

Salze, Säuren und Basen

Übersicht über den Chemie-Unterricht in der 10. Klasse

Kristallisation bei den Salzen

In dieser Klasse geht man aus von den Salzen, d. h. von den Stoffen, die in ihrem kristallisierten Zustand ganz und gar Erde sind, aber stark und regelmäßig geformte und ganz durchsichtige Erde.

Damit haben wir auch gleich das Thema, das für die Kinder dieses Alters besonders wichtig ist. Die Kinder sind durch die Pubertät hindurchgegangen, die feinen Verbindungen, die sie noch mit dem Kosmos hatten, sind größtenteils abgerissen. Jetzt sind sie ganz Erdenbürger geworden, und sie müssen lernen, sich mit klaren Gedanken in diesem für sie noch neuen Bereich zu orientieren. Ihr Leben, das sich jetzt für ihr Bewußtsein in erster Linie auf der Erde abspielt, muß vom Denken durchgestaltet werden. Ihr Denken muß so stark werden, daß es das Chaos der Einzelercheinungen ordnen kann, aber es muß auch so feinfühlig sein, so «folgsam», daß es den edlen Aufbau des Weltganzen wirklich erfassen kann.

Die ganze Epoche sollte folgenden Stil haben: Eine stark hervortretende, übersichtliche Gedankenstruktur, die den Reichtum der Erscheinungen ordnet, wodurch man ihn begrifflich aufhellen und sogar handhaben kann. Ein edel gebildeter, schön gefärbter Salzkristall kann wirklich als Ideal vor uns stehen, wenn wir den Stil dieser Epoche überdenken.

Wir beginnen damit, eine Anzahl Salze vorzuführen. Es ist gut, gleich zu Anfang bestimmte Kunstgriffe anzuwenden, wodurch der Eindruck so sprechend und so charakteristisch wie möglich wird. Solch ein durchsichtiger Stoff mit seinen glänzenden Flächen kommt weniger zur Geltung auf weißem Papier. Auf schwarzem Papier und mit seitlicher Beleuchtung zeigt er eine ergreifende Schönheit.

Vielleicht lassen wir auch noch vorher einige Salze auskristallisieren: Kochsalz, Kupfersulfat, Kaliumnitrat und andere. Herrlich frischer Glanz und Schönheit treten uns bei ihnen entgegen, wenn wir die Beleuchtung richtig anwenden.

Wenn wir jetzt auf das Wesen des Salzes eingehen, müssen wir die wunderbar strenge Form, die Durchsichtigkeit und Klarheit hervorheben. Das eigentliche Wunder zeigt sich jedoch erst deutlich, wenn wir das Salz betrachten im Zusammenhang mit dem Ganzen der Natur. Das Salz ist Erde, ist schwere, starre Materie, und doch öffnet es sich weitgehend dem Spiel des Lichtes. Eigentlich ist das Irdische, der Bereich unter uns, dumpf, dunkel und drückend, während das Licht darüber in einer sehr dünnen, klaren Welt webt. Es besteht der aller-

größte Gegensatz zwischen dem Lichtbereich da droben und dem Schwerebereich da drunten. Der Salzkristall, der eigentlich dem Bereich der Schwere zugehört, ist dennoch weitgehend offen für die Strahlungen aus dem Lichtbereich.

Für uns selbst dürfen wir folgendes bedenken: Die Materie wurde in längst vergangenen Zeiten aus dem Lichtbereich abgesondert und verdichtet. Das Licht ist dünn geworden, die Materie hat ihre Fähigkeit, von innen heraus zu leuchten, verloren und ist der Schwere ausgeliefert. Solch ein Kristall zeigt dieses Verlassensein vom Lichte im höchsten Maße. Er trägt in seinem Wesen die Erinnerung an das Licht; aber gerade deshalb kann er einen hohlen, leeren Eindruck auf uns machen. Wenn man ihn nun so beleuchtet, daß er aussieht, als strahle er von innen heraus auf, so erzielt man große Wirkungen. Man hebt ihn sozusagen aus seinem Fall herauf und führt ihn zurück auf seinen Ursprung. Das läßt sich auf verschiedene Weise erreichen. Man kann z. B. einen Streifen schwarzen Papiers nehmen und kleine Öffnungen hineinschneiden. Vor jeder Öffnung wird ein schöner Kristall befestigt. Wenn man jetzt den Raum abdunkelt und die Öffnungen nacheinander beleuchtet, strahlen die Kristalle wunderbar auf. Man kann auch eine Kristallisation erzeugen vor einem dunklen Hintergrund mit starker seitlicher Beleuchtung. Man nimmt z. B. eine gesättigte Kochsalzlösung und gibt konzentrierte Salzsäure zu. Das kann ein herrliches Gefunkel geben, obwohl die Kristalle oft so klein sind, daß man sie nicht deutlich zu unterscheiden vermag. Wenn die Kristalle etwas größer sind, sieht man sie sich bilden wie ein feines Wölkchen und langsam nach unten sinken, blank und rein wie frisch gefallener Schnee.

Will man im Großen experimentieren, so kann man einen Erlenmeyerkolben von 3 Liter Inhalt nehmen und eine heiße, mehr oder weniger gesättigte Kaliumnitratlösung hineinschütten. Wenn man diese jetzt ganz langsam abkühlen läßt im sorgfältig eingepackten Kolben, nehmen die Kristalle die Form zauberhafter Bauwerke an. Eindrucksvolle Formen mit zartem Farbenspiel und großer Durchsichtigkeit.

Bei der Kristallisation im allgemeinen, aber besonders bei der von Kochsalz, hat man ein Bild des ersten Entstehens der Materie vor Augen, der ursprünglichen Verdichtung von Geist zu Materie. Es findet eine Art Fall statt, ein Ausgestoßenwerden aus einer Urwelt, aber in der zauberhaften Reinheit bleibt die Erinnerung an den Ursprung bewahrt.

Es ist gut, die Schüler ganz und gar mitfühlen zu lassen, wie im flüssigen Zustand alles in gleitender, wirbelnder Bewegung ist und wie die Kristallisation etwas wie ein immer sich wiederholender Protest gegen das Flüssigsein ist. Immer wieder schießt etwas Salz aus der Flüssigkeit heraus und wird starr und scharf geformt, wird umgrenzt durch ebene Flächen; immer wieder wird also die fließende Bewegung durchkreuzt. Besonders bei den würfelförmigen Kristallen wie sie das Kochsalz hat, ist das sehr deutlich. Solch eine Kristallisation besteht aus vielen Sprüngen von einem Zustand in den anderen, die besonders drama-

tisch sind. Immer wieder gibt es einen Übergang, der eigentlich unmöglich scheint, und der doch geschieht.

Jetzt ist es Zeit, das Salz in unserem Körper aufzusuchen. Wir finden es vor allem im Skelett. Auch dieses entsteht durch fortwährende Ablagerung und Festlegung salziger Materie aus dem fließenden Blut. Das Merkwürdige ist jedoch, daß das Salz hier nicht seine eigene Form annimmt, sondern sich ganz einfügt in die Erfordernisse des Körpers.

Wenn man glaubt es verantworten zu können, dann kann man speziell bei der Kochsalzkristallisation darauf aufmerksam machen, daß wir hier etwas vor uns haben, was sich in sehr feiner Art in unserem Organismus abspielt, wenn wir einen Gedanken bilden. Wie draußen sich die Erde im Salzkristall dem Licht öffnet, so muß in uns die Materie Kristallform annehmen, wenn unsere körperlichen Organe sozusagen durchsichtig werden wollen für die geistige Realität, deren Ausdruck die Gedanken sind.

Erscheinungen beim Lösen von Salzen

Wenn man sich mit solchen Dingen einige Tage intensiv beschäftigt hat, geht man über zum Lösen der Salze. Man legt z. B. einen ~~orangefarbenen Kaliumbichromat~~ Kristall in ein Becherglas mit Wasser und läßt beobachten, was geschieht. Der Kristall wird allmählich kleiner und nimmt abgerundete Formen an. Rund um ihn her färbt sich das Wasser in seiner Farbe. ~~Ist man mutig genug zu kosten, so kann man den Geschmack des Salzes im Wasser feststellen.~~ Das Salz, das sich erst in seinen Wänden eingeschlossen hielt, läßt sich jetzt gehen und verfließt in der Umgebung. Es ist wie ein Drang nach dem Unendlichen, nach unaufhörlicher Ausbreitung und Verdünnung.

