Zeitschrift
für den
Physikalischen und Chemischen Unterricht.
L. Jahrgang. 1937. Fünftes Heft.

# Über Ionenstrahlen.

Von Gerhard C. Schmidt in Münster.

Die Tatsache, daß in der Nähe von feuchtem, sich oxydierenden Phosphor die Luft zu einem Leiter wird, wurde im Jahre 1855 von Matteucci entdeckt. Spätere Versuche zeigten, daß die Leitfähigkeit aufhört, wenn die Oxydation des Phosphors verhindert wird, z. B. dadurch, daß man Leuchtgas, Stickstoff, Wasserdampf usw. gegen den Phosphor bläst. Trotz vieler Versuche ist der bei der Entstehung der Leitfähigkeit in Betracht kommende Vorgang im einzelnen nicht bekannt; es erklärt sich dies 1. daraus, daß bei der Oxydation des Phosphors verschiedene chemische Stoffe sich bilden, und es noch nicht gelungen ist festzustellen, ob die Elektrizitätsträger bei der Oxydation des reinen Phosphors zu einem niederen Oxyd entstehen, oder ob ein niederes Oxydationsprodukt beim Höheroxydieren hierfür verantwortlich ist, und 2. daraus, daß die Elektrizitätsträger sich an die Phosphor-Sauerstoff-Nebel anlagern, so daß man bisher nicht hat entscheiden können, ob primär Elektronen oder Ionen entstehen.

Bei meinen Arbeiten über diesen Vorgang legte ich mir die Frage vor, ob nicht auch reine Dämpfe Leiter der Elektrizität sein könnten. Es war mir bewußt, daß nach den Anschauungen der älteren Physiker Gase und Dämpfe unter der Glühtemperatur Isolatoren für die Elektrizität seien. Am schärfsten war diese Ansicht von Hittorf (1883) ausgesprochen worden, der auch durch eingehende Versuche nachgewiesen hatte, daß z. B. Quecksilberdampf ein vollkommener Nichtleiter ist und daß die entgegengesetzte Ansicht von Herwig (1880) nur von fehlerhaft angestellten Versuchen herrührte. Aber auf Grund der inzwischen veröffentlichten Versuche von Elster und Geitel ließ sich wenigstens für die atmosphärische Luft diese Auffassung nicht mehr aufrechterhalten; zweifellos besitzt sie stets eine, wenn auch geringe Leitfähigkeit. Es erschien daher möglich, daß auch andere Gase und Dämpfe sich ähnlich verhalten würden.

Es ergab sich (1907), daß die Dämpfe des Quecksilbers, ferner der Quecksilber-, Zinn-, Antimonhalogensalze, des Arseniks, Jods usw. und aller untersuchten organischen Substanzen Isolatoren, dagegen die Dämpfe der leichtflüchtigen Halogensalze des Cadmiums, Zinks, Ammoniums, Eisens und Aluminiums selbst bei verhältnismäßig niedrigen Temperaturen gute Leiter der Elektrizität sind. Da, wie die Versuche zeigten, die Temperatur einen großen Einfluß auf die Leitfähigkeit hat, so erschien es möglich, daß bei einigen der oben erwähnten isolierenden Dämpfen bei höherer Temperatur eine Leitfähigkeit auftreten würde. Aber trotzdem die Temperatur auf 400° gesteigert wurde, blieben die Dämpfe Nichtleiter.

Die Versuchsanordnung war sehr einfach (siehe Fig. 1). Auf das offene Ende einer ungefähr 30 cm langen, 2,5 bis 3 cm weiten, unten zugeschmelzten Glas- oder Quarzröhre war ein T-Stück gekittet mit einem am seitlichen Schenkel angeschmelzten Glashahn. In die beiden anderen Schenkel war eine Glasröhre $C$ mit eingeschmelztem 1 mm starken Platindraht $B$ so eingekittet, daß sie ungefähr 20 cm in die weite Röhre konzentrisch hineinragte; der Platindraht selbst war am unteren Ende auf eine Länge von 5 cm frei und bildete so eine Sonde. In dem Rohr befand sich noch ein großer Platinzylinder $R$, welcher die Sonde konzentrisch umgab und mit Hilfe eines dünnen,

seitwärts aus der Röhre herausragenden Platindrahts mit der Erde bzw. mit der Spannung verbunden war; der Zylinder diente als elektrostatischer Schutz, wenn er mit der Erde verbunden war. $T$ ist ein seitwärts befindliches Thermoelement.

Nachdem die Röhre an der Luftpumpe gut getrocknet war, wurde sie in einem elektrischen Ofen erhitzt; die Sonde wurde mit dem Elektroskop verbunden, welches mit einer Trockensäule auf 250 Volt geladen werden konnte. Bis 400° war der Abfall minimal. Nach dieser Eichung der leeren Röhre wurden nach Entfernung des T-Stücks 1 bis 2 g der zu prüfenden Substanz in die Röhre eingefüllt, das T-Stück wieder aufgekittet, dann die Röhre ausgepumpt und der Abfall des Elektroskops bei verschiedenen Temperaturen verfolgt.

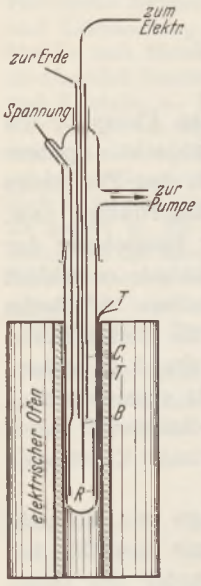



Fig. 1. Gerät zur Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit von Dämpfen; 1. Ausführung.

Für die quantitativen Versuche wurde die Anordnung insofern geändert, als die Spannung an den äußeren Platinzylinder $R$ dauernd gelegt wurde. Die Sonde war jetzt mit einem geeichten geerdeten DOLEZALEKschen Elektrometer verbunden, und nach Aufhebung des Erdschlüssels wurde der Ausschlag des Elektometers innerhalb 1 Minute beobachtet. Der Ausschlag war ein Maß für die Stromstärke, deren Größenordnung $10^{-12}$ bis $10^{-14}$ Amp betrug.

Die quantitativen Versuche (1911) ergaben zunächst außerordentlich voneinander abweichende Resultate. Die Leitfähigkeit änderte sich stets sehr stark mit der Zeit, im allgemeinen nahm sie anfangs zu, erreichte nach einer gewissen Zeit ein Maximum, um darauf zu fallen. Oft trat der ansteigende Ast der Kurve nicht auf, vielmehr fiel die Leitfähigkeit dauernd. Selbst wenn die Versuche in genau der gleichen Weise ausgeführt wurden, und ein und dasselbe Präparat untersucht wurde, waren die Kurven der Form und Größenordnung nach ganz verschieden. Das eine Mal war der Strom größer, wenn eine +-Spannung an den Platinzylinder gelegt wurde, das nächste Mal war es umgekehrt. Präparate verschiedener Herkunft unterschieden sich ebenfalls in quantitativer Hinsicht stark voneinander.

Es galt zunächst, die Ursache für das Auftreten der Leitfähigkeit und ihre zeitliche Änderung zu finden. Da alle Salze, welche die Leitfähigkeit zeigten, sich bei hohen Temperaturen zersetzen, glaubte ich anfangs, daß ähnlich wie bei manchen chemischen Prozessen, z. B. bei der Entwicklung von Wasserstoff aus Säuren, die Gase geladen sind, auch hier die chemische Zersetzung die Elektrizitätsträger liefere. Wäre dies der Fall gewesen, so hätte die zeitliche Änderung bei hohen Temperaturen viel stärker sein müssen als bei tiefen. Dadurch, daß im ersteren Falle der Druck (Stickstoffatmosphäre) entsprechend größer gewählt wurde, konnte erreicht werden, daß die Stromstärken bei hohen und tiefen Temperaturen ungefähr gleich waren. Der Verlauf der Kurven war aber in beiden Fällen analog. Damit war meine Annahme hinfällig. Desgleichen konnte nachgewiesen werden, daß Wasserdampf und Sauerstoff (diese beschleunigen die Zersetzung) keinen Einfluß auf die zeitliche Änderung der Leitfähigkeit hatten. Damit war es ebenfalls unwahrscheinlich geworden, daß eine chemische Umsetzung die Elektrizitätsträger liefere. Eine radioaktive Substanz, die beim Erhitzen allmählich herausdestillierte, wodurch das Präparat an dieser verarmte, war auch nicht vorhanden.

Um einen Anhaltspunkt über die Größe der Zersetzung zu erhalten, wurden (1923) die Dampfdrucke der Halogensalze des Quecksilbers, Zinks und Cadmiums gemessen. Es wurde erwartet, daß, wenn die Zersetzung beträchtlich wäre, auch keine rekapitulierbaren Werte für den Dampfdruck erhalten werden würden. Es ergaben sich für Quecksilberchlorid, dessen Dämpfe die Elektrizität nicht leiten, und für Cadmiumjodid, dessen Dampf ein guter Leiter ist, stets rekapitulierbare Werte, trotzdem die Versuche stark variiert wurden und bei $CdJ_2$ die Temperatur sogar bis 450° gesteigert wurde.

Bei den Leitfähigkeitsmessungen betrugen die Temperaturen höchstens 350°. Beim Cadmiumbromid nahm dagegen der Dampfdruck mit der Dauer der Erhitzung zu, ein Beweis, daß dieses Salz sich zersetzt. Dasselbe war der Fall bei $CdCl_2$, $ZnCl_2$, $ZnBr_2$, $ZnJ_2$. Nun verhalten sich alle diese Substanzen in bezug auf die Größenordnung der Ströme und die zeitliche Änderung der Leitfähigkeit ungefähr gleich, also das sich nicht zersetzende $CdJ_2$ wie die sich zersetzenden $CdBr_2$ usw. Es kann daher die chemische Umsetzung nicht die Ursache der Leitfähigkeit der Dämpfe sein. Um aber von der Zersetzung unabhängig zu sein, habe ich die maßgebenden Versuche fast ausschließlich mit $CdJ_2$ in einer Stickstoffatmosphäre ausgeführt.

Von den vielen hierher gehörigen Versuchen erwähne ich nur noch einen; es wurde bei $CdJ_2$ die Temperatur bis über den Schmelzpunkt gesteigert und dabei gleichzeitig die Leitfähigkeit im flüssigen und dampfförmigen Zustand gemessen. Es ergab sich: Während die Leitfähigkeit im flüssigen Zustande sich nicht mit der Zeit änderte, nahm die Leitfähigkeit in dem über der Flüssigkeit stehenden Dampf mit der Zeit anfangs schnell zu, erreichte ein Maximum, um darauf zu fallen.

Dieser Versuch spricht zugunsten der Auffassung, daß wir es bei der Leitfähigkeit im Dampf mit einer Volumionisation zu tun haben. Tatsächlich war bereits SHEARD (1913) auf Grund einer großen Anzahl von Versuchen zu demselben Ergebnis gekommen; nach seiner Auffassung zerfällt der Dampf in +- und —-Ionen. Aber seine Versuche waren ebenso wie der obige nicht absolut beweisend, da in seinen Versuchsapparaten neben dem Dampf (und bei dem obigen Versuch neben der Flüssigkeit und dem Dampf) stets festes Salz zugegen war.

Um die Frage endgültig zu entscheiden, wurde eine neue Versuchsanordnung (Fig. 2) ausgearbeitet, die sich hauptsächlich von der vorhergehenden dadurch unterschied, daß nur die eine Elektrode erhitzt wurde. Der Apparat bestand aus einem Glasrohr von ungefähr 15 cm Länge mit einem zur Pumpe führenden seitlichen engeren Rohr. An das Glas schmiegte sich eng an ein Drahtnetz *A* aus Nickel, das zur Erde abgeleitet war und zum elektrostatischen Schutz diente. Durch die eine Öffnung oben ging ein gut isolierter, mit dem Elektrometer verbundener Draht, welcher mit einem in der Mitte des Glasrohrs befindlichen kleinen Platinzylinder *BB* verbunden war. Durch die mittlere Öffnung ging ein dicker Kupferdraht, der mit einem dünnen Platindraht verbunden war und wieder in einen dicken Kupferdraht endete, dessen Ende in Quecksilber tauchte; letzteres konnte durch einen eingeschmelzten Platinstift mit der Batterie verbunden werden. Infolge des Gewichts des unteren, frei hängenden Kupferdrahts blieb der Platindraht auch bei höherer Temperatur gespannt; er wurde durch eine isoliert stehende Batterie erhitzt. Gleichzeitig wurde durch eine zweite Batterie +- oder —-Spannung an den Platindraht gelegt und dann von Zeit zu Zeit die Stromstärke am Elektrometer abgelesen. Solange kein Salz auf dem gut gereinigten Platindraht sich befand, konnte man die Temperatur sehr hoch — bis zur Rotglut — steigern, ohne daß ein Strom nachzuweisen war. Erst bei Weißglut waren die Ströme beträchtlicher, und nun wurden sowohl +- wie —-Ionen bzw. Elektronen ausgesandt. Darauf wurde der Draht aus dem Glasrohr entfernt und etwas Salz in möglichst gleichmäßiger Schicht darauf gebracht.

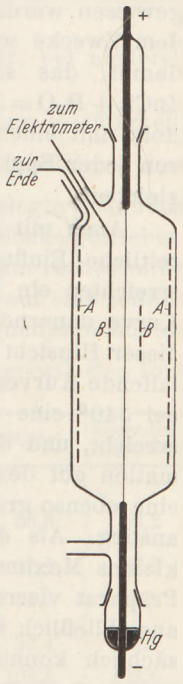


Fig. 2. 2. Ausführung des in Fig. 1 dargestellten Geräts.

Es ergab sich jetzt ein von den früheren Ergebnissen ganz abweichendes Resultat: Bei den Halogensalzen des Cd, Zn, Fe, Al trat nur bei +-Ladung des Drahtes eine Leitfähigkeit auf, bei —-Ladung des Drahtes war bis zu sehr hohen Temperaturen keine Spur von Leitfähigkeit zu beobachten. Hieraus ergibt sich zwingend, daß 1. nur

die festen Salze Elektrizitätsträger, und zwar ausschließlich positive aussenden, und daß 2. nur eine Oberflächenionisation des festen Salzes und keine Volumionisation des Dampfes auftritt. Denn wäre auch nur eine Spur einer Volumionisation des Dampfes vorhanden, so hätte man auch bei negativer Ladung des Drahtes eine Leitfähigkeit beobachten müssen. Es ergab sich weiter, daß die Emission unabhängig von der chemischen Natur der Unterlage war, denn Nickel- oder sogar Glasdrähte gaben dieselben Resultate wie ein Platindraht. Ebenso konnte jetzt auch in aller Schärfe nachgewiesen werden, daß ein chemischer Umsatz nicht die Elektrizitätsträger liefert. Zu dem Zwecke wurde die Emission von $ZnCl_2$ untersucht bei Gegenwart von Wasserdampf, das sich bei höherer Temperatur mit dem $ZnCl_2$ nach der Gleichung $ZnCl_2 + H_2O = ZnO + 2\,HCl$ umsetzt, und in einem auf das sorgfältigste getrockneten Rohr mit einem $ZnCl_2$-Präparat, das durch längeres Erhitzen im äußersten Vakuum von jeder Spur Feuchtigkeit befreit war. Die Resultate waren in beiden Fällen die gleichen.

Auch mit dieser Versuchsanordnung zeigte sich der bereits früher beobachtete zeitliche Einfluß; die Emissionskurven nahmen vielfach anfangs mit der Zeit zu, erreichten ein Maximum, um darauf langsam zu fallen; in anderen Fällen sank die Kurve dauernd. Die von verschiedenen Firmen bezogenen Salze verhielten sich in dieser Hinsicht verschieden. Das von Merck und Kahlbaum gelieferte $CdJ_2$ gab nur fallende Kurven, das von de Haen bezogene, in Lösung auf den Draht gebracht, gab bei 340° eine anfangs stark steigende Kurve; nach 40 Minuten war das Maximum erreicht, und darauf fand ein langsames Fallen statt. Dasselbe Präparat, durch Sublimation auf den Draht gebracht, ergab bereits bei der niedrigeren Temperatur 315° eine ebenso große Emission, die fortdauernd während der Erhitzung (Dauer 100 Min.) anstieg. Als das Salz zweimal durch Umkristallisieren gereinigt war, trat nur ein kleines Maximum bereits nach 10 Min. auf, darauf fiel die Kurve langsam. Als das Präparat viermal auf das sorgfältigste umkristallisiert war, war die Emissionskurve ausschließlich fallend. Offenbar rührte das Steigen von Verunreinigungen her. Tatsächlich konnte man den Emissionskurven durch Zusätze leicht eine andere Form geben; z. B. wurde die Kurve, welche bei dem sorgfältig gereinigten $CdJ_2$ stets eine fallende war, durch Spuren von $ZnJ_2$ in eine anfangs steigende und darauf fallende verwandelt. Wie sich aus allen hierher gehörigen Versuchen ergab, war die fallende Kurve die normale; das Steigen der Kurve rührte stets von Verunreinigungen her, die sich aber immer auf chemischem Wege aus den Präparaten entfernen ließen, wonach die Kurve in eine fallende überging. Selbstverständlich wurden von jetzt an alle Präparate auf das sorgfältigste gereinigt.

