

Das Eingreifen der Elektrizität in die Bereiche der Chemie

1. Vorbemerkung sachlicher und pädagogischer Art

An zwei Stellen unserer chemischen Versuche — bei der Oxydation des Stickstoffs und bei der Reduktion des Phosphors — haben wir uns bisher schon der elektrischen Kraft bedient. In beiden Fällen aber war diese Kraft nicht voll ihrem eigentlichen Wesen nach, also unmittelbar wirksam, sondern nur *mittelbar* durch die Erzeugung hoher Hitzegrade in Form des elektrischen Lichtbogens. Allerdings ist es durchaus interessant, daß gerade mit Hilfe der Elektrizität solche außergewöhnlichen Temperaturen sich in einfacher Weise erzeugen lassen, bei denen sich Vereinigungen und Trennungen vollziehen, die unter gewöhnlichen Wärmegraden eben nicht stattfinden. Auch sind es vor allem solche Vereinigungen und Trennungen, die den natürlichen Stoffesprozessen entgegengerichtet sind. So wird bei der Oxydation des Stickstoffs dessen außerordentliche Widerstandskraft gegen eine Sauerstoffverbindung überwunden und diese Verbindung gewissermaßen erzwungen. Und ebenso wird bei der Reduktion des Phosphors dieser aus einer ihm natürlichen Kalkverbindung gewaltsam herausgelöst und zur reinen Elementform gebracht.

Wir müssen also erwarten, daß die Elektrizität wohl auch da, wo sie ganz ihrem Wesen und ihrer Natur gemäß in der Chemie eingesetzt wird, uns überraschende Verwandlungen von Stoffen ermöglicht, die ohne ihre Hilfe gar nicht oder nur äußerst schwer zur Erscheinung kämen. Dies wird um so mehr der Fall sein, als ja die erste Form des Auftretens der elektrischen Kraft — die Entdeckung Galvanis und Voltas — aufs engste mit dem Gebiete der Chemie selbst verbunden war! Ja, daß die Anwendung der Elektrizität auf chemische Stoffe um so mehr geboten erschien, als diese Naturkraft selbst im Zusammenhang mit chemischen Umsetzungen, wie man bald merkte, in Erscheinung trat. Außerdem mutet es wie ein großartiges Zusammenspiel im Reiche der Weltentdeckungen und -Gedankenbildungen an, daß zur selben Zeit, als die Chemie im Begriff war, sich neu zu gestalten, — ihr auch in der neuentdeckten Weltenkraft der Elektrizität ein Helfer zur Seite stand, wie sie ihn sich besser nicht hätte wünschen können! 1789 war die erste Entdeckung Galvanis (der berühmte Froschschenkelversuch)

geschehen, 1790 hatte Volta auf Grund dieser Entdeckungen des Bologneser *Arztes* sein erstes Element aus Kupfer, Zink und Schwefelsäure aufgebaut, und schon in den Jahren 1807—1810 gelangen dem genialen englischen Chemiker Davy mit Hilfe einer starken Batterie von Volta-Elementen die bedeutsamsten Entdeckungen chemischer Grundstoffe auf dem Gebiete der Alkalien und Erdalkalien. Damit wurde in eine große Reihe bisher ungeklärter chemischer Fragen Licht gebracht. Dies war um so eher möglich, als kurz zuvor, 1799, von dem Franzosen *Proust* das *Gesetz der konstanten Gewichtsverhältnisse* bei chemischen Verbindungen aufgestellt wurde, dem schon 1802 durch den Engländer *Dalton* die *Entdeckung des Gesetzes der vielfachen Gewichtsverhältnisse* folgte. ~~(Siehe dazu Näheres in den letzten Kapiteln des Buches.)~~

Es entspricht daher dem Gange der Entwicklung der Chemie selbst, wenn wir in den folgenden Abschnitten diejenigen chemischen Erscheinungen näher betrachten, die mit diesen Entdeckungen verbunden sind. Neben ganz neuen Verhältnissen, die dabei zutage treten, werden wir auch Stoffesumwandlungen wiederbegegnen, die uns schon bekannt sind, die aber hier unter ganz neuen Umständen sich vollziehen.

Es wird jedoch gerade in diesem Abschnitt besonders unser Bestreben sein müssen, die auftretenden Gesetze in voller Wahrung ihrer rein phänomenologischen Voraussetzungen auszusprechen und uns jedes Hineintragens vorgefaßter Begriffsbildungen zu enthalten. Auch dies geschieht hier mit voller Absicht und durchaus mit Kenntnis der sonst gerade auf diesem Gebiete üblichen Begriffsbildungen wie der Ionenlehre und dergleichen. — Es soll gerade daran gezeigt werden, wie sehr die Phänomene selbst die Lehre sein können, wenn diese nur in einer gleichsam *von der Natur selbst gewünschten Ordnung* vorgebracht werden. Nicht das Aufstellen von Theorien zur Erklärung von Erscheinungen ist u. E. die Aufgabe eines sich selbst verstehenden Denkens, sondern die Herstellung einer *naturgemäßen Ordnung von Erscheinungen, durch die die Natur selbst in die Lage versetzt wird, ihre Gesetze deutlich zu offenbaren*. In diesem Sinne wollen wir auch hier verfahren.