Das Kristallisieren ist ein fortwährendes Auseinanderfallen in die Vielheit, eine Art Zersplitterung, aber auch ein sich Zurückziehen in die Umgrenzung der eigenen spezifischen Formen. Hat man verschiedene Salze in der Lösung, so wird man beim Kristallisieren jedes getrennt seine eigene Form annehmen sehen. Beim Auflösen findet das Umgekehrte statt. Die vielen Kristalle eines Salzes verschmelzen mit dem Wasser zu einer Einheit. Und es gehen sogar sehr verschiedene Salze miteinander in Lösung, ohne sich gegenseitig zu stören.

Ein besonders schöner Lösungsprozeß zeigt sich, wenn man in ein Zylinderglas voll Wasser einige Kaliumpermanganat-Kristalle von oben hineinhängt. Man kann sie z. B. mit etwas Vaseline an einem schwimmenden Korken festkleben oder allenfalls in ein Stück Filtrierpapier hängen. Die stark violette Lösung wird nach unten sinken und dabei eine Menge zierlicher Wirbel erzeugen. Am besten geht es vor einem stark beleuchteten weißen Hintergrund. Dann kann man auch aus größerem Abstand alles gut sehen.

Jetzt ist es Zeit, allerlei Begriffe in einer vorläufigen Form zu besprechen, die

man später genauer entwickeln muß, um zu gegebener Zeit auch Berechnungen anstellen zu können. Löslichkeit, Konzentration, gesättigte, ungesättigte, übersättigte Lösung, Kristallwasser, Diffusion, Osmose, Lösungs- und Kristallisationswärme, Siedepunkterhöhung, Gefrierpunktserniedrigung. ~~Wir wollen diesen Dingen ein besonderes Kapitel widmen.~~ Hier muß ~~nur~~ darauf hingewiesen werden, daß man alle diese Begriffe anknüpfen kann an das Mitfühlen mit der inneren Dynamik der Erscheinungen, und daß man erst später daraus die mathematische Bezeichnung entwickeln sollte. Wenn man hier nicht sehr sorgfältig vorgeht, liefert man nur einen Beitrag zu etwas, was schon in zu hohem Maße gezüchtet wird: Man bildet Begriffe aus, die sehr exakt sind und die die Möglichkeit bieten, die Erscheinungen praktisch zu handhaben, aber die sich wenig eignen, ein lebendiges Bild der Wirklichkeit hervorzurufen. Mit dieser Art Begriffe hat man sich in den letzten Jahrhunderten immer mehr von der Natur entfernt, man ist immer mehr ein Gefangener seines eigenen Gedankenlebens geworden. Für uns handelt es sich darum, dem Kind etwas von dem Verbundensein mit der Welt um es herum, das ihm eigen ist, zu bewahren. Wir müssen die Schüler lehren, solche Gedanken zu entwickeln, die die Verbindung mit der Welt nicht abbrechen, sondern sie erheben aus der Sphäre bloßer instinktiver Empfindungen zu einer Sphäre, wo bewußte Exaktheit herrscht.

Es ist natürlich gut und notwendig, bei alledem die Lebenserscheinungen im Auge zu behalten, vor allem die des Menschen. Einige Andeutungen können zeigen, in welcher Richtung dies gesucht werden kann.

Wir haben bereits den Zusammenhang zwischen dem Denken und der Kristallisation besprochen, ebenso die Skelettbildung. Man kann auch ausführen, wie das Altwerden von einer dauernden Salzablagerung im Skelett und schließlich auch in den Aderwänden begleitet ist.

Während des Schlafes wird manches aufgelöst, was während des Wachens sich abgesetzt hat. Beim Wachsen des Skeletts findet eine fortwährende Auflösung bestimmter Teile statt, während an anderen Stellen wieder neue Substanz abgelagert wird.

Man kann von dem Blut als von einer Salzlösung sprechen, von den Nieren als von strengen Reglern des Salzgehaltes. Dieser feste Salzgehalt hängt wieder aufs engste zusammen mit der Tatsache, daß die Gewebe und besonders die roten Blutkörperchen abhängig sind von einem ganz bestimmten osmotischen Druck. Das muß berücksichtigt werden bei der Blutübertragung nach starkem Blutverlust. Man kann die Osmoseprobleme besprechen, vor denen ein Lachs steht beim Übergang vom Süß- in das Salzwasser und umgekehrt. Man kann erzählen, daß ein Frosch nicht trinkt, aber daß man nur den Finger eines halbausgetrockneten Frosches ins Wasser zu tauchen braucht, um ihn völlig wiederherzustellen.

* Vgl. Seite 85, Der Lösungsvorgang.

So gibt es viele Dinge, wovon ein Teil wichtig ist und auf jeden Fall behandelt werden sollte, während andere mehr nach Wunsch gewählt werden können.

Salzspaltung durch das Feuer. Base und Säure

Wenn man nun die Erscheinungen, die mit den Salzen zusammenhängen, besonders diejenigen, die in Wechselwirkung mit dem Wasser auftreten, auf diese Weise ausführlich behandelt hat, kann man untersuchen, wie das Feuer auf Salze einwirkt. Man hält z. B. ein Stückchen blaues Kupfersulfat in die Gasflamme. Es zeigt sich, daß es nach und nach seine Durchsichtigkeit verliert. Erst wird es mattweiß, dann braun oder sogar schwarz. Es wird zu einer trägen, irdischen, unlöslichen Masse. Erhitzt man den Kristall in einem feuerfesten Reagenzglas, dann bemerkt man, wie zuerst das Kristallwasser in Dampfform austritt. Dadurch entsteht die trübweiße Masse. Danach entflieht ein sauer prikkelndes Gas. Dieses Gas färbt blaues Lackmuspapier rot.

Erhitzt man ein Salz wie den weißen Mauersalpeter, Calciumnitrat, dann entfliehen braune, saure Dämpfe und es bleibt eine chemisch wirksame, ziemlich gut lösliche, mattweiße Masse zurück. Diese Masse färbt rotes Lackmuspapier blau. Wir haben hier Stoffspaltungen vor uns. Aus einem einzigen Stoff, der für unsere Wahrnehmung eine vollständige Einheit bildete, sind sehr verschiedene andere Stoffe entstanden. Der ursprüngliche Stoff ist verschwunden in dem Maße, als neue Stoffe sich bildeten. Dies sind typische Beispiele für die Salzspaltung. Nun müssen wir unsere Aufmerksamkeit lenken auf den Übergang, auf das «Intervall» zwischen dem ersten Stoffzustand und dem darauffolgenden, wie wir es auch bei der Kristallisation schon taten. Wir beschränken uns jedoch hier auf das Hauptsächliche, insofern als wir das Kristallwasser hier nicht berücksichtigen. Wir sehen also einen wohlgeformten, durchsichtigen Stoff übergehen in eine formlose Masse. Die «Erinnerung an das Licht», von der wir sprachen, verschwindet und an ihre Stelle tritt etwas, was auf uns einen erdigen Eindruck macht.

Wenn wir unser Augenmerk nun speziell auf das «Intervall» bei der Dampfbildung richten, dann sehen wir, wie aus einem sehr konturierten, starren, schweren Stoff ein fein sich verbreitender, luftförmiger Stoff frei wird. Das ruhende Salz geht zum Teil über in ein bewegliches, aktives, hier sogar aggressives Gas.

Erst hatte man ein Stück Erde, das sich dem Licht öffnete. Jetzt hat man einerseits Erde, die sich dem Licht verschließt, und andererseits einen Stoff, der den Lichtraum aufsucht und sich mit ihm identifiziert. Der Stoff, welcher liegen bleibt, hat die Festigkeit des Salzes behalten. Man nennt ihn darum die Basis oder die Base. Der Stoff, welcher entflieht, hat die Durchsichtigkeit mitgenommen.

Wir haben bereits früher davon gesprochen, daß es ökonomisch ist, einen Unterschied zu machen zwischen Punkten, auf die man genauer eingeht und anderen, wo man es mehr oder weniger bei einer Aufzählung von Tatsachen bewenden läßt. Dieses Prinzip können wir jetzt anwenden.