Die Größe der Stromstärke hängt somit von dem Augenblick ab, in welchem man beobachtet. Auch die Vorgeschichte ist von ausschlaggebender Bedeutung. Hat man bis zur Konstanz der Emission beobachtet, steigert darauf die Temperatur und kehrt wieder zur anfänglichen zurück, so ist die Emission eine kleinere.

Auch die Temperatur übt einen Einfluß auf die Form der Kurve aus; in der Nähe des Schmelzpunkts und über den Schmelzpunkt hinaus ist die Stromstärke unabhängig von der Zeit, ein Beweis dafür, daß die Ursache für die zeitlichen und vorgeschichtlichen Änderungen der Emission in dem festen Salz liegt. Das entgegengesetzte, mit Anordnung I erhaltene Resultat, bei dem auch über den Schmelzpunkt eine fallende Kurve erhalten wurde (s. S. 179), erklärt sich daraus, daß das Salz sublimierte und sich an den kälteren Teilen des Rohres als festes Salz niederschlug; nur das letztere bewirkte die zeitliche Änderung.

Es wurden nun (1924) eine große Anzahl leicht flüchtiger Salze untersucht, und zwar die Halogensalze des Zn, Cd, Th und Ag, ferner $FeCl_3$, $AlFl_3$, $AlCl_3$, $MgCl_2$, $CaFl_2$, $NH_4J$, $NH_4Br$, $PbCrO_4$, $CuJ_2$ zwischen 250° bis 400°. Bei NaCl, KCl, LiCl, CsCl, KBr, LiBr, NaJ, KJ, KFl mußte die Temperatur gesteigert werden auf 450°

bis 500°, um eine Emission zu erhalten. Stets wurden nur +-Ladungen abgegeben. Bleichlorid, Bleibromid, Bleijodid und Bariumchlorid emittierten dagegen in reinem Zustand ausschließlich negative Träger. Daß die Emission nicht auf die Halogensalze beschränkt ist, geht daraus hervor, daß $(NH_4)NO_3$, $Ba(NO_3)_2$ usw. ebenfalls + emittierten, jedoch zersetzen sich diese Salze so schnell, daß längere Messungsreihen nicht ausgeführt werden konnten.

Mit steigender EMK wächst die Stromstärke anfangs geradlinig, darauf folgt Sättigung und schließlich wieder Zunahme der Stromstärke infolge von Stoßionisation. Hierauf werde ich später zurückkommen.

Es wurde weiter festgestellt, bei welcher EMK die Emission beginnt; bei niederen Temperaturen wurde +0,1 Volt gemessen.

Behufs Aufhellung des Vorgangs der Emission war es von größter Wichtigkeit, $\frac{e}{m}$ zu bestimmen. Zu dem Zwecke wurde ein Strahl erzeugt, indem das Salz in dem unteren Teil eines engen Glasröhrchens erhitzt wurde. Durch eine angelegte Spannung von 2 bis 8 Volt wurden dann die Ladungen zu einer gegenüberstehenden Sonde getrieben, wo sie mit Hilfe eines Elektrometers gemessen wurden. Indem man dann rechtwinklig zu dem Strahl ein Magnetfeld wirken ließ, wurde er abgebogen und fiel auf eine seitlich angebrachte Sonde. Aus der Spannung und der Ablenkung im Magnetfelde konnte dann in bekannter Weise $\frac{e}{m}$ und das Verhältnis der Masse $m$ des transportierten Ions zu der des H-Ions $m_H$ bestimmt werden. Sämtliche Versuche wurden im Hochvakuum ausgeführt.

| Substanz | Volt | $\frac{e}{m}$ | $\frac{m}{m_H}$ | Mittel | Äquivalentgewicht |
|---|---|---|---|---|---|
| $CdJ_2$ . . . | 2 | 176,3 | 54 | | |
| „ . . . | 4 | 165,7 | 57,3 | 56,6 | 56,2 |
| „ . . . | 8 | 168 | 56,6 | | |
| $CdCl_2$ . . . | 2 | 166,4 | 57,1 | 57,1 | 56,2 |
| $CuJ_2$ . . . | 2 | 305 | 31,1 | 31,9 | 31,8 |
| „ . . . | 8 | 291 | 32,7 | | |
| $ZnCl_2$ . . . | 2 | 293 | 32,4 | 32,4 | 32,7 |
| „ . . . | 2 | 293 | 32,4 | | |
| $PbBr_2$ . . . | 2 | 87,6 | 108,4 | 108,4 | 103,6 |
| $CaFl_2$ . . . | 2 | 463,6 | 20,5 | 20,5 | 20,04 |

Aus diesen Messungen geht hervor, daß die angeführten Salze positive Ionenstrahlen aussenden, und daß diese aus Metallionen bestehen, die eine bzw. zwei Elementarladungen mit sich führen.

Es dürfte jetzt schon angebracht sein, die vielen Einzeltatsachen einheitlich zusammenzufassen und zu erklären.

Wie im vorhergehenden gezeigt, senden die meisten untersuchten Salze nur +-Ionen, einzelne wie $PbCl_2$ und $BaCl_2$ emittieren nur negative Ionen. Daraus, daß +- bzw. —-Ionen ausgesandt wurden, selbst bei der Spannung Null, geht hervor, daß diese Ionen bei diesen Emissionstemperaturen in dem Salz enthalten sein müssen. Ist dies aber der Fall, so muß die Leitung des Salzes eine elektrolytische sein, und wir kommen so zu einem einfachen Kriterium, ob elektrolytische Leitfähigkeit vorliegt:

Satz I. Diejenigen einheitlichen festen oder flüssigen Stoffe, welche +- oder —-Ionen oder beide direkt aussenden, leiten bei dieser Temperatur elektrolytisch.

Selbstverständlich müssen die Stoffe einheitlich sein und dürfen keine Verunreinigungen enthalten. Platin sendet z. B. bei Rotglut +-Ionen aus und bei Weißglut +- und —-Ionen, aber diese verschwinden beim anhaltenden Glühen und rühren daher sicher von anhaftenden Salzen bzw. von okkludierten Gasen her. Die Ionen müssen auch direkt aus dem Stoffe stammen; wenn z. B. ein Stoff Elektronen aussendet und diese sich darauf an umgebende Moleküle (Luft, Wasserdampf, Dampfmoleküle des erhitzten Stoffes usw.) anlagern, so entstehen ebenfalls Ionen, aber dieser Vorgang hat mit dem hier beschriebenen nichts zu tun. Die Temperatur muß natürlich auch berücksichtigt werden, denn ein Stoff kann bei hohen Temperaturen elektrolytisch und bei tiefen Temperaturen metallisch leiten.

Den oben aufgestellten Satz I möchte ich durch Beispiele erläutern und zeigen, daß er durch das experimentelle Material bestätigt wird. Wie TUBANDT und seine Schüler bewiesen, leiten die Silber-, Thallium- und Bleihalogensalze elektrolytisch, selbst bei Temperaturen weit unter ihren Schmelzpunkten. Dasselbe hat HABER für $BaCl_2$ nachgewiesen, für welches weit unter dem Schmelzpunkte das FARADAYsche Gesetz gilt. Wie oben nachgewiesen, senden diese Stoffe +- bzw. —-Ionen aus.

Weiter ergibt sich:

Satz II. Diejenigen einheitlichen festen (oder flüssigen) Stoffe, welche bei einer bestimmten Temperatur Elektronen aussenden, leiten bei dieser Temperatur metallisch.

Beispiele hierfür haben wir in den hocherhitzten Metallen und in den nach WEHNELT wirksamen Oxyden wie BaO, CaO, CdO usw., die bekanntlich bei höheren Temperaturen Elektronen emittieren und metallisch leiten.

Wie oben erwähnt, senden die meisten Salze nur +-Ionen aus, $PbJ_2$, $PbBr_2$, $PbCl_2$ und $BaCl_2$ dagegen —-Ionen. Es erhebt sich die Frage, ob diese Tatsache mit einer anderen in Zusammenhang steht. Hierüber gibt Auskunft:

Satz III. Diejenigen Salze, bei denen im festen Zustande nur die +-Ionen bzw. nur die —-Ionen wandern, senden ausschließlich bei dieser Temperatur +-Ionen bzw. —-Ionen aus. Überwiegt bei der Elektrolyse die Wanderungsgeschwindigkeit des einen Ions, so werden überwiegend die schneller wandernden Ionen bei dieser Temperatur emittiert.

Dieser Satz läßt sich an dem experimentellen Material beweisen. Wie TUBANDT gezeigt hat, wandert bei der Elektrolyse von AgCl, AgBr, AgJ, ThCl, ThBr, ThJ ausschließlich das +-Ion; diese Salze emittieren nur Metall-, also +-Ionen. Beim $PbCl_2$, $PbBr_2$, $PbJ_2$ und $BaCl_2$ wandert ausschließlich das —-Ion, und ebenso wird nur dieses emittiert.

Es erhebt sich jetzt die Frage: Warum wandern in den meisten Fällen nur die +-Ionen, und warum werden dann ausschließlich die +-Ionen emittiert? Um dies zu erklären, gehen wir am besten von einem besonderen Fall aus, nämlich vom $CdJ_2$, da dieses Salz sich nicht zersetzt und hier die Verhältnisse bei der Elektrolyse der wäßrigen Lösungen von HITTORF völlig klargelegt worden sind. Bekanntlich enthalten die verdünnten wäßrigen Lösungen dieses Salzes Molekeln von der Zusammensetzung $Cd_3J_6$, die sich nach dem Schema spalten: $Cd^+$ und $Cd_2J_6^-$. In konzentrierten Lösungen haben wir noch größere Aggregate, wie $Cd_4J_8$, $Cd_5J_{10}$ usw., die sich spalten in $Cd^+$ und $Cd_3J_8^-$; $Cd^+$ und $Cd_4J_{10}^-$ usw. Von diesen beiden Ionen wandert bei der Elektrolyse fast ausschließlich das leichter bewegliche $Cd^+$-Ion, das andere steht beinahe still. Wir haben bei der Elektrolyse des festen Salzes das Analoge. Ist trotz der großen dissoziierenden Kraft des Wassers die Tendenz zur Komplexbildung beim $CdJ_2$ so groß, daß sich Molekularaggregate bilden, so muß dies erst recht im geschmolzenen Zustande der Fall sein, und wir haben also im geschmolzenen Zustand Aggregate $(CdJ_2)_n$, die in $Cd^+$ und $Cd_{n-1}J_{2n}^-$ zerfallen, von denen fast ausschließlich das Cd-Ion wegen seiner viel größeren Beweglichkeit wandert. Das geschmolzene $CdJ_2$ verhält sich aber in bezug auf Aussendung von Ionen wie das feste Salz bei hohen Temperaturen. Also haben wir in dem erhitzten, festen Salz Molekularaggregate, die genau nach demselben Schema wie in Lösung zerfallen, d. h. es entsteht ein leichtes Cd-Ion, das wegen seiner großen Beweglichkeit auch leicht emittiert wird, und das schwer bewegliche negative $Cd_{n-1}J_{2n}$-Ion, das erst bei viel höherer Temperatur, bei der es weiter zerfallen ist, ausgesandt wird.

Bei den Zink- und Bariumsalzen sind in wäßriger Lösung ebenfalls Aggregate nachgewiesen worden; die Verhältnisse liegen hier also analog wie bei den Cd-Salzen. Der Schluß, daß bei allen Salzen, welche nur +- bzw. nur —-Ionen aussenden, sich Molekularaggregate bilden, liegt auf der Hand.

Bei $PbCl_2$ werden bei nicht zu hoher Temperatur ausschließlich —-Ionen (wahrscheinlich Chlorionen) emittiert. Vielleicht zerfällt es in $PbCl^+$ und in $Cl^-$; wahrscheinlich bilden sich auch hier Aggregate $(PbCl_2)_n$, die in $Pb_nCl^+_{2n-1}$ und $Cl^-$ zerfallen.

Die hier gegebene Auffassung hat Berührungspunkte mit der von TUBANDT, der, um die Erscheinungen bei der Elektrolyse der festen Salze zu erklären, ebenfalls dem einen Ion eine bevorzugte Stellung einräumt, ohne aber einen Grund hierfür anzugeben. Es erhebt sich die Frage, ob meine Vorstellung nicht zu Fall gebracht wird durch denselben Einwand, welchen M. LE BLANC und KRÖGER gegen die TUBANDTsche Auffassung erhoben haben (1924): die Annahme, die dem einen Ion eine bevorzugte Stellung einräumt, findet keine Stütze durch die röntgenographischen Aufnahmen. Aber letztere sind stets bei niederen Temperaturen ausgeführt worden, bei denen die Salze nicht leiten und keine Ionen emittieren. Bei hohen Temperaturen zerfällt der Kristall in Molekularaggregate, die eventuell in Ionen dissoziieren. Je höher die Temperatur ist, um so stärker ist der Zerfall, und indem sich aus jedem Molekularaggregat zwei Ionen bilden, nimmt die Leitfähigkeit und Emissionsfähigkeit stark zu. Tatsächlich nimmt die Aussendung von Ionen mit steigender Temperatur nach einer e-Funktion zu.

Damit also Ionen emittiert werden, muß das Kristallgitter sich lockern und zu zerfallen beginnen. Es werden also die Salze, welche einen niedrigen Schmelzpunkt besitzen, besonders leicht Ionen emittieren. Dies wird durch das experimentelle Material bestätigt; $CdCl_2$ z. B. sendet bereits unter 200° Ionen aus, NaCl dagegen bis etwa 400° nicht; die Emission ist dagegen bei 600° stark, und es werden nur +-Ionen ausgesandt; von 900° an werden auch —-Ionen emittiert.

Es wurde eben auseinandergesetzt, daß nur dann Ionen emittiert werden, wenn das Kristallgitter gelockert ist. Allein genügt diese Bedingung nicht; es muß natürlich das Salz außerdem noch dissoziiert sein. $SrCl_4$ ist bei gewöhnlicher Temperatur eine Flüssigkeit, das Kristallgitter ist also zerstört; aber es ist ein Isolator, und demgemäß sendet es keine Ionen aus. Kondensiertes HCl ist ein Nichtleiter, und entsprechend leitet sein Dampf auch nicht.

Als Hauptergebnis dieser Betrachtungen ist anzusehen der Nachweis, daß ein vollkommener Parallelismus besteht zwischen den Erscheinungen, welche bei der Elektrolyse auftreten und der Emissionsfähigkeit für Ionen.

Dieser Parallelismus gibt uns auch eine Erklärung für die zeitliche Änderung der Emission. Von SMEKAL und von HEVESY ist eine Theorie der Elektrolyse von festen Salzen entwickelt worden. Danach hat man eine reversible Gitterauflockerung: die thermische Gitterauflockerung, auf welche die mit Erhöhung der Temperatur erfolgende Zunahme der Leitfähigkeit der festen Ionenleiter zurückzuführen ist, reversibel darum, weil sie bei Temperaturerniedrigung wieder verschwindet, und eine irreversible, die von Gitterporen und Fremdeinschlüssen herrührt. Alle Versuche über die zeitliche Änderung der Emission bei den Ionenstrahlen haben nun ergeben, daß auch hier die Aussendung aus einem irreversiblen Vorgang, der schnell mit der Zeit abnimmt, oder anfangs steigt und darauf nach Überschreitung des Maximums abnimmt, und einem reversiblen besteht. Es liegt nahe, anzunehmen, daß für den ersten die Fremdkörper verantwortlich sind und für den zweiten die thermische Dissoziation die Ursache ist. Die Fremdeinschlüsse lockern das Gefüge, und damit nimmt die Zahl der Ionen zu. Wenn beim Erhitzen diese Fremdeinschlüsse entweichen und das Gitter seine normale Gestalt annimmt, geht die Dissoziation zurück; schließlich bleiben nur die infolge thermischer Gitterauflockerung gebildeten Ionen übrig.

Meine nachfolgenden Arbeiten und die meiner Schüler BIRKENBERG (1929), KAHRA (1929), KOETHER (1927), ZENTGRAF (1929), FROHBERG (1930), BÖLLING (1932), WALZ (1934) und MENTRUP (1935) hatten den Zweck, die hier aufgestellte Theorie eingehend zu prüfen und im einzelnen auszubauen, ferner den Effekt zu verstärken und nach verschiedenen Richtungen weiter zu durchforschen.

