

Über die Beziehungen zwischen dem mathematischen und dem physikalischen Unterricht.

Von

Fr. Pietzker in Nordhausen.

Wenn man sein Urteil auf einige äussere Umstände gründen wollte, so könnte man wohl vermuten, dass zwischen dem mathematischen und dem physikalischen Unterricht an unseren höheren Schulen eine innige Verbindung besteht. Beide Unterrichtsfächer liegen auf der obersten Stufe fast regelmässig in derselben Hand, ausserdem empfiehlt die Prüfungsordnung von 1882 ausdrücklich, die schriftlichen Aufgaben im Abiturientenexamen des Gymnasiums zum Teil so zu wählen, dass den Schülern Gelegenheit zur Darlegung ihrer Bekanntschaft mit physikalischen Gesetzen gegeben werde, sowie den mathematischen Fragen in der mündlichen Prüfung passende Fragen aus dem physikalischen Gebiete einzuflechten.

Indessen lässt eine eingehendere Untersuchung des thatsächlichen Zustandes deutlich erkennen, dass die Verbindung der beiden genannten Unterrichtszweige in der That nur eine mehr äusserliche ist. Die physikalischen Gesetze, deren Kenntnis im schriftlichen Examen an den Tag zu legen sein würde, laufen in Wahrheit auf einige Formeln hinaus, die von dem Schüler in den einzelnen Prüfungsaufgaben ganz richtig und fertig angewandt werden können, ohne doch dadurch dem Examinator eine wirkliche Gewähr für das Verständnis zu schaffen, mit dem der Abiturient das einschlägige Gebiet der Physik beherrscht. Auch die dem mündlichen Examen eingeflochtenen Fragen werden einerseits nur in sehr geringer Zahl auftreten und andererseits eben weil sie dem mathematischen Examen eingefügt sind und selbstverständlich mit der übrigen Prüfung in Zusammenhang stehen müssen, vorzugsweise gewisse physikalische Formeln betreffen.

Die an und für sich wesentlichere zweite der oben genannten Einrichtungen, nämlich die Vereinigung des mathematischen und physikalischen Unterrichts in einer Hand kann ihre volle Nützlichkeit für die innerliche Verbindung der beiden Fächer auch so lange nicht bethätigen, als der dem mathematischen Unterricht durch die bestehenden Lehrpläne gegebene Zuschnitt wesentlich von dem diesem Unterricht an sich ohne Rücksicht auf die Verwendung auf physikalische Fragen gesteckten Ziele bestimmt ist. In dieser Hinsicht ist der Wert sehr auffallend, den sowohl die Unterrichtsordnung, namentlich vermöge der im Abiturientenexamen gestellten Forderungen, als die Unterrichtspraxis auf zwei Einzelgebiete legen, d. i. die Lösung schwierigerer planimetrischer Konstruktionsaufgaben und die Auflösung besonderer nur durch allerhand Kunstgriffe zu bewältigender algebraischer Gleichungen.

Es zeigt sich hierin deutlich, auf welcher Seite in den Augen der gerade besonders berufenen Organe und Personen das Schwergewicht und das eigentliche Ziel des mathematischen Unterrichts gesucht wird, er soll eine Erziehung zur Be-

thätigung des Scharfsinns sein. In der That kann man ja der Findigkeit, die auch den verwickelteren Aufgaben solcher Art beizukommen weiss, die Bewunderung nicht versagen, aber diese Bewunderung kann doch nicht die Empfindung zurückdrängen, dass der Erziehungswert des in solchem Geiste gehandhabten mathematischen Unterrichts äusserst gering ist, ich glaube in der That, dass die geringe Bedeutung, welche vielfach noch heute dem mathematischen Unterricht innerhalb des Erziehungswerkes der Schule bei Schulbehörden, Lehrern anderer Fächer und im Publikum beigelegt wird, durch die eben skizzierte Tendenz desselben eine gewisse Rechtfertigung findet. An manchen Schülern geht die Wirkung des Unterrichts überhaupt verloren, bei anderen wird nur eine gewisse Neigung zum Tifteln, zu einer absonderlichen, die abliegenden Wege bevorzugenden Auffassung der überhaupt ihnen entgegretenden Aufgaben, auch auf ganz anderen Gebieten, begünstigt. Daran ändert auch der Umstand nur wenig, dass einerseits immer wieder neue Versuche der systematischen Anleitung zur Lösung planimetrischer Konstruktionsaufgaben auftauchen, andererseits die algebraischen Gleichungen z. T. in einer gewissen Einkleidung vorgelegt werden. Die Systematik der Konstruktionsaufgaben befördert, soweit es sich um die schwierigeren Aufgaben handelt, doch in der Regel nur eine äusserliche, bei Problemen wesentlich neuer Art versagende Routine, die Einkleidung der algebraischen Aufgaben aber, wie sie in der Mehrzahl unserer gangbaren Sammlungen geübt wird, ist grossenteils so rein theoretisch, sich auf praktisch unmögliche Voraussetzungen gründend, teilweise so direkt kindlich, dass der Nutzen der Beschäftigung mit solchen Aufgaben in keiner Weise über die in ihnen liegende Übung des Scharfsinns hinausgeht. Dies gilt namentlich auch von vielen der bei manchen Lehrern sehr beliebten „Bewegungsaufgaben“.

Ihre erziehlische Aufgabe kann die Mathematik innerhalb des Schulpensums bei der grossen Mehrzahl der Schüler nur dann erfüllen, wenn ihr ausdrücklich als Ziel die Ausbildung der Fähigkeit zur Anwendung der mathematischen Methoden auf alle solcher Anwendung zugängliche Aufgaben gestellt wird. In diesem Geiste gehandhabt dürfte allerdings der mathematische Unterricht eines der wichtigsten und fruchtbarsten Mittel sein, die der Schulerziehung zu Gebote stehen, indem er in dem jugendlichen Geiste das exakte Denken, die rasche Auffassung der den Wahrnehmungsobjekten beiwohnenden Massverhältnisse und damit einen Schutz vor dem Operieren mit begrifflosen Worten schafft, wie ihn in gleicher Weise kein anderes Lehrfach bietet. Die Erziehung zu der Gewohnheit, mit Hilfe der mathematischen Operationen von ganz allgemeinen Voraussetzungen aus zu ganz speziellen greifbaren Resultaten zu gelangen, bringt mit sich eine Erziehung zur geistigen Klarheit, wie sie besser nicht gedacht werden kann. Das Material aber zu dieser Verwendung muss der Mathematik von aussen her geliefert werden, d. h. der mathematische Unterricht muss mit dem Unterricht in dem dazu besonders geeigneten Fache, d. i. der Physik, in eine organische Verbindung gesetzt und die Grenzen, innerhalb deren das mathematische Schulpensum sich zu halten hat, müssen auf Grund dieser Verbindung festgesetzt werden.

Will man nun die Gesichtspunkte, die bei solcher Festsetzung als maassgebend zu gelten haben, näher bestimmen, so muss man die Rolle, die die Mathematik gegenüber der Physik spielt, eingehender ins Auge fassen. Mir scheint, dass man dabei von vornherein die Aufgabe der Mathematik als eine doppelte anzusehen hat. Einmal nämlich bietet sie das unentbehrliche Hilfsmittel für die Anwendung der physikalischen Gesetze auf die äusseren Verhältnisse, unter denen sich

ihre Wirksamkeit vollzieht, andererseits ist sie ein wesentliches Moment in der Erfassung dieser Gesetze selbst, denen eine greifbare und zu praktischen experimentell nachweisbaren Folgerungen führende Form erst überhaupt auf diesem Wege gegeben werden kann. Dass die Grenzen dieser beiden Sphären, innerhalb deren die Mathematik ihre Wirksamkeit ausübt, keine scharfbestimmbaren sind¹⁾, hebt, wie ich glaube, die Richtigkeit der durch die nachfolgenden Erörterungen noch näher dargelegten Unterscheidung nicht auf.

Der ganze bisherige Zuschnitt unseres mathematischen Schulunterrichts bringt es mit sich, dass von den beiden eben skizzierten Verwendungen der Mathematik im Dienste der Physik die erstgenannte bei weitem im Vordergrund steht. Die formelle Anwendung der Gesetze unter gewissen äusserlich vorgeschriebenen Bedingungen ist es in der That, worauf in der Mehrzahl aller Fälle die Heranziehung der Mathematik im physikalischen Unterricht hinausläuft. Neben mannigfachen, in das Gebiet der Mechanik gehörenden Beispielen, die man dafür anführen könnte, bieten insbesondere die Gebiete der Katoptik und Dioptik, also der umfangreichste Teil des gesamten optischen Schulpensums, ein auffälliges Beispiel für solche Verwendung.

Dabei ist aber zu bemerken, wie schwer den Schülern eine Auffassung des Sachverhalts wird, sobald dieser einigermaassen aus dem Rahmen des gewöhnlich und in grösserer Ausführlichkeit abgehandelten Lehrstoffes herausgeht. Mir war in dieser Beziehung folgende Erfahrung besonders lehrreich. Bei einem vor einigen Jahren für das hiesige Gymnasium angeschafften Meyerstein'schen Heliostaten beschloss ich die Bestimmung der Aufstellung unter Mitwirkung der Schüler vorzunehmen. Es lag mir daran um so mehr, als die leichte Übersichtlichkeit des Vorganges bei dem genannten Apparat ein Ersatz für die mit dem doppelten Spiegel verbundenen Mängel sein sollte und als gewisse zufällige Umstände die Bestimmung zu einem ganz besonders leicht zu kontrollierenden Ergebnis gelangen liessen. Das Azimut der horizontalen Richtung, in welche der Lichtstrahl schliesslich geleitet werden sollte, beträgt 18° , die geographische Breite von Nordhausen $51,5^\circ$, daraus folgt schliesslich für die Neigung des zweiten Spiegels gegen den Horizont ein Wert von fast genau 30° , also ein sehr leicht zu bestätigendes Resultat. Obwohl nun die ganze Aufgabe wegen ihres nicht nur überhaupt einleuchtenden praktischen Wertes, sondern auch wegen des ganz individuellen Interesses, das sie gerade für uns besass, von vornherein den Schülern offenbar Teilnahme einflösste, war es doch auffallend, wie ungeschickt sie sich fast sämtlich benahmen. Dabei war die Aufgabe unglaublich einfach, nur wenige ganz elementare Sätze der Dreieckslehre und einige wohlbekanntes trigonometrische Formeln kamen zur Anwendung.

Ich habe, wie schon angedeutet, aus dieser — durch andere ähnliche Fälle noch bestätigten — Erfahrung eine Lehre geschöpft, nämlich die, wie falsch es ist, einen so grossen Teil der dem mathematischen Unterricht dienenden Zeit auf raffinierte Konstruktionen und spitzfindige algebraische Umformungen zu verwenden, die nachher nirgends gebraucht werden und, wie ich wenigstens beobachtet zu haben glaube, auch indirekt nichts nützen. Von allen Finessen aus der Dreieckslehre und Kreislehre, die vielfach einen so breiten Raum einnehmen, kommt bei solcher Aufgabe keine einzige zur Verwendung; was bei ihr das wichtigste ist, die klare Auffassung einer räumlichen Configuration, die Leichtigkeit, aus dem räumlichen

¹⁾ Bei der Anwendung der Ohm-Kirchhoff'schen Gesetze z. B. kommen beide Seiten der Verwendung der Mathematik fortwährend zur Geltung.

Gebilde gewisse ebene Partien herauszuheben und in ihrer Eigentümlichkeit aufzufassen — alles dies wird durch die gesteigerte Ausbildung im planimetrischen Construieren und algebraischen Umformen in keiner nennenswerten Weise gefördert. Vielmehr habe ich aus den durch das vorstehende Beispiel gekennzeichneten Erfahrungen den Anlass genommen, den konstruktiven Teil der Stereometrie in noch stärkerem Grade, als vordem, zu pflegen, wogegen ich auf manche Zweige der Planimetrie und Arithmetik, die wegen des Abiturientenexamens nun einmal nicht ganz bei Seite geschoben werden dürfen, ganz gern verzichten würde. In dem stereometrischen Unterricht aber lassen die vorstehend erwähnten Zwecke sich am besten erreichen durch eingehende Behandlung gewisser Aufgaben, die im wesentlichen in das Gebiet der darstellenden Geometrie gehören, ohne dass die Systematik dieser Disziplin dabei zur Verwendung zu kommen brauchte.

Eine solche Gestaltung des mathematischen Unterrichts käme dem physikalischen Unterricht natürlich um so mehr zu gute, je grösser der Umfang ist, in welchem die behandelten Aufgaben dem Bereich der Physik, oder verwandter Fächer wie der Krystallographie, der astronomischen Geographie entnommen werden. Wenn sie ausserdem ein so spezielles und individuelles Gepräge tragen, wie in dem oben angeführten Beispiel, so ist dies natürlich noch von besonderem Vorteil, schon in rein pädagogischer Hinsicht. Stoff dazu findet ein Lehrer, der sich dafür lebendig interessiert, ohne grosse Mühe.

Eine notwendige Ergänzung solcher Unterrichtsgestaltung ist aber auch eine entsprechende Lehrmethode, bei der ich auf ein Abgehen von dem bei manchen Lehrern beliebten übertriebenen, ja bis ins Burleske gehenden Beweisschematismus besonderen Wert lege. Ich kann mich immer eines unbehaglichen Gefühls nicht erwehren, wenn ich selbst bei Primanern noch der Gewohnheit begegne, im Beweise feierlich und umständlich zu sagen: „Nach dem Satze: zwei Grössen, die einer dritten gleich sind, sind sich selbst gleich“ u. ä. Als ob durch solchen Formalismus die Beweiskraft jenes selbstverständlichen Grundes irgendwie verstärkt oder nicht vielmehr geradezu verdunkelt würde. Es kann gar nicht genug davor gewarnt werden, in der Beweisführung jede Einzelheit mit speziellen Satzanführungen begründen zu wollen, die Folge dieses ohnehin niemals in voller Consequenz durchführbaren Verfahrens ist ein Verlust des Blickes für das Wesentliche und Grosse, ein Versinken in das Nebensächliche und Kleinliche, wie es in der That bei manchen Schülern als die Frucht eines ungeschickten Unterrichts zu beobachten ist, zum Schaden des Kredits, den die Mathematik als Lehrfach bei den ihr ferner Stehenden geniesst.

Hier kann gerade die Verbindung der Mathematik mit der Physik, die Bevorzugung der Anwendungen im mathematischen Unterricht auf diesen selbst überaus erspriesslich zurückwirken. Dadurch wird ein Schutz geschaffen vor der rein formellen Beweismethode und der Blick für die wesentlichen und eigentlich beweiskräftigen Punkte in der Argumentation geschärft, zum Vorteil auch für die reine Mathematik, insbesondere die Geometrie, in der die eigentlich durchschlagenden Momente, wie die Symmetriebeziehungen, die Bedeutung der geometrischen Örter durch den Beweisschematismus vielfach geradezu verschleiert werden. Im übrigen soll natürlich nicht bestritten werden, dass bei einer solchen planmässig erfolgenden Übung des Beweisens in grossen Zügen fortwährend jedem Schüler die Forderung gegenwärtig gehalten werden muss, von den Gründen seiner Schlussfolgerung bis ins einzelne Rechenschaft zu geben.

Die bisherigen Erörterungen beziehen sich im wesentlichen auf die Förderung der Fähigkeit, die physikalischen Gesetze auf besondere vorgelegte Verhältnisse anzuwenden. Indessen gilt mir dies keineswegs als die Hauptsache. Die grössere Bedeutung finde ich auf der anderen Seite, die oben der Verwendung der Mathematik für die Physik zugeschrieben worden ist, nämlich in der Rolle, die die erstere bei der Erfassung der Gesetze der letzteren selber spielt. Wenn die Mathematik natürlich auch die in diesen Gesetzen verwendeten Begriffe nicht erst schafft, so giebt sie ihnen doch die für die Ausnutzung brauchbare Gestalt, vor allem dadurch, dass sie daran die der Messung fähigen Momente herausheben und auf gewisse Einheiten zurückführen lehrt, wodurch erst die Möglichkeit geschaffen wird, den zwischen den einzelnen Naturerscheinungen bestehenden Zusammenhang zum greifbaren und verfolgbaren Ausdruck zu bringen.

Gerade diese Seite des mathematisch-physikalischen Unterrichts, d. h. die Ausbildung der mechanischen Auffassung von den physikalischen Vorgängen ist in unseren Tagen ein Gegenstand von immer steigender Wichtigkeit geworden, seitdem durch die Festsetzungen des Pariser Congresses das ganze ungeheure Gebiet der elektrischen und magnetischen Erscheinungen in diese Sphäre hineingezogen und mit den übrigen Teilen der Physik in eine formelmässige Verbindung gesetzt worden ist.

Wenn auch die Grenzen, innerhalb deren die Schule diese Seite des Unterrichts pflegen kann, naturgemäss nur sehr eng sind, so kann sie sich der Aufgabe, den Schülern wenigstens die Grundlagen der eben geschilderten Naturauffassung zu vermitteln, doch unmöglich entziehen. Sie darf dies um so weniger, als neben dem praktischen Interesse, das an dieser Seite des Unterrichts haftet, auch ein unverkennbarer pädagogischer Gewinn davon zu erwarten ist. Die schon im Anfang dieser Erörterungen erwähnte Fähigkeit, von ganz allgemeinen Voraussetzungen aus mit Hilfe der mathematischen Formel zu ganz speziell verfolgbaren Resultaten zu gelangen, und die in dieser Fähigkeit sich äussernde Klarheit des Geistes sind Eigenschaften, die für jedermann von Wert sind und gerade von der in Rede stehenden Seite des mathematisch-physikalischen Unterrichts ihre stärkste Förderung erwarten können.

Sie sind auch einer solchen Förderung recht bedürftig, denn die in der mechanischen Naturauffassung verwendeten Begriffe sind keineswegs so einfach und auf der Hand liegend, dass sie auf die blosser Definition hin sofort klar begriffen würden. Durchaus nicht jeder, der von physikalischen Einheiten redet, hat davon einen klaren und richtigen Begriff, ich habe gerade bei diesen Dingen die Wahrheit des alten Spruches: „docendo discimus“ an mir selber erfahren und häufig den Inhalt eines meiner Meinung nach mir selbst vertrauten und geläufigen Begriffes erst völlig erfasst, als ich mich vor die Notwendigkeit gestellt sah, ihn anderen Personen zu erklären.

Zur straffen und scharfen Erfassung der Grundbegriffe, auf welche die physikalischen Vorgänge zurückzuführen sind, muss die grosse Mehrzahl der Menschen ganz planmässig erst erzogen werden und diese Erziehung ist eben eine Hauptaufgabe des exaktwissenschaftlichen Unterrichts. Zum Teil können ihr auch die rein mathematischen Lehrstunden dienstbar gemacht werden, die elementare Lehre von der Flächenberechnung wie die Einführung in die Grundbegriffe der Trigonometrie bieten ein schönes und leider wenigstens von den gangbaren Lehrbüchern nur allzuwenig benutztes Mittel, den Begriff der Einheit dem Schüler so

recht geläufig zu machen, während mannigfache Einkleidungen der algebraischen Aufgaben eine — m. W. auch nach dieser Richtung hin lange nicht ganz würdige — Unterstützung für die Befestigung dieses Begriffes liefern. Andererseits kann die Anwendung der Algebra auf die Geometrie, die ich überhaupt für einen der nützlichsten Teile des mathematischen Unterrichts halte, in sehr erspriesslicher Weise dazu benutzt werden, den Schülern den Begriff der Dimensionen in den Formeln klar und geläufig zu machen.

Immerhin aber ist die Wirkung, die von dem rein mathematischen Unterricht in der fraglichen Richtung zu erwarten ist, nur unvollständig, weil er eine Reihe von Begriffen überhaupt gar nicht aus sich selber ziehen kann. Die fundamentalen Begriffe der Wärmelehre, die gesamten Begriffe der Mechanik, in denen die Zeit mitspielt, wie Geschwindigkeit und Beschleunigung, die Begriffe der Arbeitsleistung, des Potentials u. s. w., alle diese Begriffe können, wenn einmal erkannt und zur Klarheit gebracht, im mathematischen Unterricht wohl verwandt werden, aber die Vermittlung des Eindringens in das Wesen dieser Begriffe selbst ist die Sache des spezifisch physikalischen Unterrichts.

Und darum erhebe ich auch an dieser Stelle die Forderung, dass auf der höchsten Klassenstufe der höheren Lehranstalt der mathematische Unterricht in den physikalischen aufgehen muss.

Eine dieser Forderung entsprechende und demgemäss den physikalischen Unterricht auf Kosten verschiedener minderwichtiger mathematischer Parteen mit einer wesentlich grösseren Stundenzahl bedenkende Gestaltung des Lehrplans würde auch in der That ein Hilfsmittel dagegen bieten, dass, wie es gegenwärtig wohl nicht allzu selten geschieht, im physikalischen Unterricht das Pferd am Schwanz aufgezümt und Begriffe, die den Schluss des richtig erteilten Unterrichts bilden müssten, zum Ausgangspunkt gemacht werden. Ganz besonders gilt dies von den mit dem Prinzip der Erhaltung der Energie zusammenhängenden Begriffen; wenn irgendwo, so muss hierbei ein der geschichtlichen Entwicklung Rechnung tragender Gang des physikalischen Unterrichts innegehalten werden. Es ist ein Uding, eine Auffassung, die der schliessliche Niederschlag einer säkularen Entwicklung unseres physikalischen Denkens ist, in den Gemüthern der Schüler als etwas ganz Selbstverständliches vorauszusetzen. Doppelt thöricht ist dies, wenn es sich dabei nicht bloss um die allgemeine Auffassung, sondern bereits um eine gewisse mathematische Gestalt dieser Auffassung handelt. Ich bemerke dabei, dass ich keineswegs zu denen gehöre, die das Prinzip der Erhaltung der Energie für philosophisch so unanfechtbar halten, wie dies meist geschieht, aber ich schreibe diesem Prinzip immerhin eine gewisse Evidenz für den praktischen Verstand zu. Jedenfalls erlangt es diese Evidenz aber erst durch Berufung auf eine grosse Zahl von Einzelerfahrungen und auch dann immer zunächst nur in seiner allgemeinen Gestalt, die Verdichtung zur mathematischen Formel ist noch eine ganz besondere Aufgabe.

Dies wird von Lehrern und Bücherverfassern nur allzu leicht übersehen. Wenn z. B. in einer ausdrücklich an ein grösseres Publikum sich wendenden Schrift über das elektrische Potential gleich zu Anfang von der Arbeit gesprochen wird, die erforderlich ist, „um die Einheit der Elektrizität aus der Unendlichkeit heranzuholen“, oder ebenfalls gleich zu Anfang diese Einheit als „die Menge“ definiert wird, „welche auf eine gleich grosse Menge in der Einheit der Entfernung die Einheit der Kraft ausübt“, so fragt man sich unwillkürlich, welche Leser der Verfasser wohl voraussetzt. Die Worte klingen so harmlos und so einfach, aber um sie als mehr als

Worte zu erfassen, ist eine Schulung des Geistes nötig, die erst und von manchen mit Anstrengung erworben werden muss, die Schulung, um die es sich im mathematisch-physikalischen Unterricht eben vorzugsweise handelt.

Ein Aufgehen des mathematischen in den physikalischen Unterricht auf der obersten Stufe würde nun m. E. auch durchaus kein Nachteil für diejenigen jungen Leute sein, die zu der speziellen Beschäftigung mit der reinen Mathematik den inneren Beruf fühlen. Überhaupt entspricht dieser Vorschlag keineswegs einer Nichtachtung der Mathematik, vielmehr einer ausserordentlich hohen Auffassung von ihrer Bedeutung. Ja, ich stehe gar nicht an, meine Meinung dahin zu äussern, dass eine wirkliche Erkenntnis des Wesens der physikalischen Vorgänge nur eine mathematische sein kann, sie fällt in das Gebiet der Funktionslehre, insofern ja die Funktion überhaupt der Ausdruck eines jeden Zusammenhangs ist. Ein Geist, der das Wesen dieses Begriffes über den jetzt ihn umkleidenden Formalismus hinaus so erfasste, dass er seine mathematischen Bedingungen mit der Natur unseres ganzen Denkens in erkennbaren logisch notwendigen Zusammenhang brächte, würde m. E. auch für die Erkennung der physikalischen Vorgänge mehr leisten, als alle Physiker vor ihm.

Indessen ist das eine Auffassung von der Bedeutung der Mathematik, die mit der praktisch das Gebiet der mathematischen Untersuchungen zur Zeit beherrschenden Richtung nur teilweise Berührung hat. Die derselben eigene Bevorzugung des formalistischen Elements wirkt, insofern sie die Fachbildung der künftigen Gymnasiallehrer beeinflusst, zurück auf den Zuschnitt des mathematischen Unterrichts an unseren höheren Schulen, der dann umgekehrt wieder bei den in die akademische Laufbahn übertretenden Mathematikern die Neigung zu rein theoretischer Spekulation begünstigt.

Der Umstand, dass ein geschickter Lehrer durch seine Persönlichkeit oder seine Lehrmethode die Schüler für den Stoff des rein mathematischen Unterrichts zu interessieren versteht, darf dabei nicht über die Thatsache hinwegtäuschen, dass das natürliche Interesse für diesen Stoff an sich nicht allzu verbreitet ist. Wohl aber kommt ein solches Interesse im allgemeinen dem Stoff des naturwissenschaftlichen Unterrichts entgegen und wirkt indirekt auf die Erzeugung eines gewissen Interesses für die Mathematik zurück, als eines für die eingehende Erkenntnis der Naturvorgänge unentbehrlichen Hilfsmittels. Ich erinnere mich aus meiner eigenen Lehrerfahrung einer gewissen Zahl von Schülern, die den oben erwähnten spezifisch mathematischen Scharfsinnsübungen ziemlich gleichgültig gegenüberstanden, dabei aber in der Behandlung der physikalischen Aufgaben eine bemerkenswerte Leichtigkeit gerade auch der mathematischen Auffassung zeigten.

Und weil die Dinge so liegen, so empfiehlt es sich den Schwerpunkt des mathematischen Unterrichts mit jeder höheren Stufe mehr und mehr in die Anwendungen zu legen, wodurch auch den innerlich für die Beschäftigung mit der reinen Mathematik angelegten Naturen kein Schade, sondern gradezu Vorteil erwächst. Mir ist es immer sehr bedeutungsvoll erschienen, dass gerade die grössten Theoretiker unter den französischen Vertretern der exakten Wissenschaft an der Grenze des vorigen und des jetzigen Jahrhunderts aus den auf der „Polytechnischen Schule“ gebildeten Praktikern hervorgegangen sind.

Einem dieser Sachlage entsprechenden Zuschnitt des exaktwissenschaftlichen Unterrichts möchte ich auch bei uns das Wort reden, einer Gestaltung, die der grossen Menge ein allgemeines Verständnis der Naturvorgänge, den spezieller

für diese Seite des Wissens Beanlagten die Fähigkeit tieferen Eindringens in das Wesen dieser Vorgänge mit Hilfe der Mathematik vermittelt, während sie den Begabtesten den Weg zu der reinen Mathematik nicht verschliesst; wohl aber sie durch das Bedürfnis der Erhaltung einer gewissen Föhlung mit der Anwendung ihrer Wissenschaft vor einer in leeren Formalismus ausartenden der darauf verwandten Mühe nicht immer werten Spekulation bewahrt, d. h. eine solche Wechselwirkung zwischen der Mathematik und der Physik, wie sie in den unsterblichen Leistungen gerade der grössten unter den Heroen der exakten Wissenschaft ihre schönsten Triumphe gefeiert hat.

Einführung in die Chemie und experimentelle Behandlung der Atomenlehre.

Von

Dr. Friedrich C. G. Müller in Brandenburg a./H.

§ 1. Einführung in die Chemie.

Die nachfolgenden Entwicklungen haben zunächst den chemischen Unterricht am Realgymnasium im Auge, dürften aber mit einigen Abweichungen oder Ergänzungen auch für andere Schulgattungen verwendbar sein. Dem Anfangsunterricht in der Chemie erwächst am Realgymnasium daraus, dass in den Oberklassen neben der Hauptversetzung zu Ostern auch eine solche zu Michaelis gestattet ist, eine erhebliche Schwierigkeit. Dieser Umstand macht es unabweislich, den einleitenden chemischen Unterricht der Obersekunda in zwei getrennte Halbjahrs-kurse zu zerspalten. Das längere und gewichtigere Winterhalbjahr wird man naturgemäss für die Einführung in die wissenschaftliche Chemie verwenden. Was man aber im Sommer beginnen soll, ist nicht so leicht zu entscheiden, es wird dabei die besondere Veranlagung des Lehrers, sowie die chemische Industrie der betreffenden Gegend Berücksichtigung verdienen. Ich für meine Person habe mich für einen Abriss der Metallkunde entschieden. Es werden zunächst die Eigenschaften der Metalle, welche ihre Brauchbarkeit im Dienst der Menschheit bedingen, im allgemeinen zur Darstellung gebracht, darauf das Vorkommen, die Gewinnung und Verwendung der einzelnen. Hierbei findet sich Gelegenheit, die Schüler einerseits mit den wichtigsten mineralogischen Begriffen, andererseits mit den hauptsächlichsten Brennstoffen, Ofenkonstruktionen und metallurgischen Arbeiten bekannt zu machen. Auf das Wesen der chemischen Vorgänge wird aber nicht näher eingegangen. Eine derartige leicht fassliche Metallkunde entspricht nicht allein den Erfordernissen der allgemeinen Bildung im gegenwärtigen Zeitalter, sondern sie arbeitet auch dem Winterkursus der Obersekunda, sowie dem systematischen Unterricht der Prima aufs beste vor¹).

Dem Winterhalbjahr verbleibt nunmehr die Aufgabe, die wichtigsten chemischen Thatsachen, Gesetze und Theorien schnell und zweckmässig zu entwickeln. Nach dem Vorgange von ARENDT gehe ich von dem Verhalten der unedlen Metalle an der Luft aus und ziehe dabei sofort auch das Magnesium und Aluminium mit

¹) Ich unterlasse nicht, an dieser Stelle auf ein von zuständigster Seite herrührendes populäres Buch aufmerksam zu machen, welches jedem Lehrer bei der Einführung in die Metallkunde von grossem Nutzen sein wird: Ledebur, die Metalle. Stuttgart bei Otto Weisert.

in den Kreis der Betrachtung. Es wird gezeigt, wie die unedlen Metalle beim Glühen und Verbrennen einen Bestandteil der Luft aufnehmen, dessen Menge man mittels glühenden Kupfers genau ermittelt²⁾. Hierauf schreitet man zur Darstellung und Vorführung des reinen Sauerstoffs, wobei die Zerlegung des Quecksilberoxydes, als die für das Verständnis des Zusammenhangs wichtigste Bildungsweise, an erster Stelle zur Ausführung gelangt. Nunmehr dreht sich der weitere Unterricht um die Bestätigung der Thatsache, dass auch die Verbrennung unserer gewöhnlichen Feuer gebenden Stoffe im Wesen nichts anderes ist, als die der unedlen Metalle. Zuerst wird der Wasserstoff dargestellt und durch geeignete Versuche bewiesen, dass er sich beim Verbrennen mit Sauerstoff zu Wasser vereinigt. Auch die Vereinigung beider Elemente unter Mitwirkung des porösen Platins bleibt nicht unberücksichtigt. Ferner macht man mittels des Eudiometers sichtbar, wie sich Wasserstoff und Sauerstoff genau im Volumenverhältnis 2:1 verbinden. Endlich berührt man schon hier die reducierende Wirkung des Wasserstoffs und zeigt dieselbe in grösserem Maasstabe am Kupferoxyd unter gleichzeitiger Feststellung der Gewichtsverhältnisse. Ich benutze zu diesem wichtigen Versuche eine weite böhmische Röhre und einen mit abgesiebt, körnigen Kupferoxyd gefüllten Hohlcylinder von Kupferdrahtnetz, welcher dieselbe fast ausfüllt. Zum Auffangen des gebildeten Wassers dienen zwei mit einander verbundene U-förmige Röhren, deren erste leer ist und in kaltes Wasser taucht, deren zweite Chlorecalcium enthält. Der ausgeglühte Cylinder, sowie die Röhren werden vor und nach dem Versuche gewogen, und da man leicht 10 g Wasser auf diese Weise darstellen kann, erhält man schon mit einer gewöhnlichen Wage sehr genau das Gewichtsverhältnis 1:8 für die Zusammensetzung des Wassers.