Wenn man mit großer Sorgfalt das Entstehen des sauren und basischen Stoffzustandes aus der Spaltung der Salze besprochen hat, kann man gleich die Namen der wichtigsten Säuren und Basen aufzählen:

Einige der wichtigsten Basen

Ätznatron
 Ätzkali
 Gelöschter Kalk
 Magnesia
 Ammoniak
 Eisenrost
 Kupferrost^{*}
 usw.

Einige der wichtigsten Säuren

Schwefelsäure
 schwefelige Säure
 Salpetersäure
 salpeterige Säure
 Salzsäure
 Phosphorsäure
 phosphorige Säure
 Kohlensäure
 Kieselsäure usw.

Man kann gleichzeitig diese Stoffe vorführen und, wenn man genug Zeit hat, sie einigermaßen charakterisieren an Hand von typischen Erscheinungen.

Jetzt geht man ausführlicher auf den sauren und basischen Zustand ein. Man stellt z. B. drei Bechergläser voll Wasser auf, welches mit Lackmuslösung gefärbt ist. In das linke Glas schüttet man etwas Natronlauge, so daß die Flüssigkeit sich blau färbt, in das rechte Salzsäure, so daß die Flüssigkeit rot wird. Dann fügt man links Salzsäure, rechts Natronlauge zu, wodurch die Farben wechseln.

Man kann den Schülern begreiflich machen, daß das Rot eine charakteristische Äußerung der aktiven, aggressiven Säure ist, das Blau die der mehr passiven Base. Daß es noch andere Indikatoren gibt, die durch die Farbe den Säuregrad anzeigen und an denen ganz andere Farben entstehen, ist hier weniger wichtig; es sind Kunstprodukte, die wenig Zusammenhang haben mit dem Leben in der Natur. Der Lackmus dagegen zeigt uns die ursprüngliche und typische Erscheinung, die wir aus der lebendigen Natur herausgelöst haben und die wir jetzt auf dem Laboratoriumstisch vorführen.

Obwohl der Lackmus aus einer Flechte gewonnen wird, hat er doch den Charakter eines Blütenfarbstoffes. Jetzt weist man hin auf den häufig vorkom-

^{*} Das Wort «Rost» oder «rosten» wird im Deutschen meist speziell für das Eisen gebraucht. Im Holländischen wird das Wort ganz allgemein für die entsprechenden Prozesse aller Metalle gebraucht. Es sei erlaubt, daß wir das hier und im weiteren auch tun.

menden Farbumschlag bei Blumen, z. B. beim Vergißmeinnicht von rot nach blau. Vielleicht zeigt man, daß auch Rotkohlsaft an Stelle von Lackmus verwendet werden kann.

Jetzt können wir drei Gefäße bereitstellen: verdünnte Natronlauge, verdünnte Salzsäure und Leitungswasser. Wenn man will, kann man in alle drei auch noch etwas Lackmuslösung geben. Man kann dann die ganze Klasse vorbeigehen und anfühlen lassen, daß der erste Stoff die Finger schlüpfrig macht, der zweite rauh. Das dritte Gefäß dient zum Abspülen der Finger. Man erinnert die Schüler an das gleiche schlüpfrige Gefühl, das man beim Eintauchen in eine Seifen- oder Sodalösung hat.

Wir suchen jetzt, wo Säure und Base in unserem eigenen Leibe zu finden sind. Unsere gesamte Haut ist leicht säuerlich durch das Schwitzen. Unser Blut dagegen muß leicht basisch sein. Unser Speichel ist etwas basisch, unser Magen ziemlich sauer, der Darm wieder basisch. Im allgemeinen können wir sagen, daß alles nach außen Gerichtete mehr oder weniger sauer, alles nach innen Gerichtete basisch ist. Der Magen hat ja auch, neben seiner Sammelfunktion, in erster Linie eine Aufgabe beim Abwehren schädlicher Einflüsse, die von der aufgenommenen Nahrung ausgehen. Es gehen praktisch keine Nahrungsstoffe durch die Magenwand in das Blut hinein. Ein Muskel, der sich spannt, tendiert mehr nach der sauren Richtung; beim Entspannen tritt wieder das Basische hervor.

Im Jahre 1929 erschien ein Büchlein «Zehn Jahre Freie Waldorf-Schule»¹. Man findet darin einen sehr anregenden Artikel von Eugen Kolisko «Vom Werden und Gestalten des Naturkundeunterrichts an der Waldorfschule». Er zitiert darin eine Äußerung Rudolf Steiners in einer Klasse, wo gerade das Entstehen von Säuren und Basen behandelt wurde: «Also, nun habt ihr all das hier vorführen gesehen. Nun denkt aber auch, was davon in eurem Körper vor sich geht. Wenn ihr eure Glieder regt, da bildet sich immer etwas Säure; wenn ihr aber ganz ruhig seid und euch nur mit dem Kopfe anstrengt, dann entsteht etwas Laugenartiges im Gehirn.» Eine solche Bemerkung ist mindestens ebenso wertvoll für den Lehrer wie für den Schüler. Man sieht daraus, in welcher Richtung man suchen muß.

Man kann jetzt auch Säuren und Basen bei den Tieren aufsuchen. Verschiedene Tiere kämpfen mit Hilfe von Säure. Die Ameisen spritzen sie sogar aus erheblichem Abstand dem Feind entgegen.

Bei den Lehrplanangaben weist Rudolf Steiner mit besonderem Nachdruck auf die Verhältnisse bei den Bienen, auf den Gegensatz zwischen dem sauren Futtersaft und dem alkalischen Blut².

¹ Sonderheft der Zeitschrift «Zur Pädagogik Rudolf Steiners», III. Jg. 1929, Heft 3/4.

² Konferenzen Rudolf Steiners mit den Lehrern der Freien Waldorfschule in Stuttgart 1919–1924. Manuskriptdruck. Heft 3, Januar–November 1921. Stuttgart 1962. Siehe 17. 6., Seite 41. (jetzt auch Gesamtausgabe Nr. 300b)

3 auch in diesem Reader enthalten (Anmerkung von D. Rohde)

In diesem Zusammenhang ist der Gegensatz von sauren und basischen Bodenarten auch besonders interessant.

Salzbildung aus Säure und Base

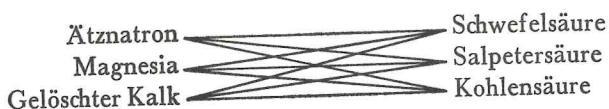
Nun gehen wir über zu der Einwirkung von Säure und Base aufeinander. Wir nehmen z. B. ein Becherglas voll Wasser, schütten Kupferoxyd hinein, wodurch das klare Wasser dunkel und trübe wird. (Man kann das Kupferoxyd zuvor aus heißer Kupfersulfatlösung und heißer Natronlauge herstellen. Das so gewonnene Kupferoxyd reagiert schneller.) Nun gibt man verdünnte Schwefelsäure dazu. Man wird bemerken, wie die dunkle Masse aufgehellt wird und in eine kristallklare blaue Flüssigkeit übergeht. Man kann auch das Wasser vorher erhitzen, dann geht alles noch schneller. Wenn man das nicht zu kleine Becherglas von unten beleuchtet, dann ist der Prozeß auch in größerem Abstand sichtbar, und viele spannende Einzelheiten sind deutlicher wahrnehmbar.

Wir sehen aus diesem Versuch wieder eine bestimmte Eigentümlichkeit der Säure. Sie hat die spezielle Fähigkeit, das allzu Irdische zu verzehren und dem Licht einen Weg zu bahnen. Gerade durch die Beleuchtung kommt diese Wirkung der Säure deutlich zum Vorschein. Würde man die blaue Lösung eindampfen, so erhielte man die edelgeformten, tiefblau durchsichtigen Plättchen der Kupfersulfatkristalle. Es hat ein ähnlich dramatischer Prozeß stattgefunden wie bei der Salzsäure. Hier geht eine glanz- und formlose Masse in klare Kristalle über. Auch geht eine bewegliche, aggressive Säure über in ein inaktives, starres Salz.