Ich beginne mit Versuchen, welche den Zweck hatten, den irreversiblen Vorgang bei der Emission aufzuklären. Reinstes $CdJ_2$ wurde in wäßriger Lösung auf den Platindraht in Versuchsanordnung II gebracht und bei konstanter Temperatur erhitzt; die Emission nahm, wie stets, ab. Während des Fallens der Kurve wurde die +-Spannung (+ 2 Volt) durch eine negative von 2 Volt ersetzt und dadurch die Emission der Cd-Ionen verhindert. Dieser Wechsel der Spannung wurde in gewissen Zeitintervallen öfter wiederholt. Es zeigte sich, daß die Emissionskurve stetig abnahm, also unabhängig davon, ob eine positive oder negative Spannung angelegt war, ein Beweis dafür, daß eine infolge des Entweichens der +-Ionen immer stärker werdende negative Ladung der Oberfläche des Salzes nicht die Ursache des Fallens war. Auch eine Polarisation der Elektrode, die bei der Elektrolyse von wäßrigen Lösungen vielfach eine Abnahme des Stroms hervorruft, war nicht die Ursache für das zeitliche Kleinerwerden der Emission. Um diese Erscheinung aufzuklären, wurde eine große Anzahl weiterer Versuche gemacht. Das in Lösung auf den Platindraht gebrachte $CdJ_2$ wurde bis zur Konstanz der Emission erhitzt und darauf durch Unterbrechung des Heizstroms abgekühlt. Wurde dann die Temperatur auf die ursprüngliche gesteigert, so erhielt man wieder den ursprünglichen konstanten Wert der Emission. Die Salze behielten ihren konstanten Endwert im Vakuum unbegrenzt lange. Bringt man aber das $CdJ_2$ nach dem Abkühlen mit gewöhnlicher Luft zusammen, dann nimmt die Emission stark zu (bei meinen Versuchen um das Drei- bis Vierfache) und fällt darauf, wie bei dem ursprünglich auf den Draht gebrachten Salz. Trockener Stickstoff, Sauerstoff, Kohlensäure usw. bewirken diese Steigerung nicht; Wasserdampf war dagegen stark wirksam. Ebenso verhielt sich $PbCl_2$, das im gelösten Zustand auf den Draht gebracht war.

Anders verhielt sich $CdJ_2$, das bei Gegenwart von gewöhnlicher Luft auf den Platindraht sublimiert war. Es regenerierte sich auch im Vakuum, d. h. es zeigte wieder einen hohen Emissionswert, wenn man das bis zum konstanten Endwert erhitzte Salz einige Zeit im Vakuum bei gewöhnlicher Temperatur stehen ließ. Wurde das Cadmiumjodid dagegen im Vakuum auf den Draht sublimiert, so regenerierte es sich im Vakuum nicht und verhielt sich genau wie das in Lösung auf den Draht gebrachte. Das gleiche Verhalten wie sublimiertes $CdJ_2$ zeigte sublimiertes Thalliumchlorür.

Silberchlorid, in geschmolzenem Zustand auf den Platindraht gebracht, regenerierte sich dagegen nicht, auch nicht in Wasserdampf.

Diese Versuche sind nach der Theorie leicht zu erklären. Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure werden von den Salzen nur oberflächlich adsorbiert und entweichen im Vakuum oder bei gelindem Erhitzen. Wasserdampf wird dagegen von den in Wasser löslichen Salzen chemisch gebunden und bildet dadurch Lockerstellen, an denen die Ionen leicht entweichen. Beim Erhitzen verdampft dieses gebundene Wasser allmählich; die Zahl der Lockerstellen nimmt ab und damit die Emission, bis schließlich nach Hinaustreiben alles Wassers nur die reversible Emission übrig bleibt. Bei AgCl dagegen, das sich in Wasser nicht löst, wird Wasserdampf nur von der Oberfläche lose adsorbiert; er kann daher keine Regeneration hervorrufen.

Wie bereits erwähnt, kann man durch Zusätze von Zinkjodid, Jod usw. zu $CdJ_2$ die Emissionskurve derart ändern, daß sie anfangs steigt, um nachher zu fallen. Auch dies erklärt sich ungezwungen. Indem diese leicht flüchtigen Substanzen beim Erhitzen aus dem Innern in die Oberfläche diffundieren, erzeugen sie dort neue Lockerstellen, und daher kann die Emission gegebenenfalls steigen. Werden sie allmählich durch Erhitzen entfernt, so nimmt ihr Einfluß ab, und die Kurve fällt. Es ist jetzt auch klar, daß für die Form der Emissionskurve und die Größe der Stromstärke die Vorgeschichte, z. B. wenn das Salz vorher auf eine höhere Temperatur erhitzt worden ist, von großer Bedeutung ist. Jede Manipulation, welche die Zahl der Lockerstellen ändert, ändert auch die Emission.

Durch nicht flüchtige Zusätze kann man dagegen in manchen Fällen die Emission herabsetzen. Mischt man z. B. feines Cadmiumpulver in das $CdJ_2$, so ist die Emission kleiner als ohne diesen Zusatz. Jetzt kann das Cd-Ion seine Ladung an dieses grobe Metallpulver abgeben, das wegen seiner Größe und wegen des geringen Dampfdrucks des metallischen Cadmiums schwer verdampft.

Es bleibt jetzt noch übrig, den Fall der sublimierten Salze zu erklären. Wenn man das Salz durch Sublimation in Luft auf den Heizdraht bringt, so enthält es ungeheuere Mengen an Fremdkörpern (Luft und Wassermoleküle). Diese suchen besonders im Vakuum aus dem Salze zu entweichen und an die Oberfläche zu gelangen. Bei der lockeren Struktur des sublimierten Salzes, das nicht nur Poren, sondern lange Störungskanäle enthält, wird die Diffussion verhältnismäßig leicht vonstatten gehen. Ein solches Salz wird sich also im Vakuum oder in Berührung mit trockenen Gasen erholen. Sublimieren wir dagegen das Salz im Vakuum, so wird die Zahl der Fremdkörper verhältnismäßig klein sein. Die Zahl der aus dem Innern an die Oberfläche diffundierenden Fremdkörper wird somit auch klein sein, d. h. das Salz regeneriert sich nicht, wie es auch die Versuche zeigen.

Die scheinbar so verwickelten Erscheinungen lassen sich somit auf eine Grundursache, nämlich die Bildung von Lockerionen, zurückführen und beweisen die Richtigkeit der Theorie SMEKALs, nach der die Eigenschaften der Kristalle stark durch eingeschlossene Fremdkörper beinflußt werden.

Für die Emission ist nur die Oberfläche des Salzes maßgebend, für die Leitfähigkeit des festen Salzes dagegen das Innere. Ein genauer Parallelismus zwischen beiden Erscheinungen ist daher nicht zu erwarten. Die Emission ändert sich vielfach enorm mit der Zeit. So beobachtete ich z. B. beim AgCl die Emission 1240, die nach 4 Minuten auf 9 sank, während die Leitfähigkeit des festen Salzes fast konstant blieb. Wenn der größere bzw. geringere Gehalt an Fremdeinschlüssen das Gitter so enorm verändert, daß die Emission sich in ein paar Minuten um das Tausendfache verändert, und die Gegenwart der Fremdkörper für die Zahl der Ionen verantwortlich ist, so müßte sich dies auch bei der Leitfähigkeit des festen Salzes nachweisen lassen. Da dies nicht der Fall ist, muß die Wirkung der Fremdeinschlüsse auf die Oberfläche, die allein für die Emission in Frage kommt, eine andere sein als im Innern. Daß die Konzentration der Fremdeinschlüsse auf der Oberfläche sich in so kurzer Zeit um das Tausendfache ändert, ist unwahrscheinlich. Ich habe mir die folgende Vorstellung gebildet. Rings um den Fremdkörper sind die Moleküle gelockert, und diese senden Ionen aus, wenn der Fremdkörper sich auf der Oberfläche befindet. Dieser Vorgang dauert so lange, bis alle in der Oberfläche um den Fremdkörper liegenden Ionen emittiert sind. Aus dem Innern dringen wegen der geringen Diffusion die Fremdkörper nur ganz langsam nach, und dasselbe gilt für die Ionen dort. Die Leitfähigkeit bleibt also im Innern nahezu konstant. Wenn 1 Molekül des Fremdkörpers, z. B. ein $H_2O$-Molekül, eine große Anzahl Salzmoleküle lockert, so könnte die Zahl der emittierten Ionen stark abnehmen, wenn die Konzentration des Fremdkörpers nur wenig kleiner wird.

Man kann sich auch noch eine andere Vorstellung bilden. Die um die Lockerstelle auf der Oberfläche liegenden Salzmoleküle senden Ionen aus; dadurch werden weitere Nachbarmoleküle gelockert, die nun ebenfalls emittieren, und so schreitet dieser Vorgang relaisartig weiter, bis er an der Kristallgrenze sein Ende erfährt. (Das auf dem Heizdraht befindliche Salz besteht aus einer Unzahl Einzelkristalle.)

Daß tatsächlich der Auflockerungsgrad von ausschlaggebender Bedeutung für die Emission ist, geht weiter hervor aus der Vergleichung der Auflockerung der Salze und der Temperatur, bei der die Emission beginnt. Ein genaues Maß für die Auflockerung haben wir nicht, und ebensowenig wissen wir, wie diese von der Temperatur abhängt. Als erstes rohes Maß der Auflockerung hat HEVESY den Leit-

fähigkeitssprung beim Erstarren angenommen; er setzt also die Auflockerung $\alpha = \frac{\lambda_{flüssig}}{\lambda_{fest}}$, wo $\lambda$ die Leitfähigkeit bedeutet, unbekümmert um verschiedene Temperaturlage der Schmelzpunkte, verschiedene Zähigkeit der Schmelzen usw. HEVESY weist nach, daß die Auflockerungstendenz des Kristalls um so größer ist, je kleinere Arbeit erforderlich ist, um die den Kristall aufbauenden Ionen in den ungeladenen Atomzustand überzuführen. Chlor hat eine große Elektroaffinität, Kalium eine große Tendenz, in den Ionenzustand überzugehen; das Gitter, das aus $K^+$ und $Cl^-$ aufgebaut ist, hat entsprechend eine sehr kleine Auflockerungstendenz. Im festen Kaliumchlorid stehen dem Platzwechsel der Ionen sehr starke Kräfte entgegen, das Kaliumchlorid hat entsprechend auch bei hohen Temperaturen einen großen Widerstand, der am Schmelzpunkte noch fast 10000mal so groß ist wie im geschmolzenen Zustand. Ersetzen wir das $K^+$ durch $Na^+$, durch $Th^+$ oder gar durch $Ag^+$, so wächst der Auflockerungsgrad immer mehr. Dieselbe Wirkung hat das Ersetzen des Chlorions durch ein Brom- bzw. Jodion. HEVESY gibt nebenstehende Tabelle.

| | Auflockerungsgrad | Beginn der Emission Grad |
|---|---|---|
| CsCl . . . | — | 500 |
| KCl . . . | 9000 | 500 |
| NaCl . . | 3000 | 500 |
| NaJ . . . | — | 450 |
| TlCl . . . | 160 | 410 |
| TlBr . . | 130 | 400 |
| TlJ . . . | 95 | 390 |
| AgCl . . | 34 | 370 |
| AgBr . . | 5 | 360 |
| AgJ . . . | 0,9 | 360 |

Es liegt nun der Gedanke nahe, daß die Emission der Ionen bei einer um so niedrigeren Temperatur erfolgt, je größer der Auflockerungsgrad ist. Die Tabelle zeigt tatsächlich diesen Parallelismus.

Viel sicherer ist der Parallelismus zwischen der Emission und der Leitfähigkeit im flüssigen Zustand. Von HEVESY ist darauf hingewiesen worden, daß alle reinen Ionengitter eine Schmelze von übereinstimmendem Leitvermögen zwischen etwa 0,5 und 5 $Ohm^{-1}\,cm^{-1}$ liefern. Zeigt eine Schmelze eine wesentlich kleinere Leitfähigkeit, so nimmt er an, daß nur ein Bruchteil der Atome bzw. Moleküle als Ionen in der Schmelze und auch schon vorher im Gitter vorhanden ist. So schließt HEVESY, daß in den nebenstehenden Gittern nur der angegebene Bruchteil als Ionen vorhanden ist.

| | |
|---|---|
| $CdCl_2$ . . . . | $10^{-1}$ |
| $ZnCl_2$ . . . . | $10^{-2}$ |
| $HgCl_2$ . . . . | $10^{-3}$ |
| $SbCl_3$ . . . . | $10^{-4}$ |
| $AsCl_3$ . . . . | $10^{-5}$ |

Führt man in den über der Schmelze befindlichen Dampf eine mit einem geladenen Elektroskop verbundene Sonde (eventuell unter Hinzufügung einer Kapazität), so verliert dasselbe in $CdCl_2$ sofort seine Ladung; etwas langsamer erfolgt die Abnahme in $ZnCl_2$, sehr langsam in $HgCl_2$: $SbCl_3$ und $AsCl_3$ sind dagegen Isolatoren. Es gilt somit: Die Ionenzahl im Dampf bei verschiedenen Salzen ist der Ionenzahl der entsprechenden Schmelze proportional. In der Schmelze befinden sich Moleküle und Ionen und ebenso im Dampf; ist die Zahl der Ionen in der Schmelze groß, dann ist ihre Zahl in der dampfförmigen Phase ebenfalls groß und umgekehrt.

Um die Elektrizitätsträger noch besser zu charakterisieren, vor allem zu entscheiden, ob sie leicht Komplexe bzw. Cluster, d. h. Anlagerungen von fremden Gasen bilden, wurden ihre Beweglichkeiten bestimmt nach der RUTHERFORDschen Wechselstrommethode. Es ergaben sich für die Ionen Cd und Ag Beweglichkeiten von etwa 1 cm in der Sekunde bei 760 mm Druck. Sie stehen daher in der Mitte zwischen den langsamen, sogenannten LANGEVIN-Ionen von der Beweglichkeit $10^{-2}$ bis $10^{-3}$ cm/sec und den schnellen Ionen von der Beweglichkeit $10^{-2}$ bis $10^{-3}$ cm/sec. Die Beweglichkeiten nehmen mit der Temperatur stark zu; Gegenwart von Feuchtigkeit setzt sie herab, was sehr wahrscheinlich von der Anlagerung von $H_2O$ an das Ion herrührt. Steigerung der Wechselzahl bewirkt eine Vergrößerung der Beweglichkeit. Diese Tatsachen sprechen zugunsten der Clustertheorie; bei höherer Temperatur zerfallen die Cluster, und bei größerer Wechselzahl haben die Ionen nicht die Zeit, größere Aggregate zu bilden. Es ist aber auch möglich, daß die Polarisation des Salzes hierbei eine Rolle spielt, indem die in dem Salz langsam wandernden, schweren

negativen Ionen auf der Oberfläche zurückbleiben und den Austritt der positiven hindern. Daß tatsächlich eine Polarisation der Oberfläche durch Verarmung an positiven Ionen erzwungen werden kann, beweist folgender Versuch von ZENTGRAF. Die Emission von AgCl wurde bei 365° bei $p = 5 \cdot 10^{-4}$ mm mit 2 Volt bis zur Konstanz verfolgt; darauf wurden + 800 Volt angelegt, wodurch die Stromstärke zunahm. Nach einer gewissen Zeit wurden wieder + 2 Volt an den Heizdraht geschaltet. Die Stromstärke war jetzt Null, und erst nach 10 Minuten hatte sich das Salz so weit erholt, daß die Stromstärke gleich der ursprünglich mit 2 Volt erhaltenen war. Offenbar war durch die angelegte große Spannung die Oberfläche an Ionen verarmt.

Von ZENTGRAF wurde der Einfluß der EMK auf die Stromstärke bei den verschiedensten Drucken und Temperaturen gemessen. Die Stromstärke steigt anfangs geradlinig, darauf tritt Sättigung auf, und schließlich leuchtende Entladung infolge Stoßionisation. Die Sättigung tritt bei niederen Drucken bei sehr kleinen Spannungen auf, mit wachsendem Druck muß die Spannung gesteigert werden. Beispielsweise beobachtet man an AgCl bei $p = 1 \cdot 10^{-4}$ mm Sättigung bereits bei 2 Volt, bei $p = 1$ mm bei 4 Volt, bei $p = 10$ mm bei 60 Volt, bei $p = 100$ mm bei etwa 200 Volt. Die Sättigung ist bei niederer Temperatur viel ausgeprägter als bei hoher und tritt auch bei kleineren Spannungen auf; sie ist besonders gut ausgeprägt bei den Salzen, die einen kleinen Dampfdruck haben. Der Beginn der Emission hängt vom Druck ab: bei niederen Drucken treten die ersten Ionen bei kleineren Spannungen aus als bei hohen. Die leuchtende Entladung tritt bei sämtlichen Salzen bei einem Druck von 1 mm bei 300 bis 400 Volt, bei einem Druck von 10 mm bei 600 bis 800, bei 100 mm bei 1600 bis 2000 Volt auf. Die Erscheinungen sind also analog denen, die schon bekannt sind, z. B. für die leuchtende Entladung in der Luft.

