

## Einleitung.

1. In dem uns umgebenden Raume finden wir Bestandteile, die sich durch die Eindrücke, die sie auf unsere Sinne hervorrufen, nebeneinander kenntlich machen.

Wir nennen diese Bestandteile des Raumes, die sich von einander unterscheiden, Körper. Die Unterscheidungsmerkmale bedingen ihre Eigenschaften.

Eine allen Körpern gemeinsame Eigenschaft ist die, daß sie ein Gewicht besitzen, daß also, um ihre Lage zu verändern, die Aufwendung einer gewissen Muskelarbeit erforderlich ist. Alles, was Gewicht besitzt, was einer Platzänderung einen gewissen Widerstand entgegensetzt, nennen wir Stoff oder Materie. Das Maß dieses Widerstandes ist durch die Masse gegeben. (Als Einheit der Masse dient ein Stück Platin, das in Paris aufbewahrt wird, dessen Gewicht unter diesem Breitengrad als Kilogramm bezeichnet wird.)

Unter den Eigenschaften der Körper gibt es solche, die dem Stoff, aus dem sie bestehen, eigentümlich sind, wie Farbe, Geschmack, Durchlässigkeit für Lichtstrahlen usw. Diese Eigenschaften sind, unabhängig von der gerade vorliegenden Probe, wesentlich für die ganze Art. Man bezeichnet sie als charakteristisch. Andere sind zufällig, wie die Temperatur, Dimensionen, Lage usw.

2. Die Körper zeigen Veränderungen ihrer Eigenschaften, die man als Erscheinungen bezeichnet. Unter ihnen gibt es solche, die den Stoff der Körper, bei denen sie auftreten, nicht ändern. Beispielsweise schmilzt das Salz bei Rotglut zu einer farblosen, beweglichen Flüssigkeit, die bei dem Abkühlen zu einer weißen kristallinischen Masse erstarrt. Bei diesen verschiedenen Zustandsänderungen hat aber das Salz keine seiner wesentlichen Eigenschaften eingebüßt. Es hat seinen eigentümlichen Geschmack, seine Dichte, seine Löslichkeit im Wasser bewahrt. Löst man es in Wasser auf und läßt das Lösungsmittel verdunsten, so findet man das Salz unverändert wieder. Alle Erscheinungen, die das Salz bei diesen Zustandsänderungen aufweist, sind physikalische.

Die physikalischen Erscheinungen sind also dadurch charakterisiert, daß sie die Natur der Körper nicht ändern. Man kann sie daher durch geeignete Verfahren beliebig oft wiederholen.

3. Erhitzt man Zucker in einem Glasrohre, so beobachtet man eine ganz andere Erscheinung. Erst schmilzt er, aber seine Farbe wird dabei braun, dann schwarz. Dann sieht man dicke Rauchwolken sich entwickeln, die an der Mündung des Tiegels brennen. Schließlich bleibt ein schwarzer, aufgeblähter, bröckeliger Rückstand übrig, der in Wasser unlöslich ist und keinen Geschmack besitzt.

Der Stoff, aus dem der Zucker besteht, hat also bei diesem Versuch eine tiefgreifende Veränderung erfahren, und diese Veränderung ist eine endgültige. Es ist unmöglich, mit demselben Stück Zucker den Versuch noch einmal auszuführen.

Wir nehmen täglich solche Erscheinungen wahr, die die Natur der Körper, bei denen sie eintreten, vollständig verändern. Vor allen sind das die Verbrennungsercheinungen (Petroleum, Kohle, Holz usw.), das Rosten der Metalle, die Fäulnis der organischen Substanz. Sie geben uns das Beispiel chemischer Vorgänge.

4. Die Verbrennungsercheinungen lassen sich leicht experimentell verfolgen. Bei unseren Verbrennungsprozessen verschwindet die brennbare Substanz mehr oder minder vollständig. Verbrennen wir aber ein Metall, z. B. Eisen, so verhält es sich anders.

Man läßt Eisenspäne durch einen Magneten anziehen, hängt den Magneten an einer Wage auf und tariert genau aus. Darauf zündet man das Eisen an. Man beobachtet, daß die Eisenteilchen wie Zunder brennen. Zu gleicher Zeit senkt sich die Wagschale allmählich auf der Seite des Magnetes. Also vermehrt das Eisen bei der Verbrennung sein Gewicht. Es verwandelt sich in eine blauschwarze Masse, die nicht mehr die charakteristischen Eigenschaften des Eisens besitzt, vor allem nicht mehr schmiedbar ist, d. h. sich bei Rotglut durch Hammerschläge nicht mehr zusammenschweißen läßt.

Wenn die meisten Brennstoffe bei der Verbrennung ihr Gewicht zu verringern scheinen, so daß es manchmal sogar gleich Null wird, so kommt dies daher, daß ihre Verbrennungsprodukte Gase sind. Es ist beispielsweise leicht zu erkennen, daß bei der Verbrennung von Petroleum, von einer Kerze Wasserdampf entsteht. Man braucht dazu nur über die Flamme eine Metallschale mit glatten Wänden zu halten, die mit kaltem Wasser gefüllt ist, um auf dem Metalle einen starken Feuchtigkeitsbeslag zu beobachten. Wir können daraus schließen, daß Wasser ein Produkt der Verbrennung ist. Es existiert nicht bereits als solches in dem Brennstoff. (Seine Befeuchtung genügt, um die Verbrennung zu verzögern oder gänzlich zu verhindern.) Läßt man eine auf einer Wagschale befestigte Kerze derart verbrennen, daß sich über der Flamme ein Zylinder befindet (Fig. 1), der einen Körper enthält, der die Verbrennungsprodukte binden kann (kaustische Soda), so beobachtet man, daß die Umwandlung der Kerze keine Erscheinung ist, bei der Materie zerstört wird, daß im Gegenteil die Umwandlungsprodukte des Brennstoffes mehr wiegen als dieser. Tatsächlich senkt

sich die vor Beginn des Versuchs ins Gleichgewicht gebrachte Wage auf die Seite der Kerze.

Die Gewichtsvermehrung, die wir bei allen Verbrennungserscheinungen beobachten können, kommt daher, daß der Brennstoff aus der

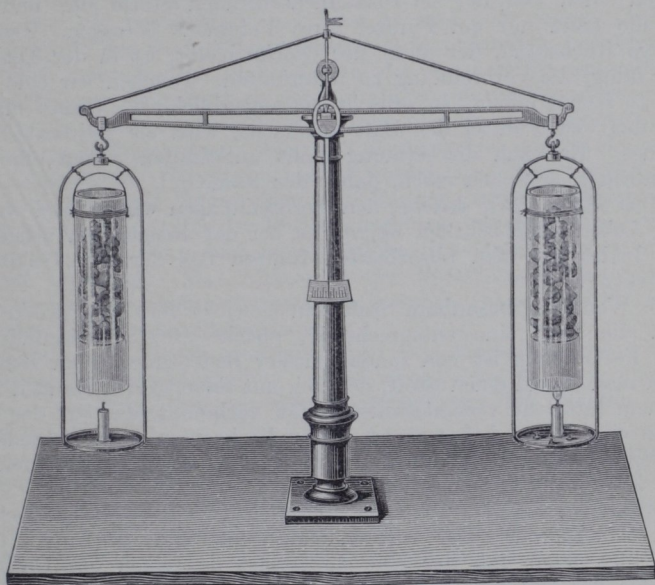


Fig. 1.

Luft eine gewisse Menge eines Stoffes entnimmt. Man kann diese Annahme durch die folgenden Versuche beweisen, bei denen eine Verbrennung in einem bestimmten Luftraum vorgenommen wird. In einen Wasser enthaltenden Behälter (pneumatische Wanne) bringt man einen Schwimmer, der ein Porzellanschälchen trägt. In dieses Schälchen legt man eine kleine Menge Phosphor, dann bedeckt man den Schwimmer mit einer tubulierten Glocke (Glocke mit Hals). Mit einem heißen Draht berührt man den Phosphor, der sich sofort entzündet. Man zieht den Draht zurück und schließt den Tubus schnell mit einem Stopfen. Der Phosphor verbrennt mit stark leuchtender Flamme, wobei weiße Rauchwolken entstehen, die in Wasser löslich sind. Das Verbrennungsprodukt wird also unter der Glocke keinen Raum beanspruchen. Zu Beginn des Versuchs beobachtet man eine beträchtliche Vermehrung des Luftvolumens, verursacht durch die Ausdehnung der in der Glocke befindlichen Luft infolge der Temperaturerhöhung, bald aber steigt der Wasserspiegel in der Glocke an, bis er den im Behälter

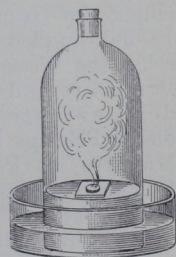


Fig. 2.