Jetzt können wir konzentrierte Salzsäure in ein Reagenzglas gießen und sie an der Oberfläche mit einem Stückchen Ätznatron in Berührung bringen. Ein scharfes Zischen ist hörbar, während eine Menge blanker Salzkristalle auseinanderstäubt und wie Schnee nach unten sinkt. Man kann den Versuch auch so einrichten, daß er ein bißchen ins Sensationelle hinüberspielt. Man stellt dann das Reagenzglas mit Salzsäure in den Ständer und läßt das Stück Ätznatron hineinfallen. Die Flüssigkeit beginnt heftig zu kochen und das Reagenzglas tanzt auf und nieder.

Wenn in dieser Art verschiedene Fälle von Salzbildung ausführlich behandelt sind, kann man wieder viel Wissensstoff in knapper Form bringen.

Man bespricht die Regel, nach der man im Prinzip jede Säure mit jeder Base kombinieren kann und immer ein Salz erhält. Das läßt sich auf folgende Weise schematisch darstellen:



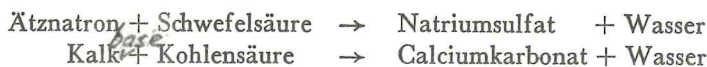
Man bespricht sodann die Namengebung der Salze und stellt eine Liste der Säuren und dazugehörigen Salze auf. Dann noch eine Liste mit den Namen, wie sie im täglichen Leben gebräuchlich sind, und daneben die wissenschaftlichen Namen.

Übergang zu den Chemischen Reaktionsgleichungen

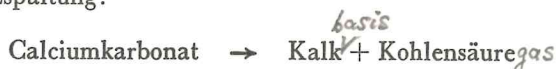
Nun zeigt man, wie sich die allgemeinen Regeln für die Salzsplattung und Salzbildung in einfache Schemata bringen lassen:



Aus diesen allgemeinen Schemata kann man dann spezielle Reaktionen dadurch ableiten, daß man die jeweiligen Namen einsetzt. So z. B.



oder eine Salzsplattung:



So legt man Schritt für Schritt den Grund für das spätere Arbeiten mit Reaktionsgleichungen und Formeln.

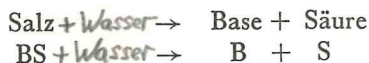
Es ist eigentlich nicht gut möglich, auf Grund des Pensums der 10. Klasse schon Formeln einzuführen. Wenn man konsequent den Weg geht vom Ganzen zu den Teilen, wenn man das Ganze als das Primäre und die daraus entstandenen Teile als das Sekundäre betrachtet, kommt man eben einfach nicht so weit. Außerdem ist es noch nicht möglich, die chemischen Elemente schon so ausführlich und lebendig zu behandeln, daß man dem eine so weitgehende Abstraktion gegenüberstellen dürfte. Tut man es doch, so kommt allzuleicht eine Trennung unter den Schülern zustande. Die intellektuelleren werden vielleicht in die Illusion verfallen, daß sie es jetzt erst ganz begriffen hätten, während sie eigentlich die Verbindung zur Wirklichkeit verlieren und außerdem die Problematik der Formeln doch nicht durchschauen. Das Formelwesen wird zu einem intellektuellen Spiel. Für die weniger Intellektuellen werden die Formeln eine mehr oder weniger undurchsichtige und unüberwindliche Schranke, die ihnen den Mut nimmt, sich wirklich in die Welt der Stoffe zu vertiefen.

Noch etwas Wichtiges kommt hinzu. Wir haben ja zu Anfang der Besprechungen für die 10. Klasse gesehen, daß wir besonders sorgfältig auf eine deutliche, durchsichtige Gedankenführung achten müssen. Dem entsprechen solche allgemeinen Gleichungen wie die für Salzpaltung und Salzbildung vollkommen, während in die ganzen Formeln so viele Gegebenheiten hineingearbeitet sind, daß die Übersichtlichkeit sehr abnimmt.

Wir werden sehen, daß die Formeln, wenn wir ihre Behandlung bis zur 11. Klasse aufschieben, ^{besser} ~~besser von einer anderen Seite her anzupacken sind und dann eine unerwartete Schulungsmöglichkeit mit sich bringen~~.

Die Formeln haben außerdem den Nachteil, daß sie unwillkürlich die Aufmerksamkeit ablenken von der Tatsache, daß jeder Stoff, sei er nun ein Element oder eine Verbindung, sich als vollkommene Einheit darstellt. Spricht man die Bezeichnung «Schwefelsäure» aus, so ist sie im Einklang mit dieser Einheit. Schreibt man die Formel H_2SO_4 , so wird man besonders darauf aufmerksam gemacht, daß dieser Stoff aus anderen Stoffen zusammengestellt werden kann.

Nun ist es aber doch möglich, unsere allgemeinen Gleichungen etwas mehr abzukürzen und sie dadurch übersichtlicher zu machen. Wir tun das folgendermaßen:



Die Formel BS für ein Salz ist eigentlich auch schon zu analytisch, aber schließlich führt jede Abstraktion, selbst die vorsichtigste, aus dem Bereich der Wirklichkeit hinaus. Aber das muß wohl in Kauf genommen werden.

Sind wir in der Behandlung des Unterrichtsstoffes so weit gekommen, dann haben wir einen besonders wichtigen Punkt erreicht. Den Schülern steht jetzt das Gedankenmaterial zur Verfügung, mit dem sie nicht nur in gewisser Weise die Prozesse klar durchschauen können, sondern auch im voraus wissen, wie ein chemischer Prozeß verlaufen wird. Sie können sogar zielbewußt Prozesse stattfinden lassen. Will man z. B. Kupfernitrat herstellen, so muß man Kupferbase und Salpetersäure zusammenwirken lassen. Sie können auf diesem Gebiet Voraussagen machen und durch den Versuch nachprüfen, ob sie richtig gedacht haben.

* Vgl. Seite 52, Formeln im Chemieunterricht als Problem.

Gewichtsverhältnisse

Wenn man beabsichtigt, später die Begriffe Atomgewicht und Molekulargewicht einzuführen, erscheint es mir gar nicht ungünstig, an dieser Stelle darauf hinzuweisen, daß alle diese Prozesse nach festen Gewichtsverhältnissen verlaufen. Man kann diese Tatsache, so lange man noch nicht schnell damit rechnen muß, leichter als Ausdruck einer strengen Naturharmonie behandeln, als das später möglich wäre. Man kann dabei gut von den Äquivalentgewichten ausgehen, z. B.:

Ätznatron	40
Schwefelsäure	49
Natriumsulfat	71
Wasser	9

Ätznatron + Schwefelsäure		Natriumsulfat + Wasser	
40	49	71	2×9

Es scheint mir unbedingt notwendig, streng im Bereich der unbenannten Zahlen zu bleiben, denn nur dann wird es deutlich, daß es sich um Gewichtsverhältnisse handelt und nicht um absolute Gewichte. Aber selbst wenn man sich hieran hält, kann man einfache Berechnungen anstellen. Man will z. B. wissen, wieviel Natriumsulfat man erhält, wenn man 80 Gramm oder wenn man 2 Gramm Ätznatron nimmt.

Ätznatron + Schwefelsäure		→	Natriumsulfat + Wasser			
40	:	49	:	71	:	18
80	:	2×49	:	2×71	:	2×18
2	:	$\frac{49}{20}$	:	$\frac{71}{20}$	:	$\frac{18}{20}$

Wenn man den Schülern eine Liste der Äquivalentgewichte angibt, können alle möglichen Berechnungen angestellt werden.

Sauerstoff – Oxydation – Verbrennen und Rosten

Jetzt zeigen wir, daß Säuren sich dadurch bilden, daß man bestimmte Stoffe verbrennt, und Basen dadurch, daß man Metalle rosten läßt. Wir müssen also die Rolle, die der Sauerstoff bei der Säure- und Basenbildung spielt, eingehender betrachten.

Man kann hier sehr gut historisch zu Werke gehen und besprechen, wie der Sauerstoff durch Priestley entdeckt wurde. Dann hat man nicht nur den großen Vorteil, den historischen Entwicklungen folgen zu können, die meistens Hand in Hand mit einem lehrreichen Kampf um Aufhellung der Begriffe gehen, sondern außerdem bekommt man die Gelegenheit, Biographien einzuflechten. Das ist besonders für die Mädchen, die ja mehr als die Jungen das Bedürfnis haben, alles mit dem Gemüt aufzunehmen und auf den Menschen zu beziehen, von Wichtigkeit.