Die Arbeiten von KAHRA, BÖLLING, WALZ und MENTRUP wurden unternommen, um die Stromstärke zu steigern. Alle Versuche, dies durch Steigerung der irreversiblen Vorgänge zu erreichen, hatten keinen nennenswerten Erfolg. Nach dem vorhergehenden findet nur eine +- bzw. —-Emission statt, wenn allein das +- bzw. —-Ion bei der Elektrolyse des festen Salzes wandert. Außerdem zeigen die Versuche, daß die Emission sehr stark mit der Temperatur zunimmt. Wenn man also Salze fände, bei denen etwa das —-Ion bis zu sehr hohen Temperaturen beständig war, so war zu erwarten, daß durch Steigerung der Temperatur eine starke Emission von einheitlichen +-Ionen erzielt werden würde. Von diesem Gesichtspunkt aus richteten wir unsere Aufmerksamkeit auf die Gläser, bei denen bekanntlich bis zu hohen Temperaturen nur das +-Ion wandert. Die Emission nahm bei allen untersuchten Präparaten mit der Zeit zu und erreichte erst nach längerer Zeit (1 bis 4 Stunden) das zeitlich konstant bleibende Maximum. Es rührte dieses Steigen von einem chemischen oder physikalischen Prozeß her; deutlich war zu erkennen, wie das Glas sich allmählich veränderte. War die Konstanz der Emission erreicht, so war sie auch bei niederen Temperaturen konstant; der der höheren Temperatur entsprechende irreversible Prozeß war also beendet, und die Emission rührte jetzt nur noch von der reversiblen, thermischen Auflockerung her. Durch Steigerung der Temperatur ließen sich verhältnismäßig große Emissionen erzielen, z. B. von einem dünnen Glas von 2 cm Länge bis zu $10^{-8}$ Amp bei 900° C. Bei noch höheren Temperaturen war es sogar möglich, Ströme bis $10^{-7}$ zu erhalten, jedoch traten dann auch schon merklich negative Ausschläge auf, ein Beweis dafür, daß jetzt andere verwickeltere, chemische Prozesse im Glase vor sich gehen. Bei höheren Temperaturen bis 1600° C hat MURAWKIN (1931) Gläser untersucht; er konnte sogar die einzelnen emittierten Ionen Ka, Na, Mg, Ca usw. im Massenspektrographen feststellen. Da die im Handel vorkommenden Gläser stets mehrere Metalle enthalten, sind auch die Emissionen nicht einheitlich. BÖLLING hat einheitliche Borgläser hergestellt und genauer untersucht. Die Emissionen waren aber nur klein. WALZ und MENTRUP haben das Ziel, große Stromstärken zu erhalten, dadurch erreicht, daß sie die Oberfläche des emittierenden

Salzes stark vergrößerten. Zu dem Zwecke brachten sie in einen unten geschlossenen Zylinder $Z$ (Fig. 3) aus dünnwandigem Nickelblech Bündel von dünnen Nickeldrähten. Das Ganze wurde in eine Lösung von $CdJ_2$ getaucht; nach dem Trocknen war die ganze Oberfläche, die etwa 3000 $cm^2$ betrug, mit festen $CdJ_2$ bedeckt. Über den Zylinder wurde eine Nickelplatte gut befestigt, die in der Mitte eine kleine Öffnung hatte. Der Zylinder wurde in ein unten geschlossenes Glasrohr gebracht, das evakuiert und erhitzt wurde. Oberhalb der Öffnung des Zylinders befand sich eine kleine, mit dem Galvanometer verbundene Sonde $P$. Wurde nun eine +-Spannung an den Zylinder gelegt, so trat aus seiner oberen Öffnung ein feiner Anodenstrahl heraus, dessen Stromstärke z. B. bei 400° und $1 \cdot 10^{-2}$ mm Druck und 90 Volt Spannung fast $10^{-6}$ Amp betrug. Diese Stromstärken lassen sich noch beliebig steigern, z. B. durch Verdoppeln der Länge der Drähte, durch Wahl von noch dünneren Drähten und andere Manipulationen, durch welche die Oberfläche vergrößert wird. Der genauen Untersuchung dieser Ionenstrahlen im Massenspektrographen und der Messung ihrer physikalischen Konstanten dürften hiernach keine unüberwindlichen Schwierigkeiten mehr entgegenstehen.

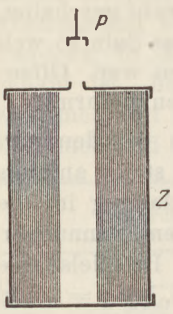


Fig. 3. Versuchsanordnung zur Steigerung der Stromstärke durch Oberflächenvergrößerung des emittierenden Salzes.

Zum Schluß sei noch auf den Zusammenhang zwischen den hier beschriebenen Ionenstrahlen und den von Gehrcke und Reichenheim 1906 entdeckten Anodenstrahlen hingewiesen. Allgemein bekannt dürfte der von diesen Forschern beschriebene Vorlesungsapparat sein, in welchem durch eine hohe Spannung ein leuchtender Anodenstrahl, der besonders gut bei Lithiumsalzen zu sehen ist, erzeugt wird. Hier ist es die hohe Spannung, welche die im festen Salz befindlichen Lithiumionen heraustreibt. Gleichzeitig verdampfen infolge der bei der Entladung auftretenden Wärme Lithiumsalzmoleküle, die durch den Ionenstoß zum Leuchten erregt werden. Die Gehrcke-Reichenheimschen Anodenstrahlen sind Ionenstrahlen bei großen Spannungen.

## Untersuchungen mit dem Kolbenprobergerät.

Von **Max Schmidt** in Hamburg.

Es ist heute nötiger als je, jeden jungen Deutschen in denjenigen Beruf und an die Stelle zu bringen, wohin er seiner Begabung nach gehört und wo er etwas leisten kann. Und gerade auf chemischem Gebiet ist die Heranbildung eines schöpferisch fähigen Nachwuchses von vielleicht ausschlaggebender Bedeutung für die Wohlfahrt unseres Volkes. Begabung für Chemie aber entdeckt man nicht durch einfache Mitteilung und gedächtnismäßige Einprägung von Tatsachen, auch nicht durch Vorführung glänzender qualitativer Experimente — dafür hat zunächst jeder Interesse —, sondern erst bei der mühevollen Einführung in die Grundgesetze an der Hand quantitativer Versuche.

Um die Ausarbeitung solcher Versuche haben sich seit A. W. Hofmann und Friedr. C. G. Müller alle hervorragenden Methodiker der chemischen Wissenschaft bemüht. Nichtsdestoweniger haben wir davon noch zu wenig. Die Eigenart des Unterrichtsbetriebes bringt es nämlich mit sich, daß nur solche Versuche geeignet sind, welche schnell und sicher auszuführen sind, und daß insbesondere das Hauptmeßgerät, die Waage, wenigstens im Demonstrationsunterricht so gut wie ausfällt. Wenn also der Chemielehrer — wie jeder naturwissenschaftliche Methodiker — den seit Comenius anerkannten Grundsatz in der Theorie bejaht, nichts ohne experimentellen Beweis zu bringen, da es im vorbereitenden Unterricht der Schule nur wenig auf Vermittlung von Kenntnissen, weit mehr dagegen auf Verständnis und Einsicht ankommt, so ist er doch in der Praxis gezwungen, diesen Grundsatz oftmals zu vernachlässigen. Anweisungen zu quantitativen Versuchen werden demnach immer erwünscht sein.

Wenn nun die Waage als Meßgerät möglichst zu vermeiden ist, so bieten sich unter den quantitativen Versuchen vor allem die gasvolumetrischen als geeignet dar, und zwar besonders zur Einführung in die Grundgesetze der Chemie. Denn Versuche mit festen und flüssigen Stoffen führen, auch wenn sie maßanalytisch ausgeführt werden, immer nur zur Bestätigung der Gesetze von PROUST und DALTON, hingegen die Gasanalyse außerdem zum Gesetz von GAY LUSSAC und zur AVOGADROschen Regel. Weiter ergibt sich als Folgerung die Zusammensetzung der Molekeln der elementaren Gase aus zwei Atomen, der Begriff des Molekulargewichts und -volumens und die Beziehung zwischen Molekulargewicht und Gasdichte. Genau so ist ja auch der historische Verlauf der Forschung gewesen, und die Zeit, welche diese Entdeckungen erforderten, beweist am besten die von Anfängern im Lehrberuf oft unterschätzte Schwierigkeit der methodischen Einführung. Neben den experimentellen Vorzügen bieten gasanalytische Versuche noch den weiteren Vorteil, daß der Schüler schnell mit der Eigenart wichtiger Gase und Gasgemische vertraut wird. Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Chlor, Kohlenoxyd und -dioxyd, Kohlenwasserstoffe, Ammoniak, Chlorwasserstoff und die Gasgemische wie Luft und Atemluft, Generator- und Wassergas, Rauchgase und Leuchtgas sind Stoffe, die nicht nur der zukünftige Chemiker kennenlernen muß.

Bei der kaum zu hoch einzuschätzenden methodischen Bedeutung der Gasvolumetrie für den einführenden Unterricht ist es erstaunlich und bedauerlich, daß in den Universitätslehrkursen offenbar sehr wenig Wert auf die Gasanalyse gelegt wird und insbesondere die Lehramtskandidaten in der Regel keinerlei Schulung in dieser Hinsicht genossen haben, während sie mit qualitativen Analysen geradezu überfüttert wurden, die sie in ihrer späteren Lehrtätigkeit niemals gebrauchen. Diese Vernachlässigung ist um so weniger zu verstehen, als die Gasanalyse heute — man denke nur an Luftuntersuchungen im Interesse der Abwehr, zu hygienischen Zwecken (Schutzräume, überfüllte Versammlungs- und Arbeitsräume), an Rauchgasprüfungen u. a. — an Bedeutung ungemein gewonnen hat. Die Ursache der Unbeliebtheit von Gasanalysen liegt anscheinend in der Unvollkommenheit und unbequemen Handhabung der dazu benutzten Geräte, die seit HEMPEL, BUNTE, LUNGE und ORSAT kaum, wenigstens nicht grundlegend, verbessert worden sind. Man pflegt nun dort, wo laufende Untersuchungen dieser Art in größerer Zahl auszuführen sind, die etwas langwierige und eintönige Arbeit eingearbeiteten Hilfskräften zu überlassen und findet sich so mit dem Zustand ab, in der Annahme, daß die Geräte ja nun wohl durchkonstruiert und Verbesserungen kaum zu erwarten seien. Für den Schulunterricht sind gasanalytische Methoden insbesondere von RISCHBIETH empfohlen worden. In seinem Büchlein: „Quantitative chemische Versuche" beschreibt er eine ganze Reihe methodisch wichtiger Versuche dieser Art. Es hat indessen nicht den Anschein, als wenn sie, von wenigen abgesehen, viel Eingang in die Unterrichtspraxis gefunden hätten, wie sie auch nur zum geringen Teil Aufnahme in die in Schulen weit verbreitete „Technik" von DOERMER-FRANCK gefunden haben. Auch dies hat offenbar seinen Grund in den offenkundigen, wenn auch von den Kritikern niemals klar ausgesprochenen Mängeln aller dieser Geräte, wie auch in der Tatsache, daß zur erfolgreichen Ausführung der Versuche während des Unterrichts doch eine längere Einarbeitung und nicht gewöhnliche experimentelle Geschicklichkeit gehört. Auch die Einführung weiterer Gasmeßgeräte, wie der MÜLLERschen Gasmeßglocken, hat an diesem Zustande nicht viel geändert.

Um die Brauchbarkeit bzw. Verbesserungsmöglichkeit der vorhandenen Geräte zu beurteilen, ist es nötig, sich die Art der damit auszuführenden Versuche zu vergegenwärtigen. Es handelt sich stets um die Messung des Volumens von Gasen oder Gasgemischen vor und nach ihrer chemischen Einwirkung auf andere Gase, deren Volumen vorher ebenfalls meßbar sein muß, ferner auf Flüssigkeiten und auf feste Stoffe. Die beiden ersten Gruppen von Reaktionen sind hauptsächlich diejenigen, welche man als Verbrennungs- und Absorptionsanalysen bezeichnet. Unter den Versuchen der dritten Art befinden sich ebenfalls viele methodisch wertvolle. Auch solche Reaktionen, bei

welchen sich durch Zersetzung eines festen Stoffes ein Gas entwickelt, dessen Volumen dann gemessen wird, wären mit hierher zu rechnen. Hiernach muß ein vollständiges Gerät aus vier Teilen bestehen: Auffang- und Meßgerät, Absorptionsgefäßen, Verbrennungseinrichtung für Gase und Reaktionsgefäßen für feste Substanzen. Bei den bisherigen Geräten sind dies die Gasbürette, die Absorptionspipette nach Hempel, die Glühdrahtpipette (Cl. Winkler, Rischbieth) bzw. eine Explosionspipette und Zusatzgeräte, wie schwer schmelzbare Rohrstücke, Anhängefläschchen usf. Die Beschaffenheit und Arbeitweise dieser Apparate darf als bekannt vorausgesetzt werden.

Bereits die Gasbürette hat zweifellos Mängel. Da eine Sperrflüssigkeit verwendet wird, muß das Meßrohr senkrecht stehen und mit einem Niveaugefäß verbunden sein. Hierdurch wird der Aufbau besonders dann recht unbequem, wenn am oberen Ende zusätzliche Apparate, wie Gaspipette oder Verbrennungsrohre, angeschlossen werden sollen. Die Unbequemlichkeit steigert sich, wenn es erforderlich ist, zwei Gasbüretten und zwei Niveaugefäße zu bedienen. Der Hauptnachteil liegt aber in der Sperrflüssigkeit selbst, als welche in der Regel nur Wasser, unter Umständen Salzlösung, in Frage kommt. Die Verwendung von Quecksilber vermeidet bekanntlich der Erfahrene gern; auch ist sie nicht immer möglich. Im Wasser aber lösen sich viele Gase, wodurch Fehler entstehen und manche sehr wünschenswerte Versuche, z. B. solche mit HCl und $NH_3$, völlig ausfallen. Gelegentlich könnte man sich durch Verwendung von Paraffinöl helfen. Kaum zu empfehlen, schon wegen der umständlichen Reinigung der Bürette, ist dagegen der Abschluß durch auf dem Sperrwasser schwimmendes Öl.

Weniger zu beanstanden ist auf den ersten Blick die Arbeitweise mit der Hempelschen Absorptionspipette, um so mehr, als diese gleichzeitig zur Aufbewahrung des Gases dienen kann. Günstig scheint ferner zuerst der Umstand, daß man die erforderlichen Absorptionen auch in der Gasbürette selbst vornehmen kann, wenn man die Absorptionsflüssigkeit in das Aufsatzgefäß bringt und bei entsprechender Stellung des Doppelhahnes und gesenktem Niveaugefäß in die Bürette eintreten läßt. Von dieser Möglichkeit macht freilich der Erfahrene sehr bald kaum noch Gebrauch, weil sie vor dem nächsten Versuche die zeitraubende Reinigung der Bürette erfordert. Er nimmt deshalb die Absorption lieber in der Pipette vor. Ein Übelstand ist es bei dieser Arbeitweise, wenn man aus einem Gasgemisch mehrere Gase durch Absorption entfernen muß. Es wäre zweifellos weit günstiger, wenn die Absorptionspipetten in der erforderlichen Zahl dauernd mit dem Gerät verbunden blieben, was bei der Gasbürette nicht der Fall ist.

Die jetzt gebräuchliche Verbrennungsvorrichtung, die Glühdrahtpipette, bedeutet bei den meisten Versuchen der früher verwendeten Explosionspipette gegenüber einen beträchtlichen Fortschritt. Auch ihr haften jedoch nicht unerhebliche Konstruktionsfehler an, die zum Teil durch die Verwendung von Sperrwasser bedingt sind. Aus diesem Grunde muß nämlich das brennbare Gas von oben nach unten einströmen. Die — meist sehr heiße — Flamme erhitzt also die obere Glaswand beträchtlich. Da diese zuerst naß ist, so ist diese Erhitzung für die Haltbarkeit nicht gerade förderlich. Aus diesem Grunde vermeidet z. B. Rischbieth die Verbrennung von Kohlenwasserstoffen in reinem Sauerstoff und empfiehlt, Luft zu nehmen, vielleicht auch wegen etwaiger Explosionsgefahr. Er kann dann aber nur sehr geringe Mengen (7 ccm Äthylen) verbrennen, wodurch die Versuchsfehler wohl meist zu groß werden dürften.