*Übersatz (Fig. 2).* Läßt man nach dem Erlöschen des Phosphors das in der Glocke abgegebene Gas vollständig erkalten, so beobachtet man, daß es eine erhebliche Verringerung erfahren hat, die ein Fünftel des Anfangsvolumens beträgt. Die Luft büßt also bei den Verbrennungen einen Teil der sie zusammensetzenden Stoffe ein, und diese Einbuße kann nur ein Fünftel ihres Volumens betragen. Der gasförmige Rückstand, der unter der Glocke bleibt, ist in der Tat nicht mehr fähig, die Verbrennung zu unterhalten. Tauchen wir eine angezündete Kerze hinein, so erlischt sie augenblicklich. Dieses inaktive Gas, das vier Fünftel der Luft ausmacht, wird als Stickstoff bezeichnet. Er kann die Atmung nicht unterhalten. Tiere, die man hineinbringt, ersticken rasch, daher der Name.

Das aktive Gas, das bei den Verbrennungen wirkt, und das für unser Leben unentbehrlich ist, da es bei der Respiration ausgenützt wird, bildet also den absorbierten fünften Teil der Luft, es ist der Sauerstoff.

5. Wenn der brennbare Stoff sein Gewicht vermehrt, erfährt hingegen die Luft eine entsprechende, gleiche Gewichtsverminderung. Diese Feststellung ist von fundamentaler Bedeutung. Man zeigt sie, indem man irgend einen Stoff, der sich mit Sauerstoff verbinden kann, in einem luftdicht verschlossenen Gefäß verbrennt, das auf der einen Schale einer Waage befestigt ist. Man beobachtet dann während der Verbrennung keine Gewichtsveränderung. Also verursacht Verbrennung keine Zerstörung der Materie.

Wenn ein Körper verbrennt, unterliegen zwei Stoffe einer chemischen Veränderung: Der verbrennende Stoff und die Luft. Dabei beobachtet man, daß der Gewichtsverlust des einen der Gewichtszunahme des anderen absolut gleich ist.

Unzählige Versuche haben bewiesen, daß, wenn mehrere Körper chemisch aufeinander einwirken, dies stets so ist. Jeder der Körper kann eine Gewichtsveränderung erleiden, aber das Gesamtgewicht aller Stoffe, die in Betracht kommen, bleibt nach der Einwirkung das gleiche. Diese Feststellung bildet die Grundlage der gesamten Chemie. Das empirische Grundgesetz, das sie ausdrückt, ist erst am Schlusse des 18. Jahrhunderts erkannt worden (Lavoisier). Man kann es auf verschiedene Weise definieren, z. B. die Summe der Gewichte der Produkte jedes chemischen Vorgangs ist gleich der Summe der Gewichte seiner Ingredienzien. Der allgemeinste Ausdruck dieses Prinzips lautet: Die Menge der im Weltall enthaltenen Materie ist konstant. So erhält es dann dieselbe Form wie das Fundamentalgesetz der Physik: Die Menge der Energie im Weltall ist konstant.

Neuere Untersuchungen (von Landolt vorgenommen), die mit ganz besonderen Vorichtsmaßregeln angestellt wurden und bei denen das Gewicht der in Reaktion tretenden Körper auf ungefähr  $\frac{1}{10000000}$  genau festgestellt wurde, haben die Richtigkeit dieses Satzes wieder bestätigt. Wenn man in gewissen Fällen eine allerdings nur außerordentlich geringe Gewichtsverringerung des Apparats nach der Umsetzung feststellte, so wurde dieser Verlust durch die Durchlässigkeit

des Glases für bestimmte noch wenig bekannte Körper verschuldet, die bei der chemischen Umsetzung entstehen. Man kann ihn dadurch verhindern, daß man den Gasbehälter mit Paraffin überzieht.

6. Die Chemie ist die Wissenschaft, die sich mit den Veränderungen der Materie beschäftigt. Im Anfang eine rein beschreibende Wissenschaft, wie alle beobachtenden Lehren es sind oder waren, hat sie sich im Laufe des letzten Jahrhunderts außerordentlich verändert.

Neben dem Studium der Gesetze, die die von ihr untersuchten Prozesse beherrschen, sucht sie deren Erklärung durch Hypothesen über die innere Zusammensetzung der Körper und die bestimmenden Ursachen ihrer Veränderungen. Aber das Studiengebiet der Chemie ist ein noch viel größeres. Wie wir bald sehen werden, sind diese Umsetzungen stets verknüpft mit Änderungen der Energie, deren Studium nicht minder wichtig ist als das der Materie, in der sie vor sich gehen. Außerdem ziehen chemische Änderungen solche der physikalischen Eigenschaften nach sich. Das Aufsuchen der Beziehungen, die zwischen diesen beiden Arten von Modifikationen bestehen, macht auch einen Teil des Arbeitsgebiets der Chemie aus.

Chemie und Physik sind also zwei Wissenschaften, die vielfach gemeinsame Gebiete bearbeiten, und es wäre müßig, für jede eine Definition zu suchen, wodurch man sie scharf von der anderen unterscheiden kann.

Es würde übrigens auch zwecklos sein, eine scharfe Abgrenzung zwischen chemischen und physikalischen Vorgängen zu versuchen. Wenn man z. B. leicht die Unterschiede wahrnimmt, die ein zur Rotglut erhitzter und ein verbrennender Körper darbieten, und in der Veränderung jenes Körpers einen physikalischen, in der dieses einen chemischen Vorgang wahrnimmt, so werden wir weiterhin Fälle finden, in denen man unmöglich entscheiden kann, ob der Vorgang als chemischer oder physikalischer zu bezeichnen ist.

7. Mischungen und Verbindungen. Wir sahen, daß bei einer Verbrennung der brennbare Stoff sich verändert, indem er eine gewisse Menge eines in der Luft enthaltenen Stoffes bindet. Die Art der Vereinigung von Körpern, die sich bei einem chemischen Vorgang verbinden, muß nun näher untersucht werden. Man bezeichnet mit Verbindung sowohl den Vorgang selbst wie auch das dabei entstehende Produkt. Man bezeichnet den Vorgang der chemischen Umsetzung mehrerer Körper untereinander auch mit Reaktion.

Ist nun eine Verbindung ein spezieller Fall einer Mischung?

Eine Mischung entsteht durch das mehr oder minder innige Zusammenbringen der Teilchen verschiedener Körper. Wenn wir also sehr feinen Eisenstaub mit Schwefelblumen verreiben, entsteht ein graugrünes Pulver, in dem wir mit bloßem Auge weder Eisen noch Schwefel mehr erkennen können. Ein gutes Mikroskop würde uns aber gestatten, sie wieder zu finden. Ferner braucht man, um das Eisen von dem Schwefel zu trennen, nur gewisse Methoden anzuwenden, die auf den physikalischen Eigenschaften des einen oder anderen beruhen. So können wir, wenn wir einen Magneten in dem Pulver bewegen, das Eisen daraus entfernen. Kochen wir das Pulver mit Petroläther, so

werden wir den Schwefel ausziehen, der darin löslich ist. Man braucht dann nur abzufiltrieren, um das Eisen zu trennen, und den Petroläther verdunsten zu lassen, um den Schwefel wieder zu finden. Also sind in dieser Mischung die physikalischen Eigenschaften des Eisens und Schwefels vollständig erhalten geblieben. Das ist ein Kennzeichen einer Mischung.