An zweiter Stelle folgt der Kohlenstoff und sein Verbrennungsprodukt, die Kohlensäure. Beide werden nach Vorkommen, Bildung, Eigenschaften und nach ihrer Bedeutung im Haushalt der Natur ziemlich eingehend behandelt und bei der Gelegenheit auch Abschnitte der Physiologie und Geologie berührt. An quantitativen Versuchen wird einerseits die Thatsache gezeigt, dass beim Verbrennen von Kohle in Sauerstoff das gebildete Kohlensäuregas genau dasselbe Volum hat, wie der verbrauchte Sauerstoff, andererseits wird zunächst mittels der Wage das spezifische Gewicht der Kohlensäure bestimmt, dann im Anschluss daran mittels der von mir veröffentlichten neuen manometrischen Methode (*diese Zeitschrift II 274*) das des Wasserstoffs und Sauerstoffs. Die spezifischen Gewichte von Sauerstoff und Kohlensäure verhalten sich wie 8 zu 11, mithin folgt aus beiden Thatsachen, dass die Gewichte von Kohlenstoff und Sauerstoff in der Kohlensäure sich wie 3 zu 8 verhalten. — Auch das Verhältnis von Kohlensäure zum Kalk wird ziffermässig festgestellt, indem man 100 g Carrara Marmor in einem Tiegel mit gut verstrichenem Deckel eine Stunde lang im Windofen zum Hellrotglühen erhitzt. In der nächsten Stunde wird der Tiegel geöffnet und man findet genau 56 g Ätzkalk, den man in einer gut geschlossenen Flasche für spätere Versuche aufbewahrt. Zum Beschluss wird noch die reducierende Wirkung des Kohlenstoffs mittels eines richtigen Gemisches von frisch ausgeglühter Holzkohle und Kupfer- oder Bleioxyd zur Anschauung gebracht.

Nach der Kohle wird der Schwefel behandelt. Von seinen chemischen Ver-

²⁾ In dieser Zeitschrift (*Jahrg. 1 Seite 29*) ist von mir ein zu dem Zweck dienender Apparat beschrieben.

bindungen werden einige Metallsulfide³⁾ dargestellt, dann sein Verbrennungsprodukt, die schweflige Säure. Auch hier beobachtet man, dass das schweflige Gas dasselbe Volum hat wie der Verbrennungssauerstoff. Da aber das spezifische Gewicht des ersteren doppelt so gross ist, wie beim letzteren, folgt, dass sich Schwefel und Sauerstoff im Gewichtsverhältnis 1:1 zu schwefliger Säure verbinden.

Wegen ihrer grossen Wichtigkeit muss auch der Schwefelsäure schon an dieser Stelle gedacht werden. Man zeigt mittels des von mir in dieser Zeitschrift beschriebenen Apparats (*III 35*), wie sich unter Mitwirkung der bereits bei der Wasserbildung erkannten eigentümlichen Kraft des porösen Platins, die schweflige Säure mit der Hälfte des zu ihrer Bildung nötigen Sauerstoffs zu einem festen, rauchenden Körper vereinigt, welcher begierig Wasser aufnimmt und damit ein Öl bildet, welches in allen Eigenschaften mit der käuflichen, auf ganz anderem Wege gewonnenen, Schwefelsäure übereinstimmt.

Von den Metalloiden verbleibt nun noch der Phosphor mit seinem leicht zu gewinnenden Verbrennungsprodukt, sowie das Silicium. Bei letzterem hat man sich vorläufig auf die Angabe zu beschränken, dass es im oxydierten Zustande die verschiedenen in der Natur vorkommenden Arten der Kieselsäure bildet.

Hieran schliessen sich die wasserzersetzenden Metalle, insonderheit Kalium und Natrium. Um deren in Wasser leicht zu einer starken Lauge lösliches Verbrennungsprodukt zu erhalten, erhitzt man in einem geräumigen Porzellantiegel das Metall, beim wohlfeilen Natrium mehrere Gramme, gelinde, bis es an einem Punkte zu glimmen beginnt, und entfernt die Flamme. Es verbrennt dann vollständig unter Bildung blumenkohlartiger Massen. Trotzdem ein Teil des Oxyds in Rauchform entweicht, findet man den Tiegel nach der Oxydation bedeutend schwerer. Bekanntlich ist dieses Verbrennungsprodukt kein K_2O , sondern nahezu K_4O_3 .

Es möge bei dieser Gelegenheit noch eine Bemerkung über die Handhabung des Natriummetalles Platz finden. Bekanntlich entstehen leicht gefährliche Explosionen, wenn man grössere Natriumstücke auf Wasser bringt. Ich habe mich nun davon überzeugt, dass diese unangenehme Eigenschaft nur dem längere Zeit unter Petroleum aufbewahrten, nicht dem rein metallischen Natrium anhaftet. Deshalb muss man das zu Versuchen dienende Metall in einem Porzellantiegel umschmelzen. Man erhitzt es dabei soweit, dass die Oxydecke zerreisst und das blanke Metall ein lebhaftes „Spiel“ zeigt, nimmt mittels eines Spatels die Hauptmenge des Oxyds fort und giesst das Metall dann sofort in eine Schale mit Petroleum. Die so erhaltene silberweisse Kugel wird abgetrocknet und auf einem Ambos schnell zu einem Prisma ausgehämert, welches man in einem passenden mit Kautschukstopfen gut zuschliessenden Rohr aufbewahrt. Dieses Natrium verschwindet auf Wasser bis auf den letzten Rest ohne Explosion und Spritzen.

Nach den wasserzersetzenden Metallen bildet das Chlor und seine Stammverwandten den Beschluss bei der Vorführung der Grundstoffe. Hier sind ausser

³⁾ Der schöne Versuch, bei dem ein Streifen Kupferblech sich im Schwefeldampf unter Erglühen in Sulfid verwandelt, lässt sich zwar gut quantitativ vorführen, indessen ist es für den Anfangsunterricht nicht ratsam, auf das Mengenverhältnis einzugehen, weil das entstehende Cu_2S ausnahmsweise nicht mit dem CuO correspondiert. — Als Merkwürdigkeit will ich anführen, dass im Leitfaden von Wilbrand unter Beibringung von Belegzahlen die Formel CuS abgeleitet wird. Überhaupt wird man finden, dass der genannte Methodiker sowohl in seinem Buche, als in der im vorigen Jahrgang dieser Zeitschrift (*Seite 209*) veröffentlichten Abhandlung mehrfach aus Experimenten induciert, die auf dem Papier besser als in der Wirklichkeit gelingen.

den bekannten einfachen Versuchen, welche die grosse Affinität des Chlors zu fast allen Grundstoffen und seine technologisch wichtige Bleichkraft veranschaulichen, namentlich die Synthese des Kochsalzes und des Chlorwasserstoffs in grösserem Maassstabe und, wenn es sein kann, unter Feststellung der Gewichts- und Volumverhältnisse auszuführen.

§ 2. Grundzüge der Atomenlehre.

Nunmehr sind nach dem skizzierten Lehrgange in der Zeit von Michaelis bis Anfang Februar die wichtigsten chemischen Elemente und binären Verbindungen behandelt; neben einer Anzahl anderweitiger chemischer Vorgänge wurde namentlich der Verbrennungsprocess und was damit zusammenhängt auf dem Wege richtiger Induktion erkannt. Darnach sind die Schüler hinreichend vorbereitet für die Einführung in die Atomenlehre. Und zwar ist es am kürzesten und zweckmässigsten, jetzt in der Vorführung von Experimenten eine Pause eintreten zu lassen, und lediglich auf Grund der im bisherigen Unterrichte bekannt gewordenen Thatsachen und Naturgesetze die Atomenlehre aufzubauen. Hinterher tritt dann das Experiment wieder ein, um die Theorie zu bestätigen und zu erweitern.

Schon im physikalischen Unterricht der früheren Klasse wurde entwickelt, dass man zur Erklärung der Volumveränderungen gezwungen ist, anzunehmen, dass alle Körper aus Molekülen bestehen, welche durch verhältnismässig grosse, nicht mit wägbarer Materie erfüllte, Zwischenräume von einander getrennt sind. Nun lehrt die Chemie, dass die Körperwelt eine ungeheure Zahl bestimmter Substanzen in sich fasst, wie z. B. Sauerstoff, Blei, Wasser, Kalkspath. Da diese Substanzen, ihre Reinheit vorausgesetzt, unabänderlich genau die nämlichen Eigenschaften haben, muss man auch annehmen, dass die Moleküle einer jeden unter sich durchaus gleich, aber von denen der anderen verschieden sind. Nun giebt es einfache und chemisch zusammengesetzte Substanzen. Und so folgt, dass die Moleküle der zusammengesetzten Stoffe Gruppen noch kleinerer Massenteilchen sind, welche den in der Verbindung steckenden Elementen zugehören. Diese allerkleinsten materiellen Teilchen, von denen es so viele verschiedene Arten als Elemente giebt, werden Atome genannt. Übrigens nimmt man auch von den chemisch einfachen Substanzen aus bestimmten Gründen (Allotropie) an, dass sie nicht aus Einzelatomen, sondern aus Gruppen ihrer Atome, d. h. aus Molekülen, zusammengesetzt sind. Demnach besteht der chemische Prozess in der Bildung neuer Moleküle aus alten, dadurch dass sich die Atome der letzteren trennen und in anderer Weise zusammenfügen. Die chemische Zeichensprache vermag diese Vorgänge mit mathematischer Kürze und Prägnanz auszudrücken.

Das einfachste Molekül einer binären Verbindung würde von jedem Elemente ein Atom enthalten, es steht aber von vorn herein nichts im Wege, dass von einem oder beiden mehrere Atome eintreten und sich in bestimmter Weise zusammenfügen. In der That bilden sehr viele Elemente miteinander mehr als eine Verbindung. Aber es ist hier die erfreuliche Thatsache hervorzuheben, dass von der grossen Zahl der denkbaren binären Verbindungen nur eine verhältnismässig sehr geringe Zahl in der Natur vorkommt. Erstens vereinigen sich nicht jede beliebigen zwei Elemente, sondern es handelt sich in der anorganischen Chemie wesentlich nur um die Combinationen des Sauerstoffs, Schwefels und Chlors mit den übrigen Elementen. Zweitens bilden diese drei verbindungsfähigen Grundstoffe in der Regel nur eine einzige oder doch nur eine besonders leicht entstehende häufige Verbindung.

Wenn nun die chemische Vereinigung zweier Elemente darin besteht, dass sich ihre Atome zu einer bestimmten Gruppe zusammenlagern, so müssen bei der Gleichheit der Atome derselben Art nicht nur die Gewichte der Moleküle gleich sein, sondern auch die in einer bestimmten Verbindung enthaltenen Stoffmengen in einem unabänderlichen Gewichtsverhältnis stehen. So ergibt sich das die ganze Chemie beherrschende Erfahrungsgesetz der constanten Gewichtsverhältnisse als unmittelbare Folge der Atomenlehre. Wir haben bereits eine Reihe von Thatsachen kennen gelernt, welche zeigen, dass die Entstehung chemischer Verbindungen an ganz bestimmte Mengenverhältnisse gebunden sind. So beim Wasser, der Kohlensäure, der schwefligen Säure, dem Marmor, dem Chlorwasserstoff. Dasselbe Gesetz hat die Chemie bei allen chemischen Verbindungen bestätigt gefunden.

Die so erhaltenen Zahlenwerte für die Gewichtsverhältnisse sind als solche unabhängig von jeder Theorie. Indessen bleibt es der wissenschaftlichen Überlegung überlassen, die Glieder der Verhältnisse in ein möglichst einfaches und zweckmässiges System zu bringen. Die älteren Chemiker gingen von der Annahme aus, dass die besonders häufigen Oxyde, Chloride, Sulfide die denkbar einfachste Zusammensetzung hätten, also zweiatomig wären. Dementsprechend schrieben sie zunächst die Formel des Wassers HO und legten Wasserstoff und Sauerstoff dementsprechend die Atomgewichtszahlen 1 und 8 bei. Die Metalloxyde schrieb man ebenfalls zweiatomig, z. B. KO , CaO , CuO und musste also als Atomgewicht der Metalle das Gewicht bezeichnen, welches sich mit 8 Teilen Sauerstoff vereinigt. Chlorwasserstoff hatte die Formel HCl und das Chlor das Atomgewicht 35,5; dann mussten die Metallechloride Formeln erhalten, welche denen der Oxyde genau entsprachen, d. h. nur an Stelle des Zeichens O das Zeichen Cl enthielten. Die den Oxyden und Chloriden entsprechenden Sulfide schrieb man ebenfalls zweiatomig, woraus für S das Atomgewicht 16 folgte. Dann mussten aber schweflige Säure und wasserfreie Schwefelsäure die Formeln SO_2 und SO_3 erhalten.

Die neuere Chemie hat bei der Aufstellung der Formeln nicht allein den Grundsatz der Einfachheit walten lassen, sondern die Thatsache berücksichtigt, dass sich die gasförmigen Elemente unter den denkbar einfachsten Volumverhältnissen verbinden und daraus, wie aus dem sonstigen Verhalten der Gase, geschlossen, dass bei Gleichheit von Druck und Temperatur alle Gase und Dämpfe in einem gleichen Volum gleich viel Moleküle enthalten. Demnach muss die chemische Formel auch das Volumverhältnis zum Ausdruck bringen, darum schreiben wir heute die Wasserformel H_2O , und das Atomgewicht des O wird 16. Da der Schwefeldampf doppelt so schwer als Sauerstoff, erhält er das Atomgewicht 32. Diese beiden Zahlen sind gegen früher verdoppelt. Dagegen bleibt für Chlorwasserstoff wie früher HCl , und Cl behält die Zahl 35,5. So sind mit möglichster Berücksichtigung aller Thatsachen der Chemie und Physik die chemischen Formeln der binären Verbindungen und die Atomgewichtszahlen der Elemente aufgestellt. Es ist eine unerlässliche Aufgabe, die wichtigsten Formeln auswendig zu lernen. Die Zahl derselben ist keineswegs gross. Der Anfänger hat nur die Oxydformeln der 25 häufigen Elemente sich einzuprägen, die Formeln der Sulfide und Chloride weiss er dann ebenfalls.

Nach dieser Entwicklung der Atomenlehre und Übersicht der wichtigsten binären Verbindungen, verbleiben nunmehr die Körper, welche drei und mehr Grundstoffe enthalten. Hier weist die anorganische Chemie von der ungeheuren Anzahl der denkbaren Verbindungen nur eine ganz beschränkte Zahl nach einem

einfachen Gesetze zusammengesetzter Körper auf. Nur das Element Kohlenstoff ist vereint mit dem Wasserstoff befähigt Combinationen höherer Klassen zu bilden, welche die sogenannten organischen Körper ausmachen. Von den ternären anorganischen Stoffen kommen zunächst diejenigen in betracht, welche durch chemische Vereinigung der Oxyde mit einem, selten mehreren, Molekülen Wasser entstehen. Wir haben bereits einige sehr auffallende Beispiele kennen gelernt, wo sich Oxyde heftig mit Wasser vereinten, so beim Natrium- und Calciumoxyd, wie bei der wasserfreien Schwefelsäure und Phosphorsäure. Von allen diesen Wasserverbindungen, Hydraten, sind die von dem Chemiker als Säuren bezeichneten Körper besonders bemerkenswert, welche durch Vereinigung des Wassers mit den meisten Metalloid- und einigen Metalloxyden entstehen. Als wichtigste Repräsentanten der Mineralsäuren erwähnen wir die Schwefelsäure, Kohlensäure, Salpetersäure (Stickstoffsäure). Sie bilden sich aus den wasserfreien Sauerstoffverbindungen nach den Gleichungen: $SO_3 + OH_2 = SO_4H_2$, $CO_2 + OH_2 = CO_3H_2$, $N_2O_5 + OH_2 = 2NO_3H$. Die Atomgruppe, welche in diesen ternären Säuren mit dem Wasserstoff verbunden ist, heisst das Säureradikal. Zu diesen sauerstoffhaltigen Säuren stellen wir noch die uns bereits bekannte Chlorwasserstoffsäure, deren Formel ClH . Consequenterweise nennen wir das Cl in dieser Säure ebenfalls ihr Radikal. Dies ist ein einfaches Radikal im Gegensatz zu dem zusammengesetzten der sauerstoffhaltigen Säuren.

Die zweite Klasse der ternären Verbindungen sind die von den Chemikern allgemein als Salze bezeichneten. Sie stehen in engster Beziehung zu den Säuren, aus denen sie sich bilden durch Substitution von Metallatomen für die Wasserstoffatome. Während also die Säure die Hydrogenverbindung des Säureradikals, ist ihr Salz die Metallverbindung desselben. Dementsprechend müssen die Salze der Chlorwasserstoffsäure gleichbedeutend mit den Chloriden sein. Die sprachliche Bezeichnung der Salze ist die, dass man das aus dem Namen der Säure gebildete Eigenschaftswort mit dem betreffenden Metall zusammenstellt, also: Schwefelsaures Natrium, kohlenensaures Calcium, salpetersaures Kupfer.

Die Salze sind nach Zahl und massenhafter Verbreitung die wichtigsten Bestandteile der festen Erdkruste und die Hauptprodukte der chemischen Industrie. Verbindungen mit vier oder mehr Elementen sind in der Mineralchemie fast unbekannt. Verwickeltere Stoffe entstehen lediglich dadurch, dass mehrere Salze sich zu Doppelsalzen oder mehrfachen Salzen vereinigen. Auch können unter Umständen Salze mit Wasser, Oxyden, Chloriden oder Säuren Verbindungen eingehen. Aber eine wesentlich neue Klasse von chemischen Verbindungen kommt in der unorganischen Chemie nicht vor. So ungeheuer gross die Zahl der Stoffe auch sein mag, welche die Mineralogie und unorganische Chemie kennt, es handelt sich gleichwohl fast ausschliesslich um Salze, Salzverbindungen, Säuren, Oxyde, Sulfide, Chloride und Elemente.

Auf die letzte und wichtigste Klasse der unorganischen chemischen Verbindungen, die Salze, soll nunmehr näher eingegangen werden, wobei wir Gelegenheit finden, uns mit dem Gebrauch chemischer Formeln vertraut zu machen und die Atomenlehre experimentell zu bestätigen.

§ 3. Die experimentelle Begründung der Atomenlehre.

Zuerst sei an dieser Stelle eine Bemerkung über Gewichts- und Maassbestimmungen vorangeschickt. Es muss immer wieder betont werden, dass eine feine Analysenwaage kein Demonstrationsinstrument ist und eine bis auf Teile eines Milli-

gramms gehende Wägung nur ausnahmsweise während des Unterrichts vorgenommen werden kann. Denn abgesehen vom Zeitverlust können die Schüler eine solche Wägung gar nicht verfolgen. Es gilt also sich bei Unterrichtsversuchen so einzurichten, dass eine Ungenauigkeit von 0,01 g vernachlässigt werden kann. Dann reichen gute Standwagen gewöhnlicher Konstruktion aus. Man wähle eine solche von wenigstens 1 Kilo Tragkraft, welche bei 500 g Belastung und 0,01 g Übergewicht noch einen Ausschlag von 1 mm gibt, sodass sie bei ganz kleinen Belastungen noch 0,005 g deutlich bis auf 4 m Entfernung anzeigt. Der Balken sei geteilt, so dass die Centigramme mittels eines Reiters von 0,1 g Gewicht ausgewogen werden können. Zu der Wage gehört eine grössere Anzahl von Hornblättern, welche man genau abgleicht, sodass eins zum Trieren jedes anderen dienen kann⁴⁾.

Was nun die Verwendung der Wage anbetrifft, so hat man die Wägung unbekannter Mengen des Zeitverlusts wegen thunlichst zu vermeiden, sondern bestimmte, in einfachen Zahlen ausdrückbare Mengen zu verwenden, z. B. ein Gramm. Eine solche Abwägung kann in den meisten Fällen vor der Stunde, wenn man will auf einer Analysenwage, vorgenommen werden. Beim Unterrichte wird dann die Substanz wieder auf die Wage gebracht und gezeigt, dass es ein Gramm ist. Diese Operation beansprucht nur ein paar Sekunden Zeit. Das vorherige Abwägen ist immer dann statthaft, wenn die Schüler der kleinen auf der Wage befindlichen Probe ansehen, was es ist, oder es doch aus dem nachherigen Verhalten schliessen können, z. B. bei Metallen, Quecksilberoxyd, Ätzkalk in Stücken. Im andern Falle muss man vor den Augen der Schüler wägen. Denn bei allen Schulversuchen ist unbedingt darauf zu halten, dass sich nichts der Überwachung der Schüler entzieht, und dies ist ihnen auch immer zum Bewusstsein zu bringen. Deshalb wird man nicht ein weisses Pulver abwägen und sagen: Das ist Marmor, sondern vor der Klasse von einem grösseren Stück Marmor einige Stückchen abschlagen und zerreiben. Zum mindesten muss man die Proben vor den Augen der Schüler aus den mit deutlichen Aufschriften versehenen Vorratsflaschen entnehmen.

Die Gewichtsbestimmungen werden, wo es nur angeht, durch Maassbestimmungen ersetzt. Solche wird man beim Unterricht wesentlich mittels der Vollpipette ausführen und nur die unter 5 ccm liegenden Reste mit der Bürette ausmessen. Von ersteren hat man je 2 zu 50, 25, 10, 5 ccm nötig, von letzteren 2 zu 50 ccm in $\frac{1}{10}$ geteilt. Da die käuflichen Pipetten häufig ungenau sind, hat man durch Auswägen die richtige Lage der Marke scharf zu bestimmen und den Füllstrich mittels Tinte oder sonstwie hervorzuheben, so dass ihn die Schüler deutlich sehen können.

Die nachfolgende experimentelle Begründung der Atomenlehre ist nun wesentlich acidimetrischer Natur. Der Lehrer hat sich also zuvor grössere Vorräte, sagen wir je 5 Liter, von Normalschwefelsäure, Normalsalzsäure und Normalnatronlauge zu beschaffen und in gut verschlossenen Flaschen aufzubewahren. Diese Normallösungen enthalten je 98 g $SO_4 H_2$, 73 g HCl , 80 $Na OH$ im Liter. Um die Säuren herzustellen, werden von reiner concentrirter Schwefelsäure 102 g, von der gewöhnlichen 25 % igen — reinen Salzsäure 300 g auf jedes Liter abgewogen und so etwas zu starke Säuren erhalten. Zur Titerstellung löst man 106 g

⁴⁾ Die Firma Max Kähler & Martini in Berlin lieferte unter bereitwilliger Berücksichtigung meiner Wünsche eine kräftige, sauber gearbeitete Wage mit Arretiervorrichtung auf Messingsäule und Holzkasten, welche obigen Anforderungen vollkommen genügt, zum Preise von 65 Mark.

geglühtes reines Na_2CO_3 zum Liter, nimmt davon 100 ccm, fügt ein gleiches Volum der Säure hinzu und lässt das mit Lakmus rotgefärbte Gemenge in einer Kochflasche einige Minuten sieden, dann fügt man aus der Bürette tropfenweise, ohne das Kochen zu unterbrechen, Sodalösung hinzu, bis das Rot wieder in Blau übergeht. Nachher verdünnt man die Säure dieser Bestimmung gemäss mit soviel Wasser, dass sie genau auf die Sodalösung stehen muss und macht noch einen Controlversuch. Hierauf bereitet man sich in analoger Weise Natronlauge, welche man so genau auf die Schwefelsäure stellt, dass ein Gemenge von je 50 ccm durch Zusatz von einem Tropfen Säure oder Lauge entweder die rote oder die blaue Lakmusfarbe hervorbringt. Je nach Bedarf wird durch Verdünnung $\frac{1}{10}$ normale Salzsäure und Lauge erhalten, welche in den Büretten Verwendung findet.

Vor der Klasse nimmt die Entwicklung nun folgenden Verlauf. Wir erinnern uns aus dem Früheren, dass die laugenhaften Lösungen der Alkalien und alkalischen Erden die Fähigkeit haben Säuren zu neutralisieren. Wir wiederholen nunmehr diese Versuche, beachten dabei aber die Mengenverhältnisse. Zu dem Zweck wird zuerst eine Natronlauge von ganz bestimmter Stärke hergestellt. Und zwar soll dieselbe in einem Liter soviel Decigramme Natrium enthalten, wie einem Molekül Na_2O entsprechen, also 46. Eine frisch ungeschmolzene Natriumkugel von 3 bis 4 g wird auf der Schulwage genau gewogen und in kleineren Stücken auf etwas destilliertes Wasser geworfen, welches sich in einem breiten Cylinder oder einer weithalsigen Flasche befindet. Die erhaltene Lauge wird in dem Verhältnisse verdünnt, das 4,6 g genau auf ein Liter kommen würden. Diese Lauge bezeichnen wir als Zehntel-Normallauge. Dementsprechend definieren wir als Zehntel-Normalsäure eine solche, von der 100 ccm genau 100 ccm Zehntellauge neutralisieren. Nunmehr wird gezeigt, dass die in den mit der Bezeichnung Normalsalzsäure und Normalschwefelsäure versehenen Flaschen enthaltenen Flüssigkeiten genau das Zehnfache ihres eigenen Volums von der aus dem Natriummetall erhaltenen Lauge neutralisieren, ferner dass die als Normalnatronlauge etiketirte Flüssigkeit ganz genau eine gleiche Menge der Säuren neutralisiert. Dann wird die aus Natrium dargestellte Zehntellauge, sozusagen als Urmass, sorgfältig verstöpselt und bezeichnet in den Reagentenschrank gestellt. Endlich neutralisiert man 100 ccm der beiden Säuren mit je 100 ccm Normallauge und dampft die erhaltenen Lösungen in gewogenen Porzellanschalen zuerst auf freier Flamme ein, um sie in der nächsten Stunde auf dem Wasserbad zur Trockne zu bringen.

Nachdem so der Begriff der Normalsäuren festgestellt und die Operationen der Acidimetrie geläufig geworden, tritt die Frage an uns heran, wie stark denn eigentlich die beiden Normalsäuren sind; vorläufig wissen wir ja nur, dass sie auf eine Natronlauge, welche 46 g Natrium im Liter enthält, einwirken. Deshalb werden von beiden genau 100 ccm abgewogen und man findet für die Schwefelsäure 106,7 g, für die Salzsäure 103,5 g. Darnach zeigen die Tabellen im Lehrbuche, dass die erste 98 g SO_4H_2 , die zweite 73 g HCl im Liter enthält. 98 ist aber das Molekulargewicht von SO_4H_2 , 73 das doppelte Molekulargewicht von HCl . Dies ist eine sehr wichtige Thatsache. Wir sehen, dass die Säuren und Laugen sich in der Weise neutralisieren, dass die Molekülzahlen beider in den denkbar einfachsten Verhältnissen stehen. —

Nunmehr kehren wir zu den inzwischen eingedampften Lösungen zurück. In der Salzsäureschale finden wir einen weissen Körper, der sich nach Geschmack und Krystallform sofort als Kochsalz erweist. Früher zeigte aber die direkte

Synthese, dass Kochsalz aus Chlor und Natrium besteht. Mithin müssen bei der Einwirkung von Na_2O auf $2 HCl$ ein O und $2 H$ verschwunden sein. Da sie aber nicht in Gasform entweichen, werden sie Wasser gebildet haben und der Vorgang verlief nach der Gleichung $Na_2O + 2 HCl = 2 NaCl + H_2O$. Dies lässt sich noch exakt durch Wägung bestätigen. In den 100 ccm Säure steckte 7,3 g HCl , in den 100 ccm Lauge 6,2 Na_2O , was zusammen 13,5 g ausmacht. Nun zeigt sich aber, dass die durch vorsichtiges Erhitzen auf dem Sandbade von allem Wasser befreite Salzmasse nur 11,7 g wiegt, dass also 1,8 g fehlen. Dieses entspricht genau einem Molekül H_2O . — In der anderen Schale finden wir ein bitterlich schmeckendes Salz, und zwar nicht 6,2 + 9,8, sondern 14,2, also wiederum 1,8 g zu wenig. Mithin ist auch hier Wasser ausgeschieden nach der Gleichung $Na_2O + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + H_2O$.

Nach diesen Beobachtungen besteht der Vorgang bei der Salzbildung aus Säuren und Metalloxyden darin, dass aus dem Wasserstoff der Säure und dem Sauerstoff des Oxydes Wasser entsteht und das Säureradikal sich mit dem Metall verbindet. Dementsprechend wird der Schüler nun auch leicht aus den Formeln der betreffenden Säure und des Metalloxyds die des Salzes richtig ableiten können.

Zur weiteren Bestätigung des gefundenen Gesetzes werden die Normalsäuren noch mit einer Reihe anderer basischer Oxyde neutralisiert. Ausser den Alkalien besitzen wir noch im gebrannten Kalk einen allerdings sehr wenig löslichen laugenhaften Körper. Ein Gramm des früher aus Carrarischen Marmor erhaltenen Präparats wird mittels Wasser und 20 ccm Normalsalzsäure zur Lösung gebracht. Die Lösung ist sauer und erfordert 21 ccm Zehntel-Lauge zur Neutralisation, mithin sättigt 1 g Kalk 17,9 ccm Normalsäure. Es sei bemerkt, dass hier wie bei allen ähnlichen Versuchen die Hauptmenge der Säure mit Vollpipetten als Normalsäure zugemessen wird, dass aber beim Feintitrieren nur $\frac{1}{10}$ Lösungen verwandt werden, welche man aus Büretten zufließen lässt, und zwar nahe dem Neutralpunkte cubikcentimeterweis. Vor dem Zusatz jedes weiteren Cubikcentimeters wird dann gehörig umgeschüttelt.