Es schien mir nun sehr wohl möglich, die erwähnten Mängel der bisher verwendeten Geräte völlig zu beheben, um so mehr, als inzwischen auch die Glastechnik ein Stück weitergekommen ist. Das geschah zunächst durch die Einführung der als Kolbenprober bezeichneten Gasmeßgeräte[1], bei denen keine Sperrflüssigkeit mehr verwendet wird. Dies hatte dann im allmählichen Fortschreiten der Versuche die übrigen Verbesserungen zur Folge, die sich fast von selbst ergaben. Über Bau und Verwendung

[1] D.R.P. Nr. 558332.

des Gerätes sind bereits eine Anzahl Arbeiten erschienen[1]. Naturgemäß konnten meine eigenen Arbeiten bisher das Thema noch nicht erschöpfend behandeln, sondern mußten sich, wie bei der Anzahl der möglichen Versuche begreiflich, auf das Wesentliche in experimenteller und theoretischer Hinsicht beschränken. Es ist aber unbedingt nötig, wie L. DOERMER in seiner angeführten Arbeit (S. 247) richtig bemerkt, die Versuchsbeschreibung so genau wie möglich zu geben, um so mehr, als diese Verfahren sowohl in experimenteller wie in theoretischer Hinsicht vielfach ungewohnt oder neu sind und über manche Versuche, wie die quantitative Arbeit mit stark wasserlöslichen Gasen, bisher kaum Erfahrungen vorliegen. Das Gerät ist nunmehr in sechsjähriger Arbeit erprobt und durchkonstruiert worden und hat sich auch bereits in den Händen mancher Kollegen bewährt. Daß ein genauer Bericht über die gewonnenen Erfahrungen wünschenswert ist, zeigen auch vielfache an mich gelangende Anfragen. Daher sollen in dieser Zeitschrift in zwangloser Folge Aufsätze über die Versuchsverfahren und die bisher gewonnenen Erfahrungen erscheinen. Ein Anfang hierzu ist von L. DOERMER in dem Aufsatz über den Kolbenprober bereits in dieser Zeitschrift 49, 247—255 (1936) gemacht worden. Hieraus sowie aus den bis heute veröffentlichten Arbeiten mehr zusammenfassenden Inhalts geht das Prinzip der Arbeitweise schon zur Genüge hervor, so daß es unnötig erscheint, nochmals eine genaue Beschreibung zu geben. Weiteres wird bei den unten folgenden Versuchsbeschreibungen angeführt werden. Nur auf weniges sei bei diesen einleitenden Ausführungen noch ergänzend hingewiesen. Die Ausführung der von mir als Kolbenprober bezeichneten Glasspritzen, welche früher in dieser Größe kaum hergestellt wurden, und an die man jedenfalls nicht derartig hohe Anforderungen bezüglich Dichtigkeit stellte, ist inzwischen dauernd verbessert worden. Da es sich aber um ein Gerät handelt, welches im Handbetrieb fertiggestellt werden muß, fallen die Stücke verschieden aus. Man prüft einen gelieferten Kolbenprober, indem man — ohne Schmierung — bei verschlossenem Mündungsrohr den auf Null stehenden Kolben bis zur Hälfte der Teilung zurückzieht und sofort wieder vorgleiten läßt (nicht loslassen!). Er muß dann in die Nullstellung zurückgehen. Es wird auch dauernd auf den Fabrikanten[2] eingewirkt, um scharfe Auslese zu verbürgen, weshalb es auch bisher nicht möglich war, den Preis zu senken. Nach dem Ende zu nimmt naturgemäß die Dichtigkeit ab, wie L. DOERMER in seiner Arbeit hervorhebt. Man wird daher die Teilung nach Möglichkeit nur etwa bis zur Hälfte beanspruchen, bei vollständiger Füllung mit Gas solche Kolbenprober bevorzugen, die einen etwas längeren „Auslauf" haben, mit Paraffinöl schmieren und Druckunterschiede möglichst vermeiden. Selbstverständlich überzeugt man sich vor jedem Versuch durch Hin- und Herleiten von Luft davon, daß das Gerät in Ordnung und alles dicht ist. Bei tadellosem Gerät und vorsichtiger Arbeit kann man zweifellos erreichen, daß die Verluste gleich Null sind. Eine weitere, nicht unwichtige Neuerung besteht in der Verwendung eines Dreiwegehahnes zur bequemen und schnellen Füllung der Kolben mit Gasen, die in dem DOERMERschen Aufsatz auf S. 254 bereits beschrieben und abgebildet ist. Sie beschleunigt die Arbeit außerordentlich, spart außerdem Material und ermöglicht ferner die schnelle Vertreibung der Luft. Ergänzend ist hierzu nur noch zu bemerken, daß es zweckmäßiger ist, den Dreiwege-Füllhahn mit seinem Seitenrohr anzuschließen, weil dann das Probierglas in der richtigen Stellung hängt und man es bequem mit der Bunsenflamme erhitzen kann. — Zur Beschleunigung der quantitativen Arbeit trägt weiter die Verwendung der sog. ORSAT-Gaspipette an Stelle der sonst üblichen HEMPELschen Pipette mit besonderem Manometerrohr bei. Sie ist möglich, weil man mit den Kolben das Gas aus den Absorptionspipetten, die dann gleich in beliebiger Anzahl am Apparat bleiben können, weit bequemer heraussaugen kann als durch Senkung der Niveaugefäße bei der früheren Apparatur, und weil das eine am Gerät befindliche Druck-

[1] M. SCHMIDT: Naturwiss. Mh. **1931** und **1932**; Z. physik. chem. Unterr. **1932**; Unterrichtsblätter f. Math. u. Naturwiss. **1931** und **1933**; L. DOERMER: Z. physik. chem. Unterr. **49**, 247 (1936).

[2] Albert Dargatz: Hamburg 1, Steinstr. 10, Haus des Fortschritts.

messer-U-Rohr für alle Pipetten ausreicht. — Weiter ermöglicht die Bauart des Geräts und die horizontale Lagerung der Meßapparate in bequemer Höhe die Anbringung kugel- oder röhrenförmiger Gefäße zwischen den Kolbenprobern, wodurch quantitative Versuche mit Beteiligung fester Stoffe (z. B. auch organische Elementaranalysen) ermöglicht werden und Gase in ausreichenden Mengen ohne jede Gefahr mit Sauerstoff verbrannt werden können. Bauart und Verwendung der Glühdrahtkugel soll weiter unten beschrieben werden. Diese Neuerungen machen nun das Gerät für alle quantitativen Versuche geeignet, wo Gasvolumetrie in Frage kommt, sei es für Reaktionen zwischen Gasen allein (Beispiel $NH_3 + HCl$, Verbrennungsanalysen), zwischen Gas und Flüssigkeit (Absorptionen) oder zwischen festen Stoffen und Gasen (Verbrennungen, Zersetzungen usf.). Da bisher die Gasanalyse ein etwas vernachlässigtes Gebiet war, andererseits aber ungewöhnliche Bedeutung für den einführenden Unterricht hat, so wird die durch das Gerät zu erzielende Erleichterung und Beschleunigung der experimentellen Unterrichtsarbeit willkommen sein. Zu betonen wäre noch, daß es sich durchaus nicht um die Einführung neuer Stoffgebiete handelt, die natürlich bei der heutigen Zeitnot nicht vertretbar wäre, sondern allein um eine Vertiefung durch Vermehrung und Erleichterung grundlegender Versuche. Es werden in den folgenden Ausführungen indessen manche Versuche erwähnt, die nicht jeder ausführen wird, weil ja der Unterrichtsstoff je nach Neigung der Schüler und des Lehrers verschieden sein wird und daher dem einen dieser, dem anderen jener Versuch willkommen sein wird. Nach verhältnismäßig kurzer Einarbeitung wird man übrigens bemerken, daß die meisten Versuche nur so kurze Zeit in Anspruch nehmen, daß in der gleichen Unterrichtsstunde noch die theoretische Auswertung des Versuches erfolgen kann. Man wird also durch Verwendung des Geräts Zeit sparen und trotzdem mehr erreichen als früher, wo manches doch „Schwamm- und Kreidechemie“ bleiben mußte.

Wo eine Wägung erforderlich ist, sei hierzu die kombinierte Torsions- und Balkenwaage von Jung-Heidelberg empfohlen[1]. Sie beschleunigt die Arbeit ungemein, weil das Gewicht an einer Skala abgelesen wird. Ferner hat sie den Vorteil, an beliebiger Stelle, auch auf dem Experimentiertische des Lehrzimmers, aufgestellt werden zu können. Der Wägebereich umfaßt 5 g mit Genauigkeit bis zu 1 mg; $^1/_{10}$ mg durch Schätzung. Die Fehlergrenze ist etwa $\pm$ 0,2 mg. Wegen des verhältnismäßig geringen Wägebereichs wird man Gefäße im allgemeinen nicht mitwägen können, sondern feste Stoffe, etwa bei der organischen Elementaranalyse, in einem Behälter aus Glanzpapier mit diesem zusammen wägen, den Stoff in das Verbrennungsrohr schütten und den Papierbehälter samt anhaftenden Resten zurückwägen. Das Ganze erfordert höchstens einige Minuten Zeit.

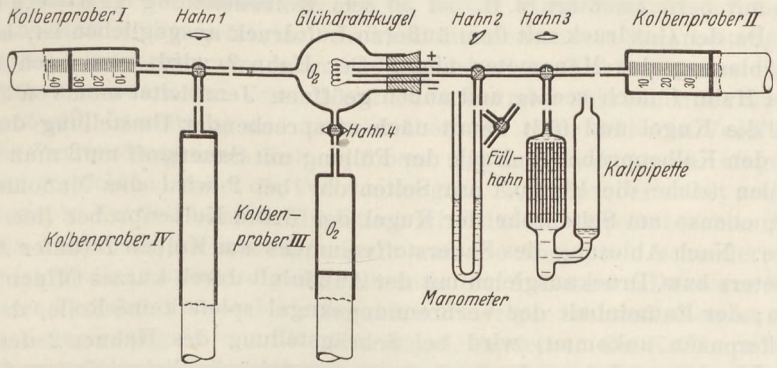
## I. Quantitative Gasverbrennungen.

Zwei Kolbenprober mit 50 oder 100 ccm Inhalt sind durch ein Kapillarrohr mit drei Seitenrohren verbunden. An der Abzweigstelle des ersten und zweiten Seitenrohres befinden sich Dreiwegehähne, beim dritten Seitenrohre, das zum Anschluß einer Gaspipette dient, genügt ein einfacher Hahn im Seitenrohre. Die Gaspipette enthält Natron- oder Kalilauge 1 : 2. Am Seitenrohr *2* wird ein Druckmesser-U-Rohr mit Wasser angeschlossen. Zwischen dem ersten und zweiten Dreiwegehahn wird die Glühdrahtkugel angebracht. Sie besteht aus Jenaer Glas und hat etwa 100 ccm Rauminhalt. Die Form ist aus der beigegebenen Figur ersichtlich. Auf der einen Seite, nach dem Hahn *2* zu, befindet sich ein weiter Tubus, der mit dreifach durchbohrtem Gummistopfen verschlossen ist. Durch die mittlere Bohrung geht das Gaszuleitungsrohr, das durch Schlauchstück mit dem Kapillarrohr zum Hahn *2* verbunden ist. Durch die beiden seitlichen Bohrungen des Gummistöpsels gehen Glasrohrstücke, in welche zwei Kupferdrähte mit Wachsmasse eingekittet sind, die am äußeren Ende je eine Klemmschraube tragen und innerhalb der Kugel durch eine Platindrahtwendel (0,5 mm) verbunden sind. Der Platindraht ist

[1] Preis ohne Kasten RM 65.—; Gewichtssatz RM 7.50.

1 bis 1,5 cm vom Ende des Gaszuleitungsrohres entfernt. Gegenüber dem Tubus der Glaskugel trägt diese eine Ansatzkapillare, welche wiederum durch Schlauchstück mit dem Kapillarrohr zum Hahn *1* verbunden wird. Weiter ist noch eine zweite Ansatzkapillare bei *4* an der Kugel angebracht, die durch einen Hahn verschließbar ist. Mit dieser wird ein dritter Kolbenprober von 100 ccm Inhalt verbunden. Man kommt dann bei den beiden ersten Kolbenprobern, an denen die Messungen vorgenommen werden, mit dem kleinen und billigeren Modell zu 50 ccm Inhalt aus. Da, wie aus dem folgenden ersichtlich, der seitlich angebrachte Kolbenprober nicht als Meßgefäß, sondern nur als Reserve-Sauerstoffbehälter dient, so kann man ihn im Notfall durch eine SCHEIBLER-Gummiblase[1] ersetzen. Die einzelnen Teile des Gerätes sind in ein Holzstativ eingebaut, bei welchem zur Regelung der Abstände ein Grundbrett verschiebbar ist.

Alle Verbrennungen, auch die der gasförmigen Kohlenwasserstoffe, können unbedenklich mit reinem Sauerstoff vorgenommen werden. Dies hat den großen Vorteil, daß verhältnismäßig viel Gas verbrannt werden kann selbst bei großem Sauerstoffbedarf, wodurch die Versuchsfehler geringer werden. Das Gas entzündet sich am




Versuchsanordnung zur quantitativen Verbrennung von Gasen.

glühenden Platindraht unmittelbar beim Einströmen. Die Größe der Flamme läßt sich durch Druck auf den Kolben *II* bequem regeln. Die Verbrennung kann beliebig durch Schließen (Schrägstellung) des Hahnes *2* unterbrochen werden, worauf man die Verbrennungsgase von dem seitlichen Kolben *III* her durch neuen Sauerstoff ersetzen und und in den Kolben *I* treiben kann. Da die heiße Flamme frei im Innern der Kugel brennt und die Glaswand nirgends berührt, ist weder Explosionsgefahr noch zu starke Erhitzung des Platindrahtes oder der Glaswand zu befürchten. Man muß nur beachten, daß der Draht hell rotglühend bleibt und das zuströmende Gas sofort entzündet wird. Ferner ist selbstverständlich darauf zu achten, daß in den Kolben *II* kein Sauerstoff gelangt. Der Kolben *I* muß also leicht beweglich sein, während man den Kolben *II* auch bei Überdruck festhalten muß. Alle Kolben werden mit Paraffinöl geschmiert. Sollte der Raum des Kolbens *I* zur Aufnahme der Wärmeausdehnung und der Verbrennungsgase nicht ausreichen, so kann man bei *I* noch einen weiteren Kolben *IV* bzw. eine SCHEIBLER-Blase anschließen. — Verbrennt man Gase, deren Sauerstoffbedarf gering ist, wie $H_2$ oder CO, so sind die seitlichen Kolbenprober bzw. SCHEIBLER-Blasen unnötig, und auch bei Kohlenwasserstoffen kommt man ohne sie aus, wenn man die Verbrennungskugel etwas größer wählt bzw. entsprechend weniger Gas verbrennt. Kleinere Verbrennungskugeln haben aber den Vorteil, daß die der Verbrennung folgende Absorption von $CO_2$ schneller erfolgt, weshalb im allgemeinen das zuerst geschilderte Verfahren vorzuziehen ist.

[1] Vorzuziehen ist die Verwendung von Kolbenprobern. SCHEIBLER-Blasen muß man selbstverständlich vor den Messungen vollständig durch Saugen mittels der Kolben entleeren, auch darf man sie nur vorübergehend zur Aufbewahrung der Gase benutzen.

Da das Einleiten des Gases bei *2* erfolgt, muß der Inhalt der Kapillare vom Hahn *2* bis zur Nullteilung des Kolbenprobers *II* berücksichtigt werden. Man ermittelt ihn am besten durch Einsaugen von Quecksilber und dessen Abwägen. In der Regel haben 10 cm Kapillarrohr etwa 0,3 ccm Inhalt. — Vor Beginn einer Analyse prüft man durch Hin- und Herleiten von Luft die Dichtigkeit des Apparates.

Die Füllung geschieht nach Abnahme des Manometers bei Hahn *2*. Am Seitenrohre wird ein kurzes Dreiwegehahnstück mit seinem Seitenrohr durch Schlauchstück angeschlossen („Füllhahn"), dessen Verwendung bereits in der Arbeit von Doermer S. 254 beschrieben ist. Die Entwicklung der Gase erfolgt im allgemeinen in einem Probierrohr aus ganz geringen Substanzmengen. Entwicklung und Luftverdrängung aus dem Probierrohr und den Zuleitungsröhren ist so im Handumdrehen erledigt. Auch bei giftigen Gasen braucht man kaum unter dem Abzuge zu arbeiten, da nur Spuren in die Luft gelangen. Das Gas wird in den Kolben *II* gebracht und kann dann nötigenfalls in der Kalipipette gereinigt werden. Hierauf drückt man den Überschuß heraus und läßt nur die zu verbrennende Menge im Kolben zurück, wobei man den Inhalt des Kapillarrohres vom Hahn *2* ab mit berücksichtigt (z. B. bei 30 ccm Kolbenstellung 29,5 + 0,5 ccm in der Kapillare). Da der Gasdruck mit dem äußeren Luftdruck ausgeglichen ist, braucht man für diese Ablesung das Manometer nicht. Der Hahn *2* wird jetzt nach links offen gestellt und Hahn *1* nach rechts und außen geöffnet. Jetzt leitet man von *2* her Sauerstoff durch die Kugel und füllt damit nach entsprechender Umstellung des Hahnes *1* auch noch den Kolbenprober *I*. Nach der Füllung mit Sauerstoff muß man den Hahn *2* schräg stellen (siehe die Figur). Am Seitenrohr bei *2* wird das Manometer wieder angebracht, ebenso am Seitenrohr der Kugel der dritte Kolbenprober (leer) bzw. eine Gummiblase. Nach Ablesung des Sauerstoffvolumens am Kolben *I* (unter Anschaltung des Manometers bzw. Druckausgleich mit der Außenluft durch kurzes Öffnen von Hahn *1* nach außen; der Rauminhalt der Verbrennungskugel spielt keine Rolle, da es nur auf Volumendifferenzen ankommt) wird bei Schrägstellung des Hahnes *2* der Sauerstoff aus Kolben *I* in den seitlich an der Verbrennungskugel befindlichen Kolben *III* gebracht und dieser abgeschlossen, ferner unter Umständen noch bei *1* ein seitlicher Kolben oder eine Gummiblase (leer) zur Aufnahme der Verbrennungsgase und der Ausdehnung angeschlossen. Nunmehr ist alles zur Analyse bereit.