Ein zweites Kennzeichen einer Mischung ist die Veränderlichkeit ihrer Zusammensetzung. Man kann Gemische von Eisen und Schwefel in verschiedenen, willkürlichen Verhältnissen darstellen, man kann in unmerklichen Übergängen von reinem Eisen zu reinem Schwefel gelangen, indem man Körnchen für Körnchen des Eisens entfernt und dafür beliebig kleine Mengen des Schwefels hinzufügt. Alle so hergestellten Vereinigungen werden immer Mischungen des Eisens und Schwefels bleiben, die zu gleicher Zeit die physikalischen Eigenschaften des Schwefels und Eisens besitzen.

Im Gegensatz hierzu wollen wir nun eine Mischung aus sieben Teilen Eisen und vier Teilen Schwefel herstellen und dann irgend eine Stelle der Mischung mit einem glühenden Eisendraht berühren. An der Berührungsstelle findet ein lebhaftes Erglühen statt, das sich allmählich durch die ganze Mischung fortpflanzt, die sich in eine Verbindung verwandelt, das Schwefeleisen. Läßt man erkalten, so erhält man eine schwarze zerreibliche Masse, die im Aussehen wohl unterschieden ist von der ursprünglichen Mischung. Sie wird vom Magneten nicht mehr angezogen und gibt nichts an Petroläther ab.

Die stärksten Vergrößerungen würden die Gegenwart von Schwefel- oder Eisenteilchen nicht mehr wahrnehmen lassen. Die physikalischen Eigenschaften der Bestandteile finden sich also nicht mehr. Ebenso verhält es sich mit den chemischen Eigenschaften. Schwefel z. B., auf  $300^{\circ}$  erhitzt, entzündet sich und brennt mit blauer Flamme, wobei er sich in ein stechend riechendes Gas verwandelt. Erhitzt man das neue Produkt auf  $300^{\circ}$ , so läßt sich nichts Ähnliches beobachten. Setzt man das Eisen der Feuchtigkeit aus, so rostet es, die Verbindung von Schwefel und Eisen nicht.

8. Neben dem Verschwinden der Eigenschaften der Bestandteile finden wir ein anderes wesentliches Charakteristikum der Verbindung, nämlich die Konstanz seiner Zusammensetzung. Wenn wir auf sieben Teile Eisen vier Teile Schwefel nehmen, dann weist die genaueste Prüfung des erhaltenen Produkts nur einen Stoff auf; es ist homogen. Vermehren wir den Anteil des Schwefels oder des Eisens auch nur um eine Kleinigkeit, so ist das nicht mehr der Fall. Wenn wir anstatt sieben Teile Eisen auf vier Teile Schwefel 7,1 Teile Eisen nehmen, dann bekommen wir 11 Teile Schwefeleisen und 0,1 Teile unveränderten Eisens. Das Produkt ist also nicht mehr homogen.

Bei dem gewählten Beispiel ist der Anteil des im Übermaß zugesetzten Eisens ziemlich hoch; er beträgt  $1,43\%$  der Eisenmenge. Man könnte sich nun fragen, ob das Produkt nicht homogen werden würde, wenn die Menge des überschüssigen Eisens sehr gering sein würde, z. B.  $0,000143\%$ . Dem ist aber nicht so. In dem Maße, wie sich die analytischen Methoden vervollkommneten und gestatteten, immer ge-

werden wir den Schwefel ausziehen, der darin löslich ist. Man braucht dann nur abzufiltrieren, um das Eisen zu trennen, und den Petroläther verdunsten zu lassen, um den Schwefel wieder zu finden. Also sind in dieser Mischung die physikalischen Eigenschaften des Eisens und Schwefels vollständig erhalten geblieben. Das ist ein Kennzeichen einer Mischung.

Ein zweites Kennzeichen einer Mischung ist die Veränderlichkeit ihrer Zusammensetzung. Man kann Gemische von Eisen und Schwefel in verschiedenen, willkürlichen Verhältnissen darstellen, man kann in unmerklichen Übergängen von reinem Eisen zu reinem Schwefel gelangen, indem man Körnchen für Körnchen des Eisens entfernt und dafür beliebig kleine Mengen des Schwefels hinzufügt. Alle so hergestellten Vereinigungen werden immer Mischungen des Eisens und Schwefels bleiben, die zu gleicher Zeit die physikalischen Eigenschaften des Schwefels und Eisens besitzen.

Im Gegensatz hierzu wollen wir nun eine Mischung aus sieben Teilen Eisen und vier Teilen Schwefel herstellen und dann irgend eine Stelle der Mischung mit einem glühenden Eisendraht berühren. An der Berührungsstelle findet ein lebhaftes Erglühen statt, das sich allmählich durch die ganze Mischung fortpflanzt, die sich in eine Verbindung verwandelt, das Schwefeleisen. Läßt man erkalten, so erhält man eine schwarze zerreibliche Masse, die im Aussehen wohl unterschieden ist von der ursprünglichen Mischung. Sie wird vom Magneten nicht mehr angezogen und gibt nichts an Petroläther ab.

Die stärksten Vergrößerungen würden die Gegenwart von Schwefel- oder Eisenteilchen nicht mehr wahrnehmen lassen. Die physikalischen Eigenschaften der Bestandteile finden sich also nicht mehr. Ebenso verhält es sich mit den chemischen Eigenschaften. Schwefel z. B., auf  $300^{\circ}$  erhitzt, entzündet sich und brennt mit blauer Flamme, wobei er sich in ein stechend riechendes Gas verwandelt. Erhitzt man das neue Produkt auf  $300^{\circ}$ , so läßt sich nichts Ähnliches beobachten. Setzt man das Eisen der Feuchtigkeit aus, so rostet es, die Verbindung von Schwefel und Eisen nicht.

8. Neben dem Verschwinden der Eigenschaften der Bestandteile finden wir ein anderes wesentliches Charakteristikum der Verbindung, nämlich die Konstanz seiner Zusammensetzung. Wenn wir auf sieben Teile Eisen vier Teile Schwefel nehmen, dann weist die genaueste Prüfung des erhaltenen Produkts nur einen Stoff auf; es ist homogen. Vermehren wir den Anteil des Schwefels oder des Eisens auch nur um eine Kleinigkeit, so ist das nicht mehr der Fall. Wenn wir anstatt sieben Teile Eisen auf vier Teile Schwefel 7,1 Teile Eisen nehmen, dann bekommen wir 11 Teile Schwefeleisen und 0,1 Teile unveränderten Eisens. Das Produkt ist also nicht mehr homogen.

Bei dem gewählten Beispiel ist der Anteil des im Übermaß zugesetzten Eisens ziemlich hoch; er beträgt  $1,43\%$  der Eisenmenge. Man könnte sich nun fragen, ob das Produkt nicht homogen werden würde, wenn die Menge des überschüssigen Eisens sehr gering sein würde, z. B.  $0,000143\%$ . Dem ist aber nicht so. In dem Maße, wie sich die analytischen Methoden vervollkommneten und gestatteten, immer ge-

ringere Mengen eines im Überschuß zugesetzten Bestandtheiles nachzuweisen, nahm man wahr, daß dieser Überschuß nicht angegriffen wurde. Man hat daraus geschlossen, daß, wenn unsere Forschungsmethoden unendlich fein wären, derart, daß man mit einer undenkbar kleinen Fehlergrenze das Verhältnis der Bestandtheile einer Verbindung feststellen könnte, die durch ihre Vereinigung ein homogenes Produkt liefern, daß dann jeder Überschuß eines der beiden Bestandtheile unangegriffen wieder gefunden werden müsse, da sonst die Homogenität nicht mehr vorhanden wäre. Aus dieser Erfahrungstatsache können wir den folgenden Schluß ziehen:

Das Verhältnis, in dem zwei oder mehrere Körper sich zu einer Verbindung vereinigen, unterliegt keinen stetigen Änderungen. Im Gegensatz dazu konnten wir früher feststellen, daß das Gewichtsverhältnis in einer Mischung solchen Änderungen unterliegen kann. Den eben ausgesprochenen Satz können wir auch umkehren, und er bleibt doch richtig. Eine bestimmte Verbindung besitzt immer dieselbe Zusammensetzung. Wir können nie und nimmer einen diesem Schwefeleisen, das aus der Vereinigung von sieben Teilen Eisen und vier Teilen Schwefel besteht, gleichen Körper darstellen, wenn wir Eisen oder Schwefel in anderem Verhältnis verwenden, ganz gleich welche Versuchsbedingungen wir wählen. Das experimentell gewonnene Gesetz, das wir aus dieser Tatsache ableiten, ist unter dem Namen des Gesetzes der festen Verhältnisse oder der Konstanz der Proportionen bekannt. Es lautet:

Zwei oder mehrere Körper, die miteinander eine bestimmte Verbindung bilden, vereinigen sich stets in einem bestimmten unveränderlichen Gewichtsverhältnis.