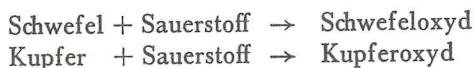
Priestley erzeugte ein unbekanntes Gas beim Erhitzen von Quecksilberrost und stellte fest, daß es den Atmungsprozeß fördert und die Verbrennung in Gang hält. Es war also ein Gas mit verstärkten Lufteigenschaften.

Wir verbrennen nun z. B. Schwefel oder Phosphor und führen vor, daß der aufsteigende Dampf und Rauch ein feuchtes blaues Lackmuspapier rot färben. Vollständigkeitshalber können wir noch zeigen, daß diese Stoffe nur brennen, wenn genügend Sauerstoff in der Umgebung vorhanden ist. Eventuell können wir die Verbrennung noch verstärken durch Zuführen von reinem Sauerstoff.

Dann legen wir ein Stück Eisen in eine feuchte Umgebung, um es rosten zu lassen. Das blanke zähe Metall wird langsam trüb werden, anschwellen und schließlich in eine spröde, braunrote, krustige Masse übergehen. Besonders interessant an diesem Prozeß ist, daß er so träge und langsam verläuft. Aber gerade das wird die Schüler wenig reizen. Man zeigt also am besten gleich auch ein Stück ordentlich verrostetes Eisen.

Weiterhin kann man ein blankes Stück Eisen und ein blankes Stück Kupfer erhitzen. Man wird sehen, wie die glänzende Oberfläche sich schnell trübt. Wir können dann besprechen und eventuell vorführen, daß das entstandene Kupferoxyd dieselbe Substanz ist wie die Base, die wir erhielten durch Spaltung (Erhitzen) von Kupfersulfat.

Jetzt vergleichen wir die beiden Prozesse, das Verbrennen und das Rosten. Beide beruhen im Prinzip auf einer Einwirkung von Sauerstoff. Wenn man sie in chemischen Gleichungen ausdrückt, sehen sie auch beide genau gleich aus:



Der Dynamik ihres Verlaufs und dem Bild nach, das sie uns zeigen, sind die beiden Prozesse jedoch völlig entgegengesetzter Art.

Das Verbrennen verläuft schnell. Es ist einer der besonders auffallenden und strahlenden Prozesse durch seine Licht- und Wärmeentwicklung und durch die prickelnden Gerüche, die gewöhnlich dabei auftreten. Der Stoff, der erst als ein fester Gegenstand vor uns liegt, wird ganz und gar aufgezehrt und in ein bewegliches, raumerfüllendes Gas verwandelt. Der ganze Prozeß ist in erster Linie nach oben gerichtet.

Das Rosten verläuft langsam. Das glatte spiegelnde Metall wendet sich sozusagen vom Licht ab und wird trübe und erdenähnlich. Von einer Wärmeentwicklung ist wenig zu bemerken. Während der brennende Stoff mit dem Sauerstoff in dessen Sphäre eingeht, zieht der rostende Stoff den Sauerstoff zu sich hin.

Etwas Rätselhaftes ist es, daß das Verbrennen erst einsetzt, wenn eine bestimmte Verbrennungstemperatur erreicht ist, während das Rosten auch bei Kälte stattfindet. Dieses Rätsel kann jedoch der Schlüssel werden zum Verständnis der Ordnung, die alledem zugrunde liegt. Das Verbrennen wird durch die Wärme erregt, das Rosten durch die Feuchtigkeit. Beim Verbrennen entwickeln sich meistens Gase oder andere flüchtige Stoffe. Beim Rosten entstehen erdige Stoffe.

Verbrennen	erregt durch Wärme Feuer
Ergebnis:	Gas-Dampf . . . Luft

Rosten	erregt durch Feuchtigkeit . . . Wasser
Ergebnis:	Erdiger Stoff . . . Erde

Wir sehen, daß die beiden Prozesse in ihrem gegenseitigen Zusammenhang durchsichtig werden, sobald man die vier Elemente als Hintergrund ins Auge faßt. Besonders interessant wird dadurch auch die Tatsache, daß man gegen das Rosten mit Fetten und Ölen vorgehen kann, also mit brennbaren «feurigen» Stoffen, während man einen Brand mit Wasser bekämpft.

Wir können jetzt zeigen, wie die Verbrennungsprodukte von Stoffen wie Kohlenstoff, Phosphor und Schwefel mit Wasser zu Säuren werden, während die Metalloxyde als Basen erscheinen. Wir danken allem diesem zugleich wieder einen Beitrag zur Verdeutlichung der charakteristischen Eigenschaften von Säure und Base. Die Säure ist sozusagen der chemische Vorposten der beiden höheren Elemente Wärme und Luft. Dies erklärt viel von ihrer aggressiven Beweglichkeit und von ihrem Vermögen, dem Licht einen Weg zu bahnen.

Die Base ist der chemische Vorposten der beiden unteren Elemente. Das erklärt ihre Eigenschaft, saure Dämpfe gierig anzuziehen und zu fixieren. Starke Basen wie Ätznatron haben mehr Verbindung mit dem Wasserelement; die unlöslichen Basen, die Roste der Schwermetalle, haben mehr Verbindung mit dem Erdenelement.

Wir werden später sehen, wie die Eigenschaften der Kieselsäure weitgehend im Widerspruch hierzu stehen; denn sie trägt viel bei zur Festigkeit der Erdrinde; wie sie aber doch einen besonderen Zusammenhang mit der kosmischen Seite der Natur hat. Ammoniak bildet wieder eine Ausnahme unter den Basen: er ist sehr flüchtig.

Die Bedeutung des eingeschlagenen Weges Der Kampf um das Bild in der Chemie

Man könnte sich jetzt noch einmal fragen, warum alles dies so kompliziert behandelt werden muß, warum man nicht gleich zu Anfang der Epoche aus Verbrennen und Rosten die Säuren und die Laugen ableiten kann und daraus wieder die Salze aufbauen. Man kann an dem Werdegang, so wie wir ihn beschrieben haben, verschiedene Antworten ablesen. Wenn man mit dem brennenden und dem rostenden Stoff beginnt, ist das eine analytische Methode, obwohl man, scheinbar aufbauend, synthetisierend vorgeht. Aber es läuft ja darauf hinaus, daß man fortwährend die Stoffe, aus denen die höheren Einheiten wie Säuren, Basen und Salze aufgebaut sind, im Auge hat und sie behandelt, als wären sie Teile einer Konstruktion. Man verliert unwillkürlich das Ganze aus dem Auge. Schlägt man den umgekehrten Weg ein, so wie wir es getan haben, dann hält man dauernd am Ganzen fest, auch wenn man weit in die Zergliederung hinabsteigt.

Daraus ergibt sich, daß diese Methode im Einklang steht mit den Entwicklungsgesetzen eines Lebewesens. Dies beginnt nämlich immer als ein relativ wenig differenziertes Ganzes und geht von da aus in immer feinere Differenzierung. Mit unserer Methode arbeitet man daher im Sinn der Entwicklung des Kindes, die ja auch den allgemeinen Lebensgesetzen folgt.

Durch die analytischen Methoden, wie sie sonst allgemein in der Naturwissenschaft benutzt werden, kommt man immer in die Gefahr, das Bild der Welt auseinanderzureißen in unübersichtliche Einzelheiten. Man bildet sich zwar sehr scharfe Begriffe im Zusammenhang mit den Erscheinungen, aber man achtet wenig darauf, ob sie ein Ausdruck sind des wirklichen Zusammenhangs, in dem die Erscheinungen stehen*.

Ja, man schneidet eigentlich mit der Schärfe der Begriffe, mit den unfehlbaren Definitionen, dauernd Teile aus dem Ganzen der Welt heraus. Man läßt sich dabei oft so sehr imponieren von der Klarheit dieser Begriffe, daß man die Einzelheiten als selbständiges Ganzes anzusehen beginnt. Die Urheber mechanischer Theorien leiden z. B. an diesem Übel. Sie wollen die Wirklichkeit aus solchen Bestandteilen erklären, an denen man die klarsten Gedanken entwickeln kann. Geht man dagegen vom Ganzen aus, so wie wir es zu tun trachten, dann bleiben die Begriffe der Einzelheiten, die man daraus entwickelt, immer in einem wohlausgewogenen Zusammenhang untereinander und mit der Welt. Sie erhalten dann einen Aspekt, der uns erinnert an die Organe eines lebenden Wesens. Man bildet auf diese Weise in den Schülern eine ganz andere Orientierung im Leben heran. Sie entwickeln die Gewohnheit, den Blick auf das

* Vgl. Seite 92, über den Begriff der Konzentration.