Bei dem Versuch mit Kalk lernen wir die bemerkenswerte Erscheinung kennen, dass sich beim Hinzufügen von Lauge ein weisser, flockiger Niederschlag bildet, welcher sich leicht wieder beim Umschütteln löst, so lange freie Säure vorhanden, beim Überschuss von Lauge aber ungelöst bleibt. Es ist wasserhaltiges Calciumoxyd, das sich wegen seiner Schwerlöslichkeit ausscheidet, sobald es von dem stärkeren Natron seiner Säure beraubt wird. — Von der grossen Zahl der unlöslichen Metalloxyde benutzt man zunächst das des Magnesiums, welches man direkt durch Verbrennen von einigen Grammen vierfach zusammengedrehten Magnesiumdrahts über einer Porzellanschale erhält. 1 Gramm löst sich unter starker Wärmeentwicklung leicht in 30 ccm Normalschwefelsäure. Beim allmählichen Hinzufügen von Lauge wird der Niederschlag beim Umschütteln verschwinden, bis 5,1 ccm verwandt sind. Dann erzeugt ein weiterer Tropfen bleibenden Niederschlag und die rote Lakmusfarbe geht in Blau über. Dies führt uns sofort zu dem Gedanken, dass das Verhalten des Niederschlags als ein gutes Merkmal für das Eintreten der Neutralität dienen kann. Wir müssen davon bei den Salzen der Schwermetalle Gebrauch machen, die auch im neutralen Zustande Lakmus röten. Und nunmehr werden analoge Versuche mit je einem Gramm der Oxyde des Zinks, Kupfers, Quecksilbers angestellt und dabei 12,3, 12,1, 4,6 ccm Normalsalzsäure zur Sättigung verbraucht. Ein Vergleich der für die fünf Oxyde er-

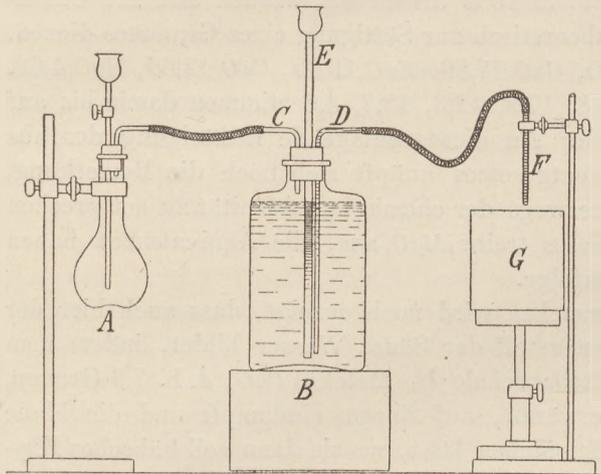
haltenen Zahlen zeigt, wie sehr verschieden ihre säuresättigende Kraft ist. Die Zahlen geben uns den relativen chemischen Wert der betreffenden Oxyde, sie sind deren Äquivalenzzahlen, welche durch arithmetrische Operationen auf irgend welche Einheit gebracht werden können. Falls nun für diese Oxyde das für Na_2O gefundene Gesetz besteht, so muss zur Sättigung eines Liters Normalsäure eine dem Molekulgewicht gleiche Anzahl von Grammen erforderlich sein. Dadurch, dass wir die betreffenden Molekulgewichte in 1000 dividieren, werden also die Cubikcentimeter Säure erhalten, welche theoretisch zur Sättigung eines Grammes dienen. Diese Quotienten sind für MgO 25,00, CaO 17,86, ZnO 12,35, CuO 12,66, HgO 4,62. Die von uns gefundenen Zahlen 24,8, 17,9, 12,3, 12,7, 4,6 stimmen damit bis auf unbedeutende Abweichungen überein. An diese schlagende Bestätigung des aus der Atomenlehre folgenden Äquivalentgesetzes knüpft sich noch die Bemerkung, dass die chemische Äquivalenz keineswegs der chemischen Affinität zu entsprechen braucht. Na_2O treibt CaO , und dieses treibt MgO aus, die Äquivalenzen haben aber gerade die umgekehrte Reihenfolge.

Neben diesen messenden Versuchen wird noch gezeigt, dass auch hier der Sauerstoff des Oxyds mit dem Wasserstoff der Säure Wasser bildet, indem man wie früher in einer gewogenen Porzellanschale $\frac{1}{10}$ Molekül CuO , d. h. 7,9 Gramm, mit 100 ccm Normalschwefelsäure erwärmt, auf 25 ccm eindampft und die blaue Lösung bis zur nächsten Stunde offen stehen lässt, wo sie dann voll hübscher Krystalle von Kupfervitriol ist. Hierauf wird sie vollends zur Trockne gebracht und das Salz auf dem Sandbade zum Vertreiben des Krystallwassers ziemlich stark erhitzt. Schliesslich zeigt die Wage, dass es $7,9 + 9,8 - 1,8$ Gramm sind.

Durch diese Reihe von exakten Versuchen sind die chemische Natur der Salze und die Vorgänge bei ihrer Bildung aus Säuren und basischen Oxyden ausreichend festgestellt. Es erübrigt nun noch einige andere Bildungsweisen dieser wichtigen Klasse von chemischen Verbindungen kennen zu lernen. Da ist zunächst ihre Bildung bei der Einwirkung von Säuren auf reine Metalle zu erwähnen. Ausser den Leichtmetallen werden von den bekannteren Metallen noch Zink und Eisen leicht in verdünnter Salz- und Schwefelsäure gelöst. Es ist ohne Weiteres einleuchtend, dass hierbei der Wasserstoff der Säure frei werden muss. Es werden je ein Gramm Natrium, Magnesium und Zinkblech in Kolben mit 25 ccm Normalschwefelsäure gebracht. Das Magnesium wird nicht vollständig gelöst, sondern es müssen noch 20 ccm nachgegossen werden. Nach dem Austitrieren zeigt sich, dass 1 Gramm Natrium 21,7, Mg 41,3, Zn 15,3 ccm Normalsäure sättigt. Die Theorie verlangt 21,74, 41,67, 15,39. Wie man sieht, sind diese Zahlen grösser, als die bei den entsprechenden Oxyden, eben weil hier der anhängende Sauerstoff fehlt, welcher an der Salzbildung keinen Anteil nimmt.

Es liegt auf der Hand, dass bei diesen Vorgängen die Mengen des entwickelten Wasserstoffs sich umgekehrt wie die Verbindungsgewichte der betreffenden Metalle verhalten werden. Dies führt zu einer weiteren interessanten Bestätigung der Theorie. Ich habe zum Auffangen und Messen des Gases den nachfolgenden Apparat zusammengestellt. *A* ist eine Kochflasche von etwa 200 ccm Fassung mit doppelt durchbohrtem Stopfen, Hahnenrichter und Gasentbindungsrohr. *B* ist eine weithalsige etwa 2 Liter fassende Flasche mit dreimal durchbohrtem Stopfen. Durch die eine Bohrung geht das mit *A* durch einen Schlauch verbundene Rohr *C*, durch die zweite ein Trichterrohr, welches weit genug ist, um leicht, ohne dass Luftblasen mit eintreten, Wasser eingiessen zu können, durch die dritte das bis auf

den Boden der Flasche reichende Rohr *D*. Letzteres steht mittels Schlauchs mit dem etwa 20 cm langen, 4 mm weiten Rohrstück *F* in Verbindung, welches vertikal eingespannt und bequem auf und nieder zu stellen ist. Unter *F* kommt, ebenfalls auf und nieder zu stellen, das gegen 1500 ccm fassende Glasgefäß *G*. Beim Beginn eines Versuchs wird 1 g des Metalls in den leeren Kolben gebracht, die Röhre des Hahnenrichters bis oben mit Wasser gefüllt und dann der Stopfen aufgesetzt.



Die Flasche *B* ist mit Wasser gefüllt und das untere Ende von *F* wird mit dem Niveau in *B* gleichgestellt. Dann giesst man durch *E* Wasser ein, bis solches aus *F* in ein vorläufig untergestelltes kleines Gefäß fliesst. Durch Verstellen von *F* bringt man es leicht dahin, dass im Trichterrohr die Flüssigkeit mit der in der Flasche gleich hoch steht, zum Zeichen, dass im Apparate der Druck genau gleich dem äusseren Luftdruck ist. Durch Einbringen eines Tropfens Farbstofflösung

in das Trichterrohr *E* wird die Druckausgleichung weithin sichtbar gemacht. Nuncmehr wird das Gefäß *G* untergestellt und durch den Hahnenrichter 25 ccm gewöhnlicher 25 proc. Salzsäure, also ein bedeutender Überschuss, langsam zu dem Metall gelassen. Sobald die Lösung zu Ende geht, muss das Gefäß *G* soweit gehoben werden, dass *F* in das ausgeflossene Wasser taucht. Andernfalls könnte beim Abkühlen des Kolbens Luft eintreten. Sobald das Metall verschwunden, giesst man durch den Hahnenrichter Wasser von Zimmertemperatur, bis *A* bis an den Stopfen gefüllt ist. Darauf stellt man das Gefäß tief und senkt *F* solange, bis die Druckausgleichung in *B* sichtbar wird. Die Menge des ausgeflossenen Wassers vermindert um den Inhalt des Kolben *A* gibt dann das Volum des entwickelten Gases. Falls durch einen Zufall das Wasser aus *F* nach *B* zurückstiege, brauchte man nur mittels einer Pipette Wasser aus *G* zu nehmen und es in *E* fließen lassen, worauf alles wieder in Ordnung kommt.

Es ist ausreichend, diese Versuche nur mit Magnesiumdraht und gewöhnlichem Zinkblech anzustellen. Beide Metalle lösen sich in 3—4 Minuten, sodass die Versuche in 15—20 Minuten erledigt sind. Die gefundenen Gasmengen — beim letzten Versuche 982 und 362 ccm — verhalten sich genau umgekehrt wie die Atomgewichte von *Mg* und *Zn*. Die corrigierten absoluten Werte sind indessen, wegen der Verunreinigung beider Metalle, etwas zu niedrig. Wer Zeit hat, kann auch noch Eisen und Natrium dem Versuche unterwerfen. Das erstere verwendet man in Form von Blumendraht, das zweite als Amalgam. Das Natriumamalgam stellt man vor der Klasse dar, indem man in einem Probierglas 50 g Quecksilber etwas über 100° erhitzt und etwa 1 g Natrium in kleinen Stückchen einwirft. Namentlich die ersten Portionen vereinigen sich unter heftiger Wärmeentbindung, sodass man, um ein Zerspringen zu verhüten, auch das Glas oberhalb des Quecksilbers stark erhitzen muss. Das heisse Amalgam giesst man in eine Reibschale, wo es alsbald erstarrt. In dem Apparate wird es mit 25 ccm Normalschwefelsäure in 3 Minuten

völlig zersetzt. Nachher muss man die Menge des Natriums im Kolbeninhalt durch Zurücktitrieren bestimmen.

Ich bemerke, dass der beschriebene, einfache Apparat Messungen von der höchsten Genauigkeit gestattet, wenn man, wie ich es zu wissenschaftlichen Zwecken thue, die Flasche *B* in ein etwa 50 l fassendes Bassin mit Wasser von Zimmertemperatur stellt. Ein solches Bassin kann man unter dem Titel Zimmeraquarium wohlfeil kaufen. Der ganze Apparat kann noch zu verschiedenen anderen Vorlesungsversuchen, bei denen Gasmessungen auszuführen sind, verwandt werden, so z. B. zu einer sehr scharfen Bestimmung des Ausdehnungscoefficienten der Gase. Ich werde später in einem besonderen Aufsätze auf derartige Versuche noch genauer eingehen. —

Es verbleibt uns noch eine dritte sehr wichtige Bildungsart von Salzen kurz zu betrachten. Wenn eine stärkere Säure auf das Salz einer schwächeren wirkt, so entsteht in der Regel das Salz der ersteren, indem ihr Radikal das Metall an sich reisst, ihr Wasserstoff aber an das Radikal der schwächeren tritt. Von allen Säuren ist die Schwefelsäure bei niedriger Temperatur die stärkste und treibt alle anderen aus. Umgekehrt ist die Kohlensäure eine der schwächsten und wird daher von den stärkeren Säuren aus Carbonaten stets Kohlensäure ausgetrieben. Diese chemischen Vorgänge sind von grosser technologischer Bedeutung, indem darauf einerseits die Gewinnung der meisten Säuren mit Hilfe der Schwefelsäure beruht und indem andererseits die Salze der stärkeren Säuren leicht durch Einwirkung derselben auf Carbonate erhalten werden können.

Wir stellen zunächst zwei Versuche mit kohlen-saurem Calcium und kohlen-saurem Natrium an. Die Natur bietet das erstere in ungeheuren Mengen, am reinsten im Carrarischen Marmor; das zweite ist unter dem Namen Soda eins der wichtigsten Industrieprodukte. Das Calciumcarbonat $CaCO_3$ zerfällt in der Glühhitze in $CaO + CO_2$. Nach dieser Formel müssen 56% CaO zurückbleiben. Wir stellten bereits früher den Versuch mit 100 g Marmor an und erhielten in der That 56 g Kalk. Nunnmehr lösen wir 5 g Marmorpulver in 60 cem Normalsalzsäure unter Erwärmen, setzen 5 cem Normallauge zu und kochen die noch schwachsaure Lösung zum Verjagen der Kohlensäure kurze Zeit. Dann titrieren wir mit Zehntellauge aus und erhalten 50,3 cem als die Säuremenge, welche 5 g sättigen, theoretisch sollten es genau 50,0 sein, aber ein geringer Magnesiumgehalt veranlasst einen geringen Mehrverbrauch. Beim Eindampfen von 100 cem Normalsalzsäure mit 10 g Marmorpulver hinterbleibt das hygroskopische $CaCl_2$. Derselbe Versuch mit Normal-schwefelsäure zeigt die Bildung schwerlöslichen Gypses. Man dampft ihn in der gewogenen Schale zur Trockne erhitzt etwas über 100° und findet 13,6 g eines weissen Pulvers, das mit Wasser zu einem dünnen Brei angemacht schnell erhärtet. — Nebenher wird noch ein Versuch mit 5 g ausgeglühter reiner Soda gemacht, sie verlangt in genauer Übereinstimmung mit der Theorie 47,1 Normalsalzsäure, der Geschmack der Lösung bekundet, dass Kochsalz entstanden. —

Hieran schliesst sich die Darstellung des Chlorwasserstoffs aus Chlornatrium und Schwefelsäure. Man führt den Versuch in etwas grösserem Massstabe aus. In den Kolben thut man ein Äquivalent, d. h. 117 g Kochsalz, und lässt darauf 200 g Schwefelsäure, also die doppelte theoretische Menge, einwirken. Es werden 300 cem Wasser vorgeschlagen und die Salzsäure völlig ausgetrieben. Nachher verdünnt man die Säure zu 500 cem und löst den Sulfatrückstand zu 1000 cem.

Von beiden Lösungen nimmt man den 25. Teil und gebraucht bei beiden, wie es aus der Theorie folgt, $\frac{1}{25}$ Liter Normallauge zur Neutralisation.

Zum Beschluss wird noch die Säure des Stickstoffs, die Salpetersäure, aus Kaliumsalpeter und Schwefelsäure dargestellt und man verfährt dabei in der entsprechenden Weise, wie bei der Salzsäure. Hier kann man aber auch die überdestillierte unverdünnte Säure direkt wägen, wobei sehr gute Zahlen erhalten werden.

Als Anhang muss noch die Salzbildung berührt werden, wo umgekehrt starke Basen auf die Salze schwächerer wirken. Hier reicht es aus, die Fällungen beim Zusatz von Natronlauge zu Salzen der Schwermetalle zu zeigen. Ein gutes quantitatives Experiment ist aber noch folgendes. Man wägt ein Zehntelmolekül reinen Kupfervitriol, also 25 g, ab und versetzt die ziemlich verdünnte Lösung mit 100 ccm Normalnatronlauge, lässt den Niederschlag etwas absetzen und filtriert. Das Filtrat ist dann neutral und würde eingedampft $\frac{1}{10}$ Molekül Glaubersalz geben.

Eine kurze Betrachtung der vierten Bildungsweise neuer Salze durch die Wechselwirkung zweier gegebenen beschliesst den Kursus. Als Regel ist hinzustellen, dass beim Vermischen der Lösungen zweier Salze SB und S_1B_1 sich das neue Salz SB_1 oder S_1B ausscheiden muss, wenn es unlöslich oder schwerer löslich als die anderen Combinationen. Man veranschaulicht das Gesetz durch Fällung einer $CuSO_4$ Lösung mit Na_2CO_3 , oder einer $CaCl_2$ Lösung mit Na_3CO_3 oder Na_2SO_4 . Auch kann man heissgesättigte Lösungen von KCl und $NaNO_3$ vermischen, wobei sich sofort $NaCl$ ausscheidet. Die von $NaCl$ abgegossene Lösung gibt nachher beim Erkalten eine Krystallisation von Kaliumsalpeter, sodass die Schüler einen Einblick bekommen in einen so hervorragenden Process, wie die Gewinnung des Hauptbestandteils des Schiesspulvers aus dem südamerikanischen Natriumsalpeter und Stassfurter Chlorkalium. —

Somit ist der methodische Einführungskursus zum Abschluss gelangt. Von Einzelheiten abgesehen, darf namentlich die Behandlung des dritten Abschnitts in der vorstehend beschriebenen Weise als neu angesehen werden. Es sind mit einfachen, dem Anfänger verständlichen Methoden und Hilfsmitteln durch ganze Reihen messender Versuche die Gesetze der Salzbildung und der chemischen Äquivalente bestätigt worden. Alle Versuche sind auch aus grösserer Entfernung zu überwachen, die meisten führen schnell und unmittelbar zum Ergebnis. Überdies tragen sie den Stempel wissenschaftlicher Genauigkeit und geben bei richtiger Ausführung auch die richtigen Zahlen. Selbstredend erfordert ein gutes Gelingen in erster Linie vollkommen reine Reagenzien. Leider kann man in der Praxis dieser Forderung nicht so genügen, als es wünschenswert ist. Denn aus oben erörterten pädagogischen Gründen muss man in vielen Fällen von chemisch reinen künstlichen Präparaten absehen, weil es nicht angeht, sie vor den Augen der Schüler schnell zu identifizieren. Man muss vielmehr zu den Erzeugnissen der Natur und Grossindustrie, wie sie im allgemeinen Anschauungsbereich liegen, zurückgreifen und diese sind nicht chemisch rein. Um nur eins zu erwähnen, ist es mir trotz vieler Bemühungen nicht gelungen, ein Calciumcarbonat, sei es in Form von Kalkspath oder Marmor, aufzufinden, von dem 1 g genau 10,0 ccm Normalsäure sättigt. Am geeignetsten erwies sich Carraramarmor, welcher 10,1 ccm gebraucht. Jeder Lehrer, welcher diesen Gegenstand in der geschilderten Weise behandeln will, wird sich also zunächst über die Brauchbarkeit der Materialien vergewissern müssen. Denn gerade hier, wo es sich um die Bestätigung eines Naturgesetzes von solcher Bestimmtheit und Unbeugsamkeit, wie des Gesetzes der festen Gewichtsverhältnisse,

handelt, sollten die erhaltenen Belegzahlen auch haarscharf stimmen. Dies gerade macht bei derartigen, immerhin trocknen, messenden Versuchen Eindruck auf den denkenden Schüler. Ungenaue und annähernde Zahlen sind für Schüler und Lehrer eine Enttäuschung und ein Ärgernis.

Zum Schluss soll die Bemerkung nicht unterdrückt werden, dass die technische Ausführung der gedachten Versuche nicht so leicht ist, wie es nach der Beschreibung erscheint. Es sind zwar die wichtigsten zum guten Gelingen nötigen Kunstgriffe kurz angegeben, aber es kommt noch auf allerlei schwer zu beschreibende Kleinigkeiten an, welche man nur durch die Praxis beachten lernt. Wenn vor der Klasse Alles glatt und sicher und in kürzester Zeit gehen soll, wird man diese Versuchsreihen vorher mehrere Male für sich ausführen müssen. Dann gelingen sie aber auch von selbst. Ich spreche aus eigener Erfahrung und betone ausdrücklich, dass in vorliegender Abhandlung kein Experiment berührt worden, das von mir nicht, oft unter grossen Opfern von Zeit und Mühe, ausprobiert worden ist. Ausserdem wurden noch viele andere Versuche unternommen, die entweder fehlschlügen oder doch bei weitem nicht die erforderliche Sicherheit boten. Ich glaube aber, dass die im Vorstehenden mitgeteilten zuverlässigen Versuche für den chemischen Anfangsunterricht vollkommen ausreichen.

Über die Bestimmung von Dampfdichten nach der manometrischen Methode.

Von

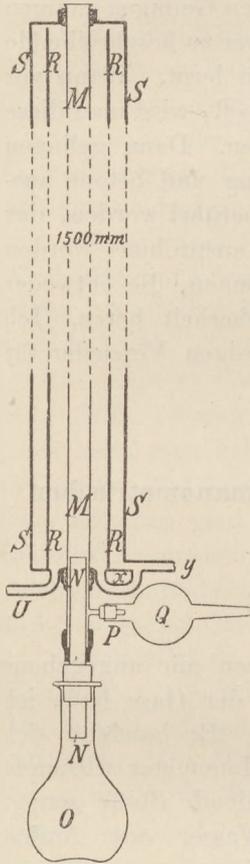
Dr. Friedrich C. G. Müller in Brandenburg a./H.

Die im vorigen Jahrgang dieser Zeitschrift (S. 274) von mir angegebene manometrische Methode zur Bestimmung des Volumgewichts der Gase habe ich inzwischen mit Erfolg zu Dampfdichtebestimmungen benutzt. Es handelte sich eigentlich nur noch darum, die Röhre, welche die auf das Manometer wirkende Gassäule einschliesst, zweckmässig zu erhitzen. Für leichtsiedende Stoffe genügt es, das Druckrohr mit einem Mantel zum Durchleiten von Wasser- oder Anilindampf zu umgeben. Die Figur zeigt die von mir getroffene Anordnung. *MM* ist die etwa 15 mm weite und 1,5 m lange Röhre. Der Heizmantel besteht aus einem inneren Rohr *R* von 30 mm und einem äusseren von 50 mm Weite. Der heizende Dampf wird durch *U* eingeleitet, steigt im inneren Rohr aufwärts und im Zwischenraum zwischen diesem und dem äusseren abwärts, um durch *y* zu entweichen. Das Röhrechen *x* ist zur Beseitigung der im inneren Rohr condensierten Flüssigkeit angeordnet. Der ganze Heizmantel wird vom Klempner für 6 Mark aus Zinkblech hergestellt.

Das mit Glaserkitt eingesetzte Rohr *M* hat unten den seitlichen Ansatz *P*, welcher mit dem Kugelrohr *Q* verbunden ist. *Q* wird dann durch einen Schlauch mit dem Manometer in Verbindung gesetzt. Bemerkt sei noch, dass *P* in Wirklichkeit dicht unter dem Mantel und zwar nach vorn sitzt, während es in der Figur der Deutlichkeit wegen seitlich und etwas tiefer gezeichnet werden musste.

Unten steckt in *M* mit einigem Spielraum das Rohr *N*, welches die im Kölbchen *O* entwickelten Gase oder Dämpfe einführt. *N* muss mindestens 6 mm weit sein, damit in ihm verdichtete Tropfen auch bei öligen Flüssigkeiten wieder in *O* zurückfliessen.

Der ganze Apparat wird in einen gewöhnlichen Retortenhalter gespannt, sodass er auch in eine schräge Stellung gebracht werden kann. Das Manometer ist so justiert, dass es bei senkrechter Stellung von M mit CO_2 (V. G. 1,53) einen etwas über 5,3 hinausgehenden Ausschlag giebt. Vor jeder Versuchsreihe wird nach Beseitigung des Kölbchens in N CO_2 geleitet und durch Neigung des Druckrohrs der Ätherfaden des Manometers genau auf 5,3 gebracht. Für ganz schwere Gase und Dämpfe, deren Volumgewicht über 3 hinaus geht, wird das Rohr unter einen Winkel von 30° gebracht, sodass CO_2 den Ausschlag 2,65 giebt. Die erhaltenen Zahlen müssen dann verdoppelt werden. Diese in einer Minute vorzunehmende CO_2 -Einstellung bietet ausserdem den grossen Vorteil, dass nachher die abgelesenen Volumgewichte auf 0° und 760 mm Luftdruck corrigiert sind. Auch der Einfluss der Feuchtigkeit kann ohne Weiteres beseitigt werden. Denn entweder sind die zu untersuchenden Gase mit Feuchtigkeit gesättigt, oder sie sind trocken, wie es bei den Dämpfen zutrifft; im ersteren Falle stellt man mit feuchtem, im zweiten mit trockenem CO_2 ein.



Das Manometer, welches nach der früheren Beschreibung eine unter ganz stumpfem Winkel gebogene Röhre war, ist inzwischen auch vervollkommenet worden. Beide Schenkel bestehen jetzt aus besonderen, durch ein Stück vulkanisierten Schlauch verbundenen Röhren. Die Aussenenden sitzen in festen Klemmen, die Mittelklemme, welche das Verbindungsstück umfasst, kann durch eine Schraube auf- und abwärts gestellt und so der Winkel nach Erfordernis geändert werden. Die Schenkel sind durch kurze Schläuche mit zwei an der Hinterseite des Gestells befestigten Zuleitungsrohren verbunden, welche letztere mit dem Manometer in gleicher Horizontalebene liegen und durch einen Vierweghahn zu einem Ganzen vereinigt sind. Der dritte Ansatz dieses Hahns ist für die zum Druckrohr führende Leitung bestimmt, der vierte

mündet frei in die Luft. So kann man durch Vierteldrehung des Hahns das Manometer auf Druck oder Saugen stellen. Beim Nichtgebrauch und Forttragen werden durch Achteldrehung beide Schenkel geschlossen.

Die Ausführung der Dampfdichtebestimmung geschieht nun in der Weise, dass man zunächst den Heizapparat mit einem Dampfentwickler und Kühler verbindet und auf die Temperatur des heizenden Dampfes bringt. Das auf Saugen gestellte Manometer zeigt dann auf der Stelle das Volumgewicht der erhitzten Luft an, sobald N unten geschlossen wird. Darauf steckt man das Kölbchen O mit einigen Grammen der zu prüfenden Substanz auf den Stopfen und bringt sie zum Kochen. Zuerst lebhaft, um die Luft zu verdrängen, dann so langsam wie möglich. Ein zu schnelles Einströmen von Dampf oder Gas bewirkt ein Saugen. Wenn das Manometer seinen weitesten Ausschlag erreicht, nimmt man die Flamme unter O fort. In der Regel geht der Ätherfaden beim langsamen Versiegen des Dampfstroms noch ein wenig weiter. Die äusserste Stellung entspricht dem wahren Volumgewicht des Dampfes. Durch Division dieser Zahl mit dem zuvor bzw. nachher erhaltenen Volumgewicht der heissen Luft ergibt sich dann ohne Weiteres die Dampfdichte.

Die wirklich überraschende Einfachheit, Schnelligkeit und Anschaulichkeit der manometrischen Dampfdichtebestimmung dürfte nach dem Vorstehenden zweifellos sein. Ich habe mit dem beschriebenen Apparat wiederholt in einer weithin sichtbaren Weise in 15—20 Minuten die Dampfdichten der vier Stoffe: Äther, Alkohol, Wasser und Schwefelkohlenstoff mit recht befriedigender Schärfe ermittelt. Die beiden letzten bei 100° ausgeführten Versuchsreihen gaben: 2,53, 2,56; 1,58, 1,61; 0,59, 0,59; 2,66, 2,70. Die Theorie verlangt: 2,56, 1,61, 0,62, 2,64. Benzol gab 2,80 statt 2,77.

Als eine für Unterrichtszwecke sehr wesentliche Thatsache sei ausdrücklich betont, dass sich mit Wasserdampf gewöhnlicher Spannung als Heizmittel die wichtigste aller Dampfdichten, nämlich die des Wassers selber, ausreichend genau bestimmen lässt. Man braucht also zur Bestätigung des Dampfdichtegesetzes nicht mit höher siedenden Flüssigkeiten zu experimentieren und kann den aus dem Heizapparat strömenden Wasserdampf einfach ins Zimmer oder den Schornstein gehen lassen.

Zum Schluss die vorläufige Bemerkung, dass ich für die Bestimmung von Dampfdichten bei höheren Temperaturen einen eisernen Apparat habe bauen lassen und mit gutem Erfolg versucht habe. Er besteht aus einer innen emaillierten Eisenröhre, welche durch drei Reihen Gasflämmchen auf Temperaturen von 300—800° gebracht werden kann. Derselbe wird seinerzeit in einer chemischen Fachzeitschrift genauer beschrieben werden.

Die Construction der Lichtbrechung und deren experimentelle Ableitung.

Von

Professor Dr. Alois Höfler in Wien.

In einem früheren Hefte dieser Zeitschrift (*II*, 162—165) bemerkt Herr BLÜMEL bezüglich des zur Demonstration des Brechungsgesetzes gewöhnlich verwendeten Apparates: „Unmöglich war es überhaupt bisher, Schülern, die mit der Trigonometrie nicht vertraut waren, das Gesetzmässige bei der Brechung des Lichtes mit Hilfe dieses Apparates klar zu machen.“

Da an unseren österreichischen Mittelschulen schon auf der Unterstufe, also lange vor dem trigonometrischen Unterrichte, Physik gelehrt wird, so war ich seit Beginn meiner Lehrthätigkeit darauf bedacht, das Brechungsgesetz in einer Form mitzuteilen¹⁾, welche bloss rein planimetrische Beziehungen voraussetzt, und zwar solche von möglichster Einfachheit — theils um den grundlegenden Charakter des Gesetzes selbst hervortreten zu lassen, theils mit Rücksicht darauf, dass namentlich auf der Unterstufe die wirkliche Ausführung einer hinreichenden Anzahl von Zeichnungen gebrochener Strahlen seitens des Schülers selbst ein durch Nichts zu ersetzendes Mittel ist, ihn die Hauptgesetze über das Entstehen von Bildern bei Prismen und Linsen selbst finden zu lassen und sie ihm dauernd einzuprägen. Auf eben diese Construction sollten dann möglichst direkt auch von Anfang diejenigen Versuche hinführen, welchen der Schüler die erste Kenntniss der Thatsache, dass und wie ein Strahl gebrochen wird, entnimmt.

¹⁾ Vergl. meine Bearbeitung des Lehrbuches von SCHABUS für die unteren Klassen (Wien, 1881), S. 222.

Die einfachste derartige Konstruktion dürfte die sein, welche Fig. 1 zeigt. Ist AO der aus Luft in Wasser einfallende Strahl, so trage man von O gegen M vier, gegen N drei gleiche Teile bis x bzw. y auf, errichte in x und y Normalen und mache $Ob = Oa$, dann ist ObB der gebrochene Strahl. — Vor der sehr verbreiteten Konstruktion, welche durch

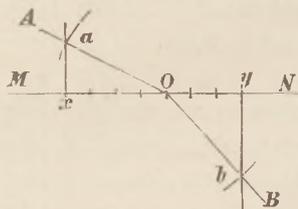


Fig. 1.

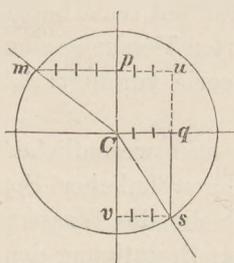


Fig. 2.

Fig. 2 (in drei Varianten, je nachdem die Strecke $\frac{3}{4}mp$ in der Lage pu oder Cq oder vs aufgetragen wird) dargestellt ist, hat sie die Vorteile voraus, dass sie nicht verlangt, eine Strecke (wie mp) zu teilen, sondern bloss eine beliebig gewählte Strecke mehrmals (von O aus) auf-

zutragen; dass sie (wenigstens bei ebenen Trennungsf lächen) nicht die Konstruktion des Einfallslotes verlangt; und dass sie infolge der gleichartigen Lage der maassgebenden Strecken $Ox = 4$ und $Oy = 3$ die Umkehrbarkeit des Brechungsgesetzes unmittelbar hervortreten lässt.