Das Gesetz von den festen Verhältnissen, wie das von Lavoisier, beruht auf experimenteller Grundlage, deren Genauigkeit mit der Feinheit der Methoden zusammenfällt, die wir zur Prüfung anwenden können. Da wir dabei niemals eine Ausnahme gefunden haben, drängen sie sich uns fast mit derselben absoluten Notwendigkeit auf wie die mathematischen Grundgesetze. Man muß sich daher wohl hüten, sie den sogenannten Annäherungsgesetzen gleichzustellen, die nicht mehr genau sind, wenn man die Bedingungen ändert, für die sie aufgestellt sind, oder wenn man sie durch feinere Methoden zu kontrollieren versucht. Ein solches Gesetz ist beispielsweise das Mariottesche.

9. Die Verbindung unterscheidet sich noch dadurch von einer Mischung, daß sie nicht zwischen beliebigen Körpern stattfindet. So können wir wohl Kupfer und Eisen miteinander mischen, aber es ist unmöglich, eine Verbindung zwischen beiden herzustellen. Im Gegensatz dazu könnten wir eigentlich alle Körper mehr oder minder vollkommen miteinander mischen, z. B. wenn wir sie durch genügende Abkühlung in den festen Zustand überführten und dann miteinander pulverten.

Allerdings ist es angebracht, bereits hier darauf hinzuweisen, daß, wenn auch in der Mehrzahl der Fälle eine Verbindung und eine Mischung voneinander unterschieden werden können, dem nicht immer so ist.



Dafür geben uns die Lösungen ein Beispiel. Im allgemeinen kann ein Körper in einem anderen nur innerhalb bestimmter Grenzen aufgelöst werden. So kann man bei gewöhnlicher Temperatur nicht mehr als 36 Teile Kochsalz in 100 Teilen Wasser auflösen. Eine Salzlösung besitzt nun nicht mehr alle Eigenschaften des Wassers. Ihr Gefrierpunkt liegt unter  $0^{\circ}$ , ihr Siedepunkt über  $100^{\circ}$ . Die Zusammensetzung einer Lösung ist also nur innerhalb bestimmter Grenzen willkürlich, und die physikalischen Eigenschaften der Bestandteile verändern sich dabei mehr oder minder. Manchmal bedeutet sogar die Auflösung eines Körpers in einen anderen einen echten chemischen Vorgang, wofür wir noch zahlreiche Beispiele finden werden.

10. Wir sehen, daß wir in einer Verbindung die eigentümlichen chemischen oder physikalischen Eigenschaften der Bestandteile nicht mehr wiederfinden, und daß die Trennungsmittel, die auf den physikalischen Eigenschaften der Bestandteile beruhen, unfähig sind, eine Scheidung des Systems auszuführen. Wir können uns nunmehr die Frage vorlegen, sind diese Bestandteile endgültig verschwunden, ist ihre Materie vollständig umgewandelt? Die Antwort auf diese Frage lautet: Nein. Man kann die Stoffe, die eine Verbindung eingegangen sind, wiederfinden und wieder ausziehen. Wenn wir beispielsweise Schwefel mit Kupfer verbinden, ähnlich wie wir es für das Eisen angenommen hatten, beobachten wir eine Erscheinung, die vollständig der gleicht, die bei der Bildung des Schwefeleisens beobachtet wurde. Es entsteht eine schwarze Masse, Schwefelkupfer. Wir pulvern nun dieses Schwefelkupfer, bringen es in ein Gefäß, das Salpetersäure<sup>1)</sup> enthält, und erwärmen gelinde. Das Schwefelkupfer wird sehr energisch angegriffen, es entwickeln sich reichliche Mengen roter Dämpfe, und wir erhalten eine blaue Flüssigkeit, auf deren Oberfläche man bald Tröpfchen geschmolzenen Schwefels herumschwimmen sieht. Durch diese chemische Umwandlung des Schwefelkupfers können wir also den Schwefel daraus abscheiden. Verdampfen wir die blaue Flüssigkeit, so beobachten wir die Bildung einer festen, blauen, kristallinischen, wasserlöslichen Substanz. Tauchen wir einen Eisenstreifen in die Auflösung, so bedeckt er sich augenblicklich mit einer roten Schicht metallischen Kupfers. Lassen wir das Eisen genügend lange einwirken, so verschwindet die blaue Farbe völlig, um einer schmutzigrünen Platz zu machen.

Schwefel und Kupfer können also aus ihrer Verbindung wieder abgeschieden werden. Bei dem eben beschriebenen Versuch haben wir erst den Schwefel zurückgewonnen und das Kupfer in einen blauen, wasserlöslichen Stoff verwandelt. Mit Hilfe des Eisens wurde dieser seinerseits umgewandelt und das Kupfer abgeschieden.

Eine chemische Verbindung kann also in ihre Bestandteile zerlegt werden. Um das zu erzielen, genügt es aber nicht, zu mechanischen Prozessen seine Zuflucht zu nehmen, die auf der Kenntnis der physikalischen Eigenschaften der Bestandteile beruhen. Später werden wir die Methoden studieren, auf die man zurückgreifen kann.

<sup>1)</sup> Salpetersäure ist eine Verbindung, die weder Kupfer noch Schwefel enthält.

11. Chemische Affinität. Man bezeichnet mit chemischer Affinität die Ursache, die die Körper veranlaßt, sich zu vereinigen und die sie aneinander fesselt, wenn die Vereinigung vor sich gegangen ist. Man kann sie mit einer Anziehungskraft vergleichen. Die Thermodynamik gestattet einen genauen Begriff zu geben, wie wir später sehen werden.

Unsere auf die Affinität bezüglichen Kenntnisse sind von weit geringerer Tragweite als die, die wir über die Ursachen der physikalischen Erscheinungen besitzen, wie der allgemeinen Anziehungskraft, elektrischer Anziehung und Abstoßung usw.

Während wir die Gesetze festzustellen vermochten, die die Wirkung derjenigen Kräfte regieren, durch deren Vorhandensein wir diese Vorgänge erklären, steht es für die Affinität anders; anders ausgedrückt kennen wir die Beziehungen nicht, die zwischen der Affinität und den unabhängigen Variablen bestehen, deren Funktion sie ist.

Wir können feststellen, daß ihre Stärke außerordentlich schwankt, je nach der Natur der Körper, die aufeinander einwirken. So verbindet sich das Gold nicht mit dem Sauerstoff der Luft, gleichviel welcher Art die Bedingungen dabei sind; im Gegensatz dazu vereinigt sich der Phosphor so leicht mit dem Sauerstoff, daß man ihn vor der Luft schützen muß, wenn man ein freiwilliges Entflammen verhüten will. Aber die Ursache dieser Verschiedenheit entgeht uns; wir beschränken uns auf den Hinweis, daß der Phosphor eine größere Affinität zum Sauerstoff besitzt als das Gold. Das Studium dieser Verschiedenheiten bildet eines der wichtigsten Kapitel der Chemie.

12. Die Affinität wirkt ebenso wie die in der Physik studierten Molekularkräfte nur innerhalb außerordentlich geringer Abstände, deren Bestimmung noch nicht gelungen ist. Während aber die Molekularkräfte Verschiebungen verursachen können, deren Summe gemessen werden kann, wie etwa bei den Kapillaritätserscheinungen, ist das für die Affinität anders. So groß sie auch sein mag, konnte man doch nie auch nur schätzungsweise eine Bewegung der Körper feststellen, deren Verbindung sie verursachte. Damit also die Körper ihrem Einfluß unterliegen, muß ihre Berührung eine möglichst vollkommene sein. Nach dieser Richtung eignen sich also die festen Körper am wenigsten für chemische Umsetzungen. Ihre kleinsten Teilchen sind unbeweglich; berühren zwei Bruchstücke einander, so trennt die dabei entstehende Verbindung bald die auf einander einwirkenden Oberflächen und der Vorgang hat ein Ende.