Ganze der Welt gerichtet zu halten und ihr eigenes Urteil und ihren Platz von da aus zu bestimmen.

Es kann besonders fruchtbar sein, im Zusammenhang mit der Bildung von Säuren und Basen den großen französischen Forscher des 18. Jahrhunderts, Lavoisier, zu behandeln. Er ist ja der eigentliche Entdecker der Rolle des Sauerstoffs bei der Bildung von Säuren und Basen. Um die Tendenz seines Werkes verständlich zu machen, muß man eigentlich etwas über die Alchimisten erzählen. Man kann ausführen, wie die ernsthafteren unter ihnen im Grunde nicht auf materiellen Gewinn ausgingen, sondern wie ihr Streben auf innere Entwicklung mit Hilfe des chemischen Experiments gerichtet war. Damit hängt auch die eigenartige Namengebung zusammen, die eine Art Bildersprache ist. Man hat es hierbei mit Andeutungen über Stoffe und Stoffzustände zu tun, wie auch mit Umschreibungen von inneren Entwicklungsprozessen des Menschen. Bei den Versuchen war ihr Blick vor allem auf das Bildhafte der Prozesse gerichtet, womit ja auch wir uns beschäftigt haben. Für sie sprach aus den Bildern und aus der Veränderung der Bilder das Göttliche in der Natur.

Zu Lavoisiers Zeit war die alchimistische Strömung längst über ihre Blütezeit hinaus; sie war in Verwirrung und Dekadenz geraten. Da hat er dann viel dazu beigetragen, die Reste alchimistischer Betrachtungsweisen gründlich auszurotten.

Für ihn war die Waage das wichtigste Instrument, d. h. er versuchte, an alle Erscheinungen von der Seite des Gewichtes heranzukommen. Dadurch wurde das Bild vollständig ausgeschaltet. Höchst merkwürdig ist es, daß er Sauerstoff wiegen konnte, bevor er wußte, daß es ihn gibt. Er ließ Zinn in einem abgeschlossenen Gefäß oxydieren und konnte zeigen, daß etwas aus der Luft in das rostende Metall überging. Das Gewicht des Ganzen blieb gleich, während das Metall schwerer wurde. Als er dann von Priestley über dessen Sauerstoffverbrennung hörte, konnte er nach kurzer Zeit seine Verbrennungstheorie entwickeln.

Er hat auch viel beigetragen zu der modernen bildlosen Namengebung. Die Bezeichnung Oxygenium – Säurebildner, Sauerstoff, ist von ihm, ebenso Oxyd für Sauerstoffverbindung.

Mit ihm wird auch das Gesetz von der Erhaltung der Materie in Zusammenhang gebracht. Es wird ihm als Praktiker in erster Linie auf eine Arbeitsmethode angekommen sein. Er gründete seine Experimente auf die Überzeugung, daß das Gesamtgewicht der Stoffe, die an einer Reaktion beteiligt sind, stets unverändert bleibt. Das ist eigentlich nur eine Arbeitshypothese. Er würde wahrscheinlich nie den Schluß daraus gezogen haben wie später die Materialisten, daß das ewige Sein nicht einem göttlichen Wesen und noch weniger der Menschenseele eigen ist, sondern der Materie. Wenn diese weder entstehen noch vergehen kann, so ist keine Schöpfung möglich. Die Gottheit wurde also durch solche Erwägungen ihrer Macht entkleidet und die Materie auf Gottes Thron gesetzt.

Lavoisier wird der Begründer der modernen Chemie genannt. Und tatsächlich betrachtet diese die Stoffeswelt in erster Linie von den Gesichtspunkten der Materie und Energie aus. Es ist vielleicht gut, solche Dinge mit den Schülern zu besprechen, vor allem, da man ja inzwischen darauf gekommen ist, daß tatsächlich Materie vernichtet werden und auch entstehen kann, der Materialismus also auf dieser Ebene widerlegt ist. Außerdem können wir gerade am Verbrennen und Rosten die Einseitigkeit solcher Betrachtungen deutlich machen. Wenn man nur auf das Gewicht achtet, verschwinden die Unterschiede zwischen beiden Prozessen. Achtet man auf das Bild und auf die Dynamik, so entdeckt man die größten Gegensätze. Bis zu einem gewissen Grade ist es sinnvoll, das Rosten nur vom Gesichtspunkt der Schwere zu betrachten. Das Feuer dagegen ist in dauerndem Widerspruch mit der Schwere. Es ist genauso auf die imponderabile, strahlende Lichtseite der Welt abgestimmt wie der Rostprozeß auf die Schwere. Man kann mit solchen Gedanken dem jungen Menschen nicht nur ein harmonisches Weltbild übermitteln, es muß sogar möglich sein, ihm dadurch eine Hilfe zu bieten für sein Suchen nach einer eigenen Stellung gegenüber der Welt. Vor kurzem erst hat er das Auseinanderfallen des Menschenwesens in das männliche und weibliche Geschlecht als tiefe Erfahrung durchgemacht. Gleichzeitig ist er in ein Kräftespiel geraten, das ihn wohl erheben und ihn mit Idealismus erfüllen kann, das ihn aber zum Teil auch hinunterzieht. Er fühlt sich zerrissen.

Eine Art Bild dieses Dramas steht in der Salzpaltung in Säure und Base, in den Prozessen des Brennens und Rostens und dem, was sich daran anknüpfen läßt, objektiviert vor ihm. Während er sich mehr oder weniger ausgestoßen fühlt aus dem Schutz der göttlichen Welteinheit, kann dieses Bild beitragen zu dem Gefühl: Auch was er jetzt durchmachen muß, ist gegründet auf tiefe Weltgesetze. Sein Drama wird zu einem Teil des Weltendramas. Er steht vor der Aufgabe, durch inneren Kampf eine neue, menschenwürdige Haltung zu finden mitten in dem Kräftespiel, das sich ihm jetzt erst enthüllt. Einst mußte er sich körperlich die aufrechte Haltung zwischen der Lichtwelt über ihm und der Schwerewelt unter ihm erobern. In diesem Alter wird er innerlich gewahr, daß es etwas gibt, was ihn in illusionäre Welten hinaufziehen will und etwas, das ihn herunterholen und an dumpfe Kräfte binden will. Er muß sich auf diesem inneren Feld geistig aufrichten lernen, wie er es früher körperlich getan hat. Er muß bewußt eine neue geistige Gleichgewichtslage finden. Der besprochene Unterrichtsstoff kann ihm dabei eine Stütze sein.

Reduktion

Wir sind jetzt so weit, daß die Erscheinungen der Reduktion näher betrachtet werden können.

Man schüttet braunes, pulverisiertes Eisenoxyd in eine feuerfeste Glasröhre. Nun leitet man Leuchtgas oder Wasserstoff hindurch und erhitzt die Glasröhre an der Stelle, wo das Oxyd liegt. Man sieht das Pulver schwarzgrau werden, während ein Niederschlag von Wasser an den Wänden erscheint. Dies kann man unmittelbar in eine Reaktionsgleichung kleiden. Erst hatte man Wasserstoff und Eisenoxyd, jetzt Eisen und Wasser.



Man könnte dasselbe auch so ausdrücken:



Nachdem es abgekühlt ist, kann man das Pulver in der Röhre mit einem Magneten nach oben bewegen, ein klarer Beweis, daß metallisches Eisen entstanden ist. Man kann auch, während die Röhre noch heiß ist, Luft hindurchstreichen lassen, dann zeigt sich, daß das Pulver sofort wieder die Farbe verändert. Es wird in Eisenoxyd zurückverwandelt.

Auf besonders eindrucksvolle Art kann man einen Wechsel von Oxydation und Reduktion vorführen, indem man eine Kupferplatte ziemlich stark erhitzt und dann die Gasflamme darüber hinspielen läßt. Innerhalb des Flammenbereichs wird das Metall blank; wo die Flamme sich entfernt, setzt eine schnelle Oxydation ein, die sich zuerst in einem prächtigen Farbenspiel äußert und schließlich in einer schwarzen Schicht endet. Je länger man die Flamme hin und her bewegt, desto herrlicher glühen die Farben auf.

