Kohlenstoffatome immer näher und näher, bis sie sich endlich in der Kohle zur innigsten Wiedervereinigung zusammenfinden. Indessen ist dieser Prozess wie überhaupt alles Leben an gewisse Bedingungen geknüpft, welche die Mannigfaltigkeit synthetischer Vorgänge auf verhältnissmässig wenige beschränken und aus der unendlichen Reihe der denkbaren Combinationen nur eine geringe Anzahl in's Dasein rufen.

Für synthetische Versuche im Laboratorium eignet sich vor allem das Grubengas. Dieses Gas findet sich in dem Leuchtgas, es ist ferner in den schlagenden Wettern der Steinkohlengruben ent-

halten und entwickelt sich aus dem Schlamm unserer Sümpfe. Es verdankt in allen diesen Fällen seine Entstehung der Zersetzung pflanzlicher Ueberreste. Der Wasserstoff vermag nicht die Kohle zu verbrennen, ist er aber einmal, wie in den Bestandtheilen des Pflanzenleibes, mit derselben verbunden, dann klammert er sich mit der äussersten Kraft daran und ist bei der Fäulniss oder in der Hitze des Ofens sogar im Stande ein einzelnes Kohlenstoffatom aus seiner festen Verbindung herauszureissen. Der Wasserstoff versieht hierbei also ähnliche Funktionen wie der Sauerstoff bei der Verbrennung und der Verwesung, und trotz der scheinbar entgegengesetzten Natur dieser beiden endlichen Auflösungsprozesse sehen wir doch gemeinschaftlich Kohlensäure und Grubengas dem Herde der Fäulniss entweichen. Die Kohlensäure dient wieder zur Ernährung neuer Organismen, das Grubengas wird indessen wegen seiner grossen Beständigkeit in der Atmosphäre nicht zersetzt, wenn es nicht mit dem Blitz oder einem irdischen Feuer zusammentrifft. Wo es bleibt weiss man nicht, da es in der Luft nicht nachweisbar ist, indessen gestattet die neuere Gastheorie zu vermuthen, dass das dem Schlamme der Sümpfe und den Kloaken entstiegene Gas einer höheren Bestimmung entgegengeht und wie weiland das Haar der Berenice als glänzendes Gestirn an den Himmel versetzt wird. Die mittlere moleculare Geschwindigkeit desselben beträgt nämlich bei 0° in der Sekunde 600 Meter, gelangt nun ein Theilchen an die Grenze der Atmosphäre, so ist seine Geschwindigkeit trotz der niedrigen Temperatur des Weltenraums doch vielleicht noch ausreichend um aus der Sphäre der Anziehungskraft unserer Erde zu entweichen. Da nun die Kometen nach den Ergebnissen der Spektralanalyse möglicher Weise aus Kohlenwasserstoffen bestehen, so ist es nicht unmöglich, dass wir in diesen wunderbaren Bewohnern des Himmels unsere verlornen Erdenkinder zu suchen haben.

Dies leicht beschwingte Grubengasmolekül besteht aus einem Atom Kohlenstoff und vier Atomen Wasserstoff. Der Kohlenstoff

bildet die Sonne dieses mikrokosmischen Weltsystems, die vier Wasserstoffatome sind die Planeten, welche ihre Sonne derartig einhüllen, dass nichts anderes sich ihr nähern kann. Will man deshalb zwei solche Sonnen vereinigen, so muss ein Planet entfernt werden. Dies lässt sich nun auf folgendem Wege erreichen.

Mischt man gleiche Volumina Grubengas und Chlorgas mit einander, so bemerkt man, dass die grünliche Farbe des Gemisches allmählig verblasst, und nach vollendeter Reaction finden sich anstatt der ursprünglichen, zwei neue Gase vor, nämlich Chlorwasserstoff und ein chlorhaltiges Grubengas. In jedem Molekül des letzteren ist ein Wasserstoffatom durch ein Chloratom ersetzt, so dass das Kohlenstoffatom in dem neuen Körper mit drei Atomen Wasserstoff und einem Atom Chlor verbunden ist. Erhitzt man nun das gechlorte Produkt mit einem Metall, so verbindet sich das letztere mit dem Chlor und es bleibt von dem Grubengasmolekül nur noch ein System übrig, welches aus einem Atom Kohlenstoff und drei Atomen Wasserstoff besteht. Die Stelle, wo vorher das Chlor stand, ist jetzt leer und es vermag das Kohlenstoffatom an diesem Punkte wieder seine Anziehungskraft auszuüben. Prallen nun zwei solche Atomgruppen an einander, so bleiben die Kohlenstoffatome an der leeren Stelle an einander kleben, da die Anziehungskraft eines Kohlenstoffatoms zu einem andern Kohlenstoffatom sehr bedeutend ist und stärker als die zu den meisten anderen Elementen. Das so entstandene neue Planeten-System enthält eine Doppelsonne aus 2 Atomen Kohlenstoff bestehend, eine jede von 3 Wasserstoffplaneten begleitet. Die Stärke der Anziehung zwischen diesen beiden Sonnen ist nun so gross, dass eine erneute Einwirkung des Chlors nicht im Stande ist sie wieder von einander zu trennen und das ursprüngliche chlorhaltige Grubengas herzustellen. Sie bleiben an einander haften, und die Wirkung des Chlors vermag sich nur auf ein Atom Wasserstoff zu erstrecken, welches wie beim Grubengas durch ein Atom Chlor ersetzt wird. Das Produkt dieser Reaction aus 2 Atomen Kohlenstoff,