Damit die Affinität zwei Körper vereinigen kann, müssen die Partikelchen beweglich sein, wie es im flüssigen und gasförmigen Zustande der Fall ist. Sind die Körper, die man aufeinander einwirken lassen will, fest, so führt man sie in den flüssigen Zustand über, entweder durch Schmelzen oder meistens durch Auflösung.

Dabei ist es nicht unbedingt nötig, daß alle Körper flüssig oder gasförmig sind. Man kann sehr wohl einen festen Körper auf einen flüssigen oder gasförmigen einwirken lassen, wofern die gebildete Verbindung nicht auf seiner Oberfläche einen undurchdringlichen Überzug bildet.

Ein sehr einfacher Versuch gestattet einen Beweis dieser Tatsache. Man bringt in zwei Glasflaschen einige Marmorstückchen. In die eine Flasche gießt man wässrige Salzsäure, in die andere wässrige Schwefelsäure. Beide Säuren wirken in gleicher Weise auf den Marmor ein; sie verursachen die Bildung eines Gases, der Kohlensäure, die sich in kleinen oder größeren Blasen an der Oberfläche des Marmors entwickelt. Aber man bemerkt dabei, daß die Gasbildung sehr geringfügig ist und sogar aufhört in dem Gefäß, das Schwefelsäure enthält, während sie in dem anderen gleichmäßig und kräftig andauert. Die Verschiedenheit der beiden Vorgänge beruht darauf, daß die Salzsäure den Marmor in Kohlensäure und einen wasserlöslichen Körper umwandelt, während bei der Einwirkung der Schwefelsäure Kohlensäure und ein wasserunlöslicher Körper entsteht, der die Oberfläche des Marmors überzieht, so daß eine Berührung des Marmors und der Säure verhindert wird. Ersetzt man bei diesem Versuche den Marmor durch kohlenstoffsaures Natron (Soda), das von beiden Säuren unter Bildung von Kohlensäure und wasserlöslichem Produkt angegriffen wird, dann beobachtet man, daß Schwefel- und Salzsäure in gleicher Weise einwirken.

Man weiß, daß poliertes Zink und Eisen allmählich ihren Glanz an feuchter Luft einbüßen; das Zink bedeckt sich mit einem zarten, grauen Überzug, das Eisen rostet. Aber die tägliche Erfahrung lehrt uns, daß diese Veränderung bei dem Zink nur eine ganz oberflächliche ist, während das Eisen schließlich durch den Rost vollständig zerfressen wird. Wenn die beiden Metalle sich ganz verschieden verhalten, so liegt dies daran, daß die Haut, die sich auf der Oberfläche des Zinks bildet, dicht ist und die Berührung des Metalls mit der Luft verhindert, während der Rost porös ist. Eben deswegen, um die Berührung zwischen Luft und Eisen zu verhindern und das Metall vor dem Rosten zu schützen, bedeckt man es mit einer Farbschicht oder mit einer solchen von Zink (galvanisiertes Eisen). Auf diese Weise stellt man eine für die Luft undurchdringliche Schicht her, die das Metall der Oxydation entzieht.

Bei den Prozessen, die man anwendet, um die Berührung zwischen den zu vereinigenden festen Körpern möglichst zu erleichtern, ist noch der Druck zu erwähnen. Er muß freilich sehr kräftig sein. Die schönen Versuche von Spring haben gezeigt, daß, wenn man eine Mischung von Eisen und Schwefel unter einem Druck von etwa 6000 Atmosphären zusammenpreßt, eine Verbindung vor sich geht.

13. Wenn zwei Körper, die aufeinander einwirken können, in Berührung gebracht sind, scheint häufig die Verbindung nicht vor sich zu gehen. Man muß die Reaktion anregen, indem man mehr oder minder stark erwärmt. Beispielsweise wissen wir, daß die meisten Brennstoffe erst dann brennen, wenn man irgend eine Stelle der Masse auf eine erhöhte Temperatur gebracht hat. Um den Schwefel mit dem Eisen zu verbinden, mußte ein glühender Draht in die Mischung hineingesteckt werden. An der erhitzten Stelle geht die Verbindung vor sich, und diese chemische Bindung entwickelt Wärme, die dann in den benachbarten Teilen die Vereinigung hervorruft. So verbreitet sich

die Reaktion allmählich mit größerer oder geringerer Geschwindigkeit durch die ganze Masse.

Aus der Notwendigkeit einer Erhitzung darf man nun nicht etwa schließen, daß die Reaktion nicht auch bei niederer Temperatur vor sich gehen kann. Auch da geht sie tatsächlich vor sich, aber so langsam, daß man ihr Fortschreiten nicht verfolgen kann, daß es einer zu langen Zeitspanne bedarf, um eine wahrnehmbare Umwandlung zu erkennen.

Man konnte beobachten, daß eine Temperaturerhöhung um  $10^{\circ}$  die Geschwindigkeit der Umwandlung um das Zwei- bis Siebenfache vergrößert. Ein chemischer Vorgang, der bei  $600^{\circ}$  in einer Sekunde vor sich geht, würde bei  $0^{\circ}$  demnach  $1 \times 2^{60}$  Sekunden gleich 36 Milliarden Jahrhunderte brauchen, wenn die Geschwindigkeit sich bei einer Temperaturerhöhung von  $10^{\circ}$  verdoppelt.

Wir kennen zahlreiche Beispiele für Vorgänge, die bei gewöhnlicher Temperatur derart langsam vor sich gehen, daß man zu Beginn ihre Bedeutung anscheinend vernachlässigen kann. Wenn sie unter Wärmeentwicklung vor sich gehen, und wenn die Bedingungen derart sind, daß diese Wärme zum Teil dem System erhalten bleibt, so wächst seine Temperatur allmählich an; die Einwirkung geht schneller vor sich, die erzeugte Wärme wird weniger vollständig an die Umgebung abgegeben. Die chemische Umsetzung wird also zur Ursache ihrer eigenen Beschleunigung, und in einem bestimmten Zeitpunkt, wenn die Temperatur genügend hoch gestiegen ist, kann sie die Erscheinungsform einer sehr lebhaften Reaktion annehmen. So kommt es, daß manchmal Kohle, Heu, die in großen Haufen aufgeschichtet sind, von selbst Feuer fangen. Setzt man den Phosphor der Luft aus, so unterliegt er erst einer langsamen Verbrennung; allmählich erhöht sich seine Temperatur, und bei  $45^{\circ}$  verwandelt sich die langsame Verbindung in eine lebhafte Verbrennung, der Phosphor entzündet sich.

Der elektrische Funke, den man häufig dazu benützt, um eine Vereinigung von Gasen hervorzurufen, wirkt als Wärmequelle; seine außerordentlich hohe Temperatur ruft dort, wo er überspringt, eine sehr schnelle Reaktion hervor.

14. Unter den anderen Einflüssen, die chemische Erscheinungen begünstigen, müssen wir noch das Licht anführen. Die Art seiner Wirkung ist bisher noch wenig bekannt. Als Beispiel der Lichtwirkung seien die Umwandlungen erwähnt, denen die lichtempfindlichen Stoffe unterliegen, und auf denen die Photographie beruht.

15. Chemische Energie. Bei den meisten chemischen Vorgängen wird Wärme entbunden; sie kann so bedeutend sein, daß die Körper, in der dies vor sich geht, sich auf Weißglut erhitzen. Diese Wärmeentwicklung benutzen wir bei der Verbrennung von Kohlen.

Die Wärme ist eine der Energieformen. Diese sind ebensowenig zerstörbar wie die Materie, und die einzelnen Energieformen entstehen auseinander durch Umwandlung (vgl. oben 5). Hierbei sei erinnert an die Äquivalenz der hauptsächlich physikalischen Energieformen. Die absolute theoretische Einheit der Energie ist das Erg. Es ist doppelt

so groß als die Menge kinetischer Energie, die die während der Zeiteinheit (Sekunde) wirkende Einheit der Kraft (Dyne) der Einheit der Masse (Gramm) verleiht.

Das Erg ist eine zu kleine Einheit, um es für die gebräuchlichen Messungen zu benutzen. Man braucht daher eine zehnmillionenmal größere Einheit, die „Joule“ heißt, und die mit der Einheit der elektrischen Energie übereinstimmt.