Die Schüler haben bereits einen Begriff davon, was sich bei der Reduktion abspielt, da in der 9. Klasse die Kohlensäureassimilation ausführlich behandelt worden ist. Darin muß man ja das Urbild eines Reduktionsvorganges erkennen.

Bei der Entdeckung des Sauerstoffs haben wir die Spaltung von Quecksilberoxyd durch Erhitzen schon behandelt.

Häufig wird die Reduktion zustande gebracht mit Hilfe von recht brennbaren Stoffen wie Wasserstoff, Kohlenstoff und Kohlenoxyd. Hieran erkennt man, worauf alles ankommt. Die brennbaren Stoffe befinden sich in einem Spannungszustand gegenüber der Umgebung. Sie sind sozusagen geladen mit Energie, die sie beim Verbrennen vor allem in Form von Licht und Wärme ausstrahlen. Die Oxyde dagegen sind in einen völlig entspannten Zustand geraten. Will man den

Ausgangsstoff aus einem Verbrennungsprodukt wieder hervorzaubern, so muß man diese Spannung wieder erzeugen durch Zufuhr von Wärme und Licht.

Bei der Kohlensäureassimilation wird durch das Sonnenlicht Kohlendioxyd in Kohlenstoff umgewandelt.* Bei der Analyse von Quecksilberoxyd wird die Wärme der Gasflamme verwendet oder, wie bei Priestley, die Sonnenwärme.

Bei der Reduktion von Eisenoxyd reißt das Wasserstoffgas den Sauerstoff an sich und gibt dem Eisen etwas von seiner Energie.

Es ist gut, darauf hinzuweisen, daß nicht nur das Verbrennen, sondern auch das Oxydieren der Metalle von Wärmeausstrahlung begleitet ist. Man bemerkt diese jedoch meistens nicht, weil es langsam geht. Beschleunigt man den Prozeß wie beim Eisenpulver, das man in die Gasflamme streut, so sieht man das Metall auch in Funken aufglühen.

Auf diese Weise kann man besprechen, daß bei jedem chemischen Prozeß eine Wechselwirkung stattfindet zwischen dem Ponderabelen und dem Imponderabelen. Immer wird Licht oder Wärme aufgenommen oder ausgestrahlt.

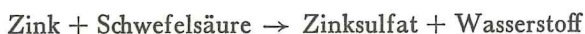
Man kann diesen Punkt bei der Behandlung der Reduktion so besprechen, daß man ihn noch ganz außer der Sphäre des Quantitativen hält und ihn dafür an die Lebensprozesse anknüpft und in Gedanken kleidet, die mehr in Bildform verlaufen.

Auflösung von Metallen in starken Säuren

Außer der gewöhnlichen Salzbildung aus Säure und Base gibt es noch die Möglichkeit, dadurch Salze zu bilden, daß ein Metall in einer Säure aufgelöst wird. Dabei vollziehen sich vielsagende Veränderungen.

Man gießt z. B. schwach verdünnte Schwefelsäure in ein Reagenzglas und wirft einige Stückchen Zink hinein. Sofort wird das Zink unter heftigem Zischen verzehrt. Ein leicht brennbares Gas entweicht. Schließlich sammelt sich unten im Glas eine klare Kristallmasse.

Man kann wiederum mühelos die Reaktionsgleichung des sich abspielenden Prozesses aufstellen:



Durch die Säure wird das Metall in Salzkristalle umgewandelt.

Wir stehen hier vor einer der merkwürdigsten Umwandlungen. Wir haben schon früher die Materie gekennzeichnet als den Teil der Welt, der vom Licht verlassen ist¹. Bei den Metallen ist sogar eine Art Gegensatz zum Licht aufgetreten. Hält man ein Stück Metall gegen das Licht, so erscheint es als dunkle Masse.

¹ Vgl. Seite 29, Kristallisation bei den Salzen.

* Die O_2 -Freisetzung erfolgt aber aus der H_2O -Spaltung. (Anmerkung von D. Rohde)

Und wirklich ist es besonders undurchsichtig. Dazu kommt, daß die Metalle die am stärksten spiegelnden Stoffe sind. Sie stoßen also das Licht in hohem Maße zurück. Zugleich weist das Spiegeln darauf hin, daß die Metalle doch wieder auf das Licht abgestimmt sind. Das gilt um so mehr, je stärker sie spiegeln, für Silber also am meisten.

Löst man ein Metall in einer Säure, so werden die lichtabweisenden Eigenschaften völlig überwunden. Wieder bahnt die Säure den Weg für das Licht.

Läßt man aus dem Metall gleich Salzkristalle entstehen, so wie im oben beschriebenen Versuch, dann geht die Plastizität des Metalls, die zähe Fügsamkeit über in spröde Geformtheit.

In diesem Zusammenhang ist es besonders interessant, daß durchsichtige feste Stoffe nie gute elektrische Leiter sind, während die besten Leiter, die Metalle, am stärksten das Licht abweisen. An dieser Stelle tritt der Gegensatz von Licht und Elektrizität sehr deutlich hervor. Wo das eine Zugang findet, wird das andere ausgeschlossen¹.

Man sieht aus allen diesen Erscheinungen, daß es auch polare Stoffzustände gibt. Der Metallzustand und der durchsichtige Kristallzustand bilden solch einen Gegensatz².

Elektrolyse

Wenn man so weit gekommen ist, kann man ganz gut die ersten Erscheinungen der Elektrolyse einbeziehen. Man wird es jedoch wieder auf besondere «10.-Klasse-Weise» tun müssen und nicht etwa dem Pensum der Elektrizitätslehre aus der 11. Klasse vorgreifen.

Man kann dabei ausgehen von einer verdünnten Salzlösung (nicht Kochsalz oder andere Halogensalze) und sie mit Lackmus färben. Als Elektroden kann man erst Kohlenstäbe, später auch gewisse Metallstäbe verwenden. Man erhält das Folgende:

—	+
<i>Kathode:</i>	<i>Anode:</i>
Neigung zu Laugenbildung	Neigung zu Säurebildung
Wasserstoffabsonderung	Sauerstoffabsonderung
Reduktionserscheinungen	Oxydationserscheinungen
Absonderung von Metallen	Lösen von Metallen.

¹ Rudolf Steiner, Erster naturwissenschaftlicher Kurs («Lichtkurs»), Stuttgart, 23. 12. 1919 bis 3. 1. 1920. «Geisteswissenschaftliche Impulse zur Entwicklung der Physik». GA 1964. Siehe 9. und 10. Vortrag.

² ~~Vgl. Seite 258, Kristall und Metall.~~

Man erhält auf diese Art eine Phänomenologie der Elektroden. Man sieht, wie die Elektrizität in ihrer Polarität zusammenhängt mit den Gegensätzen, die wir bereits besprochen haben.

Alle Theorie wird man weglassen müssen. Vom Gesichtspunkt der Praxis und Anwendung aus gesehen, ist in diesem Zeitpunkt eine Charakteristik der Erscheinungen viel wichtiger als abstrakte Erklärungen.

Auf diese Weise legt man sogar schon einen gewissen Grund für die Physik-epoche (Elektrizitätslehre) in der 11. Klasse.

Abrunden der Epoche

Basenverdrängung – Säureverdrängung – Doppelte Umsetzung

Es folgt ein Teil der Epoche, in dem noch eine Menge neuer Erscheinungen auftritt, die sogar oft zu den eindrucksvollsten gehören, wobei wir aber in der Hauptsache mit den Begriffen arbeiten können, die wir uns schon erworben haben. Das gibt Anlaß zu dauerndem Wiederholen und Üben. Die Schüler lernen sozusagen mit den Begriffen zu spielen. Sie müssen dazu gebracht werden, in vielen Fällen selbst die Erklärungen zu finden und müssen sich Vorgänge ausdenken, die dann am Versuch geprüft werden können.

Weiterhin handelt es sich um alle Möglichkeiten, die es beim Kombinieren von Salzen mit Säuren und Basen gibt. Drei solcher Kombinationen sind es in der Hauptsache: Basen und Salze, Salze und Säuren, Salze und Salze, die werden dann zusammengegeben, und die Ergebnisse können beobachtet werden.