5 Atomen Wasserstoff und einem Atom Chlor bestehend wird nun wieder von einem Metall angegriffen und entchlort, worauf die übrig bleibenden Kohlenwasserstoffstücke sich zu einer neuen Kette vereinigen, welche jetzt vier Atome Kohlenstoff enthält. Indem sich dieses Spiel immer wieder von neuem wiederholt, gelingt es immer complicirtere Kohlenwasserstoffe aufzubauen.

Die Eigenschaften dieser Kohlenwasserstoffe sind allgemein bekannt, da ein Gemisch derselben unser gewöhnliches Petroleum bildet. Die einfacheren und daher leichter flüchtigen Glieder mit 6 bis 8 Atomen Kohlenstoff sind in dem Petroleumäther oder Ligroin enthalten, die höheren von etwa 16 Atomen Kohlenstoff aufwärts, bilden das zum Brennen benutzte Oel. Wie weit man diesen Aufbau von Kohlenwasserstoffen treiben kann ist noch nicht bekannt, man besitzt zwar in den Paraffinen Kohlenwasserstoffe, welche mehr als 30 Atome Kohlenstoff enthalten, doch ist das immerhin nur eine geringe Zahl. Vom theoretischen Standpunkte ist kein Grund zu erblicken, weshalb es nicht möglich sein sollte, immer complicirtere Ketten herzustellen, und es verlohnte sich wohl der Mühe nach Methoden zu suchen, welche gestatteten, dies in unbegrenzter Weise ausführen zu können. Wenn es gelänge eine Million Kohlenstoffatome in dieser Weise zu verbinden, so würde man ein Molekül erhalten, welches mit dem Mikroskope sichtbar wäre. Wie würde sich wohl dieses dem Eingriffe eines Messers gegenüber verhalten? Es könnte nicht möglich sein ein solches Partikelchen durch irgend eine mechanische Kraft zu zertrümmern, ohne dass es nicht auch chemisch zersetzt würde. Und da die Stärke der Anziehungskraft, welche die Atome in den Verbindungen ausüben mit dem uns geläufigen Masse gemessen jedenfalls enorm gross ist, so würde uns wahrscheinlich ein solcher Körper absolut hart erscheinen, etwa wie ein Stäubchen vom Diamant. Ja es wäre sogar nicht undenkbar, dass der Diamant seine grosse Härte grade dem Umstande verdankt, dass in ihm die Kohlenstoffatome zu sehr grossen oder complicirten Molekülen vereinigt

sind, und man würde nicht thöricht erscheinen, wenn man den Versuch machte, die Moleküle des Diamanten zu isoliren, indem man das Mineral zum feinsten Pulver zerriebe und untersuchte, ob man auf diesem Wege zu Stäubchen gelangt, welche keine mechanische Kraft weiter zu theilen im Stande wäre.

Von der unübersehbaren Reihe von Kohlenwasserstoffen, welche nach der soeben beschriebenen synthetischen Methode erhalten werden können, lassen sich nun die andern Verbindungen durch Vertretung des Wasserstoffs durch ein anderes Element, wie Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff u. s. w. ableiten. Diese Vertretungen sind aber in vielen Fällen synthetische Vorgänge, welche auf der Verkettung zweier Systeme beruhen. Wir wählen als Beispiel den gewöhnlichsten Vorgang, die Oxydation oder Einführung des Sauerstoffs.