Diese wird verbraucht, wenn ein Strom von einem Ampère einen Widerstand von einem Ohm während einer Sekunde durchfließt, sie stimmt also überein mit dem Durchfluß eines Coulombs unter einer elektromotorischen Kraft von einem Volt.

Das Kilogrammeter, die übliche Einheit der mechanischen Energie, ist gleich der Energiemenge, die verbraucht wird, um 1 kg einen Meter hoch zu heben. Es beträgt  $9,806 \times 10^7$  Erg.

Die übliche Einheit der thermischen Energie ist die kleine Kalorie. Das ist die Wärmemenge, die nötig ist, um die Einheit der Wassermasse (1 g) von  $15^0$  auf  $16^0$  zu erwärmen. Sie ist gleich  $4,1835 \times 10^7$  Erg., 4,1835 Joule, 0,4267 Kilogrammtern. Daneben braucht man auch eine tausendmal größere Einheit, die große Kalorie.

Wenn bei einem chemischen Vorgang Wärme entwickelt wird, muß diese Wärme aus der Umwandlung anderer Energieformen herkommen.

Von diesen können wir die kinetische und die Energie der Lage ausschließen, da die Tätigkeit der Affinität keine wahrnehmbaren Bewegungen verursacht. In der größten Zahl der Fälle verschwindet auch keine elektrische Energie. Die Wärmeentwicklung muß also anderen Quellen entstammen.

Jeder Körper besitzt kraft der Tatsache, daß er vorhanden ist, eine gewisse Energiemenge. So lehrt uns die Physik, daß jede Veränderung des Volumens einen Verbrauch oder eine Lieferung von Arbeit bedingt, sei es, daß äußere Widerstände (z. B. atmosphärischer Druck) überwunden werden, sei es, daß dies mit inneren Widerständen (Kohäsion) der Fall ist. Da nun jede aktive Arbeit einem Verlust, jede passive einem Gewinn von Energie entspricht, so geht daraus hervor, daß eben aus dem Grunde, weil jeder Körper ein bestimmtes begrenztes Volumen einnimmt, er auch eine bestimmte Menge von Energie enthalten muß, die eine Funktion dieses Volumens ist.

Die Menge von Energie, die die Körper aufspeichern können, hängt auch von ihrem physikalischen Zustand ab. Es genügt daran zu erinnern, daß zur Umwandlung von 1 kg Eis von  $0^0$  Temperatur in Wasser derselben Temperatur 80 große Kalorien verbraucht werden. Da diese beträchtliche Energiemenge nicht dazu dient, die Temperatur des Wassers zu erhöhen, so muß sie dazu verwendet werden, die Zustandsänderung zu verursachen. Wenn wir von der geringen Arbeit absehen, die dadurch bedingt wird, daß das Volumen des flüssigen Wassers ein etwas Geringeres ist als das entsprechende des Eises, so können wir sagen, daß ein Kilogramm Wasser eine Energiemenge aufgespeichert enthält, die die eines Kilogramms Eises um 80 Kalorien übertrifft.

Es ist wohl kaum nötig darauf hinzuweisen, daß die aufgespeicherte Energiemenge eines Körpers von seiner Temperatur abhängt, da, um jene zu verändern, Wärme zugeführt oder entzogen werden muß.

Diese in den Körpern aufgespeicherte Energie, die nicht von den äußeren Kräften abhängt, denen jene unterliegen, also nicht von ihrer Lage im Raum, ihrer Form oder ihrer Geschwindigkeit, bezeichnet man als *innere Energie*.

Die innere Energie eines Körpers oder eines Systems mehrerer Körper ist also eine Summe mehrerer Faktoren; die, die wir früher besprochen haben, hängen im wesentlichen von den physikalischen Eigenschaften der Körper ab; wir können sie verändern, ohne die chemischen Eigenschaften oder die Materie zu beeinflussen, aus der die Körper bestehen.

Ihnen gesellt sich aber zu, und zwar als Hauptbestandteil der inneren Energie, die chemische Energie, die ausschließlich von der Natur der Körper abhängt. Sie bildet die Hauptursache der Wärme, die bei einer Verbindung entwickelt wird. So ist beispielsweise festgestellt, daß bei der Bildung von Schwefeleisen aus Schwefel und Eisen die anderen Faktoren der inneren Energie nur einen geringen Teil der bei der Umwandlung entwickelten Wärme liefern; ebenso ist es bei den meisten anderen chemischen Umsetzungen.

Diese chemische Energie ist eine Form der potentiellen Energie, bietet aber die Eigentümlichkeit dar, daß sie nur in Erscheinung tritt, wenn man die Körper, die sie besitzen, in die Lage versetzt, eine chemische Umwandlung zu erleiden.

Um diesen eigentümlichen Zustand besser zu verstehen, kann man ihn mit der magnetischen Energie eines Magneten vergleichen, die sich nur wahrnehmen läßt, wenn man ein Stück Eisen in seine Nähe bringt.

Unsere Kenntnisse der chemischen Energie sind sehr viel geringer als die der mechanischen und elektrischen Energie. Diese sind im ganzen gleich dem Produkt zweier Faktoren, deren jeden wir einzeln messen können. Bei der chemischen Energie ist das anders. Sie ist allerdings auch ein Produkt zweier Faktoren, von denen der eine die Affinität der andere die Masse der einwirkenden Körper ist, oder genauer ein Faktor, der proportional der Masse ist, wie wir später sehen werden. Nur kennen wir bisher kein Mittel, um die Affinität direkt zu messen. Weiter können wir sogar behaupten, daß wir sie bei dem jetzigen Stand unserer Kenntnisse nur vermittels der Messung der chemischen Energie werden bestimmen können. Können wir nun die chemische Energie messen?

Vorerst sei vorausgeschickt, daß wir nur die Änderungen der Energie messen können, nicht aber die absolute Größe der Energie eines Systems. Wenn wir z. B. sagen, daß die kinetische Energie eines Geschosses gleich der Hälfte des Produkts seiner Masse mit dem Quadrat der Geschwindigkeit ist, so sagen wir damit nur, daß seine Energie um diesen Wert größer ist, als wenn es sich im Zustand der Ruhe auf der Oberfläche der Erde befände. Denn wir rechnen ja nicht mit der kinetischen Energie, die es als Teil des Systems der Erde resp. der Sonne besitzt,

die es daher der Rotation und Fortbewegung der Erde, ferner der Fortbewegung des ganzen Sonnensystems verdankt. Wir bringen deshalb nur seine relative Schnelligkeit zum Ausdruck in der Formel seiner kinetischen Energie.

Ebensowenig kennen wir den totalen Energievorrat eines Körpers oder eines Systems mehrerer Körper, und wir messen auch nur die Änderungen. Das wird uns besonders leicht, wenn die verlorene Energie sich in Wärme verwandelt, eine Energieform, die auf kalorimetrischem Wege leicht zu messen ist.

Aber mit welchem Anteil kommt nun bei der Änderung der inneren Energie die chemische Energie in Betracht? Das wissen wir meistens nicht, da der Teil, der auf die innere Arbeit entfällt, nicht genau bestimmt werden kann. Daraus folgt, daß es unklug ist, bestimmt zu behaupten, die Menge der bei einer chemischen Umsetzung entbundenen Wärme sei gleich der Menge der verlorenen chemischen Energie. Sehr häufig ist der Unterschied allerdings nicht beträchtlich, da die anderen Faktoren der inneren Energie nur zum geringsten Teil bei der Änderung der Energie in Betracht kommen; allein dem ist nicht immer so, in manchen Fällen überwiegt sogar ihr Einfluß.

16. Die Wärme ist nicht die einzige Energieform, in die sich die chemische Energie verwandeln kann. Oft wandelt sie sich auch in elektrische Energie um. Die galvanischen Elemente sind solche Apparate, die chemische in elektrische Energie verwandeln.

In eine Lösung von schwefelsaurem Kupfer (blauer Vitriol) tauchen wir einen Kupfer- und einen Eisenstreifen; wir beobachten, wie dieser sich mit einer Schicht metallischen Kupfers bezieht. Wenn wir den Versuch in einem Kalorimeter vornehmen, beobachten wir, daß dabei eine erhebliche Wärmeerzeugung stattfindet.