Um beim Construieren einer grösseren Zahl von Strahlen nicht immer von neuem die Abstände Ox und Oy auftragen zu müssen, kann man sich verschiedener

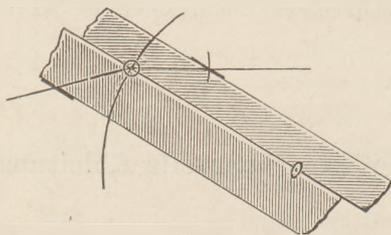


Fig. 3.

mechanischer Vorrichtungen bedienen, deren einfachste zwei Lineale (Papierstreifen) sein dürften, deren Breiten sich wie jene Abstände verhalten. Fig. 3, in welcher dieses Verhältnis 3:2 ist, zeigt die Konstruktion eines Strahles an einer kugeligen Trennungsf läche zwischen Luft und Glas; es sind hierzu bloss drei Hilfs-

Stückchen der beiden Geraden und der Kreisbogen) erforderlich.

Während nun der von BLÜMEL beschriebene Apparat sich auf die Konstruktion der Fig. 2 gründet, bzw. auf sie hinführt, habe ich bereits vor acht Jahren für die Sammlung unserer Anstalt einen Apparat (Fig. 4 und 5) anfertigen lassen²⁾, welcher

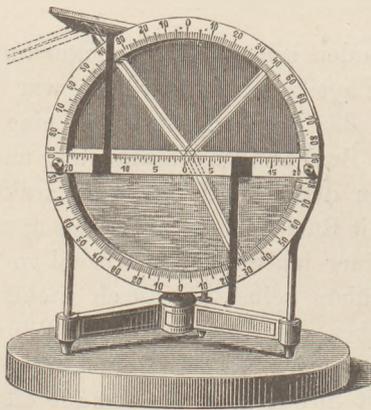


Fig. 4.

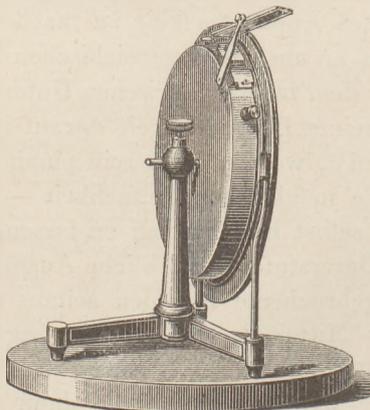


Fig. 5.

zunächst die von MACH und TYNDALL angegebene Einrichtung und Verwendung hat (vergl. MÜLLER-PFAUNDLER 1879, II. Bd., 1. Abt., Fig. 63, 64, 65), behufs Durchführung

²⁾ Durch Herrn Mechaniker W. Ph. Hauck in Wien.

quantitativer Bestimmungen aber noch mit folgender Vorrichtung versehen ist (sie lässt sich auch an bereits vorhandenen Apparaten solcher Art mit ganz geringen Kosten anbringen): Der horizontale Durchmesser der Vorderwand des cylindrischen Gefässes, welches zur Hälfte z. B. mit Wasser gefüllt ist, wird durch den oberen Rand eines Maassstabes markiert. Dieser Stab dient zwei Blechstreifen als Führung, so dass diese immer gegen die Oberfläche des Wassers normal stehen. Fällt dann das Lichtband durch den Spalt im Mantel des Gefässes ein und beleuchtet eine gegenüberliegende Stelle an der Innenseite des Mantels, so werden die beiden Streifen auf diese beiden Stellen des Mantels eingestellt; ihre Abstände von der Mitte des Maassstabes verhalten sich dann, wie Zähler und Nenner des Brechungsquotienten. So zeigt denn bereits der Anblick des Apparates bei dem Grundversuche zur Ermittlung des Brechungsgesetzes ganz dieselbe Figur 1, welche später unmittelbar der Ausführung der Brechungs-Construktion zugrunde gelegt wird. — Es ergibt sich bei Ausführung der Versuche von selbst, dass man die inneren Ränder der Streifen auf einen Rand des Lichtbandes einstellen wird. Die Breite des Bandes (vergl. BLÜMEL *a. a. O.*, S. 163, Z. 12 v. o.) wird dadurch unschädlich; ja man wird das Band ziemlich breit wählen, damit es deutlicher auch auf grössere Entfernung hin sichtbar wird. Das Einblasen von Rauch in den Luftraum und das Anwenden fluorescierender Flüssigkeit ist entbehrlich, wenn das Lichtband die weisslackierte Hinterwand des Gefässes streift: man kann an dieser sogar die Farbenzerstreuung des gebrochenen Strahles recht schön sehen und so annähernd die Verschiedenheit des Brechungsexponenten messend verfolgen. Im übrigen bedarf es keiner Erläuterung, dass und wie der Apparat für verschiedene Einfallswinkel, für den Übergang der Strahlen von Wasser in Luft und für die Darstellung der totalen Reflexion verwendbar ist.

Indem ich somit diese möglichst einfache Konstruktion und den ihr entsprechenden Apparat für den ersten Unterricht empfehle, versteht es sich, dass hiermit nicht die Vorteile in Abrede gestellt werden sollen, welche für höhere Unterrichtsstufen oder für die Zwecke rascher und genauer Ausführung bei besonderen konstruktiven Aufgaben andere Formen der Brechungs-Construktion haben können: so z. B. die in MÜLLER-PFAUNDLER (*a. a. O.*) durch *Fig. 69 und 70* dargestellte oder die in dieser Zeitschrift (*II, 135*) jüngst durch Herrn Professor SCHELLBACH empfohlene.

Über die Beziehungen zwischen chemischer Energie und Stromenergie galvanischer Elemente.

Von

Dr. Hans Jahn in Berlin.

Der Satz, dass die von einem Element zu erzielende elektrische Energie der gleichzeitig verbrauchten chemischen Energie gleich sein müsse, ist zuerst von HELMHOLTZ in seiner Abhandlung über die Erhaltung der Kraft aufgestellt worden. Die Erfahrung schien dieses Princip zu bestätigen und BECQUEREL leitete den Helmholtz'schen Satz auf eine scheinbar einwurfsfreie Weise aus den elektrischen Grundgesetzen und dem ersten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie ab.

Bezeichnet α das calorische Äquivalent der in absolutem Maass gemessenen Energieeinheit, so ist nach dem Joule'schen Gesetz die im Stromkreis während der Zeiteinheit entwickelte Wärmemenge in bekannter Schreibweise $W = \alpha J^2 w$.

Diese Formel ermöglicht eine recht genaue Ermittlung des mechanischen Äquivalents der Wärmeeinheit. Ich erhielt in zwei Versuchsreihen (*Wied. Ann.* 27, 414 u. 415) für:

$$\begin{aligned} J^2 w &= 2,4689, & W &= 0,58324 \text{ Cal.}, & \text{mithin } \alpha &= 0,2362; \\ J^2 w &= 0,79177, & W &= 0,18719 \quad \text{„} \quad \text{„} & \alpha &= 0,2364. \end{aligned}$$

Daraus ergab sich das mechanische Äquivalent der Wärmeeinheit in den üblichen Maassen ausgedrückt:

$$E = 431,21 \text{ N. M.}$$

Neuere Versuche von DIETERICI (*Wiedemann, Ann.* 33, 417) ergaben $\alpha = 0,2356$, woraus sich

$$E = 432,67 \text{ N. M.}$$

also in befriedigender Übereinstimmung berechnet.

Leitet man einen Strom durch einen Elektrolyten, indem man durch geeignete Versuchsbedingungen dafür Sorge trägt, dass der Strom keinerlei Zersetzung des Elektrolyten herbeiführen kann, so entspricht die beobachtete Wärmeentwicklung ebenfalls vollständig dem Joule'schen Gesetze. Diese schon von JOULE und BECQUEREL gemachte Beobachtung ist von mir mit verfeinerten Hilfsmitteln bestätigt worden. (*Wiedemann, Ann.* 25, 29.) Ich erhielt z. B. für

$$\begin{aligned} \text{Cu SO}_4 \text{ zwischen Kupferelektroden:} & \quad \alpha = 0,2378, \\ \text{Zn SO}_4 \quad \text{„} \quad \text{Zinkelektroden:} & \quad \alpha = 0,2365, \\ \text{Sb Cl}_3 \quad \text{„} \quad \text{Antimonelektroden:} & \quad \alpha = 0,2362. \end{aligned}$$

Denken wir uns nun ein Daniell'sches Element, in welchem während des Stromdurchganges an dem positiven Pole Zinksulfat entsteht, während an dem negativen Pole eine äquivalente Menge Kupfersulfat zerlegt wird. Die Menge des während der Zeiteinheit und während des Durchganges der Stromeinheit durch das Element gebildeten Zinksulfates sei „ p “, die der Entstehung der Gewichtseinheit Zinksulfat im Elemente entsprechende Wärmemenge „ h “, so ist die von dem Elemente während der Zeiteinheit entwickelte chemische Wärme:

$$Q = p \cdot J \cdot h,$$

da nach dem Faraday'schen Gesetze die Menge des entstandenen Zinksulfates der Stromintensität proportional ist. Diese Wärmemenge muss nun, wenn das Helmholtz'sche Gesetz zutrifft, der gesamten in der Strombahn entwickelten Wärmemenge gleich sein. Letztere ist aber nach dem Joule'schen Gesetze gleich $\alpha J^2 (R + r)$, wenn R den Widerstand des Elementes, r den der äusseren Stromleitung bezeichnet. Wir erhalten also:

$$\alpha J^2 (R + r) = p J h,$$

oder:

$$\alpha J (R + r) = p h,$$

oder, da nach dem Ohm'schen Gesetze $E = J (R + r)$ ist,

$$E = \frac{1}{\alpha} p h,$$

wenn E die elektromotorische Kraft des Daniell'schen Elementes bezeichnet. Es müsste also möglich sein, nach dieser von BECQUEREL abgeleiteten Formel aus der Wärmetönung des in dem Elemente vor sich gehenden chemischen Processes die elektromotorische Kraft des Elementes zu berechnen. Nach den Beobachtungen von THOMSEN ist:

$$\begin{aligned} (\text{Zn, O, SO}_3 \text{ aq}) &= 106,09 \text{ Cal.} \\ (\text{Cu, O, SO}_3 \text{ aq}) &= 55,96 \quad \text{„} \end{aligned}$$

Es beträgt mithin die in dem Elemente während der Abscheidung eines in Grammen ausgedrückten Atomgewichtes Kupfer entwickelte Wärmemenge 50,13 Cal. Nun scheidet

nach den Bestimmungen von F. und W. KOHLRAUSCH die Einheit der Stromintensität während der Einheit der Zeit 0,0003281 gr Kupfer ab. Wir erhalten daher:

$$E = 1000 \frac{50,13 \times 0,0003281}{0,2364 \times 63,17} = 1,1014 \text{ Volt.}$$

Die elektromotorische Kraft des Daniell'schen Elementes beträgt im Mittel der Beobachtungen zahlreicher Experimentatoren 1,10 Volt. Die Übereinstimmung zwischen dem berechneten und dem beobachteten Werte ist also eine vorzügliche.

Eine ähnliche Übereinstimmung wurde für eine ganze Reihe anderer Elemente erzielt. So fand THOMSEN:

C o m b i n a t i o n	Chemische Energie		Beobachtete elektro- motorische Kraft
	absolute	relative	
Zn, H ₂ SO ₄ Cu, CuSO ₄	50,13	1	1
Zn, H ₂ SO ₄ Cd, CdSO ₄	16,21	0,32	0,32
Zn, H ₂ Cl ₂ Ag ₂ , Ag ₂ Cl ₂	54,08	1,08	1,065
Zn, H ₂ SO ₄ Kohle, HNO ₃	96,08	1,92	1,86
Zn, H ₂ SO ₄ Kohle, CrO ₃ + H ₂ SO ₄ .	99,79	1,99	1,85
Cu, H ₂ SO ₄ Kohle, HNO ₃	45,95	0,92	0,88
Fe, FeCl ₂ Kohle, FeCl ₆	44,41	0,89	0,90

Jedoch neben diesen das Gesetz bestätigenden Beobachtungen fehlte es nicht an Fällen, die damit nicht in Einklang standen, und auch durch die Annahme etwaiger sekundärer Vorgänge nicht in Einklang zu bringen waren.

BRAUN namentlich erhob (*Wiedemann, Ann. 5, 182; 16, 561*) sowohl theoretische als auch auf Versuche gestützte Bedenken, ob der Helmholtz-Becquerel'sche Satz ein wirkliches Naturgesetz sei, indem er die Frage aufwarf, ob nicht von der chemischen Energie dasselbe gälte wie von der Wärme, dass sie nämlich nicht vollständig in andere Energieformen überführbar sei.

BRAUN hat für eine grosse Anzahl von Elementen, deren chemische Energie er mit Hilfe der von THOMSEN gelieferten thermochemischen Daten berechnete, die elektromotorische Kraft bestimmt, und mit der aus der chemischen Energie berechneten verglichen. Er fand dabei, dass für eine Anzahl von Elementen der Helmholtz'sche Satz zutrifft, jedoch er wies gleichzeitig für eine nicht unbedeutende Zahl von Combinationen nach, dass ihre elektromotorische Kraft kleiner sei, als man gemäss ihrer chemischen Energie hätte erwarten sollen; endlich fand er, dass für eine Anzahl von Elementen die thatsächlich beobachtete elektromotorische Kraft sogar grösser ist, als die aus der chemischen Energie berechnete. So ergab sich z. B. für die elektromotorische Kraft der Elemente:

E l e m e n t	beobachtet	berechnet
Zn, ZnSO ₄ Ag ₂ , Ag ₂ SO ₄	1,374 Volt	1,712 Volt
Cd, CdSO ₄ Ag ₂ , Ag ₂ SO ₄	1,035 "	1,382 "
Cu, CuSO ₄ Ag ₂ , Ag ₂ SO ₄	0,336 "	0,712 "
Pb, Pb(C ₂ H ₃ O ₂) ₂ Cu, Cu(C ₂ H ₃ O ₂) ₂	0,451 "	0,310 "

Während also die drei erstgenannten Elemente unter Wärmeentwicklung arbeiten, musste das zuletzt angeführte sich abkühlen, während es von dem Strom durchflossen wurde.

Eine erneute theoretische Untersuchung dieser Frage führte HELMHOLTZ (*Ges. Abh. II, 958 ff.*) zu einer allgemeinen Gesetzmässigkeit, die für alle unpolarisierbaren, also reversiblen Processen unterworfenen Elemente gilt.

Er leitete eine Formel ab für die Wärmemenge dQ , die einem unpolarisierbaren Elemente zugeführt werden muss, um seine Temperatur constant zu erhalten, während die

Elektricitätsmenge $d\varepsilon$ dasselbe durchfließt. Bezeichnet p die elektromotorische Kraft, T die absolute Temperatur, so ist:

$$dQ = \alpha T \frac{dp}{dT} d\varepsilon.$$

Sehen wir von dem für das Experiment belanglosen Falle ab, dass $T = 0$ ist, so kann dQ nur dann verschwinden, d. h. die gesamte von dem Elemente entwickelte Wärme kann nur dann vollständig in Stromwärme übergehen, wenn

$$\frac{dp}{dT} = 0,$$

d. h. wenn die elektromotorische Kraft von der Temperatur unabhängig ist. Ist

$$\frac{dp}{dT} > 0,$$

nimmt die elektromotorische Kraft des Elementes also mit Steigen der Temperatur zu, so muss auch $dQ > 0$ sein, d. h. dann muss dem Elemente Wärme zugeführt werden, das Element arbeitet also unter Wärmeabsorption, die Stromwärme wird dann grösser sein als die Gesamtwärme. Ist dagegen

$$\frac{dp}{dT} < 0,$$

fällt also die elektromotorische Kraft des Elementes mit zunehmender Temperatur, so muss dem Elemente Wärme entzogen werden, um seine Temperatur constant zu erhalten, dann wird also die Stromwärme kleiner sein als die Gesamtwärme.

Dieses Helmholtz'sche Gesetz wurde von CZAPSKI (*Wiedemann, Ann.* **21**, 209) und GÖCKEL (*ebd.* **24**, 618) einer experimentellen Prüfung unterzogen. Beide bestimmten nur die elektromotorischen Kräfte und die Temperaturcoefficienten derselben, leiteten aber die Gesamtwärme aus den bezüglichen thermochemischen Daten von THOMSEN ab. Sie fanden das Gesetz qualitativ bestätigt: alle Elemente, für welche die Stromwärme kleiner war als die Gesamtwärme, hatten eine mit steigender Temperatur fallende elektromotorische Kraft und umgekehrt. Die quantitative Bestätigung bot Lücken; GÖCKEL glaubte sogar aus seinen Versuchen den Schluss ziehen zu können, der Helmholtz'sche Satz gelte überhaupt nur in qualitativer Beziehung. Gegen diese Schlussfolgerung war aber das gewichtige Bedenken zu erheben, dass die Berechnung der Gesamtwärme aus den thermochemischen Daten zu keinen genauen Resultaten führen konnte. Um über die Gültigkeit oder Nichtgültigkeit des in Frage stehenden Gesetzes entscheiden zu können, mussten die Gesamtwärmen der einzelnen Elemente direkt gemessen werden, denn nur auf diesem Wege konnte man zu vergleichbaren Zahlen gelangen. Ich habe mich dieser Untersuchung gewidmet und dabei die in der nachstehenden Tabelle verzeichneten Resultate erhalten (*Wiedemann, Ann.* **28**, 21 u. 491):

Element	Elektromotorische Kraft	Stromwärme	Gesamtwärme	Temperaturcoefficient	Sekundäre Wärme	
					gefunden	berechnet
$Cu, Cu(C_2H_3O_2)_2 \parallel Ag$ $Pb, Pb(C_2H_3O_2)_2 + 100 H_2O$	0,47643 Volt	21,684 Cal.	17,533 Cal.	+ 0,000385 Volt	- 4,151 Cal.	- 4,784 Cal.
$Ag_2, Ag_2 Cl_2 \parallel Zn, Zn Cl_2 + 100 H_2O$	1,0306 Volt	46,907 Cal.	52,046 Cal.	- 0,000419 Volt	+ 5,139 Cal.	+ 5,082 Cal.
$Ag_2, Ag_2 Cl_2 \parallel Zn, Zn Cl_2 + 50 H_2O$	1,0171 Volt	46,293 Cal.	48,913 Cal.	- 0,00021 Volt	+ 2,620 Cal.	+ 2,609 Cal.
$Ag_2, Ag_2 Cl_2 \parallel Zn, Zn Cl_2 + 25 H_2O$	0,9740 Volt	44,332 Cal.	46,986 Cal.	- 0,000202 Volt	+ 2,654 Cal.	+ 2,51 Cal.
$Ag_2, Ag_2 Br_2 \parallel Zn, Zn Br_2 + 25 H_2O$	0,84095 Volt	38,276 Cal.	39,764 Cal.	- 0,000106 Volt	+ 1,488 Cal.	+ 1,326 Cal.

Als Einheit der Stromintensität gilt die Elektrizitätsmenge, die während einer Stunde 63,17 gr Kupfer ausscheiden würde. Für T ist in die Helmholtz'sche Formel 273 einzusetzen, da die calorimetrischen Messungen mit Hilfe des Eis calorimeters also bei der Temperatur des schmelzenden Eises ausgeführt wurden.

Ein Blick auf diese Zahlen zeigt, dass das Helmholtz'sche Gesetz sich nicht allein in qualitativer, sondern auch in quantitativer Beziehung vollkommen bestätigt hat.

Es bleibt nun aber noch die wichtige Frage unbeantwortet, wie auf Grund der thermodynamischen Theorie der Unterschied zwischen der Gesamtwärme und der Stromwärme der Elemente zu erklären, und wo der Sitz dieser sekundären Wärmevorgänge zu suchen sei. Diese Frage bietet ein um so grösseres Interesse, als scheinbar die obige Deduktion von BECQUEREL, nach welcher der Satz von der Äquivalenz der Gesamtwärme und der elektrischen Energie sich als eine Consequenz des ersten Hauptsatzes der mechanischen Wärmetheorie darstellt, zu principiellen Bedenken keinen Anlass giebt. Dieselbe bietet jedoch eine wesentliche Lücke, insofern sie als die gesamte, während des Stromdurchganges in dem Elemente entwickelte Wärme nur die durch das Joule'sche Gesetz gegebene, also die dem Quadrat der Stromintensität proportionale Wärmemenge berücksichtigt. Nun hat aber PELTIER zuerst experimentell, und WILLIAM THOMSON später in Übereinstimmung mit CLAUSIUS theoretisch erwiesen, dass sich der Joule'schen Wärme noch eine andere Wärmemenge je nach der Stromrichtung addiert oder subtrahiert, sowie der Leiter aus zwei heterogenen Stücken besteht; und zwar ist die Berührungsfläche der beiden heterogenen Stücke der Sitz dieses sekundären, der ersten Potenz der Stromintensität proportionalen Wärmevorganges. Die thermodynamische Theorie lehrt des Weiteren, dass die entwickelte oder absorbierte Wärmemenge P der absoluten Temperatur T und der thermoelektromotorischen Kraft dE/dT der jeweiligen Combination proportional ist. Der theoretische Ausdruck für diese Peltierwärme erhält demgemäss die Form:

$$P = \alpha T \frac{dE}{dT} Jt,$$

worin J die Stromintensität (in Amp.), t die in Sekunden ausgedrückte Zeit bedeuten.

Auch dieses Gesetz habe ich bei calorimetrischen Messungen bestätigt gefunden (Wiedemann, *Ann.* **34**, 755), wie die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Zahlen erweisen:

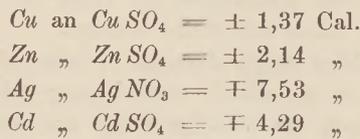
Combination	Thermoelektromotorische Kraft	Peltierwärme	
		berechnet	gefunden
Cu — Ag	— 2,12 Mikro-Volt	— 0,493 Cal.	— 0,413 Cal.
Cu — Fe	— 11,28 „ „	— 2,621 „	— 3,163 „
Cu — Pt	+ 1,40 „ „	+ 0,325 „	+ 0,320 „
Cu — Zn	— 1,51 „ „	— 0,351 „	— 0,585 „
Cu — Cd	— 2,64 „ „	— 0,613 „	— 0,616 „
Cu — Ni	+ 20,03 „ „	+ 4,650 „	+ 4,362 „

Als Stromeinheit fungieren tausend Ampères und die Temperatur ist $T = 273$, da auch diese Messungen mit dem Eis calorimeter ausgeführt wurden.

Ein galvanisches Element ist nun aber ein aus heterogenen Stücken bestehender Leiter, es wäre also denkbar, dass die sekundären Wärmevorgänge durch Peltierphänomene an den Berührungsflächen der metallischen Elektroden mit den Salzlösungen sowie den beiden heterogenen Lösungen bedingt sind. Was das zuletzt erwähnte Peltierphänomen anlangt, so stimmen alle Erfahrungen darin überein, dass dasselbe als verschwindend klein zu betrachten ist, es sind mithin nur die Wärmevorgänge an den Berührungsflächen der Metalle und der Lösungen zu berücksichtigen.

Einige in dieser Richtung von mir ausgeführte calorimetrische Messungen scheinen zu Gunsten dieser Anschauung zu sprechen. Ich fand, dass während einer Stunde bei

dem Durchgange einer Elektrizitätsmenge, die 63,17 gr Kupfer abscheiden würde, folgende Wärmemengen entwickelt werden:



und zwar gilt das obere Vorzeichen für den Fall, dass das Metall als Anode dient; das untere dagegen, wenn das Metall Kathode ist.

Ist unsere Voraussetzung richtig, so müsste die gesamte von dem Element entwickelte Wärme gleich der Summe der Stromwärme und der an den beiden Elektroden auftretenden Peltierwärmen sein.

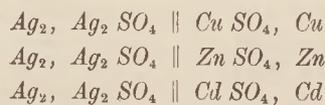
In dem *Daniell'schen* Elemente würde die sekundäre Wärme, da Zink als Anode, Kupfer als Kathode dient, gleich $2,14 - 1,37 = 0,77$ Cal., d. h. nahezu gleich Null sein; die gesamte von dem Element entwickelte Wärme wird also mit der Stromwärme nahezu identisch sein.

Vertauschen wir in dem *Daniell'schen* Elemente das Zink durch das Cadmium, so müsste die sekundäre Wärme $- 1,37 - 4,29 = - 5,66$ Cal. betragen. Um diese Wärmemenge wird also die gesamte von dem Element entwickelte Wärme geringer ausfallen, als man es nach den thermochemischen Daten erwarten sollte.

Ich bestimmte die von dem Elemente entwickelte Gesamtwärme zu 30,90 Cal., also in der That niedriger als die aus THOMSON'S Daten berechnete chemische Wärme, welche 33,92 Cal. beträgt. Diese Gesamtwärme muss unserer Voraussetzung gemäss mit der Stromwärme identisch sein. Ich fand für die elektromotorische Kraft dieses Elementes 0,6781 Volt, woraus sich die Stromwärme zu 30,86 Cal., also in vollkommener Übereinstimmung mit der gefundenen Gesamtwärme berechnet.

Betrachten wir das Element $\text{Cu, Cu (NO}_3)_2 \parallel \text{Ag}_2(\text{NO}_3)_2, \text{Ag}_2$ unter diesem Gesichtspunkt, so wird die zu erwartende sekundäre Wärme nach den obigen Daten $1,37 + 7,53 = 8,9$ Cal. betragen, wenn wir die nicht unwahrscheinliche Annahme machen, dass an der Berührungsfläche von Kupfer und Kupfernitrat dieselbe Peltierwärme entwickelt wird, wie an der von Kupfer und Kupfersulfat. Um diese Wärmemenge müsste also die an dem Elemente entwickelte Gesamtwärme grösser sein als die Stromwärme. Die direkte Messung der Gesamtwärme ergab 30,81 Cal., woraus sich die Stromwärme zu 21,91 Cal. berechnet, während dieselbe thatsächlich 20,85 Cal. beträgt.

Auch noch an einigen weiteren Elementen hat sich unsere Voraussetzung prüfen lassen. Wir haben oben gesehen, dass für die Elemente:



die aus den thermochemischen Daten berechneten Gesamtwärmen nach den Beobachtungen von BRAUN keineswegs mit den Stromwärmern übereinstimmen. Machen wir die Voraussetzung, dass an der Berührungsfläche von Silber und Silbersulfat die Peltierwärme denselben Wert habe, wie an der von Silber und Silbernitrat, so folgt nach meinen Messungen:

Element	Stromwärme	Gesamtwärme	
		gefunden	berechnet
$\text{Ag}_2, \text{Ag}_2 \text{ SO}_4 \parallel \text{Cu, Cu SO}_4 \dots$	20,85 Cal.	29,88 Cal.	29,75 Cal.
$\text{Ag}_2, \text{Ag}_2 \text{ SO}_4 \parallel \text{Zn, Zn SO}_4 \dots$	68,86 „	78,70 „	78,53 „
$\text{Ag}_2, \text{Ag}_2 \text{ SO}_4 \parallel \text{Cd, Cd SO}_4 \dots$	51,66 „	59,36 „	59,19 „

Die Gesamtheit dieser Messungen lässt also keinen Zweifel darüber bestehen, dass die gesamte von einem galvanischen Elemente entwickelte Wärmemenge gleich der Summe der Stromwärme und der an den Berührungsflächen der Elektroden und der Elektrolyten entwickelten Peltierwärmen ist.

Wir müssen also in der That den Grund für die Abweichung der von BECQUEREL abgeleiteten Formel von der Erfahrung in der Vernachlässigung der Peltierwärmen suchen, so dass das Helmholtz'sche Gesetz auch nach dieser Richtung hin bestätigt erscheint.

Der Gang eines Lichtstrahles in einer Glaskugel.

Von

H. Hartl in Reichenberg.

(Eingesandt im August 1889.)

Im II. Jahrgang dieser Zeitschrift (S. 135) erschien eine von Professor WEIERSTRASS herrührende graphische Bestimmung des Ganges eines Lichtstrahles in einer Glaskugel vom Radius r und dem Brechungsindex n . Die angegebene Konstruktion zeichnet sich durch Eleganz und genaue Bestimmung der Strahlenrichtung (durch „scharfe Schnittpunkte“) aus und wird insbesondere dann den grössten Vorteil bieten, wenn der Gang mehrerer Strahlen zu bestimmen ist, da die beiden Hilfskreise mit den Radien $n \cdot r$ und r/n fest sind und für alle Strahlen Verwendung finden. Das folgende Verfahren für die Lösung derselben Aufgabe besitzt zwar diesen Vorzug nicht, bietet aber wesentliche Vorteile für den Fall, dass der Gang eines einzigen Lichtstrahles unter Berücksichtigung der stattfindenden teilweisen Reflexionen verzeichnet werden soll.

Ist n der Brechungsindex der Glaskugel oder des Wassertropfens (Fig. 1), so schlage man vom Mittelpunkt O aus mit dem Radius n cm einen Kreisbogen, und trage auf demselben die Sehne $MN = 1$ cm auf. Sodann ziehe man die Geraden OM und ON . (Auch bei der Weierstrass'schen Konstruktion bedarf man eines solchen Proportionalwinkels zur Ermittlung von $n \cdot r$ und r/n). Ist nun L der einfallende Lichtstrahl, so verlängere man denselben (AX) und schlage von O aus den berührenden Kreis k_1 , welcher in dem Proportionalwinkel MON die Sehne PQ liefert. Mit dieser Sehne als Radius wird sodann von O aus der Kreis k_2 beschrieben. Zieht man von A die Tangente an diesen Kreis, so erhält man den gebrochenen Strahl, während die von A an k_1 gezogene Tangente den reflektierten Strahl l ergibt. Bei B erhält man den gebrochenen und reflektierten Strahl L_1 und l_1 durch die von B an k_1 und k_2 gezogenen Tangenten, ebenso bei C u. s. f. Denn da $\sin \alpha = OT/OA$ und $\sin \beta = OS/OA$ ist, so ist:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{OT}{OS} = \frac{OP}{PQ} = \frac{OM}{MN} = \frac{n}{1},$$

also $\sin \alpha / \sin \beta = n$, d. h. das Brechungsgesetz ist erfüllt. Die Richtigkeit der übrigen Konstruktionen ist leicht einzusehen. Die beiden Kreise k_1 und k_2 haben also folgende Bedeutung: Jeder ausserhalb (innerhalb) der Kugel verlaufende Lichtstrahl, welcher den äusseren (inneren) Kreis berührt, berührt nach der Reflexion stets denselben Kreis, nach der Brechung jedoch den zweiten Kreis.

Das angegebene Verfahren eignet sich auch für alle jene Brechungsaufgaben, bei denen nur eine Lotrichtung oder zwei verschiedene Lotrichtungen vorkommen, also bei der Brechung an einer ebenen Fläche oder bei prismatischer Brechung.

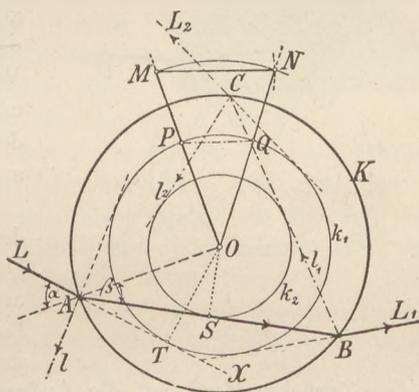


Fig. 1.