Um einen Kohlenwasserstoff in eine sauerstoffhaltige Verbindung umzuwandeln, geht man nur selten vom freien Sauerstoff, in der Regel von einer Verbindung desselben z. B. vom Wasser aus. Das Wasser enthält ein Sauerstoffatom, verbunden mit 2 Wasserstoffatomen, es ist also ein ähnliches nur einfacher gebautes System wie das Grubengas. Wenn wir nun diese beiden Systeme mit einander vereinigen wollen, so müssen wir, um das Kohlenstoff- und Sauerstoffatom actionsfähig zu machen, von jedem ein Wasserstoffatom entfernen. Um dieses zu bewerkstelligen, kann man dasselbe Mittel benützen, welches zur Synthese der Kohlenwasserstoffe dient, die Verwandtschaft des Chlors zu Metallen. Zu dem Zwecke ersetzen wir im Wasser ein Wasserstoffatom durch ein Kaliumatom, und lassen das so erhaltene sogenannte Aetzkali auf gechlortes Grubengas wirken. Kalium und Chlor vereinigen sich zu Chlorkalium, und der aus einem Atom Wasserstoff und einem Atom Sauerstoff bestehende, Hydroxyl genannte Wasserrest verbindet sich darauf vermittelst der frei gewordenen Anziehungsstelle des Sauerstoffatoms mit dem Kohlenstoffatom des Grubengasrestes. — Auf diesem Wege wird Alkohol durch Synthese erhalten.

Die Einführung des Hydroxyls lässt sich nun so oft wiederholen, wie der Kohlenwasserstoff Wasserstoffatome besitzt, und es entstehen dadurch alle möglichen Combinationen, welche in der Chemie unter dem Namen Alkohol, Zucker, Aldehyd, Aceton und Säure bekannt sind. Auch neue Verkettungen können unter diesen Systemen durch den Sauerstoff bewirkt werden, welche zur Entstehung von Aethern Veranlassung geben.

Den merkwürdigsten Fall solcher auf Sauerstoffverkettung beruhenden Erzeugung complicirter Gebilde bietet uns die Zuckerfamilie dar. Der Traubenzucker enthält sechs Atome Kohlenstoff mit einander verbunden und an jedem ein Sauerstoffatom, welches, einem Angelhaken vergleichbar, im Stande ist, andere Moleküle zu fangen und festzuhalten. Ein solcher Prozess findet nun fortwährend im Pflanzenkörper statt, indem sich complicirte Zuckerverbindungen bilden, welche in der Masse, wie die Zahl der Moleküle zunimmt, ihre Fähigkeit, sich in Wasser zu lösen, einbüßen. So entstehen Gummi und Pflanzenschleim, Stärke und Cellulose. Die Pflanze vermag in vielen Fällen diese Verkettungen wieder zu sprengen und die unlöslichen Formen in lösliche überzuführen, um dann von neuem wieder unlösliche in Form von Stärke oder Zellwand niederzuschlagen. Der Chemiker kann dagegen bis jetzt dieses Band nur lösen, aber nicht wieder verknüpfen. Er kann aus Stärke Zucker machen, aber nicht umgekehrt, und hier harret also noch eins der wichtigsten Probleme der Lösung.

Auch die Eiweisskörper, welche den Inhalt der Pflanzenzelle und den grössten Theil des thierischen Organismus zusammensetzen, sind nach einem ähnlichen Gesetz der Verkettung gebildet, nur dass die Bausteine stickstoffhaltige Körper sind. Was die Natur dieser Bausteine betrifft, so kennen wir schon eine stattliche Zahl genauer und können auch einige derselben auf künstlichem Wege darstellen. Der Wiederaufbau des Eiweissmoleküls ist indessen noch nicht ver-

sucht, obgleich einige Anzeichen, wie die Rückbildung von eiweissartigen Körpern aus den Produkten der Verdauung, welche Henninger und Hofmeister jüngst beobachtet haben, dafür zu sprechen scheinen, dass auch diese Synthese kein Ding der Unmöglichkeit ist.

Trotzdem wird wohl nie der Tag kommen, wo Fleisch und Gemüse von unserer Tafel verbannt und durch chemische Präparate ersetzt sein wird, der Ackerbauer und der Viehzüchter braucht nicht zu fürchten, dass an Stelle von Scheune und Stall sich eine chemische Fabrik zur künstlichen Darstellung von Nahrungsmitteln erheben wird. Sonne und Regen, die Kohlensäure der Luft und die mineralischen Schätze des Erdbodens liefern uns ja den Pflanzenkörper und damit auch den Thierleib in unerschöpflicher Fülle und gegen den geringen Einsatz einiger Pflege und Nachhülfe. Ganz anders verhält es sich aber mit denjenigen Produkten des Pflanzen- und Thierreichs, welche nur von wenigen oder gar nur von einer einzigen Art geliefert werden. Hier ist die synthetische Chemie von tiefeingreifender volkswirtschaftlicher Bedeutung, und ist oft im Stande, die natürlichen Produkte zu Preisen zu liefern, mit denen der Ackerbauer oder der Sammler nicht concurriren kann. Das glänzendste Beispiel der Art ist das Krapproth, dessen künstliche Darstellung im Jahre 1868 in meinem Laboratorium von Herrn Graebe und Herrn Liebermann entdeckt worden ist.