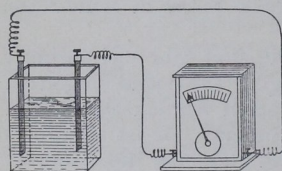


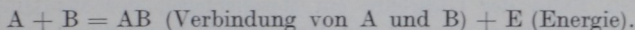
Fig. 3.

Wiederholen wir den Versuch, wobei wir aber den Eisen- und Kupferstreifen mit den Polen eines Galvanometers verbinden (Fig. 3), so schlägt die Nadel des Instrumentes aus. In dem Kreis fließt also ein elektrischer Strom. Da die chemische Energie sich jetzt in elektrische umwandelt, muß die Wärmemenge, die im Kalorimeter abgegeben wird, viel geringer sein, was auch der Versuch zeigt. Die Temperaturerhöhung ist nicht etwa gleich Null, da die Arbeit, die durch das Durchfließen des Stromes im Element geleistet wird, Wärme entwickelt, die an das Kalorimeter abgegeben wird. Wird aber der Widerstand im Element sehr gering, so nähert sich die Wärmemenge dem Wert Null.

Man kann also die chemische Energie direkt in Wärme oder elektrische Energie umwandeln, infolgedessen auch indirekt in alle anderen Energieformen, im besonderen auch in kinetische Energie. Es ist wohl zu beachten, daß fast jede kinetische Energie, die wir anwenden, ihren Ursprung chemischer Energie verdankt. Die Muskelarbeit findet ihre Quelle in der chemischen Umwandlung unserer Nahrungsmittel,

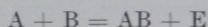
die Arbeit, die die Dampfmaschinen leisten, wird dadurch geliefert, daß Kohle verbrannt wird. Die außerordentlichen Energiemengen, die in den Explosivstoffen aufgespeichert sind, bestehen gleichfalls aus chemischer Energie.

17. Eine chemische Verbindung von A und B stellt also ein System dar, das nicht so viel Energie enthält wie das System, das die Körper A und B für sich allein darstellen. Wir können daher schreiben



Das zweite Glied der Gleichung stellt eine algebraische Summe dar. In der Tat kommt es auch bisweilen vor, daß E negativ ist, d. h. daß die Bildung der Verbindung unter Verbrauch von Energie stattfindet, daß Arbeit geleistet werden muß, um die Bestandteile zu vereinigen. Verbindungen dieser Art bezeichnet man als endothermische, während die, die unter Wärmeentwicklung gebildet werden, und das ist die Mehrzahl, exothermische heißen.

18. Zerlegung einer Verbindung. Betrachten wir den häufigsten Fall, den bei einer exothermischen Verbindung. Wollen wir das System  $A + B$  wieder herstellen nach der Gleichung



so müssen wir der Verbindung eine Menge Energie zuführen, die gleich der ist, die bei der Bildung frei geworden ist. Diese Zufuhr muß in einer geeigneten Form stattfinden, und da die innere Energie sich am leichtesten in Wärme oder elektrische Energie umsetzt, so werden diese beiden Energieformen am besten A und B die Energie liefern, die sie bei der Vereinigung eingeübt haben.

Wärme zersetzt sehr viele Verbindungen.

Wenn man Quecksilber mehrere Tage lang der Luft ausgesetzt auf  $300^{\circ}$  erhitzt, so bedeckt es sich schließlich mit einer in der Hitze schwarzen, in der Kälte roten Haut, die aus einer Verbindung des Quecksilbers mit dem Sauerstoff der Luft besteht (Quecksilberoxyd).

Wir bringen dieses Quecksilberoxyd in eine Röhre aus schwer schmelzbarem Glas (Fig. 4) und schließen dieses Rohr mit einem längs

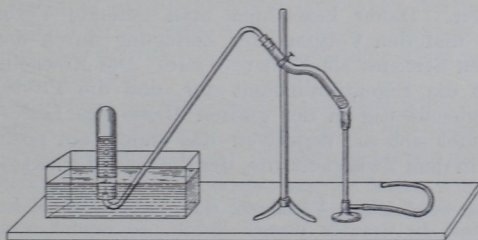


Fig. 4.

durchbohrten Stopfen, durch den ein zweimal gebogenes Röhrrchen geht, dessen unteres Ende in einer Wasser enthaltenden Wanne mündet (pneumatische Wanne).



Erhitzt man nunmehr das Quecksilberoxyd stark, so sieht man an der Mündung des Apparates Gasblasen entweichen. Wir können dieses Gas sammeln, indem wir über der Entwicklungsröhre einen mit Wasser gefüllten Behälter umstülpen, dessen Öffnung in die Wanne taucht. Die Gasblasen sammeln sich im oberen Teil des Gefäßes an, wobei sie das dort befindliche Wasser verdrängen<sup>1)</sup>.

Gleichzeitig mit der Gasentwicklung erscheint oberhalb des erhitzten Teiles der Glasröhre ein Metallspiegel, der aus Quecksilbertropfchen besteht. Setzen wir den Versuch lange genug fort, so verschwindet alles Quecksilberoxyd, und wir finden in der Röhre nur noch Quecksilber. Der Sauerstoff ist in den Behälter entwichen.

Dieser Versuch zeigt uns also, daß die Wärme imstande ist, gewisse Verbindungen zu zerlegen. Gleichzeitig bemerken wir auch, daß wir so ein Mittel kennen lernen, um reinen Sauerstoff zu erhalten. Dieses Gas ist durch die Fähigkeit ausgezeichnet die Verbrennung besonders zu begünstigen. Tauchen wir ein Stückchen Holz hinein, das an einer Stelle glimmt, so beobachten wir, daß es sich entzündet und mit besonderer Helligkeit verbrennt.

Nicht immer gelingt es, eine so hohe Temperatur zu erreichen, um eine Verbindung mittelst der Wärme zu zerlegen. Man begreift leicht, daß, wenn sich ein Körper bei sehr hoher Temperatur bildet, wie die meisten Verbrennungsprodukte, es dann sehr schwierig ist, ihn in seine Bestandteile zu zerlegen. Die Mittel, die uns zur Verfügung stehen, um hohe Temperaturen (über 2000°) zu erreichen, sind im ganzen recht beschränkt. Überhaupt ist die Trennung der Produkte einer Zerlegung häufig sehr schwierig, wie wir noch später kennen lernen werden (vgl. Dissoziation).

19. Die elektrische Energie liefert uns ein viel sichereres Mittel, um einer Verbindung die bei ihrem Entstehen eingebüßte chemische Energie wieder zuzuführen.

Chemische Verbindungen sind Leiter des elektrischen Stromes nur in flüssigem Zustand, in den sie entweder durch Schmelzen oder durch Auflösung übergeführt werden. Diese elektrische Leitfähigkeit ist stets mit einer Zerlegung des zusammengesetzten Körpers in seine Bestandteile verbunden. Daher bezeichnet man leitende Verbindungen als Elektrolyte und den Vorgang der Zerlegung durch den Durchgang des elektrischen Stromes als Elektrolyse. Die Erscheinung der Zersetzung bietet die Eigentümlichkeit dar, daß die Produkte der Zerlegung nicht gleichzeitig in der ganzen Masse des Leiters erscheinen. Das eine scheidet sich am negativen das andere am positiven Pol ab, während man in dem Zwischenraum, der die beiden Elektroden<sup>2)</sup> trennt,

<sup>1)</sup> Das eben beschriebene Verfahren, Gase aufzusammeln, ist das meist gebräuchliche. Sind die Gase in Wasser löslich, so ersetzt man dieses durch Quecksilber.

<sup>2)</sup> Man bezeichnet mit Elektroden diejenigen leitenden Teile, die dazu dienen, die leitende Flüssigkeit in den Stromkreis einzuschalten. Sie bestehen gewöhnlich aus Metall oder Kohle. Die positive Elektrode, d. h. die, durch welche der Strom eintritt, heißt *Anode*, die, durch welche er austritt, *Kathode*.

den unveränderten Elektrolyten findet. So kann man das Wasser durch Elektrolyse zerlegen.