Hat man z. B. den Gang der Lichtstrahlen zu bestimmen, die (Fig. 2) von einem Punkte S aus einem dichteren in ein dünneres Mittel übertreten, so zeichne man um einen beliebigen Punkt O die beiden concentrischen Kreise, deren Radien das Verhältnis n

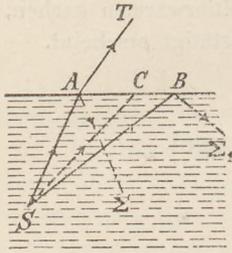


Fig. 2a.

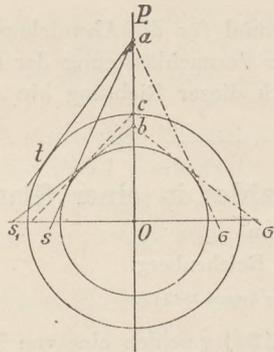


Fig. 2b.

(Brechungsindex) besitzen. Sodann ziehe man die Gerade OP parallel zur Richtung der Einfallslotte (also $\perp AB$). Ist dann der Weg des Strahles SA z. B. zu bestimmen, so lege man an den kleineren Kreis eine zu SA parallele Tangente sa , sodann von dem erhaltenen Punkte a die Tangenten $a\sigma$ und at an den kleineren und grösseren Kreis. $a\sigma$ giebt dann die Richtung des reflektierten ($A\Sigma$), at die des gebrochenen Strahles (AT).

Für den Strahl SB ergibt sich die parallele Tangente s_1b . Da nun von b nur eine Tangente $b\sigma_1$ an den kleineren, nicht aber an den grösseren Kreis möglich ist, so erhalten wir in diesem Falle gar keinen gebrochenen und nur einen reflektierten Strahl. (Totale Reflexion). Die vom Punkte c an den inneren Kreis gezogene Tangente giebt die Richtung des Grenzstrahles SC für die totale Reflexion.

Bei dem Prisma (Fig. 3) ist es von Vorteil, die beiden Kreise um den Scheitel (O) des Prismas zu legen und daselbst gleich die beiden Lote OM und ON zu verzeichnen. Hat man den Gang des einfallenden Strahles LA zu bestimmen, so lege man an den

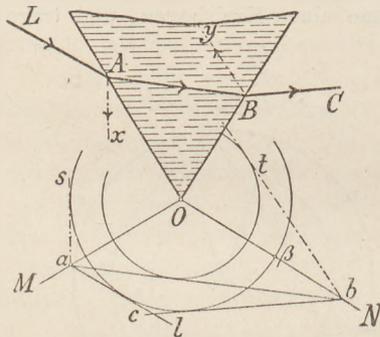


Fig. 3.

äußeren Kreis die Tangente $al \parallel AL$ und von dem erhaltenen Punkte a an die beiden Kreise die Tangenten as und ab ; diese geben schon die Richtungen des reflektierten (AX) und gebrochenen Strahles (AB). Vom Punkte b legt man wiederum die Tangenten bt und bl an die beiden Kreise und erhält die Richtungen des bei B sich ergebenden reflektierten (By) und des austretenden gebrochenen Strahles BC .

Fällt bei der Konstruktion der Punkt b innerhalb des grossen Kreises, so tritt bei B totale Reflexion ein. Der Grenzfall tritt ein, wenn b in den Punkt β fällt, und es kann auch von β aus leicht die Grenzlage des Lichtstrahles für die Bedingung des Austrittes konstruiert werden.

Zurückgreifend auf die Aufgabe, welche den Ausgangspunkt dieser kleinen Abhandlung bildet, sei nur noch bemerkt, dass man auch bei der Kugel die beiden Hilfskreise ausserhalb zeichnen kann. Man muss aber dann für jeden einfallenden Strahl die betreffende Lotrichtung (Kugelradius) vom Mittelpunkte der Hilfskreise verzeichnen. Bei solchem Vorgange kann man dieselben beiden Hilfskreise (die natürlich auch concentrisch mit der Kugel gezeichnet werden können) für jeden beliebigen einfallenden Strahl benutzen, erhält aber für den weiteren Gang des Lichtstrahles bloß dessen Richtungen, die man wie in Fig. 2 und Fig. 3 parallel übertragen muss.

Mit Vorteil lässt sich das angegebene Verfahren auch anwenden, um unter Berücksichtigung der eintretenden Reflexionen den Gang eines Lichtstrahles durch ein mehrseitiges Prisma, sowie durch eine Hohlkugel oder durch den senkrechten Querschnitt einer cylindrischen Röhre darzustellen.

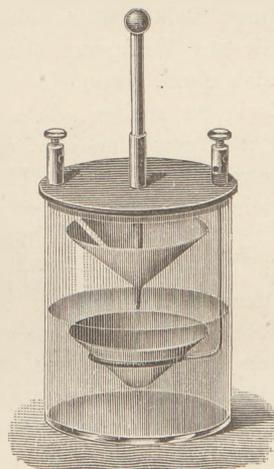
Kleine Mitteilungen.

Ein Stromschlusdämpfer.

Von Prof. W. Holtz in Greifswald.

Es ist oft sehr erwünscht, wenn man bei Schluss und Öffnung der Kette die Stromstärke allmählich anschwellen bezw. abschwächen lassen kann, z. B. wo eine zu starke Wirkung den Versuch ganz vereitelt, oder wo man der Reihe nach ungleich starke Wirkungen erzeugen will, oder allgemein, wo man mit schlecht gedämpften Messinstrumenten arbeitet, oder wo man gute Drahtrollen vor stark gespannten Induktionsströmen schützen will. (Durchbricht ein Induktionsfunke die Isolationschicht zweier Windungen, so lagern sich hierbei leitende Partikelchen ab, so dass ein zweiter Funke sie nun schon eher durchbricht, wodurch sie noch mehr zu einem Leiter wird. Das ist auch der Grund, weshalb alle Induktionsapparate mit der Zeit in ihrer Funkenlänge nachlassen, weil immer mehr innere Durchbrechungen vor sich gehen.) Den angegebenen Zweck zu erreichen, und zwar einfacher und bequemer, als es allenfalls mit Hilfe eines Rheostaten möglich wäre, dient der beistehend abgebildete Apparat.

In ein kleines dickwandiges Elementenglas von 113 mm Höhe und 88 mm Weite ist eine 10 mm dicke Zinkscheibe, welche zum Teil aufliegt, zum Teil eingreift, als Deckel eingepasst. In der Mitte desselben sitzt eine Messingröhre von 8 mm Weite, die Federn halber oben eingeschlitzt ist. In ihr verschiebt sich eine engere und zugleich längere Röhre, welche oben eine abschraubbare Holzkugel trägt, während unten ein 6 mm dicker, an seinem untersten Ende scharf zugespitzter Kupferdraht eingelötet ist. Um diesen Draht ist dort, wo die Spitze anfängt, ein flacher Trichter aus Kupferblech befestigt mit einer Basis von 70 mm Durchmesser und einem 3 mm weiten Schlitz an einer Seite. Auf dem Deckel, welcher des besseren Aussehens halber schwarz lackiert ist, sitzen noch zwei Messingklemmen, mit der centralen Röhre in einer Linie, deren eine jedoch den Deckel selbst nicht berührt, vielmehr in einem in ihm befestigten Hartgummistücke sitzt. In diese ist von unten noch ein Kupferdraht gesteckt, der mittelst eines besonderen Schraubchens festzuklemmen ist, und der unten im Glase in einen horizontalen Ring endigt, auf welchem ein dem oberen gleicher, aber abgestumpfter Trichter liegt.



Für den Gebrauch wird der Apparat einfach in den Stromkreis geschaltet, nachdem man in das Glas zuvor soviel concentrirte Kupfervitriollösung gegossen hat, dass der untere Trichter ganz bedeckt ist, während die Spitze des oberen die Flüssigkeit noch nicht berührt. Um den Strom zu schliessen, drückt man alsdann langsam den oberen nach unten, wobei die Stromstärke successive wächst und ihr Maximum erreicht, wenn beide Trichter in einander liegen. Führt man die Bewegung sehr langsam aus, so kann man es dahin bringen, dass eine ganz ungedämpfte Magnetnadel kaum ins Schwanken gerät. Will man nicht das Maximum, sondern eine geringere Stromstärke, so hört man im geeigneten Momente mit der Bewegung auf; der Strom bleibt, sofern man sonst mit constanten Elementen arbeitet, constant, da im Apparate selbst die Polarisation ausgeschlossen ist. Will man den Strom schwächen bezw. öffnen, so zieht man den Holzknopf nach oben, und es ist vorher die Federkraft der Röhre so zu regulieren, dass der Deckel hierbei nicht mitgehoben wird.

Natürlich kann das An- und Abschwächen der Stromstärke nicht ganz stetig verlaufen. Es giebt zwei kleine Sprünge, einmal wenn die Spitze die Flüssigkeit berührt, dann wenn beide Trichter auf einander stossen. Man könnte sie, wenn auch nicht ganz beseitigen, so doch auf ein Minimum reducieren, wenn man dem Apparate grössere Dimen-

sionen geben wollte. Ich rate jedoch hierzu nicht, weil der Apparat dadurch unhandlich würde, und weil jene Sprünge ohnehin so klein sind, dass sie wenig incommodieren.

Wenn man darauf achtet, dass der Strom nicht immer in derselben Richtung die Flüssigkeit durchläuft, so werden beide Trichter im wesentlichen unverändert bleiben, höchstens, dass zeitweise die Spitze neu vorzuschärfen wäre. Nach dem Gebrauch kann die Flüssigkeit im Glase verbleiben, doch dürfte sie von Zeit zu Zeit zu erneuern sein.

Zur Holtz'schen Influenzmaschine ohne Selbsterregung und mit blossen Papierbelegungen.

Von **Ernst Schulze** in Strausberg.

Beim Gebrauche einer kleinen Maschine von 30 cm Scheibendurchmesser habe ich folgende Erfahrungen gemacht:

Zunächst ist es förderlich, wenn die zur Erregung dienende Hartgummiplatte selber durch Reiben oder Schlagen mit dem Fuchsschwanz recht kräftig elektrisch wird. Die mir zur Verfügung stehende Hartgummiplatte versagte allmählich den Dienst und zwar auch dann, wann sie vorher angewärmt war. Der Grund dieser Unwirksamkeit ist wohl darin zu suchen, dass die Oberfläche der Hartgummiplatte durch den Gebrauch immer glatter geworden war, oder dass sonst eine Veränderung der Oberfläche mit der Zeit eingetreten war. Als Abhilfe erwies sich das Abschleifen der Hartgummiplatte mit Bimsstein; natürlich genügt ein teilweises Abschleifen.

Der andere Übelstand, welcher sich bisweilen bemerklich machte, war der, dass die Maschine geradezu nichts leistete, selbst wenn sie sich in der Nähe des warmen Ofens befunden hatte und demnach die Scheiben sowohl, wie die umgebende Luft an Trockenheit nichts zu wünschen übrig liessen. Als hindernder Umstand stellte sich heraus, dass die Papierbeläge ebenfalls austrockneten und dadurch nichtleitend wurden. Wurde nämlich das Papier angefeuchtet, so zeigte sich die Maschine wirksam und zwar nur so lange als die Anfeuchtung vorhielt. Erst wenn die Papierbeläge einigermaßen durchfeuchtet waren, zeigte sich eine dauernde Wirkung. Hiermit stimmte überein, dass andererseits die Maschine im Sommer bei feuchtem Wetter gute Leistungen aufwies; es hatte nämlich der Papierbelag Feuchtigkeit aus der Luft angezogen. — Damit die Maschine wirksam sein kann, müssen die Papierbeläge erheblich besser leiten, als die Glasscheiben oder vielmehr deren Oberfläche. Um dies dauernd zu erzielen, nahm ich die Maschine auseinander und legte die Standscheibe so auf eine Papierunterlage (mehrfache Zeitungsbogen), dass die Beläge oben waren. Hierauf rieb ich die eigentlichen Beläge, sowie auch die Papierzungen mit Broncepulver (trocken) ein vermittelt eines Wattebausches, liess jedoch auf den eigentlichen Belägen einen isolierenden Rand gegen das Glas hin frei, gegen die Papierzungen zu aber nicht. Die letzteren haben also nur auf derjenigen Fläche einen metallischen Überzug erhalten, welche der rotierenden Scheibe abgewandt ist. Die zugekehrte Fläche wurde frei gelassen, damit sich nicht auf der Scheibe selbst durch Abreiben ein metallischer Ring, also eine leitende Zone bilde. (Das Broncepulver ist überall sehr billig zu haben. Das von mir verwendete ist silberfarben und besteht vermutlich aus Zinn). — Seitdem hat die Maschine noch nicht wieder versagt, ganz gleich ob das Zimmer geheizt war oder nicht; selbst eine vorhergegangene Lüftung bei feuchtem Wetter schadete nichts. Erst dann, wenn die Scheiben der Maschine anfangen zu beschlagen, versagte dieselbe den Dienst. — Um die Maschine in Gang zu setzen, hat man gar nicht erst nötig, die Kugeln der Conductoren bis zur Berührung einander zu nähern; dieselben dürfen immerhin einige Centimeter gegenseitigen Abstand haben. Bei grösseren Abständen kann man das lästige Wiederausammenschieben der Kugeln vermeiden, wenn man einen U-förmig gebogenen Draht, welcher an seinen beiden Enden mit U-förmigen Haken versehen ist, über die Schubstangen hängt, und so eine leitende Verbindung herstellt, die sich leicht wieder entfernen lässt, sobald die Maschine in Gang gekommen ist. Unter günstigen

Umständen gab meine kleine Maschine jetzt Funken von 11,5 cm. (Die isolierende Hartgummistange, an welcher die beiden Conductoren befestigt sind, hat eine Länge von 12 cm.)

Nicht übergehen will ich, dass Krumme in seinem *Lehrbuche der Physik* (Berlin 1885, S. 103) Papierzungen erwähnt, welche mit Stanniol beklebt sind, dass ferner Weinholtz (*Physik. Demonstrationen*, Leipzig 1881, S. 527) Papierbelegungen aus Silberpapier beschreibt. — Wer jedoch einmal eine Maschine mit blossen Papierbelegungen besitzt, kann erforderlichen Falles die oben angegebene Verbesserung allein vornehmen.

Die Vorgänge beim Laden des Goldblattelektroskops.

Von Dr. Theodor Häbler in Grimma.

Die einzelnen Vorgänge beim Laden des Elektroskops durch Influenz und ihre Erklärung sind nicht so allgemein bekannt, wie man wegen des häufigen Gebrauchs des Apparates vermuten sollte. Ich habe in *Wiedemanns Annalen XXV, S. 680 (1885)* auf einen in vielen Lehrbüchern der Physik vorkommenden Fehler aufmerksam gemacht; doch ist der Hinweis in der neueren Litteratur, soweit ich sie zu Gesicht bekommen habe, unbeachtet geblieben.

„In den Beschreibungen des Ladens eines Elektroskops mittelst Influenz wird ganz allgemein behauptet, dass, wenn man einen elektrischen Körper dem Elektroskop nähert und den Finger an die Kugel legt, die Goldblättchen zusammenfallen. Wenn dies in der That zutrifft, so liegt es nur daran, dass die Blättchen von Leitern (teilweiser Metallhülle oder Stanniolstreifen oder auch nur der Tischplatte) umgeben sind, welche auch influenziert werden, weshalb die Blättchen keine Elektrizität enthalten können.

Stellt man aber — was doch in den Erklärungen des Vorgangs beim Laden vorausgesetzt wird — ein Elektroskop mit Glashülle weit entfernt von allen Leitern auf und benutzt eine nicht gar zu schwache Elektrizitätsquelle, so sitzt nach Anlegen des Fingers Influenz Elektrizität erster Art nicht nur im Knopf des Instruments und im Finger, sondern auch in den Goldblättchen, und diese zeigen oft einen grösseren Ausschlag als vor der Verbindung mit der Erde.“

Während hier der Zustand nach Anlegen des Fingers beschrieben ist, hat Herr Szymanski (*diese Zeitschr. II, S. 129*) die Art der Elektrizität der Blättchen nach Wegnahme des Fingers beobachtet und gefunden, dass sie negativ ist, wenn ein geriebener Hartgummistab genähert wurde. Nehmen wir an, die Aufstellung des Elektroskops und die Stärke der Elektrizitätsquelle seien so, dass die Blättchen nach Anlegen des Fingers keinen Ausschlag zeigen. Im Finger befindet sich + El., deren Influenzwirkung der des Hartgummistabes entgegengesetzt ist. Nach ihrer Entfernung vermag die — El. des Stabes eine grössere Menge + El. im Knopf zu binden, wird also mehr + El. heranziehen, wodurch die Blättchen — elektrisch werden. Oder genauer: Das Potential der + El. des Fingers auf Punkte des Knopfes ist grösser als auf Punkte der Blättchen. Wird nun der Finger weggenommen, so muss sich im Knopfe mehr + El. als vorher, in den Blättchen — El. anhäufen, damit das Potential an allen Stellen wieder denselben Wert hat¹⁾.

Ist mit dem Knopf ein langer isolierter Conductor verbunden, so hat die Wegnahme des Fingers vom entfernten Ende keinen Einfluss, während die vorige Erklärung wieder anwendbar wird, wenn der Finger sich nahe am Stabe befand und daher + elektrisch war.

¹⁾ Die oben gegebene Erklärung ist mit der in *Heft I, S. 29* versuchten völlig verträglich; für die dort herangezogene Schirmwirkung des Leiters ist selbstverständlich vorausgesetzt, dass jeder die Kraftlinien schneidende Leiter als Schirm aufzufassen ist, gleichgültig ob er sich an der dem Influenz ausübenden Körper zugewandten oder abgewandten Seite des Knopfes befindet.

Das Aichen von Elektroskopen vermittelt eines einzigen galvanischen Elementes.

Von **Bruno Kolbe** in St. Petersburg.

Die folgende höchst einfache Aichungsmethode, welche sehr brauchbare Resultate liefert, habe ich nirgends beschrieben gefunden.

Erforderlich sind zwei Paar Condensatorplatten, womöglich von verschiedener Grösse (z. B. 90 mm und 50 mm Durchmesser). Das grössere Paar wird auf das mit einer Skala versehene Elektroskop geschraubt oder, wenn es auf einem besonderen Gestell angebracht ist, durch einen gut isolierten, kurzen und feinen *Cu*-Draht mit dem Elektroskop verbunden. Die kleineren Condensatorplatten werden auf einem gut isolierenden Stativ angebracht (ein Ebonitständer muss in diesem Falle mit einem erwärmten Leinwandläppchen abgerieben und über einer Flamme entladen werden).

Die versilberten Ableitungsdrähte (vergl. *d. Zeitschr. II. 1889, S. 155 u.*) werden parallel zur Platte geführt, so dass die Öse am Ende den Rand der Platte um 5—10 mm überragt. Nun ladet man vermittelt eines als Einheit dienenden constanten Elementes (Daniell) die kleineren Condensatorplatten durch gleichzeitige Berührung mit beiden Poldrähten, hebt die obere Platte ab und überträgt die Ladung derselben, indem man die betreffenden Ableitungsdrähte zur Berührung bringt, auf die grösseren Condensatorplatten. Jetzt zeigt das Elektroskop, nach Trennung der Condensatorplatten, den Ausschlag α_1 , welcher der (unbekannten) Einheit der Ladung entspricht. Überträgt man 2, 3, 4 ... Ladungen des kleinen Condensators auf den grösseren, so erhält man $\alpha_2, \alpha_3, \alpha_4 \dots$ — Eine graphische Darstellung der erhaltenen Werte gestattet ohne Weiteres zwischenliegende Werte zu interpolieren. Sollte die Empfindlichkeit des Elektroskopes für die Ablesung von α_1 zu gering sein, so kann man je 2 oder je 3 Ladungen des kleinen Condensators als Einheit annehmen.

Wendet man statt der kleineren Condensatorplatten eine *Cu*- und eine *Zn*-Platte an, so kann man auch bei ziemlich wenig empfindlichen Elektroskopen den Volta'schen sogenannten Fundamentalversuch vorführen.

Der geringe Zeitverlust, den das Aichen eines Elektroskopes (bezw. eines entsprechend construierten Elektrometers) macht, wird beim Unterricht durch die Bequemlichkeit des Gebrauchs, indem man Rechnungen vermeidet, reichlich wieder eingebracht.

Der in ähnlicher Weise verwendbare, sehr bequeme Exner'sche Condensator (vergl. *d. Zeitschr. I. 1888, S. 169*) wird sich, seines hohen Preises wegen, wohl nur in wenigen physikalischen Schul-Kabinetten Eingang verschafft haben. Er wirkt nur gut, wenn er sehr genau gearbeitet ist.

Ein Kunstgriff beim Torricelli'schen Versuch.

Von Dr. **Fr. C. G. Müller** in Brandenburg a./H.

In folgender Weise kann eine so vollkommene Leere erzeugt werden, dass beim Neigen der Röhre das Quecksilber mit scharfem Metallklang oben anschlägt. Man führt zunächst den Versuch aus wie gewöhnlich, schliesst dann die Röhre unten mittelst des Fingers oder eines Kautschukstopfens, hebt sie aus dem Gefäss und legt sie, immer im fest geschlossenen Zustande, horizontal. Jetzt bleibt ein Stück fast leeren Raumes in der Röhre und man kann es durch ganz schwaches Neigen und kleine Stösse in der Längsrichtung dahin bringen, dass sich alle Bläschen der bereits hochverdünnten Luft nach dem offenen Ende zu bewegen. Hierauf lässt man die Öffnung wieder frei und giesst mittelst eines bis aufs Quecksilber hinabreichenden Trichterrohres den Rest des Rohrs wieder voll und kippt dasselbe vom neuenunter Quecksilber um. Ich bemerke, dass sich das nämliche Verfahren bei geeigneten Vorkehrungen auch zur Füllung von Barometern verwenden lässt. Ebenso ermöglicht es, das Auskochen des Barometers im Vakuum vorzunehmen.

Berichte.

I. Apparate und Versuche.

Das Aneroid-Thermoskop. Von G. KARSTEN. Dieses neue Demonstrationsinstrument gründet sich auf die Verwendung des Bourdon'schen Ringes, der bekanntlich auch bei den Dampfkesselmanometern und bei Immisch's sog. Metallthermometern benutzt wird. Um einen mit Luft gefüllten Aneroidring für Wärmeanzeigen brauchbar zu machen, wird an den inneren Luftraum eine Röhre angesetzt, über welche luftdicht schliessend ein starkwandiger Gummischlauch gezogen werden kann (Fig. 1). Dieser Schlauch ist in der Regel mit einer Hohlkugel aus Glas oder Metall verbunden, welche den thermischen Änderungen unterworfen wird. Es ist zweckmässig, die Ansatzröhre T-förmig zu gestalten, damit das Aneroid nach Belieben durch einen Hahn mit der äusseren Luft in Verbindung gesetzt werden kann. Die Formänderung des Aneroids erfolgt bei zunehmender Wärme in demselben Sinne, wie bei fallendem Luftdruck, und bei abnehmender Wärme wie bei steigendem Luftdruck. Die Temperaturänderung von 1° C. entspricht einer Änderung des Luftdrucks von nahezu 3 mm. Da die gewöhnlichen Aneroide nur Luftdruckänderungen bis zu 160—180 mm anzeigen, so werden sie auch nur Temperaturunterschiede von höchstens 60° angeben können. Durch passende Übertragungen lässt es sich aber einrichten, dass der Zeiger mehrmals umlaufen kann und für 1° Wärme eine grössere Winkelbewegung erhält. Auch gewöhnliche Aneroide lassen sich für Temperaturen über 60° verwenden, indem man durch Ansaugen am Seitenrohr bei 60° erst eine Verdünnung der Luft bis zu der Anfangsstellung (die dem höchsten Barometerstand entspricht) herbeiführt und dann den Hahn schliesst. Umgekehrt würde man für den Nachweis sehr tiefer Temperaturen die Luft im Aneroid erst verdichten. Für Vorlesungszwecke kann man durch Anbringung einer grossen Teilscheibe und eines leichten Zeigers schon geringe Änderungen sichtbar machen (Fig. 2). Durch Vergleich mit einem guten Thermometer endlich wird das Thermoskop kalibriert; die Empfindlichkeit geht von 5,2 Winkelgraden für 1° C. bis auf 10 Grad und darüber. Doch empfiehlt es sich, die Teilung nicht nach Wärmegraden, sondern nach Winkelgraden auszuführen und den Wärmewert von 1° der Kreisteilung bei der jedesmaligen Vorbereitung des Apparates durch einen leicht ausführbaren Vorversuch zu ermitteln.

Für folgende Versuche hat sich das Instrument brauchbar erwiesen: Nachweis der Wärmeunterschiede im geheizten Zimmer, unter Verwendung einer grossen Kugel von 10 cm Durchmesser, die durch einen langen dünnen Schlauch mit dem Thermoskop verbunden ist und leicht an die verschiedenen Stellen des Raumes gebracht werden kann, während das Thermoskop an seinem Platze bleibt. — Mechanische Wärmeerregung durch Reiben zweier Körper, etwa Holz und Kork, gegen einander, oder durch Hämmern einer Bleikugel, oder auch durch Reibung im Puluj'schen Apparate. — Kälteerregung durch Verdünnung der Luft (in der Luftpumpe), Wärmeerregung durch Verdichtung. — Wärme beim Mischen von Flüssigkeiten. — Konstanz der Temperatur beim Schmelzen und Sieden. — Erhöhung der Siedetemperatur in den tieferen Schichten der siedenden Flüssigkeit. — Kälte beim Lösen von Salzen. — Wärme bei Hydratbildung (Befeuchten von gebranntem Kalk). — Wärme beim Erstarren (unterschwefligsaures Natron). — Kälte durch Verdunstung. — Mischungstemperatur. — Wärmestrahlung. —

Besondere Modifikationen ergeben sich bei dem Nachweis der verschiedenen Leitungsfähigkeit (Fig. 3). Zwei gleich starke und gleich lange Metalldrähte sind in eine zu erwärmende Metallkugel eingeschraubt und endigen andererseits in Ringen, in welche die Kugeln

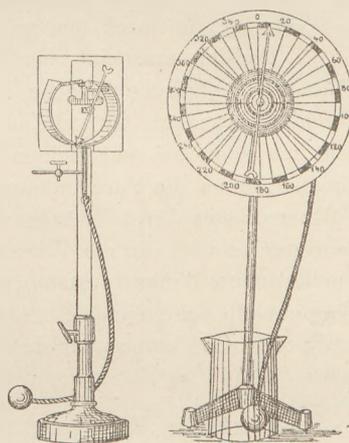


Fig. 1.

Fig. 2.

zweier Thermoskope passen. Es wird die Zeitdauer zur Erwärmung der letzteren beobachtet. — Auch die Wärme im Schliessungsbogen der Leydener Flasche lässt sich leicht zeigen, indem man die Kugel des Riess'schen Luftthermometers unmittelbar mit dem Thermoskop verbindet. Das genaue Gesetz für die Erwärmung lässt sich überraschend leicht nachweisen. Man erkennt, dass der Riess'sche Apparat hierbei des Capillarrohrs und der Skala entbehren kann; es genügt eine an zwei gegenüberliegenden Stellen tubulierte Kugel, die an einer dritten Stelle ein Ansatzrohr für den Schlauch hat. Man kann ohne grossen Aufwand mehrere solche Kugeln beschaffen und nach Einsetzung von Drahtspiralen aus verschiedenen Metallen den Zusammenhang von Wärmeentwicklung und Widerstand darthun. Dieselbe Vorrichtung ist auch für den Nachweis der Wärmeentwicklung durch den galvanischen Strom mit Vorteil zu verwenden.

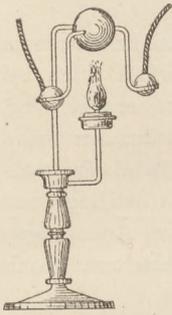


Fig. 3.

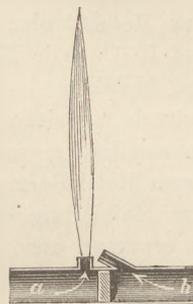
Endlich erscheint das Thermoskop auch zur Fernmeldung eines Wärmezustandes selbst für technische Zwecke verwendbar. Da die Wirkung auf das Aneroid von dem Verhältnis abhängt, in welchem das Volumen der Kugel zu dem Innenraum des Aneroids steht, so kann bei sehr kleiner Kugel selbst eine sehr hohe Temperatur noch zur Wirkung kommen, ohne die Formänderung des Aneroids übermässig zu steigern. Auch wegen des Wärmeverlustes durch Leitung wird die von dem Thermoskop angegebene Temperatur eine niedrigere sein als die der Wärmequelle, aber es wird sich bei gleich bleibenden Umständen eine bestimmte Beharrungstemperatur herstellen, welche mit der Änderung der Temperatur der Wärmequelle sich gleichfalls ändern wird und daher einen Schluss auf diese gestattet. Ähnlich würde sich die Temperatur einzelner Räume eines Gebäudes nach einer Centralstelle melden lassen. (*Schriften des naturw. Vereins für Schleswig-Holstein, Bd. VIII, Heft 1, 1889.*)

Künstliche Erzeugung von Sonnen- und Mondringen. Nach einer Bemerkung Herschels hat Brewster künstliche Ringe hervorgerufen, indem er die Sonne durch ein Glas betrachtete, welches mit Alaunkrystallen bedeckt war. CORNU fand (*C. R. 1889, No. 9; vergl. Meteorol. Ztschr. 1889, Heft 5*) bei Wiederholung des Versuchs, dass die Ringe nur schwach sichtbar sind und den Sonnenringen nicht sehr gleichen. Bessere Ringe erhielt er, wenn er eine gesättigte Alaunlösung in kleinen Portionen filtrierte, während der Abkühlung auf einer Glasplatte schüttelte, und dann mit Sorgfalt auf der Platte eindampfte. Noch vollkommenere Resultate erzielte er durch Anwendung einer Flüssigkeit, in welcher die ausgeschiedenen Alaunkrystalle frei schweben und daher jede beliebige Lage einnehmen, wobei überdies das Brechungsverhältnis zwischen der Flüssigkeit und den Alaunkrystallen mit demjenigen von Luft zu Eiskrystallen übereinstimmt. Man verwendet zu dem Zweck einen Glastrog mit parallelen Wänden im Abstände 15—20 mm; in dieses Gefäss bringt man eine kalte gesättigte Lösung von Alaun in Wasser und fällt Alaunkrystalle durch Zusatz von schwachem Alkohol (10 bis 15 % vom Volum der Alaunlösung), indem man einige Minuten lang schüttelt. Die Alaunkrystalle erscheinen dann in der Flüssigkeit glitzernd wie Eiskrystalle in der Luft. Betrachtet man nach nochmaligen starkem Schütteln durch diese Lösung eine Lichtquelle, so sieht man anfänglich einen dichten Nebel; sobald aber die grösseren Krystalle zu Boden gesunken sind, tritt ein Ring von 22° Durchmesser auf, allmählich auch der von 46° Durchmesser. Die Erscheinung ist so lichtstark, dass sie auch objektiv dargestellt werden kann. Die Halbmesser der Ringe stimmen fast genau mit den aus den Krystallwinkeln berechneten Minimalablenkungen überein.

Um auch die Kreise der Nebensonnen und diese selbst hervorzurufen, genügt es, mit dem Finger auf frischem Wachs zu reiben und dann mit diesem Finger einen Strich über das Glas zu machen. Zur objektiven Darstellung stellt man Glasröhren, welche das Licht senkrecht reflektieren, in den Gang der Lichtstrahlen.