Zum Pädagogischen dieses Kapitels soll hier nur gesagt werden, daß es sich dabei um einen Stoff handelt, der etwa dem 10. Schuljahre gemäß ist. Denn er bietet in geradezu vorzüglicher Weise die Möglichkeit, die fundamentalen chemischen Begriffe von Säure, Lauge und Salz, „Sulfur“ und „Basisselement“, Oxydation und Reduktion an neuen

bis 11.
(D. Rohde)

bis 11. Schul-
jahr (D. Rohde)

interessanten Beobachtungen zu vertiefen und abzurunden. Damit ist aber für ein 10. Schuljahr ~~(nach dessen Ablauf doch viele Schüler auch in Zukunft noch die Schule verlassen müssen)~~ doch ein Erlebnis chemischen Wirkens vermittelt, das auch für ^{des} ihr weiteres Leben Bedeutung haben kann — und sollte! ~~Denkt man sich insbesondere den Betrachtungen dieses Kapitels in einer 9. Klasse Besprechungen von chemischen Stoffen im Sinne des III. Kapitels vorausgehend, so~~ ist damit zugleich die Geschichte der Chemie selbst vor die jungen Menschen hingetreten. Dadurch ist ihnen aber auch die Möglichkeit gegeben, Sinn und Bedeutung der Zeit, in der sie leben, zu verstehen und sich in ihr zurechtzufinden. Das aber muß doch die Grundaufgabe jedes in der Schule gelehrteten Faches sein. Und diesem Ziel sollten daher auch diese „Anregungen zu einer lebendigen Chemie-Betrachtung“ im besonderen dienen.

Selbstverständlich gilt gerade auch für das in diesem Abschnitt Vor-gebrachte, daß es nur als *Anregung* aufgefaßt werden soll, und daß es durchaus möglich und wünschenswert ist, weitere Erscheinungen ein-oder anzugliedern. Dennoch wird man vielleicht auch bemerken können, daß die Grundgesetze so erfaßt und ausgesprochen sind, daß dies nach allen Richtungen hin geschehen kann.

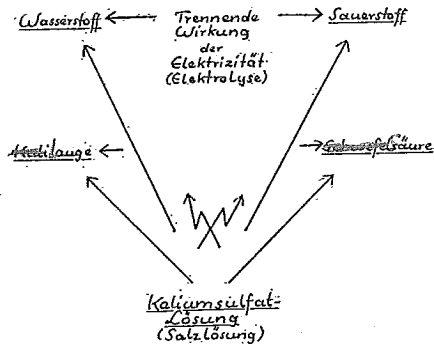
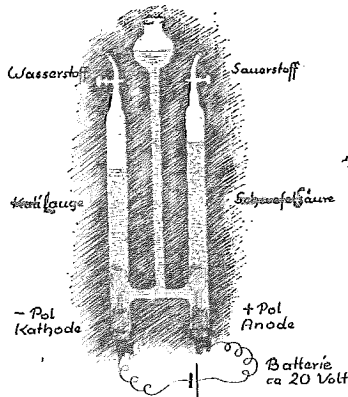
2. Die Elektrolyse des Kaliumsulfats: die grundlegenden Vorgänge bei der Elektrolyse eines normal aus Alkali-Basis und Säure gebildeten Salzes

Beginnen wir gleich mit dem Versuch, der uns sofort in die Mitte der Erscheinungen hineinführt und der in seinem Ablauf auch so interessant ist, daß er das Interesse der Schüler dieser Altersstufe gründlich wachruft.

Wir füllen zwei Glasröhren (siehe Zeichnung), an deren unteren Enden Platin-Elektroden angebracht sind, über eine mittlere, mit ihnen verbundene Röhre, vollständig mit einer Lösung von Kaliumsulfat, das wir zuvor mit Lackmuslösung (neutral) gefärbt haben. Dann schließen wir die Elektroden an eine gewöhnliche ~~Batterie~~ ^{Gleichspannungsquelle} (am besten Edison-Batterie) von ca. 20 Volt an und erzielen so einen „Stromkreis“, in welchem die Salzlösung als „elektrischer Leiter“ einbezogen ist.