Man bringt jetzt durch einige Sammlerzellen, nötigenfalls unter Verwendung eines Regulierwiderstandes, den Platindraht zur hellen Rotglut. Es empfiehlt sich, die Klemmschrauben der Zuleitungsdrähte mit fest am Stativ angebrachten Buchsen vermittelst Drahtspiralen dauernd zu verbinden und an den Zuleitungsdrähten vom Sammler her Bananenstecker zu verwenden, oder aber durch einen Ausschalter für die Möglichkeit schneller Unterbrechung des Heizstromes Sorge zu tragen. — Raum für die Aufnahme der Ausdehnung ist genügend im Kolben *I* und *IV*. Jetzt faßt man den Kolben *II*, am besten nicht am Ende, sondern seitlich, öffnet den Hahn *2* und drückt das Gas gegen den glühenden Draht, wobei es sich entzündet. Die Flammengröße regelt man am Kolben *II* so, daß nicht etwa der Platindraht zu stark erhitzt wird, wobei er durchschmelzen könnte. Vermeiden muß man, wie gesagt, unbedingt ein Zurückziehen des Kolbens *II* und Einsaugen von Sauerstoff, wobei in *II* ein explosibles Gasgemisch entstehen würde. Der Kolben *I* muß also leicht beweglich sein, um einen etwaigen Überdruck durch Zurückweichen auszugleichen. Handelt es sich um ein Gas, dessen Verbrennung großen Sauerstoffverbrauch erfordert, so unterbricht man die Verbrennung nach einiger Zeit durch Schließen des Hahnes 2 (Schrägstellung), worauf man neuen Sauerstoff aus dem Kolben *III* in die Kugel drückt und gleichzeitig die bereits entstandenen Verbrennungsgase in den Kolben *I* bringt. Ist in diesem nicht mehr genügend Raum, so schaltet man durch entsprechende Hahnstellung jetzt den Kolben *III* an. Dies ist aber nur selten nötig, da ja die Verbrennungen stets mit Volumenverminderung erfolgen. Hierauf wird die Verbrennung fortgesetzt, wenn nötig nochmals der Sauerstoff-

vorrat in der Verbrennungskugel erneuert. Ist aus dem Kolben *II* alles Gas herausgedrückt, so zieht man den Kolben *II* ein wenig zurück und drückt ihn wieder vor. Das wiederholt man noch einige Male, wobei der Gasrest im Kapillarrohr ruhig verbrennt, und zieht dann alles Gas noch ein- bis zweimal am glühenden Platin hin und her.

Nach Abschaltung des Heizstromes muß die Abkühlung abgewartet werden. Man kann sie sehr bald durch Auflegen eines nassen Tuches auf die Kugel beschleunigen. Die seitlich angeschlossenen Kolbenprober bzw. Gummiblasen werden wieder entleert und so viel vom Gasrest in den Kolben *II* gebracht, wie vor der Verbrennung darin war. Ändert sich der Manometerstand nicht mehr (Kontrolle der Zimmertemperatur!), so wird der Stand des Kolbens *I* abgelesen. Die Genauigkeit der Ablesung kann durch Anbringung von Nonien auf den Kolben erhöht werden. Da die Gase vor der Verbrennung nicht getrocknet wurden, auch der Apparat meist Wasserreste enthält, so spielt ein verschiedener Feuchtigkeitsgehalt der Gase vor und nach der Verbrennung — nachher ist das Restgas immer mit Feuchtigkeit gesättigt — wenigstens bei Demonstrationsversuchen kaum eine Rolle.

Die Ausführung der Verbrennungen ist in der vorstehend beschriebenen Weise auch mit Sauerstoff völlig gefahrlos; sie kann ohne besondere Einarbeitung sofort ausgeführt werden. Immerhin wird man nicht gleich einen Kohlenwasserstoff mit Sauerstoff verbrennen, sondern den Versuch mit einem harmlos abbrennenden Gase (Wasserstoff, Kohlenoxyd, Leuchtgas) und Luft einüben. In einer früheren Veröffentlichung[1] habe ich die Verwendung eines Kolbenprobers mit am Mündungsrohr eingeschmelzten Platindrähten empfohlen, wobei die Verbrennung im Kolbenprober selbst erfolgt und die Glühdrahtkugel in Fortfall kommt. Hierdurch wird die Arbeit sehr beschleunigt, da man nicht auf die Abkühlung zu warten braucht und die Absorption schneller erfolgt. Die Arbeitweise ist für die Chlorwasserstoffsynthese in dem Aufsatz von DOERMER beschrieben. Da aber dieses Verfahren immerhin erheblich schwieriger zu handhaben ist als die oben geschilderte Verbrennung in der Glühdrahtkugel, da ferner der Kolbenprober, in dem sich die Funkenstrecke befindet und der wegen der technisch schwierigen Einschmelzung der Drähte der empfindlichste und teuerste Teil des Gerätes ist, durch die Verbrennungen gefährdet wird, so ist die Verbrennung in der Glühdrahtkugel vorzuziehen. Die Chlorwasserstoffsynthese freilich liefert einstweilen bei Verwendung der Glühdrahtkugel, was die Messung der entstandenen HCl-Menge anlangt, weniger gute Werte als mit dem bei DOERMER beschriebenen Verfahren. Auf diesen Versuch wird in einer späteren Arbeit zurückzukommen sein.

Wie erwähnt, dauert die Absorption von $CO_2$ bei Verbrennung in der Glühdrahtkugel etwa 5 bis 10 Minuten länger, da man nicht den ganzen Gasrest gleichzeitig in die Absorptionsflüssigkeit hineindrücken kann. Denn es bleibt ja ein Teil in der Kugel zurück. Es ist deshalb zweckmäßig, nach Leerung der Kolben *I*, *II* und *III* 50 bis 100 ccm „Fülluft" in den Kolben *I* einzusaugen, mit der man dann das Gas aus der Verbrennungskugel in die Kalipipette hineintreibt. Durch oftmaliges Hin- und Herbewegen des Gasrestes mit Hilfe der Kolben *I* bis *III* wird allmählich die gesamte Gasmenge vom Kohlendioxyd befreit. Man setzt das Hin- und Herbewegen so lange (etwa 10 Minuten) fort, bis mindestens zwei aufeinanderfolgende Ablesungen übereinstimmen. Auch für die letzte Ablesung ist es gut, wenn der Kolben *II* ebenso weit gefüllt wird wie zu Anfang, damit alle gemessenen Volumendifferenzen auf Ablesungen an einem und demselben Kolbenprober beruhen.

Will man bei der Verbrennungsanalyse von Gasen gute Ergebnisse erzielen, so ist selbstverständlich deren Reinheit unbedingte Voraussetzung. Leider ist nun eine völlige Reinigung namentlich der Kohlenwasserstoffe mit den Hilfsmitteln eines Schullaboratoriums nicht immer möglich. Doch sind die Ergebnisse für unsere Zwecke völlig ausreichend und denen mit anderen Versuchsanordnungen, besonders Wasserschluß-

[1] Vgl. diese Zeitschr. **49**, 253 (1936).

geräten, überlegen. Die bei der Darstellung und Reinigung am besten anzuwendenden Verfahren werden bei den einzelnen Gasen angeführt.

Wasserstoff. Entwicklung aus Zink und verdünnter Schwefelsäure. Der Kolben *II* wird mit 30 bis 50 ccm Wasserstoff gefüllt (hier wie bei allen Füllungen sind die Zuleitungsröhren vom Hahn *2* bis zum Kolben *II* durch mehrmaliges Herausdrücken einiger ccm bereits eingeleiteten Wasserstoffs nach entsprechender Drehung des Füllhahns mehrfach zu spülen, um Luft mit Sicherheit zu vertreiben). Die Verbrennungskugel und ein Teil des Kolbens *I* wird durch Einleiten aus der Stahlflasche mit Sauerstoff gefüllt. Auch kann man die Verbrennung mit Luft vornehmen. Die seitlichen Kolben *III* und *IV* sind des geringen Sauerstoffverbrauchs wegen unnötig. Das umgekehrte Verfahren — Abmessung von Sauerstoff im Kolben *II* und Verbrennung mit einem Wasserstoffüberschuß, der sich in der Kugel und im Kolben *I* befindet — ist an sich ebenso gut ausführbar. Indessen ist es in diesem Falle nicht zweckmäßig, den Sauerstoff aus der Stahlflasche zu benutzen, weil dieser wechselnde Mengen Stickstoff enthält.

Ergebnisse:

| Wasserstoff | Kontraktion = verbrauchter Sauerstoff |
|---|---|
| 30 ccm | 15,6 = 1,92:1 |
| 20 „ | 9,6 = 2,04:1 |
| 40 „ | 19,7 = 2,03:1 |
| 20 „ | 10 = 2:1 |
| 30 „ | 14,8 = 2,03:1. |

Ist die Zusammensetzung des Wassers den Schülern bekannt, so kann man das Ergebnis der Verbrennung von Wasserstoff mit Luft zur Ermittlung des Sauerstoffgehalts der Luft auswerten, falls man das Volumen der Verbrennungskugel bestimmt.

Die Ermittlung des Volumens, das der gebildete Wasserdampf einnimmt — bekanntlich ein Versuch von großer methodischer Bedeutung —, ist mit der beschriebenen Anordnung nicht möglich. Man muß zu diesem Zwecke die Glühdrahtkugel fortlassen, die Verbrennung in einem Kolbenprober mit Funkenstrecke vornehmen, wie bei der HCl-Synthese, und diesen Kolben mit einem Glaszylinder umgeben, der mittelst eines aufgewickelten Widerstandsdrahtes durch einen elektrischen Strom so hoch erhitzt wird, daß das gebildete Wasser gasförmig bleibt. Die Ergebnisse sind gut. Von einer genauen Beschreibung wird indessen abgesehen, weil für diesen Versuch der ausgezeichnete Apparat nach Petzold und Scharf[1] beschrieben worden ist.

Kohlenoxyd: Entwicklung aus konzentrierter Ameisensäure mit konzentrierter Schwefelsäure, Reinigung von $CO_2$ und $SO_2$ in der Kalipipette.

Füllung und Verbrennung erfolgen in gleicher Weise wie beim Wasserstoff. Nach Abkühlung und Messung wird der Gasrest zur Feststellung der entstandenen $CO_2$-Menge, wie oben beschrieben, in die Kalipipette geleitet.

Ergebnis:
CO verbrannt 50 ccm — 50 — 20 — 40
$O_2$ verbraucht 25 „ — 25 — 9,4 — 20
$CO_2$ entstanden 50,3 „ — 49,3 — 19 — 40.

Der für die Bestätigung des Gesetzes der multiplen Proportionen besonders wichtige Versuch ergibt also, da das Kohlenoxyd sehr rein ist, ausgezeichnete Resultate.

Ammoniak: Bei diesem Versuche machen sich die Vorzüge des Kolbenprobergeräts, da es ohne Sperrflüssigkeit arbeitet, besonders bemerkbar. Man entwickelt das Gas aus konzentrierter Ammoniakflüssigkeit durch Zusatz einiger Stückchen von festem Natriumhydroxyd und vorsichtiges Erhitzen; Trocknung etwa durch etwas Natronkalk über einem Wattepfropfen im Probierglase. Füllung mit Ammoniakgas und Sauerstoff wie oben. Der zur Aufnahme des Ammoniaks dienende Kolben *II* wird nicht geschmiert.

Ergebnis: $NH_3$ 24, Kontraktion nach Verbrennung und Abkühlung 30 ccm,
ebenso 30 und 37,5 ccm
„ 30 und 35,9 ccm

Kontraktion berechnet: $4\ NH_3 + 3O_2 = 2\ N_2 + 6\ H_2O$.
1. 24 + 18 — 12 = 30, wie gefunden,
2. 30 + 22,5 — 15 = 37,5, ebenso gefunden,
3. 29 + 21,75 — 14,5 = 36,25, gemessen 35,9 ccm.

[1] Vgl. diese Zeitschr. 45, 97 (1932).

Gelegentlich ist das Volumen des Gasrestes etwas zu groß, die Kontraktion fällt also zu gering aus (Versuch 3). Dies rührt daher, daß der Gasrest feucht gemessen wird. Da man bei dieser Analyse die Kalipipette nicht gebraucht, kann man statt ihrer eine solche mit konzentrierter Schwefelsäure anbringen, in welcher der Gasrest getrocknet werden kann.

Kohlenwasserstoffe: Die Ermittlung der Zusammensetzung der drei Grundkohlenwasserstoffe Methan, Äthylen und Acetylen durch Verbrennungsanalyse ist jedenfalls im einführenden Unterricht äußerst wünschenswert, schon weil eine Unterweisung über die Verwertung der Steinkohle und anderer natürlicher Brennstoffe, welche ja im Grunde das bedeutsamste chemisch-technische Problem unserer Zeit darstellt, immer ein wichtiger Bestandteil des chemischen Unterrichts bleiben wird, ferner wegen der Bedeutung dieser Kohlenwasserstoffe für die Ableitung ihrer Reihen und zum Aufbau anderer organischer Verbindungen und schließlich zum Verständnis der später folgenden organischen Elementaranalyse, deren erstes Beispiel die quantitative Verbrennung dieser Kohlenwasserstoffe darstellt. Die bisher angegebenen Verfahren für diese Analysen luden indessen nicht sehr zur Nachahmung ein. Denn bei dem großen Sauerstoffbedarf der Kohlenwasserstoffe verspricht nur eine Verbrennung mit reinem Sauerstoff Erfolg, während man mit Luft in den üblichen Apparaten viel zu geringe Mengen verbrennen kann und die Analysenfehler außer durch die geringe Menge noch durch schwer zu entfernende Verunreinigungen und durch Lösung der entstehenden Kohlensäure im Sperrwasser vergrößert werden. Mit Sauerstoff aber geben die Kohlenwasserstoffe bekanntlich gefährliche Explosionsgemische, weil bei ihrer Zerlegung starke Energiemengen frei werden. Aus diesen Gründen gehörte das Kapitel Kohlenwasserstoffe wohl meist zur „Schwamm- und Kreidechemie", und der experimentelle Beweis ihrer chemischen Zusammensetzung fiel trotz seiner Wichtigkeit aus. Mit dem Kolbenprobergerät indessen ist die Sache genau so bequem und gefahrlos wie bei den bisher geschilderten Versuchen. Bei der Darstellung verfährt man folgendermaßen:

Methan: Entwicklung aus sorgfältig entwässertem Natriumacetat und entwässertem Natronkalk. Das im Mörser zerriebene Gemisch kann man, sorgfältig verschlossen, für spätere Versuche aufbewahren. Zum Entwickeln nimmt man ein schwer schmelzbares dickwandiges Probierglas, weil starke Erhitzung notwendig ist und dünnwandige Gläser schon bei geringem Überdruck aufgeblasen werden. Das Gas ist stark mit anderen Kohlenwasserstoffen verunreinigt. Die Reinigung erfolgt durch Einleiten in eine Pipette mit konzentriertem Bromwasser, wonach die Bromdämpfe in der Kalipipette entfernt werden. Man überzeuge sich, ob bei nochmaligem Einleiten das Volumen konstant bleibt!

Äthylen: Entwicklung aus 2 Teilen Äthylalkohol und 5 Teilen konzentrierter Schwefelsäure unter Hinzufügung eines kleinen Stückchens Kupfersulfat Reinigung von $SO_2$ und $CO_2$ in der Kalipipette. Der früher empfohlene Zusatz von Sand ist überflüssig.

Acetylen: Entwicklung durch Einwerfen eines Stückchens Calciumcarbid in eine konzentrierte Lösung von Kaliumpermanganat. Reinigung in der Kalipipette. Die Heftigkeit der Reaktion kann durch Zusatz von Kochsalz gemildert werden. Wegen der starken Schaumbildung benutzt man als Entwicklungsgefäß statt des sonst üblichen Probierglases besser einen kleinen Erlenmeyer-Kolben, in dessen Hals ein Wattebausch gestopft wird, wodurch das Eindringen des Schaumes in den Füllhahn und die Rohrleitung verhindert wird.