Ein Brenner für akustische Versuche. Von G. FORCHHAMMER. Der Brenner ist bereits in dieser Zeitschrift (*II, 302*) bei Gelegenheit des Phonoskops erwähnt worden;

eine ausführlichere Beschreibung findet sich in der *Mekanisk Fysik* von Petersen und Forchhammer, der die beistehende Skizze entnommen ist. Der Forchhammersche Brenner lässt sich ebenso wie derjenige von König benutzen, um Tonschwingungen objektiv sichtbar zu machen. Bei dem Königschen Brenner wird die Flamme durch Druckschwankungen abwechselnd verlängert und verkürzt. Bei dem Forchhammerschen Brenner strömt das Gas unter vollkommen gleichbleibendem Druck aus und brennt mit kleiner und spitzer Flamme; gegen die Basis der Flamme ist schief von unten her die Mündung eines Röhrchens gerichtet, das mit einem Resonanzrohre oder einem Rohre, welches die Schallschwingungen fortleitet, in Verbindung steht. Die vorwärtsschreitenden Schallschwingungen führen der Flamme durch das Röhrchen so viel Luft zu, dass sie ihre Leuchtkraft verliert (analog dem Bunsenschen Brenner), während die zurückkehrenden Schallschwingungen die Flamme wieder aufleuchten lassen. Dem „hoch und niedrig“ beim Königschen Brenner entspricht bei dem Forchhammerschen also ein „dunkel und hell“; dieses in Verbindung mit der constanten Drehungsgeschwindigkeit bedingt die Wirkungsweise des Phonoskopes. [Man vergleiche hierzu den einfachen akustischen Versuch *Heft 1, S. 38.*]



v. F.-B.

Der Fundamentalversuch über spezifische induktive Kapazität. In GANOT'S „Physik“ und vielen anderen Lehrbüchern wird der Fundamentalversuch wie folgt beschrieben: Oberhalb des Knopfes eines Goldblattelektroskops sei in einem bestimmten Abstände eine geladene Kugel angebracht, so dass die Goldblättchen durch Influenz divergieren. Schiebt man eine Platte von Schwefel oder Schellack zwischen die Kugel und das Elektroskop, so wird der Ausschlag grösser. In der *Nature* (Nov. 7, 1889) giebt ein Einsender an, er habe das entgegengesetzte Resultat erhalten, als er den Knopf einer geladenen Leydener Flasche zwischen zwei Metallplatten stellte, deren jede mit einem Elektroskop verbunden war, und darauf zwischen den Knopf und die eine Metallplatte eine Ebonitplatte einschob. Nur in dem Fall, dass das Elektroskop durch Influenz geladen wurde, will er bei Zwischenschiebung eines Dielektrikums einen grösseren Ausschlag wahrgenommen haben. In einer Erwiderung (*Nature*, Nov. 14, 1889) weist OLIVER L. LODGE darauf hin, dass der Versuch besser mit zwei isolierten parallelen Metallplatten angestellt wird, von denen die eine mit dem Elektroskop, die andere mit einer schwach geladenen Leydener Flasche verbunden ist. Bei der vorher beschriebenen Anordnung spielt das Grössenverhältnis der Platte und des Knopfes eine Rolle, auch muss darauf geachtet werden, dass die Platte an einem langen Isolator befestigt ist und der Arm des Experimentators nicht durch seine Nähe eine Nebenwirkung verursacht.

2. Forschungen und Ergebnisse.

Über Spannungsgesetze der Gase. E. DÜHRING („*Neue Grundgesetze zur rationellen Physik und Chemie*“ 1. Folge 1878 und 2. Folge 1886) und VAN DER WAALS („*Die Continuität des gasförmigen und flüssigen Zustandes*“, deutsch von F. Roth 1881) haben diesen Gegenstand von wesentlich verschiedenen Gesichtspunkten behandelt. — DÜHRING erweitert den Satz von der Unzerstörbarkeit der Kraft, indem er die Einerleiheit aller Kräfte und deren Verteilung im Raume ausspricht. Thatsachen zur Begründung sind die Verwandlung der lebendigen Kraft in Energie der Lage, das Wirkungsfeld der Massen, die Abhängigkeit der kosmischen Entfernungen der Körper von den Massenverhältnissen und die Gleichwertigkeit der lebendigen Kraft (resp. der ihr entsprechenden Fliehkraft) der Himmelskörper mit der Gravitation. Weitergehend kann man den Äther oder sonst einen materiellen Träger der Kräfte als Verbindungsform ansehen, von der die räumlichen Wirkungsformen bestimmt werden. Das Äusserste wird aber in dieser Vorstellungsart erst erreicht, wenn der Raum selbst als eine wirkende Vermittlungs- oder Bestimmungsart erkannt, der Raum selbst als eine „Maschine“ aufgefasst wird. Nach dieser Auffassung sind die Abweichungen

der Gasspannungen vom Mariotte'schen Gesetze bei hohen Drucken darin begründet, dass die Kraft nicht in dem von den Molekülen erteilten, sondern in dem zwischen ihnen befindlichen Raume zu suchen ist. Das Gesetz lautet: $p(v-x) = p'(v'-x)$, wenn x das Molekülvolumen bedeutet. Die Versuche von Natterer und Amagat bestätigen das Gesetz. Das Molekülvolumen des H ist $1/1600$, des O $1/1100$ von dem Volumen bei 1 Atmosphäre und $0^\circ C$. Die Richtigkeit des Gesetzes spricht zugleich für das Vorhandensein der Atome und Moleküle. — Auch bei dem Satze von Avogadro ist das „Zwischenvolumen“ in Betracht zu ziehen. Wenn man ein Gas bis zum Condensationspunkt abkühlt oder zusammendrückt, so nimmt sein Volumen in dem Maasse ab, als einzelne Moleküle zu neuen Molekülgruppen zusammentreten, so bildet CO_2 Doppelmoleküle bei -78° , es tritt eine Halbierung desjenigen Volumens ein, welches nach dem Gay-Lussac'schen Gesetze zu erwarten wäre. Das Dalton'sche Gesetz der Partialdrucke bei Gasmischungen ist nicht im Einklange mit der Vorstellung, die man sich über gepresste Flüssigkeitsmischungen und über Zusammendrückung von Metalllegierungen macht; es ist im Widerspruch mit dem angegebenen Zwischenvolumen-Gesetz. Das richtige Gesetz der Gasmischungen müsste lauten: Das Volumen des Gemisches ist der Summe der Volumina der Bestandteile unter dem nämlichen Drucke gleich. Darnach kommt dem Taupunkte bei hygrometrischen Messungen eine andere, als die gewöhnliche Bedeutung zu. Es steht der Wasserdampf unter demselben Druck wie die Luft und der Taupunkt kann dazu dienen, das Gewicht des Dampfes in der Raumeinheit zu berechnen. Der Taupunkt $10^\circ C$. giebt an, dass 1 cm^3 $0,0093\text{ mg}$ Wasserdampf enthält; dies ist der Fall rings um die Thermometerkugel des Hygrometers. Der übrige Raum enthält bei $20^\circ C$. nach Gay-Lussac's Gesetz $0,009\text{ g}$ pro Liter. Der Procentgehalt wäre 53. Auch bei August's Psychrometer sind Dampf-mengen anstatt Spannungen zu nehmen; da die beiden Grössenarten nahezu proportional sind, so bleiben die bisherigen Berechnungen gültig. —

VAN DER WAALS geht von der kinetischen Theorie aus. Die Körpermoleküle bilden darnach ein in stationärer Bewegung begriffenes System, für welches der Clausius'sche Satz gilt, dass die mittlere lebendige Kraft dem Virial gleich sei. Der Satz liefert die Gleichung $\Sigma \frac{1}{2} m V^2 = \frac{3}{2} N \cdot v$. Hierin ist N die Kraft auf der Einheit der Oberfläche; für sogenannte vollkommene Gase ist diese der äussere Druck p ; für Flüssigkeiten ist sie die Cohäsion, welche sich ebenfalls als Oberflächendruck geltend macht, indem sich die Kräfte im Innern gegenseitig aufheben; für Dämpfe ist N die Summe der Cohäsion und des äusseren Druckes. Der Molekular-Druck ist dem Quadrate der Dichte direkt oder dem Quadrate des Volumen umgekehrt proportional; es wird $N = p + a/v^2$. Das scheinbare Volumen v ist wegen der Bewegung der Moleküle und wegen des Molekülraumes um das vierfache Molekülvolumen b zu verkleinern; der Bewegungsraum ist $(v - 4b)$. Die lebendige Kraft wird der Temperatur proportional gesetzt: $\Sigma \frac{1}{2} m V^2 = \Sigma \frac{1}{2} m V_0^2 (1 + \alpha t) = R(1 + \alpha t)$. Die Isotherme gewinnt hierdurch die Gleichung: $(p + a/v^2)(v - 4b) = R(1 + \alpha t)$. Die Gleichung stimmt sehr nahe mit einer empirischen Formel Regnault's überein; sie bestimmt die Spannungs- und Ausdehnungsgesetze. Der Spannungscoefficient $\alpha_p = (p_t - p_0)/p_0 \cdot t = (1 + a/p_0 v^2) \alpha$ ist von der Temperatur unabhängig; durch Multiplikation desselben mit der Temperatur erhält man die Spannungsänderung. Bei constantem Volumen giebt somit die Spannung ein Temperaturmaass. Die Gleichung dient zur Berechnung von a (für CO_2 $0,0115$, für Luft $0,0037$). Jede durch die Grundgleichung bestimmte Isotherme giebt für eine gewisse Temperatur ein Bild der Beziehungen zwischen Druck und Volumen im flüssigen und dampfförmigen Zustande. Von der Temperatur an, für welche die Gleichung drei gleiche Wurzelwerte für v liefert, nähern sich die Isothermen immermehr der Form der gleichseitigen Hyperbel; einem bestimmten Drucke p entspricht dann nur ein Wert v und besteht der Körper nur mehr in einem, dem gasförmigen Zustande. Die Temperatur, von welcher an dies stattfindet, heisst nach Andrews die kritische Temperatur. Nur unterhalb dieser kann ein Dampf durch Druck flüssig gemacht werden. Die Form der Gleichung im kritischen Zustande ist $(v - v_1)^3 = 0$; aus den Bedingungen

hierfür erhält man für die kritische Temperatur t_1 , den kritischen Druck p_1 und das kritische Volumen v_1 die Werte: $(1 + \alpha t_1) = 8a/27(1 + a)(1 - b)b$; $p_1 = a/27b^2$ und $v_1 = 3b$. Aus den kritischen Grössen lassen sich a und b oder umgekehrt berechnen. t_1 ist für CO_2 nach Andrews $31,1^\circ C.$, berechnet $32,5^\circ C.$, für Luft $-158^\circ C.$ u. s. w. Wird aus den Daten für den kritischen Zustand die Constante a berechnet, so lässt sich darnach der Molekulardruck $\alpha = a/v^2$ gewinnen; derselbe ist für Äther bei $0^\circ C.$ gleich 1310 Atm., für Weingeist 2330 Atm., für CS_2 2975 Atm. Auch für Gase verschwindet der Cohäsionsdruck nicht und es besteht kein Grund, von einem vollkommenen Gase zu sprechen. Thatsächlich haben auch Thomson und Joule bei der Ausdehnung der Luft eine innere Arbeitsleistung nachgewiesen. Die Bedeutung der VAN DER WAALS'schen Gleichung wird wesentlich erweitert, wenn man Druck, Volumen und Temperatur in Einheiten der betreffenden kritischen Grössen ausdrückt; man erhält $(p + \frac{3}{v^2})(3v - 1) = 8t$. Hierin sind keine dem Körper eigentümliche Constanten vorhanden; die Gleichung gilt für alle Flüssigkeiten und Gase gleichzeitig und ebenso allgemein gelten die Schlüsse. Es folgt daraus auch ein Gesetz der correspondierenden Siedetemperaturen. U. DÜHRING hat ein solches in anderer Weise dargestellt. (*Neue Grundgesetze I., 1878.*) —

E. DÜHRING entwickelt eine für alle Körper und Aggregatzustände gültige Zustandsgleichung durch Erweiterung des Mariotte-Gay-Lussac'schen Gesetzes. Dieses Gesetz bildet den Ausgangspunkt einer Wärmestatik. Hiernach ist der Spannungszuwachs eines im Grenzzustande betrachteten Gases dem Temperaturzuwachs streng proportional; bei Erschöpfung aller Spannung ist die Temperatur auf den absoluten Nullpunkt herabgesunken. Es ergibt sich der Satz, dass die Temperatur ein statischer Kraftfaktor sei. Die Temperatur ist mit der Spannung nicht einerlei zu setzen; ihr physikalisches Wesen kann gleich dem der Schwere unbestimmt bleiben; Temperatur und Spannung sind proportional. Dieser Satz vermag den von Clausius nach dem Carnot'schen Principe gebildeten zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie zu ersetzen. Die Zustandsgleichung wird wie folgt gewonnen. Statt des Volumens v ist das Zwischenvolumen $(v - \alpha)$ zu setzen; bei flüssigen und festen Körpern tritt zu dem äussern Druck p noch die Cohäsion z hinzu. Der Wärmedruck hat der Kraft $(p + z)$ das Gleichgewicht zu halten und ist proportional der absoluten Temperatur. Der Proportionalitätsfaktor R zeigt sich bei Anwendung auf Versuchsreihen nicht als constant, weshalb dafür das Produkt aus einer für alle Körper gleichen Constante b mit der veränderlichen Molekülzahl n gesetzt wird. Dies ist in Übereinstimmung mit dem Gesetze von Avogadro, das zugleich erweitert wird und folgende Form annimmt: Bei der Gleichheit von Zwischenvolumen, Druck und Temperatur, und zwar nicht bloss in den Gasen, sondern überhaupt in den Körpern, ist die Anzahl der Moleküle immer die nämliche. Die allgemeine Zustandsgleichung heisst demnach: $(p + z)(v - \alpha) = n \cdot b \cdot T$. Reduciert auf ein Molekül giebt die Gleichung das Gesetz für die Gasmischungen, beziehungsweise das Gesetz der Partialvolumina. Die Gleichung gestattet in Verbindung mit dem Spannungscoefficienten einen Grenzwert für den inneren Druck $(p + z)$ zu berechnen; derselbe ist für Hg 16827 Atm., für Cu 11024 Atm. Durch Zuziehung des Ausdehnungscoefficienten und des Satzes von Avogadro erhält man Grenzwerte für das Molekülvolumen (für Hg $\frac{19}{20} v$, Cu $0,986 v$), Molekulargewicht und Atomzahl der Moleküle. Die Moleküle der festen Körper bestehen demzufolge aus mehr als einem Dutzend Atomen. Die Ausdehnungscoefficienten, bezogen auf das Zwischenvolumen, sind bei allen Körpern nahezu einander gleich.

H. Jamuschke.

Das Fluor. HENRY MOISSAN hat mit Hilfe des bekannten Verfahrens (Elektrolyse wasserfreier Fluorwasserstoffsäure in einem aus Platin gefertigten U-Rohr, *d. Ztschr. I., 171*) grössere Mengen von reinem Fluor dargestellt. Um das Gas von mitgerissener Fluorwasserstoffsäure zu reinigen, wurde es durch eine mit Hilfe von Methylchlorid auf -50° abgekühlte Platinspirale und dann durch eine mit entwässertem Fluornatrium beschickte U-Röhre aus Platin geleitet. Das so gereinigte Gas raucht nicht an trockner Luft, zersetzt aber Wasser momentan nach der Gleichung:



Das hierbei gebildete Ozon ist so concentrirt, dass es die blaue, von Hautefeulle am flüssigen Ozon entdeckte Farbe zeigt (das erste Beispiel der Gewinnung von so concentrirtem Ozon bei gewöhnlicher Temperatur). Die physikalischen Eigenschaften des Fluors hat MOISSAN untersucht, indem er es in eine Platinröhre von 1 Meter Länge einschloss, die an beiden Enden durch völlig durchsichtige Platten aus Flussspat verschlossen war. Das Gas zeigte eine grünlichgelbe Farbe, die der des Chlors ähulich, aber weniger intensiv ist und mehr ins Gelbe spielt. Die Spektraluntersuchung hat dreizehn Linien im Rot ergeben. Durch direkte Wägung in Platingefässen wurde die Dichte des Fluors im Mittel von drei Bestimmungen gleich 1,265 gefunden. Die theoretische Dichte ist 1,316. (C. R. 109, 861; 1889.)

3. Geschichte.

Versuche über Aktion und Reaktion mit Hilfe der Brückenwage. Die Untersuchungen, welche TH. SCHÖNEMANN, weiland Mathematiker am Gymnasium zu Brandenburg a. H., an die Brückenwagen geknüpft hat, sind noch neuerdings Gegenstand des Interesses gewesen, als die Priorität dieser Untersuchungen von allgemein geometrischem Charakter gegenüber neueren französischen Arbeiten ähnlichen Inhalts festgestellt wurde (vergl. Crelle's *Journal*, Bd. 90, S. 39—48). Auch die Abhandlung „Über den Gebrauch empfindlicher kleiner Brückenwagen für physikalische Zwecke“ (*Grunert's Archiv f. Math. u. Phys.* XXIV, 1855) verdient im Zusammenhange mit dem kürzlich in dieser Zeitschrift erwähnten Galilei'schen Versuch (*Heft II*, S. 92) noch heut volle Beachtung. Der Hauptversuch SCHÖNEMANN'S besteht in Folgendem: Zwei bewegliche Rollen werden auf zwei mit Fussgestellen versehenen Säulen angebracht und die eine dieser Säulen mit der Platte einer kleinen Brückenwage fest verbunden, während die andere etwa 1 m entfernt von der Brückenwage aufgestellt wird. Die Rollen werden so gerichtet, dass ihre höchsten Punkte in gleicher Höhe liegen und dass die Ebenen der beiden Schnurrinnen in dieselbe vertikale Ebene fallen. Über die Rollen wird ein Faden geführt und beiderseits mit gleichen Gewichten belastet. Von diesen beiden Gewichten wirkt nur das zur näheren Rolle gehörige (α) drückend auf die Brückenwage, während das entferntere (β) einen horizontalen Zug auf die Schnur ausübt, der an der Brückenwage nicht zur Wirkung gelangt. Man kann daher bei festgemachtem α das Gewicht β beliebig vergrössern, ohne dass eine Einwirkung auf die Zunge der Wage sichtbar wird. Befestigt man α nicht und vermehrt β um ein Zusatzgewicht δ , so dass $\beta + \delta$ sinkt und α steigt, so zeigt sich ein Ausschlag, als ob α vergrössert würde, worauf die Wage bei längerem Fall in Oscillationen um eine gewisse Gleichgewichtslage gerät. Legt man dagegen zu jedem Gewicht α und β ein gleiches Übergewicht δ , tariert die Wage, und nimmt dann das Gewicht δ von $\beta + \delta$ fort, so fällt das Gewicht $\alpha + \delta$ und gleichzeitig zeigt der Ausschlag der Wage eine Verminderung des Druckes an. Endlich lässt sich auch experimentell zeigen, dass ein Gewicht, welches sich geradlinig mit constanter Geschwindigkeit bewegt, keine neue Druckkraft entwickelt. Zu dem Ende hemmt man die Brückenwage durch eine gegen die Brückenwand gelehnte, leicht abstellbare Hebelvorrichtung, legt auf β ein überragendes kleines Übergewicht und hebt dies durch einen Ring wieder ab, nachdem es zusammen mit β eine kurze Strecke gefallen ist. Macht man gleichzeitig die Wage durch einen Druck auf den Hebel frei, so ändert sie bei der jetzt eintretenden constanten Geschwindigkeit von α ihre Normalstellung nicht, sondern giebt diese erst bei dem darauf erfolgenden unvermeidlichen Stosse auf. Befindet sich ein Mensch auf der Brücke der Wage und erhebt sich, so kann dies nicht ohne Beschleunigung seines Schwerpunktes nach oben geschehen, deshalb zeigt die Zunge der Wage eine Vermehrung des Druckes an, als ob der Mensch momentan schwerer würde. Senkt er sich, so findet zunächst das Umgekehrte statt. Die Oscillationen, in die eine Wage gerät, wenn ein Mensch scheinbar ruhig auf der Brücke steht, rühren von den Veränderungen seines Schwerpunktes her, die mit dem Atmen verbunden sind.

Um die Vorgänge beim Stoss unelastischer Körper zur Anschauung zu bringen, hängte SCHÖNEMANN an einer mit der Wage verbundenen Säule ein Gewicht p an, das er durch Abbrennen eines Fadens frei fallen liess. Während des Falles fand Druckverminderung statt, dann ein kurzer Stillstand und darauf Schwankungen, die von der Stellung der Wage im Augenblick des Stosses abhingen. Würde der fallende Körper vollkommen elastisch sein, so würde beim Aufstossen im Moment der grössten Zusammendrückung dasselbe eintreten wie beim unelastischen Stoss, dann würde der Körper wieder abspringen, eine Reaktion nach unten müsste eintreten und die Wage wieder in Ruhe sein, wenn der Körper p bis zur Anfangslage gestiegen ist. Besser geeignet für den Versuch ist eine elastische Feder, die an einem Gestell befestigt ist und in senkrechter Richtung Schwingungen ausführen kann. Das Gestell wird an der Brücke befestigt, die Feder durch einen Faden gespannt und durch Abbrennen des Fadens in Schwingung gesetzt. Bei raschen Vibrationen der Feder wird, wenn das Abbrennen des Fadens vorsichtig geschieht, kein Einfluss auf die Wage wahrgenommen. Bei langsamen Vibrationen kommt die Zunge der Wage auch in Bewegung, aber ihre Oscillationen entsprechen in ihrer Dauer mehr den Schwingungen der Feder als den Eigenschwingungen der Wage, bis sie nach und nach in die letzteren übergehen. Lässt man die Feder im Moment der grössten Geschwindigkeit gegen einen festen, mit der Brücke verbundenen Teil stossen, so dass die Bewegung plötzlich aufhört, so zeigen sich bei Wagen von grosser Empfindlichkeit fast keine Exkursionen der Zunge, wohl aber bei Wagen von geringerer Empfindlichkeit. (Im ersteren Fall ist der Trägheitswiderstand des Brückenkörpers nahezu constant, im letzteren wächst er beträchtlich mit dem Ausschlag, so dass der Gegenstoss eine andere Masse zu bewegen hat, als der ursprüngliche.) Lässt man endlich die Feder im Moment der grössten Geschwindigkeit gegen einen festen Körper stossen, der nicht mit der Wage verbunden ist, so beobachtet man jederzeit an der Brücke eine der Feder entgegengesetzte Geschwindigkeit. Es lässt sich zeigen, dass die Geschwindigkeit der Brücke und die aufgehobene der Feder in dem umgekehrten Verhältnis stehen müsse, wie die Massen der Brücke und der Feder. Am Schlusse der Abhandlung löst SCHÖNEMANN noch die Aufgabe, die Schwingungszeit einer Brückewage zu berechnen, wenn man nur die Schwere der Brücke, der Last, der Schale und des Gewichts in Rechnung zieht. P.

Zur Geschichte und Theorie der Volta'schen Säule. Nachdem Al. Volta in einem Briefe an Sir Jos. Banks vom 20. März 1800 die Konstruktion und die Wirkungen der nach ihm benannten Säule mitgeteilt hatte, wiederholten Carlisle, Cruikshank und Humphry Davy die Versuche; nach einigen Wochen schon machten Carlisle und Nicholson die Zersetzung des Wassers bekannt. H. Davy entwickelte im Zusammenhange damit die Theorie, dass der Strom durch die chemische Kraft unterhalten werde, und legte seine Ansicht in einer Abhandlung nieder, die vor der *Royal Society* am 20. November 1806 mitgeteilt und in dem *Phil. Transaction* von 1807 veröffentlicht wurde. Darin führt Davy aus: Wenn die Salzlösung zwischen den Metallplatten unzersetzbar wäre, so würden sich bei Verbindung der Endplatten die Elektricitäten einfach ausgleichen und das elektrische Gleichgewicht sich wieder herstellen. Nun zerfalle aber die Lösung in Bestandteile von entgegengesetzter elektrischer Energie, Sauerstoff und Säure würden vom Zink, Wasserstoff und Alkali vom Kupfer angezogen; es wird Zink aufgelöst und Wasserstoff in Freiheit gesetzt. Die negative Ladung des Kupfers und die positive des Zinks können sich daher von neuem herstellen, nur geschwächt durch die entgegengesetzte Energie, welche aus dem Contact des Alkalis mit dem Kupfer entspringt; der elektromotorische Prozess setzt sich daher fort, so lange die chemischen Veränderungen sich vollziehen können. Davy selber fügt hinzu, dass diese Theorie gewissermassen die Contacthypothese Volta's mit den neuerdings aufgetauchten Ansichten vom chemischen Ursprung des Galvanismus versöhne.

In derselben Abhandlung findet sich auch eine Erklärung der Elektrolyse, welche mit der Grotthuss'schen übereinstimmt. Die Abhandlung ist von Davy am 20. November 1806 vor der *Royal Society* gelesen und findet sich in den *Ann. de Chimie* vom 30. August 1807

veröffentlicht, während Grotthuss seine Theorie in denselben Annalen vom 31. Juli 1807 veröffentlichte. Es kommt daher Davy zwar nicht die Priorität, wohl aber der Ruhm der gleichzeitigen Urheberschaft zu.

4. Unterricht und Methode.

Der Physikunterricht auf der Unterstufe. Von Direktor Dr. BÖRNER ist als Probe aus einem beabsichtigten Lehrbuche der Experimentalphysik eine methodische Darstellung der Mechanik und Akustik für die Unterstufe veröffentlicht worden (*Pr. des Realgymnasiums zu Elberfeld, Ostern 1889, Pr. Nr. 451; 57 S. 8^o*). In den einleitenden Worten bekennt sich der Verfasser gleichfalls zu der immer weiter sich verbreitenden Überzeugung, dass eine Scheidung in zwei Stufen geboten sei. Hinsichtlich der Meinung, dass der ersten Stufe vorzugsweise die Induktion, der zweiten die Deduktion zuzuweisen sei, ist schon bei einer früheren Gelegenheit in dieser Zeitschrift (*Jahrg. II, 255*) einiges zur Verständigung vorgebracht worden. Was dem vorliegenden Leitfaden einen besonderen Charakter giebt, ist das bemerkenswerte Bestreben, die logische Aufeinanderfolge der Glieder einer Schlussreihe auch in der äusseren Form deutlich hervortreten zu lassen. „Der Durchschnittschüler ist in der Regel nicht im Stande, aus einer zusammenhängenden Darstellung die einzelnen Schlussglieder wieder herauszufinden und logisch zu ordnen, er entgeht nicht leicht der Gefahr, sich die Ergebnisse dogmatisch anzueignen und sich mit einer unvollständigen Beweisführung zu begnügen. Damit aber geht ein Hauptbildungsmoment der Physik, nämlich die klare und bewusste Einsicht in den Zusammenhang der Erscheinungen, verloren.“ Demgemäss ist der Stoff der beiden behandelten Abschnitte in „Begriffsbestimmungen“, „Erfahrungen“, „Versuche“, „Folgerungen“ gegliedert. Als „Gesetze“ sind nur die mit einem wirklichen „Beweis“ versehenen Sätze bezeichnet. Hier und da sind „Erläuterungen“, „Bestätigende Versuche“, „Anwendungen“, „Mitteilungen“ u. s. w. hinzugefügt. Solche scharfe Scheidungen erscheinen in der That geeignet, dem Schüler zur Klarheit über den Sinn und Wert der einzelnen Bestandteile seines physikalischen Wissens zu verhelfen. Ist indessen das Wort „Begriffsbestimmung“ nicht allzu scholastisch gewählt, wo es sich gerade um eine Wissenschaft nicht von Begriffen, sondern von Dingen handelt? Begriffsbestimmung der Luftpumpe: das ist doch gar zu — abstrakt. Ist ferner nicht die erwähnte Begriffsbestimmung von „Gesetz“ eine viel zu enge? Und sollte nicht überhaupt mit der jedesmaligen vollen Befügung der betreffenden Kategorie schon des Guten zuviel gethan und gerade der fruchtbarste Teil des physikalischen Denkens dem Schüler erspart sein? Maassvoller ist das Vorgehen von Sumpf, der wichtigere Unterschiede nur durch den Druck sichtbar macht.

Der Abschnitt über die Mechanik umfasst die allgemeinen Eigenschaften, die mechanischen Grundbegriffe, die einfachen Maschinen, Schwerpunkt, Fall und Wurf, Pendel, Centralbewegung; aus der Mechanik flüssiger Körper die Fortpflanzung des Drucks, Boden- und Seitendruck, Archimedisches Prinzip und Schwimmen, Molekularverhältnisse flüssiger Körper; aus der Aeromechanik das Gewicht der Luft, Luftdruck und Mariotte'sches Gesetz nebst Anwendungen beider, endlich Absorption und Diffusion. Überraschend ist, dass bei den einfachen Maschinen das „induktive Prinzip“ verlassen und der Deduktion aus dem Energieprinzip der Vorzug gegeben ist. Es ist gewiss ein Anlass zu ernster Erwägung, wenn ein Schulmann von langjähriger Erfahrung und mit ersichtlicher Abneigung gegen allen Dogmatismus zu dem Schlusse gelangt, von den verschiedenen Arten der Behandlung habe er diese als die einfachste und fruchtbringendste erprobt. Referent kann aber nicht umhin zu gestehen, dass er auch durch die hier dargebotene Darstellung nicht von der Brauchbarkeit dieses Weges überzeugt worden ist. Von allen erkenntnistheoretischen Einwänden gegen die Voranstellung des Energieprinzips mag abgesehen werden. Die Form aber, welche das Prinzip für den vorliegenden elementaren Zweck erhalten hat, scheint der Klarheit und dem Verständnis der Vorgänge doch nicht in dem Maasse förderlich zu

sein, wie die angeführte Äusserung des Verfassers erwarten lässt. Arbeit wird als die Überwindung eines Widerstandes durch eine Kraft definiert; dann ist der daran geknüpfte Grundsatz: „Die Arbeit, welche die Kraft leistet, ist gleich der Arbeit, welche der Widerstand erleidet“ — richtig verstanden eine blosse Identität, da die (am Widerstande) geleistete und die (vom Widerstande) erlittene Arbeit ein und dasselbe sind. In jeder, selbst der elementarsten Fassung des Energieprinzips müsste die Gleichheit der verbrauchten und der gewonnenen Arbeit zu finden sein; diese werden dann auch bei der Anwendung auf die einfachen Maschinen in Rechnung gezogen, aber ohne dass der vorausgeschickte Grundsatz dazu berechnete. Der bemerkte Übelstand liesse sich zwar mit Leichtigkeit abstellen; dann bleibt aber eine grössere, meines Erachtens unüberwindliche Schwierigkeit übrig. Wenn der Energiesatz dazu benutzt werden soll, Gesetze über das Gleichgewicht herzuleiten, so ist dabei stillschweigend das Prinzip der virtuellen Verschiebungen vorausgesetzt. P. REIS ist daher nur consequent, wenn er dieses Prinzip an die Spitze der elementaren Physik gesetzt sehen will, freilich ohne es hinreichend verdentlichen zu können. Der Zusammenhang zwischen dem dynamischen Prinzip der gewonnenen und verlorenen Arbeiten und den statischen Bedingungen des Gleichgewichts übersteigt eben, wenn er völlig klar erfasst werden soll, durchaus die Kräfte von Schülern der Unterstufe. Man lege den Schülern nur einmal die Frage vor: Was hat denn eine Bewegung, die an einem im Gleichgewicht befindlichen Hebel irgendwie hervorgerufen wird, mit den Bedingungen des Gleichgewichts zu thun? Dazu kommt, dass bei der Anwendung des Prinzips der virtuellen Verschiebungen es sich nicht um eine Bewegung „infolge eines Stosses“ von aussen, sondern um eine solche vermöge der Kräfte des Systems selbst handelt. Wie ist aber bei einem im Gleichgewicht befindlichen System eine Bewegung möglich? Die Diskussion dieser Fragen ist bekanntlich selbst für mathematisch geschulte Köpfe häufig mit Schwierigkeiten verknüpft und setzt eine gründliche Kenntnis des Verhaltens mechanischer Systeme in der Ruhe und in der Bewegung voraus. (An die Schwierigkeiten, welche in der Geschichte dieses Prinzips aufgetreten sind, sei nur nebenbei erinnert.) Vollends ist die wichtige Einsicht, dass bei Berechnung der Arbeit einer Kraft nur der Weg in Richtung der Kraft in Betracht zu ziehen ist, nicht durch eine beiläufige Bemerkung (S. 14) abzumachen und bliebe besser ganz weg, da ihre Bedeutung ohne die Kenntnis der Kräftezerlegung doch nicht klar zu erfassen ist. In Anbetracht der Schwierigkeit, welche es hat, selbst nur eine unanfechtbare elementare Darstellung des fraglichen Sachverhaltes zu geben, wird doch wohl darauf verzichtet werden müssen, dass derartige Herleitungen allgemeinere Einführung in den Unterricht der Unterstufe finden. Es scheint empfehlenswerter, sich bei den einfachen Maschinen auf die Feststellung des Thatsächlichen zu beschränken, wozu sich bei den Rollen und Flaschenzügen ein hinreichendes Verständnis der Wirkung fügen lässt, wenn man in üblicher Weise die Verteilung des Druckes auf die Seile in Betracht zieht. Beim Hebel ist die Herausarbeitung des Momentbegriffs von so fundamentaler Bedeutung, dass man sich mit diesem Ergebnis wird begnügen dürfen; es ist sogar von Vorteil, wenn die Erklärung der Hebelwirkung als Problem stehen bleibt. Das Wellrad wird sich aus dem Hebel, die schiefe Ebene (eventuell) aus der Kräftezerlegung begreiflich machen lassen. Der Vorwurf, dass die Versuche wegen der Reibung nur unzulängliche Resultate liefern, trifft in jedem Falle zu, gleichviel ob man von ihnen ausgeht oder sie nur zur Bestätigung benutzt. Der Schein einer „Täuschung“ wird vermieden werden können, wenn man auf den Einfluss der Reibung ausdrücklich hinweist und den Unterschied des gedanklichen Bildes von dem wirklichen Vorgang zu klarem Bewusstsein bringt. Auch ist es gewiss nützlich auf die Gleichheit der gewonnenen und verlorenen Arbeit bei den einfachen Maschinen hinzuweisen und so ein Verständnis des Energieprinzips vorzubereiten. (Vergl. Mach's *Mechanik*, S. 45 ff.)