Zersetzung von Kaliumsulfat-Lösung

Hofmannscher Apparat
Kaliumsulfat-Lösung



Wir beobachten nun sehr bald, daß an den beiden Elektroden Bläschen aufsteigen, also Gase sich entwickeln. Und zwar sind die an der positiven Elektrode (Anode) aufsteigenden Bläschen deutlich kleiner als diejenigen der negativen Elektrode (Kathode). Die aufsteigenden Gasbläschen können wir dadurch zu einem größeren Gasvolumen sich ansammeln lassen, daß die beiden Röhren oben zunächst mit zwei Hähnen verschlossen werden können. Bald beobachten wir nun auch, daß sich dabei über dem + Pol oder der Anode nur halb so viel Gas ansammelt wie über dem - Pol oder der Kathode. Das Volumenverhältnis zwischen den an der Anode und an der Kathode entstandenen Gasen erweist sich auch weiterhin (wenn die Hähnen sicher abschließen!) stets genau als 1:2, wie wir an den Marken der geeichten Röhren jederzeit deutlich ablesen können. Lassen wir auch den Prozeß längere Zeit hindurch sich vollziehen, so vergrößern sich zwar die beiden Gasvolumina stetig, bleiben aber zueinander immer in dem angegebenen Zahlenverhältnis 1:2. Wir sehen also, wie hier *die Natur selbst* in diesem Versuch uns darauf hinweist, daß in ihren Vorgängen offenbar strenge Zahlengesetzmäßigkeiten walten, die wir noch erkennen müssen.

Es ist pädagogisch von großer Bedeutung, daß man später die Betrachtungen über die Zahlengesetze innerhalb der Stoffeswelt gerade an eine solche Staunen erregende Sinneswahrnehmung anschließt. Denn dadurch erst wird in den Schülern ein *lebendiger Wunsch* erregt, auch diese Gesetze erfassen und verstehen zu können, und man hat damit als

⊗ (bei O₂-gesättigtem Wasser) (Anmerkung von 67
(dazu Versuch erst kurz D. Rohde)
mit offenen Hähnen
laufen lassen, falls nötig)

größer
(D. Rohde)

Lehrer ein aktives Interesse als Voraussetzung für Dinge, die sonst leicht farblos wirken.

Hier aber sollte vielleicht diese Tatsache erst einmal sinnlich wahrgenommen und konstatiert werden. Denn eine noch auffallendere Erscheinung wird bei diesem Versuch das Interesse der Schüler bald noch stärker in Anspruch nehmen. Der Inhalt der beiden Glasröhren über den Elektroden zeigt nach kurzer Zeit nicht mehr die gleiche Farbe der neutralen Lackmuslösung, sondern die beiden Röhren erscheinen allmählich in deutlich verschiedener Färbung. Die über der Anode befindliche Flüssigkeit wird deutlich rot, diejenige über der Kathode bläulich, während die mittlere Röhre mit der in ihr befindlichen Salzlösung die ursprüngliche Violettfarbe der neutralen Lackmuslösung festhält und daher zum Vergleich stets herangezogen werden kann.

Nehmen wir, in Wiederholung des Versuchs, selbstbereiteten Rotkrautsaft zur Färbung des Kaliumsulfats, so kommen die verschiedenen Färbungen noch deutlicher zum Vorschein, indem sich der Inhalt der einen Röhre wundervoll karminrot, der Inhalt der anderen herrlich smaragdgrün verfärbt, während die mittlere Röhre wieder die blaue Normalfarbe des frisch bereiteten Krautsaftes beibehält.

Man gewinnt gerade hierbei den unmittelbaren Eindruck komplementärer Farbtöne, so daß schon rein dem Auge nach dieser Versuch sich als besonders eindrucksvoll für die Schüler erweist.

Beide Verfärbungsvorgänge, sowohl bei Lackmus wie bei Rotkrautsaft, treten aber, wie wir nochmals zeigen werden, immer auf, wenn diese Lösungen mit Säuren oder Laugen irgendwelcher Art zusammengebracht werden. (Das intensive Rotwerden des Rotkrautsaftes bei der Säure-Einwirkung ist dabei ebenso aufschlußreich für die inneren Gesetzmäßigkeiten dieser organischen Substanz wie das Verfärben zum Grün, das allmählich sogar ins Gelbliche überwechelt.)

Die Verfärbung ist uns daher ein einwandfreies Kennzeichen dafür, daß die Einwirkung der Elektrizität auf ^{die} zuvor neutrale Salz^{lösung} damit beschrieben werden kann, daß sie dies von den Polen (Elektroden) her in die beiden polaren Stoffe Säure und Lauge — Schwefelsäure und Kalilauge — „zerlegt“ oder „aufgespalten“ hat. Daß der ganze Vorgang von den Polen her seinen Ausgang nimmt, können wir noch dadurch deutlicher machen, daß wir den elektrolytischen Vorgang (wie man es nennt) in einer U-förmig gebogenen Glasröhre sich vollziehen lassen, wobei wir die Elektroden von oben her in die genau so bereitete und gefärbte Lösung von Kaliumsulfat eintauchen. Die Verfärbung nach

68 (Nur der Idee nach; die Säure- und Laugeentstehung beruht nur auf der Wasserzersetzung. H_2 und O_2 werden unter diesen Bedingungen nicht entladen.) (Anmerkung von D. Rohde)

⊗ (Mit Universal-Flüssig-indikator geht es schlechter, das 2:1-Verhältnis verschiebt sich.)