Die Verbrennung erfolgt genau nach der Beschreibung. Nachdem der Kolben *II* ganz hineingedrückt ist, zieht man ihn einige Male um ein kleines Stück zurück und drückt ihn wieder vor, wodurch erreicht wird, daß das noch in der Kapillare zwischen Hahn *2* und der Kugel befindliche Gas ebenfalls mit ruhiger Flamme verbrennt. Ist dies geschehen, so kann man den ganzen Gasrest noch ein- bis zweimal am glühenden Platin vorbeiführen. Bei dem ersten kurzen Zurückziehen des kleinen Gasrestes in der

Kapillare kann höchstens einmal eine schwache Verpuffung erfolgen, die ganz harmlos verläuft. Man hält dabei den Kolben *II* fest. Auch die nach der Abkühlung und Messung vorzunehmende Absorption ist oben schon beschrieben worden.

Aus der gemessenen $CO_2$-Menge ergibt sich sofort die Zusammensetzung des verbrannten Kohlenwasserstoffs bzw. die Zahl der Kohlenstoffatome in seinem Molekül. Ein Kohlenwasserstoff mit einem Atom C ergibt nämlich die gleiche $CO_2$-Menge, bei 2 Atomen die doppelte u. s. f. Die Anzahl der C-Atome im Molekül ist gleich dem Quotienten aus der $CO_2$-Menge und dem verbrannten Gasvolumen. Da nun die entstandene $CO_2$-Menge den gleichen Raum einnimmt wie der zu ihrer Entstehung erforderliche Sauerstoff ($CO_2 = O_2$; durch Verbrennung von reinem Kohlenstoff in abgemessener Sauerstoffmenge ändert sich das Volumen nicht), so ist die tatsächlich eintretende Volumenverminderung ein Maß für die verbrannte Wasserstoffmenge. Ein Molekül Sauerstoff entspricht 4 Atomen Wasserstoff; daher ist die Zahl der Wasserstoffatome im Molekül des verbrannten Kohlenwasserstoffs das Vierfache des Quotienten aus Kontraktion nach der Verbrennung (= Sauerstoffverbrauch für die H-Verbrennung) und verbranntem Gasvolumen. Oder: Hat der Kohlenwasserstoff die Formel $C_x H_y$, so erfolgt die Verbrennung nach der Gleichung

$$C_x H_y + \left(x + \frac{y}{4}\right) O_2 = x\, CO_2 + \frac{y}{2} H_2O.$$

Der scheinbare Sauerstoffverbrauch (nämlich die zur Verbrennung des Wasserstoffs verbrauchte Menge) ist also $x + \frac{y}{4} - x$ oder $\frac{y}{4}$, das Vierfache davon mithin gleich der gesuchten Zahl $y$ der Wasserstoffatome. Nun verbrennt man aber nicht 1 ccm, sondern $V$ ccm; man muß also zuerst die nach der Verbrennung gemessene Kontraktion durch die verbrannte Anzahl ccm teilen. Selbstverständlich lassen sich die Analysen auch noch in anderer Weise auswerten, wofür noch ein Beispiel hinzugefügt sei. Bei der Verbrennung von 30 ccm Äthylen erhält man nach der Verbrennung eine Kontraktion von 30 ccm (außer der verschwundenen Äthylenmenge), nach der Absorption einen weiteren Schwund von 60 ccm. Demnach ist der gesamte Sauerstoffverbrauch 90 ccm = 3 Vol.

$$C_x H_y + 3\, O_2 = 2\, CO_2 + \frac{y}{2} H_2O$$

| 30 ccm | 90 ccm | 60 ccm |
|---|---|---|
| $V$ ccm | $K_1 = 30$ ccm | $K_2 = 60$ ccm. |

Dann muß die Zahl der C-Atome $\frac{K_2}{V} = 2$ sein.

Ergebnisse:

| | ccm | ccm | ccm | ccm |
|---|---|---|---|---|
| Methan | 20 | 30 | 30 | 33,4 |
| Kontraktion nach Verbrennung | 19,5 | 31 | 29,5 | 33,4 |
| $CO_2$-Menge | 19,5 | 31,5 | 30 | 34 |
| | C:H = 0,97:3,9 | 1,05:4,1 | 1:3,9 | 1,03:4 |

Durchschnitt: 1,01:3,98. Theoretisch: 1:4.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Äthylen | 30 | 20 | 20 | 10 |
| Kontraktion nach Verbrennung | 30 | 19 | 19,7 | 10 |
| $CO_2$-Menge | 62 | 39 | 40 | 20 |
| | C:H = 2,07:4 | 1,95:3,8 | 2:3,94 | 2:4 statt 2:4 |
| Acetylen | 30 | 16,3 | 30 | 20 |
| Kontraktion nach Verbrennung | 15 | 8 | 15 | 9 |
| $CO_2$-Menge | 56 | 30,4 | 59 | 36 |
| | C:H = 1,87:2 | 1,87:2 | 1,97:2 | 1,8:1,8 statt 2:2 |

Vom gesamten Sauerstoffverbrauch $K_1 + K_2 = 90$ ccm sind 60 ccm zur Oxydation von C verbraucht, mithin 30 ccm ($= K_1$) zur Oxydation von H. Diese Menge entspricht 60 ccm molekularen Wasserstoffs. Da dieser aber vorher, mit C verbunden, nur 30 ccm Raum einnahm, so müssen 4 Atome im Molekül vorhanden sein.

Die etwas zu geringe $CO_2$-Menge bei Acetylen ist jedenfalls auf eine auch nach erfolgter Reinigung noch vorhandene Beimischung von Wasserstoff zurückzuführen.

Bemerkenswert ist, daß zur Ermittlung der Formeln keine Molekulargewichtsbestimmung erforderlich ist, da man die Volumina mißt. Eine Vergleichung der Analyse eines gasförmigen Kohlenwasserstoffs mit der eines flüssigen (Benzol) wird daher dem Schüler eine tiefere Einsicht in die Bedeutung der sonst nötigen Molekulargewichtsbestimmung geben.

Angaben über die Analyse von Gasgemischen werden in einer späteren Arbeit folgen, ebenso die Beschreibung weiterer Versuche mit den hier behandelten Gasen, z. B. die Dissoziation von $NH_3$ und $C_2H_2$, die Chlorierung des Äthylens zum Nachweise der Doppelbindung u. dergl. mehr.

## Kleine Mitteilungen.

### Zur Statistik des Verkehrsunfalls.

Von **Heinz Bittel** in München.

Die häufigen Zusammenstöße von Kraftwagen auf den Kreuzungsstellen langer gerader Straßen veranlaßten mich schon vor längerer Zeit, die zusammenwirkenden Umstände festzustellen, die für das Zustandekommen derartiger Unfälle verantwortlich sind. Selbstredend läßt sich dieses Problem nur unter einschränkenden Voraussetzungen rechnerisch behandeln. Vor allem soll die Annahme gemacht werden, daß alle Fahrzeuge sich gleich schnell bewegen, wenngleich die Erfahrung oftmals zeigt, daß gerade der große Geschwindigkeitsunterschied den Anlaß zu Verkehrsunfällen bietet.

Über die zu betrachtende Kreuzung zweier sich rechtwinklig schneidender Straßen sollen sich die Fahrzeuge nur in geradliniger Bahn bewegen. Es werden also solche Wagen, die von der einen Straße in die andere einbiegen, nicht betrachtet, da von diesen angenommen werden darf, daß sie gemäßigt fahren und infolgedessen an dem Zustandekommen von Zusammenstößen nicht beteiligt sind. Die Autos sollen zunächst punktförmig angenommen werden (diese fehlerhafte Annahme wird später fallen gelassen), und es soll jedesmal dann ein Zusammenstoß stattfinden, wenn 2 Fahrzeuge aus verschiedenen Richtungen sich gleichzeitig auf der quadratischen Kreuzungsstelle befinden. Es ist dann die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein die Kreuzungsstelle passierendes Fahrzeug mit einem Fahrzeug der anderen Fahrtrichtung einen Zusammenstoß erleidet: $W = \frac{b^2 \cdot z^2}{v^2}$, wo $v$ die Fahrzeuggeschwindigkeit bedeutet, $z$ die Zahl der Fahrzeuge in der Zeiteinheit in jeder Straße und $b$ die Fahrdammbreite der Straße.

Wenn auch dieser erste rohe Ansatz noch durch Einführung der Fahrzeugdimensionen und durch die Möglichkeit des Bremsens verfeinert werden muß, so lassen sich daraus doch schon wichtige Schlüsse ziehen. Für hohe Geschwindigkeiten $v$ läßt sich durch Bremsen der Unfall nicht mehr verhüten; die Bremse beeinflußt lediglich die Heftigkeit des Zusammenstoßes. Es wird also für hohe Geschwindigkeitsbereiche der obige Ansatz im wesentlichen erhalten bleiben. Man sieht daraus, daß dann mit zunehmender Geschwindigkeit die Unfallwahrscheinlichkeit abnimmt. Auch die verfeinerte Rechnung wird diese scheinbar paradoxe Aussage für hohe Geschwindigkeiten enthalten.

Betrachtet man unter Einführung der Fahrzeuglänge $l$ die Vorgänge an der Straßenkreuzung genauer, so zeigt sich, daß nicht jedesmal, wenn 2 Fahrzeuge sich auf der Straßenkreuzung befinden, ein Zusammenstoß stattfinden muß. Der Ausdruck für die Wahrscheinlichkeit geht dann über in: $W = \frac{l \cdot b \cdot z^2}{v^2}$.

Führt man endlich noch die Möglichkeit des Anhaltens durch Bremsen ein, so ergeben längere Betrachtungen, vor allem über den Zeitpunkt, in dem der Kraftfahrer ein anderes Fahrzeug sieht, als endgültigen Ausdruck für die Unfallwahrscheinlichkeit:

$$W = \frac{l \cdot b \cdot z^2}{v^2} \cdot \mathfrak{f}(v),$$

$$g = m \cdot v - n.$$

$$\mathfrak{f}(v) = g \text{ für } o \leqq g \leqq 1$$

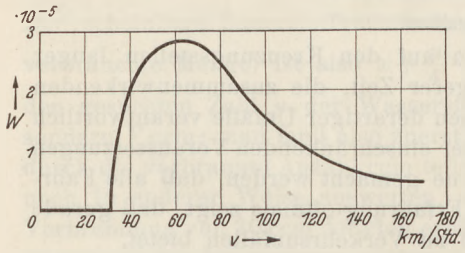
$$\mathfrak{f}(v) = o \text{ für } g < o$$

$$\mathfrak{f}(v) = 1 \text{ für } g > 1.$$

Die Koeffizienten $m$ und $n$ enthalten die Breite von Fahrdamm und Bürgersteig, den Bremsweg und die statistische Verteilung der Fahrzeuge über die Breite des Fahrdammes. Diese Koeffizienten sind für spezielle Beispiele verhältnismäßig einfach näherungsweise zu berechnen.

Nimmt man als Beispiel die Kreuzung der Schellingstraße mit der Luisenstraße in München, so ist, wenn man nur die Kraftfahrzeuge in Betracht zieht, $z = 0{,}015$ je sec.[1]) Man erhält dann mit $b = 10$ m, $c = 2{,}5$ m Gehwegbreite und $l = 5$ m die in der Fig. dargestellte Kurve für die Unfallwahrscheinlichkeit als Funktion der Geschwindigkeit.

Man sieht, daß bei Geschwindigkeiten unter 31 Stundenkilometern gar kein Unfall eintreten kann. Während Geschwindigkeiten zwischen 40 und 80 km in der Stunde sehr gefährlich sind, nimmt die Unfallwahrscheinlichkeit für den Fall, daß alle Fahrzeuge mit sehr hohen Geschwindigkeiten fahren, ganz geringe Werte an. Dies ist leicht einzusehen, wenn man sich vergegenwärtigt, daß mit zunehmender Fahrzeuggeschwindigkeit für einen Wagen die Verweilzeit auf der Straßenkreuzung kleiner wird. Die Verkehrsdichte $z$ gibt an, wieviel Fahrzeuge in einer bestimmten Zeit die betreffenden Straßen benutzen; sie ist also durch die Zahl der etwa je Tag notwendigen Transporte bestimmt. Erhöht man nun die Fahrzeuggeschwindigkeit, so können diese notwendigen Fahrten jeweils in kürzerer Zeit erledigt werden, so daß sich bei großen Geschwindigkeiten gleichzeitig weniger Wagen im Verkehr befinden und dadurch die Unfallwahrscheinlichkeit abnimmt.



Kurve der Unfallwahrscheinlichkeit als Funktion der Geschwindigkeit.

Der mittlere Wert der Wahrscheinlichkeit im gefährlichen Geschwindigkeitsbereich beträgt $2 \cdot 10^{-5}$; dies besagt, daß von 50000 Wagen gerade einer einen Verkehrsunfall erleidet, also ein Zusammenstoß doch verhältnismäßig selten ist.

Macht man nun den Versuch, das Ergebnis dieser Rechnung mit den Erfahrungstatsachen zu vergleichen, so ergibt sich eine merkwürdig gute Übereinstimmung. Wenn man nur die Tageszeiten von 6 bis 19 Uhr in Betracht zieht (dies ist auch bei der Angabe der Größe $z$ geschehen), so wird die betrachtete Kreuzung im Jahre von rund 245000 Kraftfahrzeugen in einer Richtung befahren. Im Jahre 1931 wurden der Polizei 5 Unfälle an der betreffenden Straßenkreuzung gemeldet. Obgleich diese Zahl sehr klein ist, zeigt sich keine allzu große statistische Schwankung in verschiedenen Jahren. Auf Grund dieser Daten ist die Unfallwahrscheinlichkeit $W = 2 \cdot 10^{-5}$, also genau die Größenordnung, die sich aus der obigen Betrachtung ergab.

Jedenfalls müßte es auf reinen Automobilstraßen durch gleiche Steigerung der Geschwindigkeiten für alle Wagen möglich sein, neben der dadurch bedingten Zeitersparnis für den Fahrzeugbenutzer eine ganz wesentliche Herabsetzung der Unfälle herbeizuführen. Jedoch hätten dann die wenigen übrig bleibenden Zusammenstöße eine ganz furchtbare Wirkung.

*Physikalisches Institut der Universität München.*

[1]) Diese und die folgenden Zahlenangaben wurden mir von der Verkehrsunfallabteilung des Polizeipräsidiums München bereitwilligst zur Verfügung gestellt.

## Das Zentrieren von Brillengläsern.

Von S. Janß in Wandsbek.

Die Verwendung von Brillengläsern für Schulfernrohre ist von GERTRUD GASSNER in dieser Zeitschr. 47, 104 (1934) empfohlen worden; wesentlich vorteilhafter kann man sie noch in Spektralapparaten verwenden; dann stört die chromatische Abweichung nicht, da man ja nur im einfarbigen Licht beobachtet oder photographiert. Nach HARTMANN in Z. Instrumentenkde. 20, 19 (1900) ist ferner bei einem Prisma aus Glas und abbildenden Brillengläsern (wenn möglich gleicher Glassorte, aber nicht unbedingt nötig) das Spektrum weitgehend eben, da die Zerstreuungen von Prisma und Linse dann hinreichend gleichmäßig sind (anders bei Gittern); die Spektren sind allerdings gegen die Apparatenachse stark geneigt. Einfache Brillengläser wurden z. B. von EDER und VALENTA benutzt für die Glasoptikspektren in dem bekannten Atlas typischer Spektren. In neuester Zeit beschreibt LOHMANN in Z. Instrumentenkde. 57, 124 (1937) einen Sternspektrographen mit Brillengläsern [vgl. auch diese Zeitschr. 37, 48 (1924) und 47, 69 (1934)]. In Verbindung mit einer Gitterkopie erhielt ich mit nicht ausgesuchten Bikonvexgläsern von f = 500 mm auf Diapositivplatten in geeigneten Teilen des Sonnenspektrums drei Linien auf 0,1 mm. Diese Angaben mögen genügen, um Brillengläser bei der Selbstanfertigung von optischen Apparaten, namentlich spektroskopischen, zu empfehlen. Ferner sind sie selbstverständlich billiger und bei gleicher relativer Öffnung auch lichtstärker als zusammengesetzte Linsensysteme. Die Verwendung in einer kleinen Prismenkamera für Sternspektren ist allerdings nur dann zu empfehlen, wenn der Apparat fest mit dem Fernrohr verbunden bleibt; denn die kleinste Änderung der Neigung gegen die Fernrohrachse bedingt wegen der großen Plattenneigung Unschärfe [vgl. diese Zeitschr. 37, 174 (1924), Fig. 5]; vielleicht ist auch schon die Temperaturabhängigkeit der Dispersion aus gleichem Grunde störend; im übrigen zeigen die Spektren alles, was man von photographischen Platten erwarten kann.

Brillengläser geben aber nur dann günstige Leistungen, wenn sie gut zentriert sind, d. h. wenn der Linsenscheitel auf der Rohrachse liegt und Linsen- und Rohrachse zusammenfallen. Dafür gibt GERTRUD GASSNER a. a. O. ein Prüfmittel an; aber auch folgendes Verfahren führt einfach und schnell zum Ziel.