In dem akustischen Teil ist der Stoff wesentlich nach dem Schema von „Versuch“ und „Folgerung“ geordnet; dabei ist eine Vollständigkeit in experimenteller Hinsicht angestrebt, welche das Maass des für die Unterstufe Geeigneten schon überschreitet. Dieses

Streben mag durch die Auffassung hervorgerufen sein, als müsse auf der Unterstufe, als der induktiven, das experimentelle Material so vollständig wie möglich absolviert werden, eine Auffassung, der ernstliche Bedenken entgegenstehen. Sicher bliebe zu überlegen, ob nicht mindestens die Lehre von den tönenden Luftsäulen, die ohne Betrachtung der stehenden Wellen doch etwas äusserliches bleibt, ebenso wie die Lehre von Klangfarbe, Consonanz und Dissonanz besser der Oberstufe vorzubehalten wären. Mit diesen Bemerkungen möge eine abweichende Auffassung angedeutet sein, ohne dass die Verdienste verkannt werden sollen, welche die vorliegende methodische Zusammenstellung in sich schliesst. P.

5. Technik und mechanische Praxis.

Das Photographieren ohne Linse. Die Herstellung von Photographieen unter Benutzung des durch eine enge Öffnung erzeugten Bildes ist neuerdings von dem französischen Genie-Kapitain Colson zum Gegenstande eingehender Studien gemacht worden. Wie LÉON VIDAL darlegt (*La Nature*, No. 863; 1889), hat diese Art zu photographieren sogar gewisse Vorzüge vor der gewöhnlichen; es bedarf dabei keiner Einstellung, verschieden weit entfernte Gegenstände werden mit gleicher Deutlichkeit wiedergegeben, und der Öffnungswinkel kann ausnehmend gross (120°) gemacht werden. Die Hauptschwierigkeit besteht in der Bestimmung der Expositionsdauer, wobei nicht bloss die Lichtstärke, sondern auch der Abstand der lichtempfindlichen Platte von der Öffnung und die Grösse der Öffnung zu berücksichtigen sind. Es bedarf deshalb einer Feststellung, in welcher Weise die Expositionsdauer, für eine bestimmte Art von Trockenplatten, von den drei genannten Faktoren abhängt. Nach einer vom Verfasser mitgetheilten Tabelle genügt bei einer Öffnung vom Durchmesser 0,3 mm, für die Focalabstände 5, 6, 7, 8, 9, 10 cm eine Expositionsdauer von 5, 7, 10, 13, 16, 20 Sekunden, wenn volles Sonnenlicht herrscht. Bei der Lichtstärke $\frac{1}{2}$ wachsen diese Zeiten auf das Doppelte, bei der Lichtstärke $\frac{1}{10}$ auf das Zehnfache an. Will man grössere Bilder erzielen, so bedarf es grösserer Focalabstände (bis zu 80 cm), für welche die Grösse der Öffnung successive (bis auf 0,7 mm Durchmesser) zu steigern ist; die Expositionsdauer wächst mit der Grösse des Bildes und beträgt z. B. bei einer Öffnung von 0,5 mm und einem Focalabstand von 40 cm in hellem Sonnenlicht 3 Min. 40 Sek. Bei allen diesen Angaben ist eine gewisse Art Trockenplatten (*plaque Lumière marque bleue*) zu Grunde gelegt, bei sehr empfindlichen Platten kann die Zeit auf die Hälfte herabgesetzt werden. Eine besondere Sorgfalt muss auf die Herstellung der feinen Öffnung verwandt werden; man wählt feines schwarzes Papier oder besser sehr dünnes Metallblech und sorgt dafür, dass die Öffnung keine aufgeworfenen Ränder hat. Die erhaltenen Photographieen zeigen weiche Contouren, in Nachbildungen von Holzschnitten oder Kupferstichen verschwindet die Strichelung und es treten dafür Halbtöne ein, die die Lichtunterschiede nicht weniger treu wiedergeben, als die Strich- oder Linienmanier des Originals. Die künstlerische Wirkung kann durch die erzielte grössere Weichheit sogar erhöht werden. Für die Aufnahme plastischer Werke von gewisser Tiefe, die bei der Benutzung von Linsen bekanntlich Schwierigkeiten machen, hat sich die auseinandergesetzte Methode ebenfalls vorzüglich bewährt, wie sie überhaupt überall da sich anwenden lassen wird, wo eine längere Exposition möglich ist und keine allzuscharfe Wiedergabe der Contouren verlangt wird.

[Hierzu teilt Herr Prof. H. W. VOGEL uns mit, dass er seit vierundzwanzig Jahren das Photographieren durch eine feine Öffnung alljährlich in seinen Vorlesungen zu zeigen pflegt. Neuerdings hat Prof. M. MÜLLER in Braunschweig solche Photographieen nach Landschaften gefertigt und Dr. MIETHE einen Aufsatz über „Abbildung durch feine Öffnungen“ in den „*Photographischen Mitteilungen 1886*“ veröffentlicht. Prof. VOGEL bezeichnet das Verfahren als eine hübsche Spielerei ohne praktische Bedeutung.]

Neu erschienene Bücher und Schriften.

Die Meteorologie, ihrem neuesten Standpunkte gemäss und mit besonderer Berücksichtigung geographischer Fragen dargestellt von Dr. Siegmund Günther, Professor an der Kgl. technischen Hochschule München. Mit 71 Abbildungen. München, Theodor Ackermann, Kgl. Hofbuchhändler. — 8°. 304 Seiten. M. 5,40.

Das Buch bietet eine Darstellung der Meteorologie im weiteren Sinne, mit Einschluss der Klimatologie und der optischen Erscheinungen, nach dem neuesten Standpunkte und in allgemein fasslicher Darstellung, welche unter Vermeidung mathematischer Formeln den historisch-literarischen Gesichtspunkt hervorkehrt.

Nach einer historischen Einleitung behandelt der Verfasser im ersten Hauptstück die Atmosphäre nach ihren geometrischen, chemischen, physikalischen Eigenschaften, beschreibt die Instrumente und giebt Andeutungen über die graphische und rechnende Methode zur Verwertung der Einzelresultate. Dass nach LAPLACE die Grenzhöhe der Luft am Äquator sich auf 5 bis 6 Erdradien beläuft, hätte zu der Gestalt des äussersten die Erde umgebende geschlossene Niveaufläche in Beziehung gesetzt werden sollen, denn diese Niveaufläche ist die äusserte mögliche Grenze der ruhenden Atmosphäre, die auch hier erwähnte scharfe Kante derselben am Äquator hat die von LAPLACE berechnete Höhe. Bei der Bestimmung der wirklichen Höhe der Luft aus der Dauer der Dämmerung ist es unzulässig, die Gleichheit zweier Winkel aus dem Reflexionsgesetze abzuleiten. Legt man für das Ende der Dämmerung durch den Beobachtungsort, den Erdmittelpunkt und die Sonne eine Ebene, so befindet sich in dieser das letzte Luftteilchen, welches noch im Lichte der für uns schon untergegangenen Sonne glänzt. Es liegt einerseits in unserm Horizont, andererseits so, dass es selbst von letzten, die Erdkugel berührenden Sonnenstrahlen getroffen wird. Folglich bilden die beiden Teile des von der Sonne über das Luftteilchen zu uns führenden Lichtweges mit der Grenzfläche der Atmosphäre gleiche Winkel, nicht aus optischen, sondern aus geometrischen Gründen.

Die Theorie der Instrumente ist nur in grossen Zügen entwickelt. Figuren einfacher Art sind besonders für ältere bekannte Instrumente beigelegt. Von einigen neueren Konstruktionen hingegen gewinnt man durch die blosse Beschreibung nur eine unklare Vorstellung, z. B. von dem Tiefsee-Thermometer, dem selbstregistrierenden Aneroid-Barometer. Die philologisch-historischen Notizen sind nicht immer zuverlässig. So wird der Name des Aneroid-Barometers von einem Worte *ἀντρος* = hohl, abgeleitet, welches nicht existiert, die wahre Etymologie führt bekanntlich auf *νηρός* = feucht, zurück. Ferner soll Réaumur gefunden haben, dass sich 1000 Teile Wasser von der Temperatur des Erstarrens bis zu der des Siedens um 80 Teile ausdehnen, und darauf seine Einteilung in 80° gegründet haben. Die Beobachtung Réaumur's bezieht sich jedoch auf verdünnten Weingeist, für den die Temperatur von 0° nicht die des Erstarrens ist.

Das zweite Hauptstück stellt im Anschluss an SPRUNG die Lehre von der Bewegung der Atmosphäre dar. Um die Entstehung von Luftströmungen aus lokaler Erwärmung abzuleiten, wird auf ein unendlich kleines Volumenelement der Luftmasse zurückgegangen. Da aber immer die Zustände eines Volumenelementes ebenso unbekannt sind wie die der benachbarten, und ihre Veränderungen sich gegenseitig beeinflussen, so lässt sich aus der Betrachtung des unendlich Kleinen nur durch Integration ein Gesetz über die endlichen Bewegungen ableiten, ein schwieriger bis jetzt noch nicht völlig gebahnter Weg. Hier wird dagegen mit einer *petitio principii* gesagt, wie man sich die Verteilung des Drucks in der Nachbarschaft zu denken habe, und daraus die Ausgabung der kalten Luftteilchen durch den aufsteigenden Luftstrom gefolgert, obwohl unter den auf das Luftpilchen wirkenden Kräften das Gewicht derselben nicht aufgeführt ist. Dieses Verfahren ist dem SPRUNG'schen Werke fremd, dort wird eine vollständige Einsicht in den Vorgang durch Veranschaulichung mittelst eines Versuchs gewonnen, der im wesentlichen schon in MÜLLER's „kosmischer Physik“ zu finden ist. Von zwei, mit Wasser gefüllten, oben offenen, unten communicierenden Röhren wird die eine durch Wasserdampf erhitzt und dann durch einen in die Öffnungen tauchenden Heber eine Flüssigkeits-Cirkulation vermittelt, die sich aus den (Integral-) Gesetzen des hydrostatischen Druckes begreifen lässt. Auch die Veränderung der Flächen gleichen Drucks wird so nachgewiesen.

Der Verlauf der Bewegungen in der Atmosphäre wird stark durch die Erdrotation beeinflusst. Diese sucht jede Bewegung auf der Erdoberfläche mit einer der Geschwindigkeit und dem Sinus der geographischen Breite proportionalen Kraft abzulenken, und zwar nach rechts auf der nördlichen, nach links auf der südlichen Halbkugel, so dass ein am Pol in Bewegung gesetzter

Körper, auf den keine Kräfte wirken, in 12 Stunden mit gleichförmiger Geschwindigkeit einen Kreis beschreiben müsste, in Berlin in 15 Stunden. Dass die Ablenkung vom Azimut unabhängig ist, schien anfangs paradox, da sehr einfache mechanische Betrachtungen, mit denen HADLEY den Passat erklärte, nur einen Teil jener Kraft erkennen liessen, der die Bewegung nur in soweit beeinflusste, als sie eine nach Norden oder Süden gerichtete Componente hatte. Seit dem Bekanntwerden der Arbeiten FERREL's (1858) wurde jedoch die wahre Grösse und Richtung der Kraft, die nur ein spezieller Fall der von CORIOLIS 1837 aufgefundenen Kraft der relativen Bewegung ist, allmählich in der Meteorologie anerkannt; dass dies nicht mühelos geschah, lassen viele Abhandlungen der meteorologischen Zeitschrift erkennen, auch heute noch findet man häufig falsche Ansichten, so würde nach MOHN's Meteorologie die oben erwähnte Kreisbewegung am Pol sich in 24 Stunden vollziehen, der ablenkenden Kraft ist also nur die Hälfte ihres Wertes beigelegt. In dem vorliegenden Buche wird nicht versucht, diese die Erdrotation ersetzende Kraft aus mechanischen Prinzipien, wenn auch nur qualitativ, begreiflich zu machen, es werden drei Autoren angeführt und zwar solche, die sich nach der allgemeinen Anerkennung des Satzes noch mit demselben beschäftigt haben, dann wird der Satz in der SPRUNG'schen Fassung mitgeteilt; dies reicht keinesweg aus, um „einzusehen, wie sehr DOVE im Unrecht war“, der nämlich den Satz nur in der unvollkommenen HADLEY'schen Gestalt kannte.

Aus der Erdrotation wird dann das Buys-Ballot'sche Gesetz über die Richtung der Luftbewegung in der Nähe eines Minimums erhalten, welches übrigens nur für schwache Luftbewegungen dasselbe aussagt, was DOVE für die Wirbelstürme der Tropen und der gemässigten Zone gefunden hatte. Nach MOHN werden schematische Bilder für die Luftbewegung um ein Minimum und ein Maximum herum mitgeteilt; warum die Bahnen der Luftteilchen in beiden Fällen nach entgegengesetztem Sinne gekrümmt erscheinen, wird nicht erörtert.

Des weiteren wird über die FERREL'sche Gesamt-Cirkulation der Atmosphäre nach SPRUNG referiert, doch muss dieser Abschnitt unverständlich bleiben, da wesentliche Grundlagen übergangen sind, und entgegenstehende Ansichten so vorgetragen werden, als ob sie einander stützten und ergänzten.

Der Verfasser spricht auch von einer Verwandtschaft der FERREL'schen allgemeinen Cirkulation und des DOVE'schen Winddrehungs-Gesetzes, aber bei DOVE handelte es sich um zeitliche Aufeinanderfolge der Winde an demselben Orte, bei FERREL um den Richtungssinn einer stationären drehenden Bewegung, unter deren Herrschaft beständig an demselben Orte derselbe Wind wehen würde. Dem DOVE'schen Gesetz von der Änderung der Windrichtung mit dem Uhrzeiger wird in der neueren Meteorologie nicht mehr dieselbe fundamentale Wichtigkeit beigegeben, wie früher. Hier wird es daraus abgeleitet, dass „zufällig“ die meisten Minima ihre Bahnen durch nördliche Gegenden nehmen, sollte sich dies aber einmal ändern, so wird nach dem Verfasser das DOVE'sche Gesetz seine Giltigkeit völlig einbüssen. — Wir finden in dem zweiten Hauptstück ausserdem noch eine Darstellung der Ansichten über Luft-Elektricität, Gewitter, den Einfluss kosmischer Ursachen, besonders der Sonnenflecke, auf unsere Luft, endlich eine Darstellung des Fortschreitens der Gewitter.

Das dritte und vierte Hauptstück behandeln die allgemeine und spezielle Klimatologie. Nach HUMBOLDT ist Klima zu definieren als Gesamtheit der Witterungszustände, von denen der menschliche Organismus beeinflusst wird. Diese Definition wird zu Gunsten der HANN'schen verworfen: Klima umfasse die mittleren Zustände der Atmosphäre und deren Änderungen. Darnach erscheint es inconsequent, wenn weiterhin häufig meteorologische Elemente, z. B. die absolute Feuchtigkeit, der Luftdruck, als klimatisch unwichtig bezeichnet werden, weil sie die Gesundheit des Menschen nicht beeinflussen. Die tägliche Doppelschwankung des Barometers ist in dem Buche ganz unberücksichtigt geblieben. Besonders eingehend dagegen ist im Hinblick auf die modernen Kolonial-Bestrebungen die Tropenhygiene behandelt, auch das Klima der klassischen Kulturländer, Italien und Griechenland, ist genauer geschildert.

Von den Anhängen ist der erste der praktischen Meteorologie gewidmet, er orientiert recht gut über die Wirksamkeit der deutschen Seewarte, die Einrichtung der Witterungs-Telegramme, die Schwierigkeiten der Prognose. Für die Vorausbestimmung des Nachtfrostes durch Psychrometer-Beobachtungen wird ein graphisches Verfahren empfohlen. Leider zeigt sich, wenn man die erforderliche Fundamentalkurve zu zeichnen sucht, die dazu gegebene Anweisung als unausführbar.

Der zweite Anhang enthält eine erschöpfende Aufzählung aller atmosphärischen Lichterscheinungen. Zu bemerken ist nur zu der Figur über die Luftspiegelung, dass bei Annahme

horizontaler (nicht sphärischer) Luftschichten von endlicher Dicke die gebrochene Linie, welche den Weg des Strahles darstellt, im untersten Teile nicht wagerecht verlaufen kann.

Das Buch zeichnet sich dadurch aus, dass auch die neuesten Forschungen überall berücksichtigt sind, das Namen-Register weist gegen 800 Namen auf. Dove wird auch oft citiert, aber selten mit Anerkennung, ein besonderer Vorwurf trifft ihn deshalb, weil er die VERTIN'schen Versuche, Luftströmungen im Kleinen mittelst Rauch darzustellen, nicht billigte. Erwünscht wäre die Beigabe einiger Wetterkarten gewesen, wie man sie jetzt selbst in kurzen Darstellungen (z. B. in JOCHMANN's Physik) findet. Ein Mangel endlich, der oft populären Darstellungen der modernen Meteorologie anhaftet, ist auch hier bemerkbar, es wird häufig etwas für eine Erklärung ausgegeben, was nur eine genauere Beschreibung ist. Die moderne Meteorologie hat z. B. als Begleitumstand der Kälterückschläge im Mai grosse Wärme über Ungarn festgestellt, das kann einmal für die schliessliche Erklärung derselben wichtig werden, ist aber nicht selbst schon eine solche. So sind auch die Minima nicht der Grund und die Ursache der Luftströmungen, sie sind mit ihnen gleichzeitig, beeinflussen sie und werden von ihnen beeinflusst. Dem entspricht es auch, dass SPRUNG manchmal ausnahmsweise die Luftdruck-Verteilung als Folge der Luftströmungen auffasst. Die Verzerrung und Ausbuchtung der Isobaren um ein Minimum herum sei als letztes Beispiel angeführt, sie lässt sich als das Auftreten eines Teilminimums auffassen, doch gewinnt man dadurch allein noch keine Einsicht in den Grund der Erscheinung, sondern nur eine Bezeichnung derselben mit anderen Worten.

M. Koppe.

Lehrbuch der technischen Chemie von Dr. H. Ost, Prof. der techn. Chemie an der techn. Hochschule zu Hannover. Mit gegen 200 Abbildungen und 4 Tafeln. Berlin, Rob. Oppenheim, 1890. VII und 568 Seiten. — M. 13 (einschliesslich des noch fehlenden Schlusses).

Die bemerkenswerten Fortschritte der technischen Chemie in der jüngsten Zeit haben zwar zahlreiche Monographien hervorgerufen; jedoch fehlte bisher ein zusammenfassendes kürzeres Lehrbuch, da der bekannte „*Grundriss der chemischen Technologie von Jul. Post, Berlin 1879*“ schon veraltet ist. Diesem Mangel soll das obige Werk abhelfen, in welchem „die Grundzüge der einzelnen chemischen Industrien, soweit sie zur Grossindustrie gehören, auf engem Raum und in einfacher Darstellung abgehandelt sind.“ Hierbei ist zusammengestellt, was in der Technik zusammengehört, meist ohne Rücksicht auf das chemische System; so wird Chlor und Salzsäure in dem Abschnitt „Kochsalz und Soda“, Chilesalpeter und Jod in demjenigen, welcher „Kalisalze“ überschrieben ist, besprochen. Von den übrigen Kapiteln seien folgende als besonders wichtig hervorgehoben: „Wärmeerzeugung, Kälteerzeugung, Sprengstoffe, Glas, trockene Destillation, Kohlenhydrate, Gährungsgewerbe und Farbstoffe.“ Den Schluss des Buches wird die „Metallurgie“ bilden, welche, von einem besonderen Fachmann bearbeitet, demnächst erscheinen soll. — Alle neuen Entdeckungen sind nach Möglichkeit berücksichtigt; wir finden Belehrung über die Pictet'sche Kältemaschine, über das rauchlose Schiesspulver, das Saccharin, die Sulfitcellulose u. s. w. — Sowohl die technischen als die wissenschaftlichen Angaben stammen aus den besten Quellen und werden durch zahlreiche klare, grossenteils originale Abbildungen von Apparaten unterstützt. Von gleichem Werte sind die an den Anfang jedes Abschnittes gestellten, die Steuergesetzgebung besonders berücksichtigenden Erläuterungen der maassgebenden wirtschaftlichen Verhältnisse. Kurz, das vorliegende Werk, welches zunächst für die Studierenden der technischen Hochschulen bestimmt ist, kann einem jeden, welcher sich für die Anwendung der Chemie interessiert, insbesondere aber den Vertretern dieses Faches an gewerblichen und Realanstalten, aufs wärmste empfohlen werden.

J. Schiff.

Leitfaden der Physik. Von Dr. Jacob Heussi. Zwölfte wesentlich verbesserte Auflage. Mit 152 in den Text gedruckten Holzschnitten. Bearbeitet von H. Weinert. Braunschweig, Otto Salle, 1889. 139 S. M. 1,50.

Der Leitfaden gehört zu den völlig elementaren, die Sprache ist klar und einfach, die Fassung der Sätze und Beispiele anschaulich und verständlich. Die wichtigsten Sätze sind durch fetten oder gesperrten Druck hervorgehoben. Die Schüler sollen zur Beachtung dessen angewiesen werden, was ihre Umgebung und vor allem die Natur ihnen entgegenbringt. Für diesen Zweck sind die Übungsbeispiele reichhaltig bemessen, neben den trivialen finden sich auch einzelne weniger bekannte. Neu war dem Ref., dass eine mit Wein gefüllte, und verkorkte und versiegelte Champagnerflasche in der Meerestiefe sich mit Salzwasser füllt, ohne dass der Verschluss verletzt wird, was als Beweis für die Porosität des Glases gelten soll! Wegbleiben dürfte, was am Anfang der Wärmelehre über Ätherschwingungen und beim Galvanismus von Spannungen gesagt ist. P.

Das Intensitätsgesetz und die Gleichartigkeit der analytischen Formen in der Lehre von der Energie. Eine elementare Einführung in die Energetik von R. Wronsky, Oberlehrer am Gymnasium zu Gartz a. O. Frankfurt a. O., Harnecker & Co., 1888. 8^o. 24 S. M. 0,80.

G. Helm hat in seiner „*Lehre von der Energie*“, unter Zugrundelegung der schon von Maxwell, Zeuner, Mach und Popper betonten analytischen Gleichartigkeit verschiedener Energieformen ein allgemeines Gesetz aufgestellt (*vgl. d. Zeitschr. I, 179*).

Sollte die Erfahrung dieses Gesetz in seinem ganzen Umfange als ein allgemeines Energiegesetz bestätigen, so wird dasselbe einen ausserordentlichen Einfluss ausüben. Denn es ermöglicht die Analyse der physikalischen Erscheinungen mittelst des Energiebegriffes und wirft ein neues Licht auf den Zusammenhang zwischen der Energie der Körper und den Sinnesreizen, die sie in uns hervorrufen, vor allen Dingen aber wird eine überraschende Ordnung in die physikalischen Begriffe gebracht. In seiner klar und anregend geschriebenen Abhandlung weist R. Wronsky durch Anwendung fingierter Versuche und ganz einfacher Rechnungen, also rein theoretisch, die Gültigkeit des Helm'schen Gesetzes für die Ausdehnungsarbeit, die kinetische Energie, die potentielle Energie und die Wärme nach und gelangt so zu Formeln und Betrachtungen, die, wie auch zu erwarten war, zum teil neu sind. Der Verfasser war mit Erfolg bemüht, für jede Energieform den Sinn des Intensitätsgesetzes scharf hervortreten zu lassen und Merkmale der zugehörigen „Intensitäten“ und „Quantitäten“ zu bestimmen. Die kleine interessante Schrift verdient warm empfohlen zu werden.

H. Hahn-Machenheimer, Berlin.

Die Energie und ihre Entwertung. Studien über den zweiten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie. Von F. Wald. Mit 6 Holzschnitten. Leipzig, W. Engelmann, 1889. 105 S. M. 2,25.

Die Arbeit geht von dem richtigen schon von Lord Rayleigh und Helmholtz ausgesprochenen Gedanken aus, dass der Energiesatz, zu dessen Begründern der Verfasser Mohr, Mayer, Joule und Colding, auffallenderweise aber Helmholtz nicht zählt, über die Richtung einer Zustandsänderung keinen Aufschluss zu geben vermag, dass derselbe also einer Ergänzung bedarf. Diese Ergänzung liefert der Satz, dass die Energie bei allen finitiven Zustandsänderungen an Wirkungsfähigkeit verliert, insofern es neuer, von aussen entliehener Energiemengen bedarf, um die Zustandsänderung rückgängig zu machen. Es kommt also ausser der Quantität der Energie auf ihre Wirkungsfähigkeit an, auf ihre Wirkungsgrösse wie Kirchhoff sagte (*Ges. Abh. S. 454*). Die Wirkungsfähigkeit einer beliebigen Energieform ergibt sich aus dem Maximum an mechanischer Arbeit, die sich mit ihrer Hilfe gewinnen lässt. Die Wirkungsfähigkeit der Wärme lehrt der zweite Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie kennen, der in recht übersichtlicher Weise abgeleitet wird. Bekanntlich ergibt sich die in Arbeit verwandelbare Wärmemenge zu $Q_1/T_1 \cdot (T_1 - T_2)$. Für den Quotienten Q_1/T_1 schlägt der Verfasser den Namen reducierte Wärmemenge vor; dieselbe giebt die bei der Temperatur T_1 für das Temperaturgefälle 1 gewinnbare Arbeitsmenge. Diese reducierte Wärmemenge, die mit Clausius' Entropie identisch ist, nimmt bei allen finitiven Zustandsänderungen zu.

Die Betrachtungen des Verfassers über die Wirkungsfähigkeit der inneren, besonders der chemischen Energie mögen dem Studium der Chemiker empfohlen sein, denn gerade in chemischen Kreisen treibt der Satz von „der grössten Arbeit“, der auf dem Irrtum beruht, dass Wärme vollständig in Arbeit verwandelbar ist, noch immer sein Unwesen.

Hans Jahn, Berlin.

Elemente der Physik, Meteorologie und mathematischen Geographie. Hilfsbuch für den Unterricht an höheren Lehranstalten. Mit zahlreichen Übungsfragen und Aufgaben. Von Professor Dr. Paul Reis. Vierte vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 274 Figuren im Texte. Leipzig, Quandt & Händel, 1889. VIII und 440 S. M. 4,50.

In einer Besprechung der 1. Auflage dieses Buches an anderer Stelle hat Ref. bereits seine Bedenken gegen die darin befolgte deduktive Methode ausgesprochen. Er hält seine Bedenken auch hier noch aufrecht und bedauert lebhaft, dass durch eine solche Darstellung dem Durchdringen eines naturgemässeren Lehrverfahrens entgegengewirkt wird. Selbst einzelne früher und schon von mehreren Seiten geltend gemachte Ausstellungen sind unbeachtet geblieben. Die Ableitung von $\sqrt{e/d}$ ist und bleibt ein Hohn auf das logische Gewissen des Lehrers wie des Schülers und ein Musterbeispiel für erzwungene elementare „Beweise“. Glücklicherweise verdankt das Buch seinen Erfolg wohl weniger diesen deduktiven Partien als vielmehr der klaren, übersichtlichen und zugleich reichhaltigen Zusammenstellung des Erfahrungsmaterials, einem Vorzug also, der von den eben angedeuteten deduktiven Bestrebungen völlig unabhängig ist. Auch die zahlreichen Übungsfragen und Aufgaben werden selbst dem erfahrenen Lehrer manche Anregung bieten.

P.

Versammlungen und Vereine.

Britische Naturforscher-Versammlung zu Newcastle, 1889.

Unterrichtsplan für einen elementaren Kursus in der Chemie, von Prof. Armstrong (nach *Nature*, 17. Oct. 1889, referiert von Dr. C. Lorenz-Friedenau). Vergl. *diese Zeitschr.* III, Heft 2, S. 101.