Das in der Wurzel der Krapp-Pflanze enthaltene Krapproth ist wegen der Schönheit und Beständigkeit der rothen und violetten Farben, welche sich damit erzeugen lassen, einer der werthvollsten Farbstoffe. Seine Anwendung als Farbstoff datirt aus den ältesten Zeiten menschlicher Kultur, da die Tücher, in welche die Aegypter ihre Mumien wickelten, zum Theil mit diesem Farbstoff gefärbt sind. Die Griechen und Römer kannten den Krapp ebenfalls und gebrauchten schon dieselben Mittel zum Befestigen des Farbstoffes auf dem

Zeuge, welche noch heute üblich sind. Nach dem Sturze des römischen Reichs scheint sich die Cultur der Krapppflanze nach dem Orient zurückgezogen zu haben und wurde erst im 16ten Jahrhundert nach Holland, und im darauf folgenden nach dem Elsass verpflanzt. Im Jahre 1762 führte ein Armenier den Krappbau in Avignon ein, welches noch jetzt der Centralpunkt der französischen Krapp-Produktion ist, deren Bedeutung danach ermessen werden kann, dass allein im Departement Vaucluse jährlich für 20 Millionen Mark Krappwurzel erzeugt werden. Die Entdeckung der künstlichen Darstellung des Krapproths aus dem Steinkohlentheer hat nun diese blühende Cultur auf's ernstlichste gefährdet. Im Jahre 1875 producirte Deutschland allein in 12 Fabriken für 15 Millionen Mark künstliches Alizarin, zwei Fabriken bestanden in der Schweiz und je eine in England und Frankreich. Die Fabrikation dieses Farbstoffes hat dabei von Jahr zu Jahr beträchtlich zugenommen und wird voraussichtlich bald im Stande sein, den Krappbau aus Europa zu verdrängen, da das Rohmaterial, der bei der Bereitung des Leuchtgases als Nebenprodukt gewonnene Steinkohlentheer, in hinreichender Fülle vorhanden ist. Die jährliche Produktion von Krappwurzel in Europa beträgt nämlich 48 Millionen Kilogramm; um diese Menge zu ersetzen muss der Theer von 20 Millionen Centner Steinkohlen verarbeitet werden, England verbraucht aber allein schon über 40 Millionen Centner Steinkohlen zur Gasbereitung. Diese Zahlen haben für uns ein doppeltes Interesse, einerseits zeigen sie, dass es der Kunst des Chemikers gelingt aus einem früher werthlosen Material enorme Schätze hervorzuzaubern und dadurch grosse Strecken fruchtbaren Landes seiner ursprünglichen Bestimmung, der Erzeugung von Nahrungsmitteln, wieder zurückzugeben, andererseits haben sie aber auch eine grosse nationale Bedeutung. Das gegen England und Frankreich in Bezug auf seine natürlichen Hilfsmittel soweit zurückstehende Deutschland hat durch geistige Arbeit beiden Ländern eine Quelle nationalen Wohlstandes abgerungen, der Deutsche braucht für seinen Bedarf dem Auslande keinen Tribut mehr zu entrichten son-

dern empfängt vielmehr einen solchen von dem Auslande und dabei entspringt die Quelle, welche diese Schätze liefert nicht auf deutschem sondern auf englischem Boden. Es ist eine der merkwürdigsten wirthschaftlichen Erscheinungen auf dem Gebiete der chemischen Industrie, dass das industriellste und praktischste Volk der Welt in Bezug auf die Verarbeitung des seinem eigenen Boden entstammenden Steinkohlentheers von den Deutschen überflügelt worden ist. Die zahlreichen Farbenfabriken Deutschlands beziehen weitaus den grössten Theil ihres Bedarfes an Steinkohlentheer aus England und versorgen drei viertel der ganzen Welt mit den daraus gewonnenen Theerfarben.

Dieser Erfolg deutschen Wissens und deutscher Arbeit ist gut und schön und doppelt erfreulich ist es für mich an dieser Stelle davon zu sprechen, da der geistige Urheber davon Niemand anderes ist, als Liebig, der Mann, welcher das deutsche Laboratorium zum ersten der Welt machte. Indessen dürfen wir nicht auf unsern Lorbeeren ruhen, wir können gewiss sein, dass dasselbe England, welches jetzt ruhig zuschaut, wie wir seinen Theer in Farben verwandeln und zu hohem Preise an das Ausland verkaufen, nicht zögern wird die Quelle zu verschliessen, sowie es deutscher Arbeit gelungen ist, alle technischen Schwierigkeiten zu beseitigen und die Fabrikation der Farben zu einer Vollkommenheit zu entwickeln, wie sie in der Soda und Schwefelsäureindustrie thatsächlich vorhanden ist. Der einzige Schutz dagegen besteht in unablässiger Arbeit, eine Entdeckung muss sich an die andere reihen und nie darf sich Deutschland auf diesem Gebiete der ruhigen Ausbeutung früherer Erfindungen hingeben.