(Anmerkung von D. Rohde)

dem Rot und Grün beginnt dann von den Polen her nach abwärts, während im mittleren, unteren Teil des U-Rohres sich noch die ursprüngliche Farbe erhält. Es ist gerade diese Variante des vorhergehenden Versuches besonders aufschlußreich, weil sie in der verschiedenartig sich kundgebenden Verfärbung der einen Farbe von den Polen her deutlich aufzeigt, daß die Umwandlung ~~des Salzes~~ in Säure und Lauge eben von diesen Orten aus erfolgt. — Um die auch hierbei auftretenden Gase leicht ableiten zu können, bringt man zweckmäßigerweise oberhalb der beiden Elektroden seitliche Glasröhrchen für deren Entweichen an.

Was ist also geschehen? Doch dieses: eine in ihrer Erscheinungsform schon selbst polar geartete Naturkraft, die Elektrizität (+ Pol und — Pol) ~~der Batterie~~ hat eine in jedem Salz *naturgemäß vorhandene Polarität* durch ihr Wirken zur realen Erscheinung gebracht. ~~Das Salz wurde durch sie in die zuvor nur immanent in ihm vorhandenen Gegensätze von Säure und Lauge real, d. h. stofflich auseinandergelegt.~~ Zugleich hat also die Elektrizität eine gewisse Seinsstufen-Verschiebung vorgenommen, indem sie — im Flüssigen wirksam werdend — eine ^{Lösung} Salz ~~aus dem „Sal-Zustand“~~ umgewandelt hat in eine Säure und Lauge, also Stofflichkeiten, die wir als dem mittleren („merkuralen“) Bereich zugehörig betrachten müssen.

Mit dieser Art der Formulierung ist ~~nur~~ nichts anderes geschehen als ein offenkundiger Tatbestand festgestellt. Aber dieser erweist sich als solcher, ~~wie wir noch sehen werden~~, von weittragender Bedeutung. Auch läßt sich jetzt schon die Vermutung aussprechen, daß eine Naturkraft, deren Wirken im Reiche der Chemie so starke Gegensätze hervorbringt, selbst bei der Art ihres Entstehens, soweit dieses in chemischen Vorgängen seine Ursache hat, von solchen chemischen Gegensätzen ihren Ausgangspunkt nimmt. ~~Auch dies wird später noch genauer betrachtet werden können.~~

Aber die Beobachtung des angestellten Versuches wäre keine vollständige, wenn wir nicht die Natur der beiden Gase überprüfen würden, die bei demselben elektrolytischen Vorgang entstanden sind. Oeffnen wir dazu den über der Anode befindlichen Hahn des sogenannten Hofmannschen Apparates und halten an das durch ihn entweichende Gas rasch einen glimmenden Holzspan, so flammt dieser hell auf. Es kann sich also bei diesem Gas nur um Sauerstoff handeln. — Oeffnen wir dagegen den über der Kathode befindlichen Hahn und halten an das ausströmende Gas ein brennendes Streichholz, so entzündet sich

das Gas und brennt ruhig ab. Es handelt sich also dabei um Wasserstoff (allmähliche Gelbfärbung der Flamme rührt vom Natrium des Glases her!). Mit dieser Säure-Lauge-Spaltung ~~des Salzes~~ haben wir also gleichzeitig eine Sauerstoff-Wasserstoff-Bildung einhergehen, also ebenfalls eine Bildung höchst polarer Stofflichkeiten.

Der Elektrizität kommt also eine zerlegende, zersetzende Wirkung zu, und diese bringt dabei genau diejenigen Polaritäten hervor, welche wir aus allen früheren Darlegungen schon als die fundamentalsten kennengelernt hatten: Säure $\longleftrightarrow$ Lauge; Sauerstoff $\longleftrightarrow$ Wasserstoff!

Es kann aber jetzt die Frage auftauchen, wieso es eigentlich ~~neben der Salzerlegung noch~~ zur Bildung von Sauerstoff und Wasserstoff kommen konnte? Sollte etwa das Wasser, in welchem das Kaliumsalz gelöst war, durch den elektrischen „Strom“ ~~mit~~ zerlegt worden sein? ~~Nun, wir bekommen auf diese Frage genaueren Aufschluß, wenn wir durch einen zweiten verwandten Versuch neue Erfahrungen zu dem~~
~~anderen hinzufügen. Das soll folgendermaßen aussehen:~~