Nach einer mindestens zehnjährigen, sorgfältigen Erwägung der Frage, und nachdem er lange die Ansicht vertreten, dass die Chemie in ihrer gewöhnlichen Darstellungsform, nicht der geeignetste Lehrgegenstand für Schulzwecke sei, hat der Verfasser jetzt die Überzeugung gewonnen, dass ein in erster Linie chemischer Kursus nicht nur der beste, sondern auch der einzig mögliche sei, um die Erreichung aller Ziele, welche man bei Einführung des naturwissenschaftlichen Unterrichts im Auge hat, zu sichern. Diese Ziele sind namentlich: die Knaben und Mädchen an den Gebrauch ihres Verstandes zu gewöhnen, ihre Intelligenz zu stärken, sie zu beobachtenden und urteilsfähigen Wesen zu machen, sie genau beobachten und scharf denken zu lehren, sie zum Experimentieren anzuleiten und das obenein immer an einem Objekt, und zwar meistens an einem solchen, das man ein logisches Objekt nennen kann, und so stufenweise jene Thatkraft (*power of doing*) auszubilden, auf welche Charles Kingsley so viel Nachdruck gelegt hat, und welche zweifellos der Hauptfaktor erfolgreichen Handelns ist. Man wird dem kaum widersprechen können, dass es durch die Chemie mehr als durch irgend einen anderen Zweig der Naturwissenschaften möglich ist, gerade die dazu nötige „praktische“ Erziehung zu geben, weil der Schüler durch das Experiment in die Lage versetzt wird den genauen Thatbestand festzustellen und so selbständig zu einer Einsicht zu gelangen, während in anderen Wissenschaften die Erklärung notwendigerweise nur zu oft vom Lehrer zu geben ist.

Die Chemie verliert gewöhnlich sehr an Wert, weil man lehrt: so und so ist die Sache, anstatt zu lehren, auf welche Weise man gefunden hat, dass sie so ist. Der praktische Teil des Unterrichts bestand bisher darin, dass man einige Gase oder dergl. darstellen und einige Salze analysieren lernte. Manches Nützliche mag auf diese Art geleistet worden sein, im Wesentlichen ist aber nur eine mechanische Abrichtung erreicht worden. Es ist keine leichte Aufgabe, den elementaren Kursus hinreichend einfach im Entwurf und zugleich möglichst billig in der Ausführung zu gestalten. Einen Beitrag zur Lösung dieser Aufgabe liefert der nachstehende Unterrichtsplan.

Stufe I. Übungen an allgemein bekannten Gegenständen.

Diese Stufe umfasst Anschauungsunterricht mit Bezug auf Gegenstände, die in engster Beziehung zur Umgebung des Kindes stehen, Stoff zu mannichfachen Erzählungen bieten und sich zweckmässig gruppieren lassen; z. B. Naturkörper, Baumaterialien, Stoffe die im Haushalte Verwendung finden, Bekleidungsstoffe, Nahrungsmittel. Die Kinder sind dahin zu bringen, dass sie diese Dinge aus der Anschauung soweit als möglich beschreiben, sie nach ihrem Ursprunge als organische (pflanzliche oder tierische) oder unorganische (mineralische) unterscheiden, und im Anschluss an Lesestücke und Demonstrationen ihre Abstammung, Herstellung und Verwendung anzugeben wissen. Auf diese Art würde ein beträchtliches Stück Erd- und Naturkunde in anziehender Form gelehrt werden können. Als Muster eines Leitfadens wird für diese Stufe GERRIE'S „*Science Primer on Physical Geography*“ (deutsch bei Trübner, Strassburg) empfohlen.

Stufe II. Übungen im Messen.

Diese Stufe setzt die vier Species und die Dezimalzahlen voraus. Zunächst finden Messungen mit dem englischen Fuss, sodann mit dem Metermaass und dessen Unterabteilungen statt. Hierbei ergeben sich die Beziehungen der beiden Maasse. Ferner werden rechtwinklige Figuren ausgemessen und ihr Inhalt berechnet. Hieran reiht sich der Gebrauch der Wage unter Anwendung verschiedener Gewichtssysteme, ferner die Ausmessung und Gewichtsbestimmung von Metallblechen oder dergl. von verschiedener Form. Darauf folgt das Studium von Körpern. Würfel aus gleichem Holz aber von verschiedener Grösse werden gemessen, ihr Inhalt berechnet und ihr Gewicht bestimmt; dann schreitet man zu verschiedenen Holzarten oder andren Stoffen, erkennt ihre verschiedene Dichte und wendet sich nun eingehender dem Studium des relativen Gewichtes zu. Die Schüler lernen dasselbe leicht nach der gewöhnlichen Methode mit Hilfe einer geeigneten Flasche, deren Hals mit einer Marke versehen ist, bestimmen; hierauf lässt sich zeigen, dass dieselben Resultate auf hydrostatischem Wege, durch Wägen in Luft und Wasser erhalten werden und die Schüler verstehen diese Methode um so leichter, wenn sie vorher die verschiedene

Höhe ungleichartiger Flüssigkeiten (wie Terpentinöl, Wasser, gesättigte Salzlösung) in communicierenden Röhren beobachtet und deren verschiedene Dichte ermittelt haben. Diese hydrostatischen Versuche sind auf einer späteren Stufe von Wert für die Lehre vom Luftdruck. Bei Gelegenheit der Verdrängung des Wassers durch feste Körper wird auf die Beziehung zwischen dem Inhalt der letzteren in Kubikcentimetern und dem Gewichte des ersteren in Grammen hingewiesen und so der Zusammenhang zwischen Maass und Gewicht und die Entstehung des Metermaasses erklärt.

Hat man eine grössere Anzahl von Bestimmungen gemacht, so werden die gefundenen Zahlen tabellarisch geordnet und als Merkmale der Körper aufgestellt. Wählt man z. B. Quarz, Feuerstein, Sand und Kies, so lässt sich an die Übereinstimmung der gewonnenen Zahlen leicht die ihrer Stoffe anreihen. Zieht man lothrechte Linien, welche in ihrer Länge dem Dichtigkeitsverhältnisse der untersuchten Körper entsprechen, so erhält man eine graphische Darstellung, welche den Sinn solcher Darstellungen überhaupt veranschaulicht. — An dieser Stelle wird auch das Eingehen auf hyroskopische Körper empfohlen. Ein Päckchen Seegrass in Mousselin gewickelt wird im Freien an einem gegen Regen geschützten Orte aufgehängt und täglich zu derselben Zeit gewogen. Gleichzeitig wird das Wetter beobachtet, Windrichtung, Luftdruck und Psychrometer [?] abgelesen, die Resultate tabellarisch geordnet und event. graphisch dargestellt.

Hieran reiht sich der Gebrauch und die Erklärung der Thermometer verschiedener Skalen unter Anwendung von schmelzendem Eise und kochendem Wasser, wodurch auch die Wirkung der Wärme auf die Körper demonstriert wird. Im Anschluss hieran zeigt man die Dichte des Eises und des Wassers bei verschiedenen Temperaturen, das Platzen von Gefässen im Winter, die Bildung des Eises an der Oberfläche des Wassers u. s. w. und endlich lässt sich auch die Wärmekapazität einiger Metalle, die latente Wärme des Wassers und des Dampfes an der Hand eines geeigneten Leitfadens vorführen (vergl. WORTHINGTON'S „*Practical Physics*“).

Stufe III. Die Einwirkung der Wärme auf die Körper und ihr Verhalten beim Verbrennen.

1. Qualitative Versuche. Man erhitzt Metallstücke in Tiegeln, Thonpfeifen oder Löffeln und zeigt, dass die einen schneller, die andern langsamer schmelzen, manche hingegen (wie Eisen, Kupfer) nicht flüssig werden; die Bildung von Oxydüberzügen bei einigen von ihnen wird beachtet. Solche Beobachtungen werden auf einer späteren Stufe noch von Bedeutung, führen zu neuen Versuchen und verdienen daher besondere Aufmerksamkeit. Die Schüler müssen die Ergebnisse notieren, die Notizen werden besprochen und ergänzt und endlich ins Reine geschrieben. Die bisher unerschmelzbar erschienenen Metalle werden dann im Gebläse auf Kohle erhitzt oder auch kleine Stücke (Eisendraht) in der Gebläseflamme verbrannt.

2. Quantitative Versuche. Eine gemessene Menge Wasser wird verdampft, man bemerkt einen Rückstand, der gewogen wird und beweist, dass etwas in Lösung gewesen war. Condensation des entweichenden Dampfes und Wiederverdampfung des hierdurch erhaltenen Wassers klärt über das Wesen des destillierten Wassers auf. Dann folgen Versuche mit Lösungen von Salz oder Zucker von bestimmter Concentration, welche nach dem Verdampfen eine unveränderte Menge fester Substanz ergeben. Ebenso wird Regen- und Seewasser behandelt und die Verschiedenheit ihrer Zusammensetzung aus ihrer Herkunft abgeleitet. Dann geht es an eine systematische Betrachtung der Nahrungsmittel, wobei man mit der Milch beginnt. Dieselbe wird gemessen und gewogen, dann in einem Platintiegel verdampft, der Rückstand gewogen, dieser verkohlt, abermals gewogen, endlich verbrannt und das Gewicht der Asche bestimmt. Hieran reiht sich der Nachweis, dass die Nahrungsmittel meistens verbrennlich sind. Nun werden Mineralstoffe in gleicher Weise behandelt, Sand, Thon, Kalk, Schwefel, ferner Metalle, wie Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, wobei die Unveränderlichkeit einiger, die Gewichtszunahme anderer einen ausgeprägten Gegensatz zu der Zerstörung der Pflanzen- und Tierstoffe bilden. Der Kalk zeigt besondere Eigenschaften, da er beim Brennen etwas an Gewicht verliert, beim Behandeln mit Wasser aber Mörtel liefert. Unter den mineralischen Körpern ist die Kohle verbrennlich, unter den Nahrungstoffen das Salz unverbrennlich. Der Schwefel steht in Bezug auf Verbrennbarkeit neben dem Magnesium und Zink, liefert jedoch kein sichtbares Verbrennungsprodukt. Der Geruch aber, welcher sich bemerkbar macht, ruft die Vermutung wach, dass auch in solchen Fällen, wo keine sichtbaren oder sonst wahrnehmbaren Verbrennungsprodukte entstehen — wie bei der Kohle — dennoch solche vorhanden seien. Die Erkenntnis der Veränderlichkeit der Stoffe leitet zu den eigentlich chemischen Erscheinungen über, welche auf der folgenden Stufe behandelt werden.

Stufe IV. Aufgaben (Probleme).

1. Was geschieht, wenn Eisen rostet?

Bekanntlich rostet Eisen vornehmlich im feuchten Zustande. Warum geschieht dies, was geht mit dem Eisen vor und ist dieses allein solchen Veränderungen unterworfen? Durch blosser Beobachtung gelangt man zu keinem Resultat; vielleicht kann hier die Wage helfen, die auf Stufe III so oft sich bewährte. Einige Gramm Eisenfeile werden auf einer Schale, nachdem beides genau gewogen, mit Wasser angefeuchtet, bedeckt an einen warmen Ort gestellt, nach einigen Tagen und nach mehrfachem Umrühren im Luftbade getrocknet und abermals gewogen. Das Gewicht hat zugenommen. Irgend etwas von irgendwoher muss sich also mit dem Eisen vereinigt haben. Woher kam dieses Etwas? Nun, die Beobachtung, dass in ein umgestülptes Glas beim Untertauchen kein Wasser eindringt, beim Neigen aber Luft entweicht, belehrt uns über die Anwesenheit der Luft. [Diese Beobachtung hätte schon auf Stufe II eingereicht werden können. *D. Ref.*] Das Eisen rostete in dieser Luft, wurde aber feucht gehalten, so dass dieses Etwas teilweise aus der Luft, teilweise aus dem Wasser stammen kann. Man bindet nun Eisendrehspähne in ein Stückchen Musselin, befestigt dieses an einen S-förmig gebogenen Draht, hängt das Ganze in eine Schüssel mit Wasser, und stülpt eine leere weithalsige Flasche über das Eisenbündel, so dass dieses nun wieder von Luft umgeben ist. Im Verlaufe von einigen Stunden rostet das Eisen und man beobachtet ein Steigen des Wassers bis es etwa ein Fünftel der vorher luffterfüllten Flasche einnimmt. Jenes Etwas, welches beim Rosten sich mit dem Eisen vereinigt, scheint also aus der Luft zu kommen. Der Versuch wird mehrfach auch in abgeänderter Form wiederholt. Frisches Eisen wird mit derselben Luft, oder dasselbe Eisen mit erneuten Luftmengen zusammengebracht. Hieraus ergibt sich, dass nicht die Luft als Ganzes, sondern nur ein Teil derselben beim Rosten thätig ist. erinnert man nun an die Veränderungen einiger Metalle beim Erhitzen, wobei auch eine Gewichtszunahme erfolgte, so scheint es nicht unmöglich, dass auch hier die Luft eine Rolle spielt. Dies führt zu der Frage: Was ist Luft?

2. Welche Veränderungen finden beim Verbrennen von Stoffen in der Luft statt?

Die Anwendung des Phosphors wird am Zündhölzchen erläutert. Dann wird ein Stück desselben unter einer Glocke mit Wasserabschluss verbrannt, wobei aus dem Verschwinden eines Teiles der Luft die Teilnahme desselben an dem Prozess erhellt. Da der Phosphor dampft, sobald er aus seinem mit Wasser gefüllten Aufbewahrungsgefäss genommen wird, dies also auf irgend einen Vorgang deutet, so stellt man mit ihm denselben Versuch an, welcher oben mit den Eisen-spähnen gemacht wurde. Auch hier verschwindet ein Fünftel der Luft und der Phosphor hört auf zu dampfen. Nach der quantitativen Übereinstimmung beider Resultate haben also Eisen und Phosphor dasselbe Verhalten zur Luft, wonach in derselben ein, etwa $\frac{1}{5}$ betragender Bestandteil wirksam zu sein scheint. Zum Beweise bringt man den Phosphor in diejenige Luft, welche dem Eisen ausgesetzt gewesen war und umgekehrt das Eisen in die des Phosphors. Durch die Unveränderlichkeit der Rückstände wird die Richtigkeit obiger Annahme zweifellos. Nun ist die Frage, ob in allen Fällen in denen Metalle an der Luft verbrennen, derselbe Bestandteil der Luft beteiligt sei? Man lässt einen Strom solcher Luft, welche durch Phosphor ihres aktiven Gemengtheils beraubt ist, durch erhitzte Röhren streichen, in welchen sich Metallspähne befinden. Die Unveränderlichkeit derselben zeigt, dass stets derselbe Gemengteil der Luft in Wirkung tritt. Aus diesen Versuchen mit dem Eisen und Phosphor lässt sich aber noch nicht entnehmen, ob nicht auch das dabei anwesende Wasser eine Rolle spiele. Man verbrennt daher Phosphor in einer gut verschlossenen Flasche, öffnet dieselbe unter Wasser, misst das in die Flasche eingedrungene Wasser und gelangt zu demselben Resultat wie vorher. Um sicher zu sein, dass hierbei nichts aus der Flasche entweicht oder hineingelangt, wird dieselbe vor und nach dem Verbrennen des Phosphors gewogen, wobei sich kein Unterschied ergibt. Aber entweicht denn gar nichts? O ja! eine Menge Wärme; woraus folgt, dass Wärme kein [wägbarer] Stoff ist. — Um endlich zu zeigen, dass auch bei der Verbrennung des Phosphors eine Gewichtszunahme stattfindet, verbrennt man solchen in einem Luftstrom und fängt die Dämpfe in einer mit Asbest gefüllten Röhre auf, deren Gewicht darauf höher ist. [Man vergl. den Versuch in *d. Ztschr.* 1, 213.]

Der Umstand, dass der Phosphor nach einiger Zeit zu brennen aufhört, veranlasst die Einführung einer brennenden Kerze in die von dem Versuche mit Eisen oder dergl. rückständige Luft; sie erlischt sofort. Alsdann verbrennt man ein Licht oder eine Gasflamme unter einer mit Wasser abgesperrten Glasglocke. In abgeänderter Form mag die Umkehrung dieses Versuchs den reciproken Charakter der Erscheinung darthun. Auf diese Weise ist festgestellt, dass alle

gewöhnlichen Verbrennungsprozesse Veränderungen sind, an denen die Luft nicht als Ganzes, sondern mit einem bestimmten Bestandteil beteiligt ist, und dass zweifellos stets derselbe Bestandteil, wenn auch unter verschiedenen Bedingungen wirksam ist; ebenso ist klargestellt, dass das Auftreten der Wärme die Folge der Vereinigung der verbrannten Substanz mit dem wirksamen Bestandteile der Luft ist. Das Verhalten des Phosphors an der Luft giebt auch Gelegenheit die Entwicklung von Wärme, ohne dass eine sichtbare Verbrennung eintritt, darzuthun. Auf dieser Stufe sollte auch sorgfältig das Auftreten der verschiedenen Verbrennungsprodukte in Betracht gezogen werden, sowie die Veränderung, welche eintritt, wenn dasjenige des Phosphors der Luft ausgesetzt wird.

3. Die Scheidung des wirksamen vom unwirksamen Bestandteile der Luft.

Um nun den wirksamen Bestandteil der Luft auch für sich kennen zu lernen, fragen wir, ob derselbe nicht aus den Verbindungen, die wir ihn mit Metallen eingehen sahen, zu erhalten ist. Die Schüler werden beauftragt, sich über diese Verbindungen und ihr Vorkommen im Handel zu unterrichten. Eisenrost, Hammerschlag von Eisen und Kupfer sind leicht beschafft, Zinkweiss wird durch Verbrennen von Zink, Bleiglätte und Mennige durch Erhitzen von Blei (bei höherer bez. geringerer Temperatur) erhalten. Man erhitzt gewogene Mengen Bleiglätte und Mennige und beobachtet, dass nur die letztere ihr Aussehen verändert und an Gewicht verliert. Was ging verloren? Da die Substanz nur durch Luftzutritt gebildet wurde, muss dass, was verloren ging, auch wohl von der Luft herrühren. Beim Erhitzen in einer Röhre entweicht ein Gas, welches aufgefangen und untersucht wird. Wenn das Gas der wirksame Bestandteil der Luft ist, so muss es die Verbrennung begünstigen, also ist es mit einem Licht oder einem glimmenden Spahn zu prüfen. So wird die Entdeckung des Sauerstoffs gemacht! Besteht nun die Luft aus diesem Gase und aus dem, welches nach der Einwirkung des Phosphors oder Eisens auf Luft zurückblieb, so muss ein Gemisch beider wieder Luft ergeben. Dies beweist ein Versuch. Nun nennt man zum ersten Male die Namen der beiden Gase, und zeigt ohne weitere Erklärung die bequemere Herstellung von Sauerstoff aus Kaliumchlorat. Durch Verbrennen oder Erhitzen der Substanzen in Sauerstoff, welche früher mit Luft behandelt worden waren, mag nun weiter erhärtet werden, dass der Sauerstoff jener wirksame Bestandteil der Luft war.

Nachdem so viel von der Chemie der Luft gelernt ist, lässt sich demnächst die Lehre vom Luftdruck, von der Saug- und Druckpumpe, vom Barometer und den Luftströmungen erörtern und erklären. Die in den meisten Zeitungen enthaltenen Wetterkarten und Barometer-Beobachtungen erleichtern das weitere Eingehen auf das letztere, so dass auch von den Schülern Barometerkurven angefertigt werden können. [Nachdem im Vorstehenden die ersten drei Aufgaben im engsten Anschluss an die Armstrong'sche Abhandlung hier wiedergegeben sind, erfordert die Rücksicht auf den Raum, eine grössere Kürze bei Wiedergabe der übrigen zehn Aufgaben. Doch wird der interessierte Leser an jenen drei Beispielen zur Genüge erkennen, wie sorgsam und bedächtig, gleichsam tastend jeder Schritt in das fremde Gebiet gethan werden soll, um auch nicht die kleinste Lücke unausgefüllt zu lassen und jede mögliche schiefe oder falsche Auffassung seitens der Schüler zu verhüten. *D. Ref.*]

4. Die Zusammensetzung des Kalkes.

Die Entdeckung der Zusammengesetztheit der Luft giebt Anlass, auch andere Stoffe auf ihre Constitution zu prüfen. Kalk giebt gebrannt Kalkerde, er erleidet dabei, wie schon auf Stufe III erwähnt, einen Gewichtsverlust, also muss wohl dabei etwas Unsichtbares entweichen. Vor dem Weitergehen aber vergleicht man Kalk und Kalkerde (Ätzkalk, gebrannter Kalk) miteinander. Kalk wird von Wasser nicht verändert. Der gebrannte Kalk wird gelöscht, in gewogenen Mengen im Ofen getrocknet und die Gewichtszunahme constatirt. Der gelöschte Kalk erweist sich löslicher im Wasser als der rohe Kalk. Nummehr wird Kalk in einem Verbrennungsofen zur Rotglut erhitzt, — es entweicht ein Gas, welches eine Flamme auslöscht, also kein Sauerstoff sein kann; mit solchem gemengt liefert es auch keine Luft, es ist also ein neues Gas (Vergleich mit Stickstoff). Besteht der rohe Kalk aus gebranntem Kalk und diesem Gase, so müssen beide auch wieder rohen Kalk liefern. Man leitet das Gas über gebrannten Kalk, er wird schwerer. Rohes Kalk und gebrannter sind jedoch zu ähnlich. Man leitet deshalb das Gas in eine klare wässrige Lösung des gebrannten Kalks — der entstehende Niederschlag scheint Kalk zu sein — dies wird später bewiesen werden. Nebenbei bemerkt man, dass sich an der Luft Kalkwasser oberflächlich trübt; diese Trübung sieht auch aus wie Kalk; also ist auch Kalkgas in der Luft. Nun zeigt man, wie fest Kalkerde und Gas aneinander hängen. Man bestimmt vor der

Klasse den Gewichtsverlust von Kalkspat beim Brennen und beweist, dass Kalkerde und Gas stets im gleichen Verhältnis vorhanden sind. In den früher bekannt gewordenen Oxyden ist der Sauerstoff ebenfalls stets in unveränderlichem Verhältnis enthalten. Fein verteiltes Kupfer wird im Sauerstoffstrom, der mittelst Ätzkalk getrocknet ist, oxydiert und gewogen u. s. w. Auf diese Weise entsteht der Begriff der Verbindung; die Luft dagegen ist nur ein Gemenge. Vom Element ist noch immer nicht die Rede. (Schluss folgt.)

Physikalische Gesellschaft zu Berlin.

Sitzung am 22. November 1889. Herr C. F. Lehmann (a. G.) sprach über das babylonische metrische System und seine Verbreitung. Aus drei noch erhaltenen babylonischen Gewichtsstücken ergeben sich für die damals geltenden Maasseinheiten Werte, die denen der heut gebräuchlichen metrischen Einheiten überraschend nahe kommen. Die Länge der Doppelle (994—996 mm) stimmt mit derjenigen des Sekundenpendels so genau überein, dass die Vermutung nahe gelegt wird, es sei den Babyloniern das Sekundenpendel bekannt gewesen. Der Vortragende knüpfte daran weitere Auseinandersetzungen über die babylonischen Gewichte und deren Zusammenhang mit dem späteren Pfundgewicht. — In der Diskussion wurde auf die Möglichkeit hingewiesen, dass Beobachtungen an Senkblei zu der Kenntnis des Sekundenpendels geführt hätten, andererseits aber die Anwendung des letzteren als Zeitmaass in Zweifel gezogen, da der Schritt von einer einfachen Beobachtung bis zur Konstruktion eines Zeitmessinstruments wohl über die primitiven mechanischen Hilfsmittel des Altertums hinausging.

Sitzung am 6. Dezember 1889. Herr M. Planck sprach über Elektrizitäts- und Wärme-erregung in verdünnten elektrolytischen Lösungen. Der Vortragende zeigte, wie die mathematische Behandlung der Vorgänge in einem Elektrolyten sich ausführen lässt, wenn man die mehr oder weniger vollständige Dissociation in verdünnten Lösungen, sowie die relativen Geschwindigkeiten der Ionen, und endlich die Gültigkeit der Gesetze für den gasförmigen Zustand auch in dem Fall, dass es sich um gelöste Gase handelt, voraussetzt. Er setzte auseinander, dass bei Berechnung der entwickelten Wärme auch die Veränderungen in Betracht gezogen werden müssen, welche der osmotische Druck bei Vermehrung oder Verminderung der gasförmigen Ionen erleidet. Die Diffusion in elektrischen Lösungen entwickelt eine osmotische Wärme, deren Betrag sich aus den angegebenen Daten berechnen lässt. — Der Vorsitzende, Herr Kundt, zeigte die Luftpumpe O. v. GUERICKE's, welche sich bisher in der Königlichen Bibliothek zu Berlin befand und kürzlich dem Physikalischen Institut zu Berlin überwiesen worden ist. Nach vorgenommener Reparatur und Erneuerung des (kugelförmigen) gläsernen Rezipienten ergab sie eine Verdünnung bis auf 20 mm Quecksilber. Auch die kupfernen Halbkugeln, die bis auf die Bodendichtung gut erhalten sind, wurden vorgelegt.

Sitzung am 20. Dezember 1889. Herr R. Assmann demonstrierte sein Aspirations-Psychrometer.

Verein zur Förderung des physikalischen Unterrichts in Berlin.

Sitzung am 18. November 1889. Herr P. Kindel trug eine elementare Ableitung des NEWTON'schen Gesetzes aus den ersten beiden KEPLER'schen Gesetzen vor, wobei er als graphische Darstellung der Centrifugalbeschleunigung den Krümmungsradius benutzte; er knüpfte daran die Ableitung des dritten KEPLER'schen Gesetzes und der KEPLER'schen Gleichung für den Ort eines Planeten.

Sitzung am 2. Dezember 1889. Herr R. Heyden führte Versuche an der Fallmaschine vor, welche zu methodischer Einführung in die mechanischen Grundbegriffe bestimmt sind. Nach Vorführung der gleichförmigen und der beschleunigten Bewegung entwickelte er die Beziehung zwischen Kraft, Masse und Beschleunigung unter Hinzunahme des Trägheitsmoments der Rolle. Er zeigte ferner den Fall von Ebenholzkugeln im Wasser und besprach die Fallbewegung eines cartesianischen Tauchers, sowie die PFAUNDLER'schen Fallversuche und deren Abänderungen. — Derselbe zeigt, wie sich die Diffusion von Wasser in Lampendochten verschiedener Stärke als ein Analogon des OMM'schen Gesetzes verwerten lässt.

Mitteilungen aus Werkstätten.

Die Firma Warmbrunn, Quilitz & Co. in Berlin fertigt eine neue Sorte **Absorptionskästchen für optische Versuche**, welche ganz aus Spiegelglasplatten zusammengesetzt sind, so dass also auch die Bodenflächen und die Schmalseiten aus Spiegelglasplatten bestehen. Diese Platten sind mit einer besonders präparierten Emaille im Feuer in der Muffel zusammengekittet und sind gegen alle bei optischen Versuchen vorkommenden Reagentien von wässriger, spirituöser

oder saurer Beschaffenheit vollständig widerstandsfähig. Ausserdem zeichnen sich diese Kästchen, die ein äusserst sauberes und gefälliges Aussehen haben, durch ihre Wohlfeilheit aus. Sie werden in den Grössen 45:45:10 (mm), 100:60:10 (mm), 100:60:15 (mm), 100:60:20 (mm), 100:60:25 (mm) und 100:100:10 (mm) zum Preise von M. 1,10—3,00 gefertigt.

Aneroid-Thermoskope nach Prof. G. Karsten (*d. Heft S. 141*) sowohl mit Anwendung der Dosenform (Holostériques) als des Bourdon'schen Ringes verfertigt die optische und mechanische Anstalt von L. Steger (Kiel, am Wall). Ein Instrument mit Stativ, zwei Metall- und mehreren Glaskugeln sowie einigen passenden Gummischläuchen ist für 50 M. zu beziehen.

Correspondenz.

Über die Herstellung von Bildern magnetischer Felder teilt uns Herr Professor **E. Mach** im Anschluss an die Berichte auf S. 88 und 89 noch Folgendes mit:

Man bestreut einen glatten Karton mit Hilfe eines Beutels von grober Leinwand gleichmässig mit Ferrum limatum, das man zuvor mit einer alkoholischen Lösung von Anilinfarbe abgerieben und scharf getrocknet hat. Nachdem die Figur hergestellt ist, setzt man das Blatt einem Strom von Alkoholdämpfen aus: Eine Minute später kann man das Ferrum limatum abklopfen und das Bild aufbewahren. Auch die magnetischen Felder starker Ströme lassen sich auf diese Weise fixieren. Bilder dieser Art hat Professor **MACH** bereits 1883 auf der Wiener Elektrizitäts-Ausstellung ausgestellt. Es ist nicht überflüssig zu bemerken, dass die mit Fuchsin hergestellten Bilder im Laufe einiger Jahre verblassen, dagegen Anilinblau sich recht gut hält. —

Ein ähnliches Verfahren hat, wie Herr B. Kolbe uns freundlichst mitteilt, Herr **J. J. Kowalski** im Verein der Physiklehrer zu St. Petersburg am 16./28. November 1889 demonstriert. Die aus Eisenfeile gebildeten magnetischen Kurven werden mittelst eines Zerstäubers mit einer alkoholischen Lösung einer Anilinfarbe besprengt. Da die beim Blasen mitgeführten Wasserdämpfe leicht Flecken geben, so muss man eine Flasche einschalten, in welcher der Wasserdampf sich grösstenteils condensiert. Auch gewöhnliche Schreibtinte, wie andere wässrige Lösungen von Farbstoffen sind anwendbar, nur muss man dann sofort das Papier vorsichtig (mit dem Eisenpulver) abheben und rasch über einer Flamme trocknen, da sonst das oxydierende Eisen Flecken macht. Das Trocknen des Papiers empfiehlt sich auch bei Anwendung alkoholischer Lösungen von Farbstoffen. Dieses Verfahren liefert natürlich negative Bilder, die mittelst photographischen Papiers kopiert recht gute Positive geben.

Noch saubere und schärfere Bilder liefert folgendes, gleichfalls von J. J. Kowalski ausgeführte und durch eine Kollektion gelungener Abdrücke veranschaulichte Verfahren. Auf dem sehr lichtempfindlichen Istin'schen Bromgelatine-Papier werden im Dunkelzimmer bei roter Beleuchtung (einer Papierlaterne) die magnetischen Kurven in der üblichen Weise erzeugt. Nun belichtet man das Papier mittelst Kerzen- oder Lampenlichtes einige Sekunden, bläst die Eisenteilchen ab und fixiert das erhaltene Negativ. Die danach kopierten Positive sind scharf und klar. Um das Eisenpulver gleichmässig aufzustreuen, benutzt J. J. Kowalski ein Gefäss, dessen Kork mit einem quadratischen Ausschnitt versehen ist, der innen mit einem Stück Drahtnetz und aussen mit Tüll bedeckt ist.

J. S. — Eine historische Übersicht über die Entwicklung der Lehre von der molekularen Gefrierpunktserniedrigung giebt F. M. **RAOULT** in der kürzlich erschienenen Schrift „Sur les progrès de la cryoscopie, on étude du point de congélation des dissolutions“. Die Schrift enthält eine vollständige Bibliographie, sowie eine tabellarische Zusammenstellung aller mit Hilfe des **Raoult'schen** Gesetzes bestimmten Molekulargewichte.

H. O. G. E., Kopenhagen. — Ihre Ableitung der Linsenformel stimmt mit der von **E. OEHLER** im 1. Heft dieses Jahrgangs gegebenen überein; eine Vereinfachung wird allerdings dadurch erzielt, dass man die Formel für die Ablenkung im Prisma als bekannt voraussetzt und die Brechung durch die Linse so vorstellt, als geschehe sie in einem Prisma, dessen Seitenflächen Tangentialebenen in dem Eintritts- und dem Austrittspunkte des Strahles sind.

H. J., O. R., F. B. — Die physikalischen Aufgaben haben aus Mangel an Raum für das nächste Heft zurückgestellt werden müssen.