Wir beginnen z. B. damit, eine Base einer Salzlösung zuzufügen. Nimmt man hierzu Kochsalz und Kupferoxyd, dann wird nichts geschehen, ebenso wenig wie mit Kochsalz und Natronlauge. Eine eindrucksvolle Erscheinung dagegen tritt auf, wenn Natronlauge in eine nicht sehr verdünnte hellblaue Kupfersulfatlösung gebracht wird. Man bekommt einen herrlichen, schleierartig durchsichtigen blauen Niederschlag. Verfolgt man den Prozeß genau, dann sieht man eine Menge Bläschen entstehen. In diesen Bläschen ist Natronlauge; die Wände bestehen aus einer zarten geleeartigen Substanz, rundherum befindet sich die Kupfersulfatlösung. Solche Bläschen, die auch bei anderen Salzen auftreten können, gleichen manchmal niederen Tieren. Zerstört man eines davon, so fließt wohl der Inhalt heraus, jedoch umgibt er sich sogleich wieder mit einer neuen Haut. Es geschieht etwas wie eine Wundheilung. Trotz ihrer Zartheit sind diese Bläschen daher ziemlich stabil.

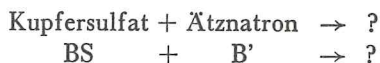
Natürlich wird der Lehrer den Versuch für sich selbst auf alle mögliche Weise variiert probieren, damit er die Erscheinung so eindrucksvoll wie möglich vorführen kann. Man kann z. B. verschiedene Gläser benutzen und mit verschiedenen Konzentrationen arbeiten. Wenn man mit großen Gläsern arbeitet und

außerdem von unten her beleuchtet, erhält man ganz zauberhafte Erscheinungen.

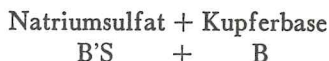
In gewissem Sinn wird das Bild noch deutlicher, wenn man eine Kupfersulfatlösung in etwas Natronlauge gießt. Die blauen Flocken entstehen dann in einer farblosen Flüssigkeit. Etwas sehr Überraschendes tritt auf, wenn man einen Kupfersulfatkristall in Natronlauge hineinhängt. Man kann dann Niederschlagsäulen bekommen.

Ähnliche Versuche dieser Art kann man machen, indem man die Salze anderer Schwermetalle mit starken Basen zusammenbringt.

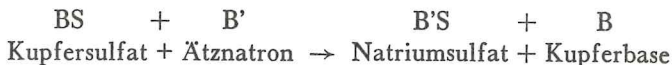
Stellen wir nun den Schülern die Frage, was sich abgespielt haben mag, dann gibt es sicher einzelne, die es herauszufinden wissen. Wir schreiben auf:



Es ist kaum anders denkbar, als daß eine neue Kombination zustande gekommen ist, und zwar



Der ganze Prozeß sieht dann so aus:

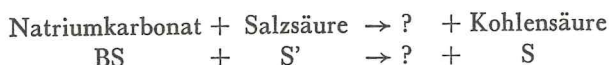


Die starke, leicht lösliche Base hat die schwache, schwer lösliche verdrängt. Ist das richtig, so müssen wir mit einer starken Säure den blauen Niederschlag wieder auflösen können. Das geht tatsächlich. Man darf dabei natürlich nicht vergessen, das eindrucksvolle Versuchsbild des AuflöSENS zu seinem Recht kommen zu lassen.

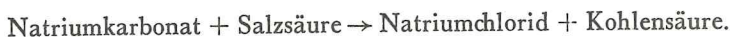
Wenn unser Gedankengang richtig war, so muß sich in der Lösung Natriumsulfat befinden, und der blaue Niederschlag muß eine Art Kupferbase sein. Das erste zu beweisen, ist schwierig, jedoch werden es sich die Schüler von uns sagen lassen, daß wirklich Natriumsulfat entstanden ist. Das zweite kann leicht nachgewiesen werden, indem man den blauen geleeartigen Niederschlag erhitzt. Dann entsteht eine braunschwarze Masse von Kupferoxyd. Es ist dann nicht mehr schwer einzusehen, daß der blaue Niederschlag wasserhaltiges Kupferoxyd, Kupferhydroxyd, ist. Man kann solch ein Hydroxyd betrachten als eine Base, die auf dem halben Wege vom gelösten zum festen Zustand stehengeblieben ist. Bringt man eine Säure mit einem Salz zusammen, so können die Erscheinungen wiederum recht verschieden sein.

Wird Salzsäure in eine Natriumsulfatlösung gegossen, so ist keine Veränderung zu sehen. Gießt man aber Salzsäure auf Soda, so fängt es an zu zischen

und zu brausen, die flüchtige Kohlensäure entweicht. Es ist wiederum nicht schwer zu durchschauen, was hier geschehen ist:



An der Gleichung kann man ablesen, daß auch BS', das Natriumchlorid, entstehen muß.

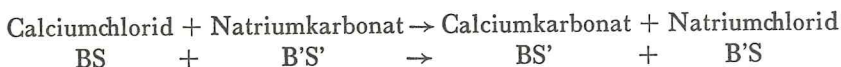


Es ergibt sich hier wieder eine allgemeine Regel: Gibt man eine starke Säure zu dem Salz einer schwachen Säure, so wird die schwache Säure verdrängt, und es bildet sich ein Salz der starken Säure. Man kann allenfalls darauf hinweisen, daß auch die Flüchtigkeit der Säure eine Rolle spielt.

Die Säureverdrängung ist für die Praxis von großer Bedeutung. Es ist vielleicht sinnvoll, die Gewinnung von Salpetersäure, Salzsäure, Kohlensäuregas und anderen Säuren aus ihren Salzen zu besprechen.

Bei solchen Versuchen ist es wichtig zu zeigen, wie bei einer typischen Basenverdrängung ein Stoff hinunter in die Schwere gestoßen wird, während bei der Säureverdrängung ein Stoff in die Lichtsphäre hinaufgehoben wird.

Als letzte Möglichkeit einer Wechselwirkung zwischen Säuren, Basen und Salzen haben wir jetzt noch das Zusammenwirken zweier Salze. Geben wir Kochsalzlösung zu Kaliumsulfatlösung, so geschieht nichts. Nimmt man dagegen Calciumchlorid und Soda, so entsteht ein weißer Niederschlag. Es ist merkwürdig anzusehen, wie zwei glasklare Flüssigkeiten beim Zusammengießen wie durch Zaubermacht eine undurchsichtige, feste Masse hervorbringen. Dieser Niederschlag ist nicht geleeartig, eher körnig. Was ist geschehen?



Der Niederschlag könnte also Calciumkarbonat oder Natriumchlorid sein. Da ^{viel besser} letzteres löslich ist, kommt nur das Calciumkarbonat in Frage. Durch die andere Kombination der Säuren und Basen sind zwei neue Salze entstanden. Daraus kann die Regel abgeleitet werden: Gießt man die Lösungen zweier Salze zusammen, so tritt die doppelte Umsetzung mit Niederschlagsbildung ein, wenn eine der möglichen Säure-Base-Kombinationen ein ^{schwerer} unlösliches Salz ergibt.

Jetzt sollte man eine gewisse Übersicht haben, welche Salze ^{schwerer} löslich sind und welche nicht. Falls die Schüler sie nicht schon haben, kann man ihnen jetzt eine Reihe der wichtigsten ^{schwerer} unlöslichen Salze angeben; dann auch noch die Säuren und Basen, deren Salze stets ^{leicht} löslich sind. Dann können die Schüler die Erscheinungen selbst erklären und sogar vorhersagen.

Es kann nun hingewiesen werden auf die Anwendung der doppelten Umsetzung beim Nachweis bestimmter Salze in einer Lösung. Mit Meerwasser kann man da recht schöne Versuche machen.

Auch die Probleme des harten Wassers können hier besprochen werden; warum Seife flockig wird, und warum Soda das Wasser enthärtet.

Schließlich kann man durch die doppelte Umsetzung auch noch allerlei Salze herstellen; z. B. Bleichromat (Chromgelb), Bleikarbonat (Bleiweiß), Quecksilberchlorid (Sublimat) oder Kaliumnitrat.*

** Achtung, Gefahrstoffhinweise beachten!
(Anmerkung von D. Rohde)*