Man bedient sich dazu eines Voltameter genannten Apparates, der in Figur 5 dargestellt ist. Das Wasser ist in einer U-förmigen Röhre eingeschlossen, deren beide Äste oben durch Hähne geschlossen sind. In jeden der beiden Äste ist ein Platindraht eingeschmolzen, an dem ein Blättchen desselben Metalls befestigt ist, das als Elektrode dient. Jede der beiden Elektroden verbindet man mit den Polen eines Elementes. So wie der Strom durchgeht, erscheinen auf der Oberfläche des Platins Gasblasen. Diese Blasen reißen sich los und vereinigen sich in den oberen Teil der Röhre. Das verdrängte Wasser sammelt sich in einer dritten in der Mitte befindlichen Röhre, die oben kugelförmig erweitert ist und als Behälter dient. Bald beobachtet man, daß das Gas, das sich am negativen Pol entwickelt, doppelt soviel Raum einnimmt wie das andere. In dem Raum, der die Elektroden trennt, entwickelt sich keine einzige Gasblase. Läßt man die Stärke des Stromes sich ändern, so sieht man, daß die Gasentwicklung dieser Stärke proportional verläuft, also auch proportional der verbrauchten elektrischen Energie.

Wir können so den Nachweis führen, daß das Wasser aus einer Verbindung zweier gasförmiger Körper besteht. Wir haben schon beobachtet, daß es ein Verbrennungsprodukt ist, also muß es Sauerstoff enthalten. Öffnet man den Hahn der Röhre, in der sich die positive Elektrode befindet, so entweicht das Gas infolge des Druckes, der in der mittleren Röhre herrscht. Führen wir ein Stückchen glühende Kohle hinein, so verbrennt sie augenblicklich mit lebhaftem Glanz. Also ist das am positiven Pol entwickelte Gas Sauerstoff.

Das Gas, das sich am anderen Pol entwickelt, ist ein brennbares Gas, da es bei der Verbrennung Wasser liefert. Zünden wir es an, so sehen wir es mit fast farbloser, nicht leuchtender Flamme verbrennen. Das ist der Wasserstoff.

Alle Verbindungen, die man durch Schmelzen oder Auflösen in den flüssigen Zustand überführen kann, können durch den elektrischen Strom zerlegt werden. Es handelt sich also um eine allgemein gültige Methode.

20. Wir verfügen über zwei Wege, um die Natur einer Verbindung festzustellen. Wir können sie aus ihren Bestandteilen gewinnen; dieser Vorgang stellt eine Synthese dar. Oder wir können sie in ihre Bestandteile zerlegen, dann führt man eine Analyse aus. Dieser Ausdruck besitzt aber noch eine weittragendere Bedeutung. Man bezeichnet damit nämlich alle Operationen, die gestatten, die Beschaffenheit eines Körpers oder einer Mischung, sei es nach der qualitativen oder quantitativen Seite hin, festzulegen.

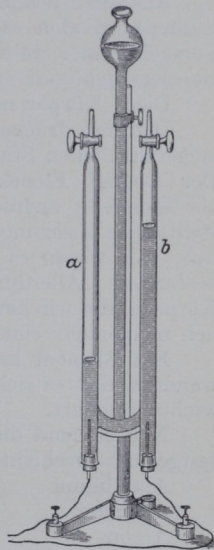


Fig. 5.

21. Können nun Wasserstoff oder Sauerstoff oder Quecksilber ihrerseits in einfachere Körper zerlegt werden, können wir sie auf synthetischem Wege darstellen? Die experimentelle Antwort auf diese Frage ist negativ.

Aus allen bekannten Körpern können wir mittelst unserer Zerlegungsmethoden etwa 75 Körper einzeln darstellen, an denen alle Versuche einer weiteren Zerlegung bisher gescheitert sind. Man kann sie also nicht auf synthetischem Wege gewinnen.

Diese Körper nennen wir Elemente oder einfache Körper.

Dadurch drücken wir aus, daß ein so bezeichneter Körper bei dem augenblicklichen Stand unserer Kenntnisse sich als unzerlegbar erweist. Der Begriff Element ist nur relativ. Mehrere Körper, die früher als Elemente angesehen wurden, sind später zerlegt worden. Bald stellten sie Mischungen einfacher Körper dar, deren Zerlegung schwierig war, bald waren es Verbindungen die aus schon bekannten Elementen bestanden. Allerdings muß bemerkt werden, daß dieser Fall bei den Körpern, die wir heute zur Klasse der Elemente rechnen, wahrscheinlich nicht mehr eintreten wird.

Ein Element kann sich daher auf chemischem Wege nur so verwandeln, daß es sich mit einem anderen vereinigt, also dabei sein Gewicht vermehrt.

Nachstehend die Reihe der einfachen Körper, deren Dasein sicher festgestellt erscheint:

Aluminium	Kalium	Samarium
Antimon	Kobalt	Sauerstoff
Argon	Kohlenstoff	Scandium
Arsen	Krypton	Schwefel
Baryum	Kupfer	Selen
Beryllium	Lanthan	Silber
Blei	Lithium	Silicium
Bor	Lutetium	Stickstoff
Brom	Magnesium	Strontium
Cadmium	Mangan	Tantal
Caesium	Molybdän	Tellur
Calcium	Natrium	Terbium
Cerium	Neodym	Thallium
Chlor	Neon	Thorium
Chrom	Nickel	Titan
Eisen	Niobium	Uran
Erbium	Osmium	Vanadin
Europium	Palladium	Wasserstoff
Fluor	Phosphor	Wismuth
Gadolinium	Platin	Wolfram
Gallium	Praseodym	Xenon
Germanium	Quecksilber	Ytterbium
Gold	Radium	Yttrium
Helium	Rhodium	Zink
Indium	Rubidium	Zinn
Iridium	Ruthenium	Zirkonium
Jod		

Man hat die Elemente in Metalle und Nichtmetalle geteilt, die man als Metalloide bezeichnet. Wir werden später sehen, daß diese Scheidung eine künstliche ist, da einzelne Elemente in die eine oder andere Abteilung eingereiht werden könnten.

22. Jede der beiden großen Klassen ist nun ihrerseits wieder zerlegt worden in natürliche Familien, d. h. in Gruppen von Elementen, die untereinander unbestreitbar Gleichmäßigkeiten aufweisen. Häufig kann man feststellen, daß die Verbindungen ähnlicher Elemente auch nebeneinander in der Natur vorkommen.

Die Metalloide bilden die fünf folgenden Familien:

Familie der Halogene,
„ des Schwefels,
„ des Stickstoffs,
„ des Kohlenstoffs,
„ des Argons.

---

## Metalloide oder Nichtmetalle.

23. I. Die Halogene umfassen vier Elemente: Fluor, Chlor, Brom und Jod. Es sind das außerordentlich reaktionsfähige Elemente, die große Affinität zu den Metallen besitzen. Infolge dieser mächtigen chemischen Aktivität existieren sie in der Natur nicht in freiem Zustande.

Das Fluor ist ein gelbgrün gefärbtes Gas. Es ist das reaktionsfähigste aller bekannten Elemente, greift fast alle Bestandteile der Apparate an, in denen man es herstellen wollte und konnte erst in den letzten Jahren rein gewonnen werden. Seine Hauptverbindung ist die mit dem Calcium. Es ist der Flußspat, ein Mineral, das man reichlich in Gängen findet.

Das Chlor ist gleichfalls gasförmig. Seine Farbe ist gelb, sein Geruch reizend. Es vereinigt sich sehr energisch mit den Metallen. In Verbindungen ist es ein sehr verbreitetes Element. Das Kochsalz ist die wichtigste Verbindung des Chlors, es entsteht durch die Vereinigung mit dem Natrium.

Das Brom ist ein flüssiges Element von dunkelroter Farbe. Schon bei gewöhnlicher Temperatur gibt es rote, höchst reizende Dämpfe ab. Es ist auch ein sehr reaktionsfähiges Element, allerdings nicht mehr so stark wie das Fluor und das Chlor. Seine hauptsächlichste Verbindung findet sich im Meerwasser, es ist das Bromkalium.

Das Jod ist ein fester metallisch glänzender Körper von stahlgrauer Farbe; erwärmt entwickelt es violette Dämpfe. In Alkohol ist es löslich (Jodtinktur). Es ist kein häufig vorkommendes Element, das man in Verbindung mit dem Kalium findet. Seine Eigenschaften sind die der anderen Halogene, nur nicht so ausgesprochen.