Zur Bestimmung des Linsenscheitels benutze ich die Tatsache, daß er Mittelpunkt von Kreisen gleicher Linsendicke ist. Solche Kreise findet man mittels einer derartig festgestellten Schublehre, daß die Backenenden wenige Millimeter vom Rand her über die Linse geschoben werden können. An mindestens acht Stellen macht man so bestimmte Tintenpunkte, mißt den Durchmesser des dadurch bestimmten Kreises, zeichnet auf Papier einen Kreis gleichen Durchmessers mit gut markiertem Mittelpunkt, legt die Linse so auf diesen Kreis, daß sich beide Kreise decken, und bezeichnet den Mittelpunkt auf der Linse ebenfalls durch einen Tintenpunkt. Diesen Punkt bringt man in die Mitte der kreisförmigen Linsenfassung. Das Verfahren ist noch anwendbar auf Brillengläser von f = 2000 mm.

Ob Linsen- und Rohrachse zusammenfallen, d. h. das Brillenglas zentriert ist, prüft man mit einem Stück dicken weißen Papiers mit einem Loch von etwa 8 mm Durchmesser (Korkbohrer) oder mit einem „Augenspiegel“, d. h. mit einem Spiegelstück, dessen Belegung man auf einem Kreise von auch etwa 8 mm Durchmesser entfernt hat. Durch dieses Loch hindurch sieht man nach dem Brillenglas, das sich vor einem dunklen Hintergrund befindet. Papier oder Spiegel, beleuchtet durch Himmelslicht oder eine recht helle Lichtquelle, ergeben auf der Linse zwei Reflexe; der Spiegel gibt hellere. In den Reflexen erkennt man deutlich die Löcher. Das Auge befindet sich dann auf der Linsenachse, wenn die beiden Löcher in den Reflexen zusammenfallen; es befindet sich auf der Rohrachse, wenn die kreisförmige Linsenfassung und die Rohröffnung am freien Ende dem Auge konzentrisch erscheinen. Nach der ersten

Beobachtung kann man leicht erkennen, wie man korrigieren muß, um Linsen- und Rohrachse zur Deckung zu bringen.

Das Verfahren ist sehr empfindlich; denn dreht sich die Linsenachse um einen Winkel, so bewegt sich jeder Reflex entsprechend dem doppelten Winkel; da beide Reflexe entgegengesetzt wandern, entspricht der Abstand dann dem vierfachen Winkel. — Glaubt man, daß durch die beiden „konzentrischen" Kreise die Rohrachse nicht genau genug bezeichnet ist, so kann man am freien Rohrende eine kleine gelatinierte Glasplatte (unbelichtete fixierte Photoplatte) befestigen (Klebwachs); auf die Platte zeichnet man vorher mit einem Zirkel einen Kreis von der Größe des Rohrdurchmessers am Ende; der Mittelpunkt muß gut markiert werden; bei der Beobachtung müssen sich die Linsenreflexe dann auf diesen Mittelpunkt projizieren.

Bei Akkomodationsstörungen des Auges muß man ein derartiges Augenglas wählen, daß man die zu untersuchende Linse scharf sieht; dann sind beide Reflexe zwar nicht ganz scharf, aber doch ausreichend; das scheinbare Bild durch Zurückwerfung an der Vorfläche ist entfernter, das andere näher als die Entfernung für volle Schärfe. Das akkomodationsfähige Auge wechselt automatisch schnell mit der Einstellung auf beide Bilder wie beim Visieren über Kimme und Korn.

Selbstverständlich kann man in derselben Weise auch die Zentrierung gekaufter Apparate prüfen. Der Scheitel des Objektivs (Kollimator, Fernrohr, Kamera) liegt auf der Rohrachse, wenn die durch Bewegung von Auge und Lochblende zur Deckung gebrachten Bilder sich auf die Mitte der Linsenfassung projizieren. (Bei selbsthergestellten Apparaten ist diese Beobachtung ein Beweis, daß mit der Schublehre der Scheitel richtig bestimmt ist.) Das Zusammenfallen der Achsen erkennt man dann wie oben an der Projektion der beiden Reflexe auf die Mitte des freien Rohrendes (ohne Okular oder Spalt).

Bemerkt sei auch, daß man in derselben Weise erkennen kann, ob eine Photoplatte bei einer selbst hergestellten Kamera (z.B. für Sternphotographie) senkrecht zur Linsenachse steht. Eine gelatinierte Glasplatte am Ort der Photoplatte fügt bei Beobachtung mit durchlochtem Papier oder Spiegel zu den Linsenreflexen noch einen weiteren an der Glasplatte hinzu (tatsächlich zwei, die auch beide sichtbar werden, wenn die Glasplatte keilförmig ist). Die Platte ist senkrecht zur Linsenachse, wenn alle Reflexe zusammenfallen. Der Punkt der Platte, auf den sie sich dann projizieren, ist der optische Mittelpunkt der Platte oder der Nullpunkt bei der Vermessung.

Diese Art der Untersuchung von Linsen und Platten ist eine für gewisse Fälle bequeme Abart des Verfahrens von Rutherford (Scheiner, Photographie der Gestirne, S. 48). Er benutzt die gleichen Tatsachen wie oben. Als Gegenstand dient ebenfalls eine kleine Öffnung in einer Blende; beleuchtet wird sie durch eine Kerze, durch deren Saum man nach der Linse oder Platte sieht.

---

## Holzzucker.

Von **R. Scharf** in Berlin.

Im Rahmen des Vierjahresplanes hat die Erzeugung von Zucker aus Holz erhöhte Bedeutung gewonnen. Die Anfänge der Holzzuckererzeugung gehen auf das Jahr 1910 zurück, wo in Georgetown in Nordamerika die erste Anlage dieser Art in Betrieb genommen wurde, um die Abfälle eines Sägewerkes in nutzbringender Weise zu verwerten. Diese und eine gleiche Anlage in Fullarton (Missouri) mußten aber bald stillgelegt werden, da eine Wirtschaftlichkeit nicht zu erzielen war. In Deutschland wurden während des Krieges einige Anlagen in Betrieb genommen, die im Jahre 1919 wieder außer Betrieb gesetzt wurden.

Wenn heute die Holzzuckererzeugung in einigen Versuchsbetrieben wieder aufgenommen wird, so ist das erstens damit begründet, daß die Verfahren inzwischen weiter vervollkommnet sind, zweitens aber besonders damit, daß es für uns Deutsche

auf jeden Fall gilt, uns von der Einfuhr ausländischer Waren unabhängig zu machen Der Holzzucker kann zwar unmittelbar als Futtermittel benutzt werden, aber augenblicklich ist kein Bedarf dafür vorhanden, weil Kohlehydrate in Form von Feldfrüchten in Deutschland ausreichend zur Verfügung stehen. Anders liegt die Sache schon bei der Spirituserzeugung aus Holzzucker. Während früher, abgesehen von den ersten Nachkriegsjahren, der von den Kartoffelbrennereien erzeugte Spiritus kaum abgesetzt werden konnte, haben sich die Verhältnisse in den letzten Jahren grundlegend geändert. Man hatte erkannt, daß Spiritus als Zusatz zum Benzin nicht nur ein Streckungsmittel darstellt, sondern daß der Treibstoff durch diesen Zusatz neue, gute Eigenschaften, vor allem höhere Kompressionsfestigkeit erhält. Der im Jahre 1930 eingeführte Beimischungszwang förderte weiter den Verbrauch von Spiritus zu Treibstoffzwecken, und so kam es, daß infolge der immer mehr zunehmenden Motorisierung im Jahre 1933/34 der Bedarf an Spiritus bereits größer war als die Erzeugung. Hier kann also der Spiritus aus Holzzucker eine Lücke schließen.

In einer anderen Beziehung hat der Holzzucker aber heute eine noch viel dringlichere Aufgabe, nämlich als Mittel zur Erzeugung von Futterhefe, also eiweißhaltigem Kraftfutter und vielleicht auch zur Erzeugung eiweißhaltiger Nahrungsmittel. Der hierzu erforderliche Stickstoff wird in Form von Ammoniumsalzen den Nährlösungen zugeführt, so daß man in diesem Falle fast von einer künstlichen Eiweißerzeugung sprechen kann.

Zur Gewinnung des Holzzuckers sind augenblicklich zwei Verfahren im Betrieb, das BERGIUS- und das SCHOLLER-Verfahren. Beiden gemeinsam ist der Aufschluß der Holzsubstanz mit Säuren, wobei die Zellulose zu einfachen Zuckern hydrolysiert wird, die dabei in Lösung gehen, während das Lignin ungelöst zurückbleibt. BERGIUS arbeitet mit stark getrocknetem Holz und 40%iger Salzsäure bei etwa 20° C und Atmosphärendruck; nach der Umsetzung muß die Zuckerlösung filtriert, im Vakuum unter Wiedergewinnung der Salzsäure eingedampft und getrocknet werden. Der anfallende Trockenzucker enthält noch 1% Salzsäure, die neutralisiert wird. Beim SCHOLLER-Verfahren geschieht der Aufschluß mit 0,4%iger Schwefelsäure bei 170° C und 8 Atmosphären Druck, das Holz braucht nicht getrocknet zu werden. Nach dem Filtrieren wird die überschüssige Säure neutralisiert. Aus 1 Tonne Nadelholz erhält man 400 bis 600 kg vergärbaren Zucker. Das Zuckergemisch hat etwa folgende Zusammensetzung: 62% Glucose, 25% Mannose, 4% Galaktose, 1% Fructose, 8% Xylose; letztere Zuckerart ist nicht vergärbar. Das anfallende Lignin wird bis jetzt hauptsächlich unter den Kesseln verbrannt, wenn auch eine mehr Nutzen bringende Verwendung in Zukunft durchaus nicht unwahrscheinlich ist.

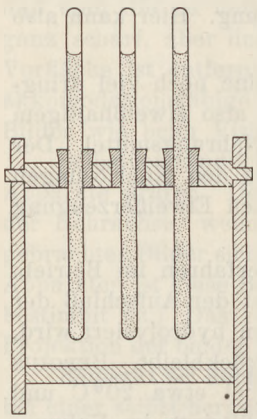
Für die Vorführung im Unterrichtsversuch eignet sich vor allem das BERGIUS-Verfahren mit entsprechenden Vereinfachungen. Als Ausgangssubstanz benutzt man zweckmäßig das Holzstreumehl, das als Unterlage beim Brotbacken verwendet wird; es kann von jedem Bäcker bezogen werden. Einen gehäuften Teelöffel voll (etwa 2 g) übergießt man in einem verschließbaren Kolben oder in einer kleinen Pulverflasche mit 25 cm³ konzentrierter Salzsäure (D = 1,19) und schüttelt gut durch. Die Farbe der Mischung ist zunächst gelbgrün, wird aber immer dunkler; der zuerst etwas steife Brei wird nach einiger Zeit wieder dünnflüssiger. Nachdem man das Gemisch unter gelegentlichem Umschütteln etwa eine Viertelstunde sich selbst überlassen hat, verdünnt man den Brei mit 25 cm³ Wasser und filtriert die saure Lösung ab. Diese Lösung wird unter Kühlung mit Natronlauge schwach alkalisch gemacht, dann kann man in ihr mittels FEHLINGscher Lösung Zucker mühelos nachweisen.

Den Versuch mit größeren Mengen anzusetzen, im Vakuum einzudampfen, die neutralisierte Lösung mit Hefe zu vergären, lohnt nach meinen Erfahrungen nicht den Aufwand an Zeit. Wer unbedingt die saure Lösung eindampfen will, sei darauf

hingewiesen, daß die Lösung dabei sehr stark schäumt. Um das Eindampfen durchführen zu können, ist das Abdecken der Oberfläche durch einen oder zwei Tropfen Speiseöl zweckmäßig, der außerordentlich störende Schaum kann sich dann nicht mehr bilden.

## Für die Praxis.

**Ein einfaches Gerät zur Zähigkeitsvergleichung.** Von Dr. **Wilhelm Flörke** in Gießen. Für die Eignung eines Schmieröls hat seine Zähigkeit (Viskosität) wesentliche Bedeutung. In der Technik mißt man diese Zähigkeit nach verschiedenen Verfahren. Man bestimmt z. B. die Fallgeschwindigkeit einer Kugel in dem Öl, oder die Ausflußgeschwindigkeit des Öles aus einer engen Öffnung, oder die Gleitgeschwindigkeit zweier Glasplatten, die mit dem Öl benetzt sind. Beim Innehalten vorgeschriebener Abmessungen der Geräte und genau angegebener Arbeitsweise liefert jedes Verfahren wiederholbare Vergleichszahlen. Für die Schule kann es nicht die Aufgabe sein, diese Verfahren der Technik durchzunehmen und die betreffenden Geräte zu benutzen. Wohl aber läßt es die Bedeutung der Schmieröle geboten erscheinen, den Begriff der Zähigkeit eines Öles durch einfache Versuche herauszuarbeiten. Die technischen Verfahren kann man mit leichter Mühe in einfachen Versuchsanordnungen nachahmen. Das Arbeiten mit den zähen Ölen ist aber kein reines Vergnügen wegen der umständlichen Reinigung der Geräte nach dem Gebrauch. Es soll deshalb eine Anordnung beschrieben werden, die das Ziel zu erreichen gestattet und dabei in der Handhabung sehr bequem ist.



Röhrengestell zur Zähigkeitsvergleichung.

Man füllt sich Glasröhren von rund 30 cm Länge und etwa 10 mm äußerem Querschnitt so weit mit Öl, daß oben gleich große Luftblasen von ungefähr 3 cm Länge bleiben und schmelzt sie dann zu. Die Röhren werden mit Hilfe durchbohrter Korke in ein Kippgestell gesteckt, wie es die Figur zeigt. Man kommt mit drei Röhren aus, von denen man zwei mit dem gleichen Sommerautoöl, die dritte mit Winterautoöl beschickt. Kippt man die Röhren, so steigen in den beiden ersten die Luftblasen gleich schnell, aber langsamer als in der dritten hoch. Eine der beiden mit Sommeröl gefüllten Röhren wird nun auf etwa 40° erhitzt und der Versuch wiederholt. Das erwärmte Öl hat eine bedeutend kleinere Zähigkeit als die beiden kalten. Der Versuch zeigt die verschiedene Zähigkeit verschiedener Öle und die starke Temperaturabhängigkeit dieser Eigenschaft. (Der Temperaturunterschied im Automobilmotor im Sommer und im Winter erfordert Schmieröle verschiedener Zähigkeiten.) Man kann in dem Gestell natürlich auch eine größere Zahl Röhren unterbringen. Der Vorteil des Geräts besteht darin, daß es jederzeit gebrauchsfertig ist und keinerlei Wartung beansprucht.

## Berichte.

### *2. Forschungen und Ergebnisse.*

**Katalyse und Lebensvorgänge.** Bericht von Dr. OTTO CURIO in Berlin.

Die Katalyse geht jeden an, sei er Physiker, Chemiker, Biologe oder Philosoph. Reich ist deshalb die Fachliteratur an Werken über die Katalyse; zahlreich sind darum aber auch die mißbräuchlichen Anwendungen des Katalysebegriffes. Er ist zu einem bequemen Gleichnis besonders für die vielen Unbekannten des organismischen Geschehens geworden. Es ist daher lebhaft zu begrüßen, daß ALWIN MITTASCH[1], ein Forscher von Rang, der sich jahrzehntelang mit technischer Katalyse beschäftigt hat, zunächst den Begriff selbst kritisch klärt und dann schrittweise seine

[1] ALWIN MITTASCH, Über katalytische Verursachung im biologischen Geschehen. 8°, 126 Seiten. Berlin: Julius Springer 1935. Preis RM 5,70.

erweiterte Anwendungsmöglichkeit begründet. Wie BERZELIUS, der Schöpfer des Katalysebegriffes, bereits vor 100 Jahren auf dessen Bedeutung für die stofflichen Vorgänge in der Welt der Organismen hinwies, so will MITTASCH heute angesichts des hohen Entwicklungsstandes der anorganischen und organischen Katalyse eindringlich die Biologen auf die Aussichten aufmerksam machen, die eine tiefere Beschäftigung mit der Katalyse auch für die Aufhellung der Lebensvorgänge bietet. Wie er in einem Nachwort betont, kennt er die Gefahren, die die Anwendung eines auf einem Gebiete fruchtbaren Begriffes für die Entwicklung anderer Wissenschaftszweige in sich birgt, indem sie „den menschlichen Geist scheinbar zufriedenstellt und auf diese Weise den weiteren Forschungen eine Grenze setzt" (LIEBIG). Der beste Beweis dafür, daß MITTASCH dieser Gefahr der Verflachung nicht erlegen ist, wird in seinem Buch erbracht, in dem er mit umfassenden Kenntnissen und von hoher wissenschaftlicher Warte das Problem der Katalyse nach allen Richtungen hin beleuchtet.

MITTASCH geht von der durch BERZELIUS gegebenen rein beschreibenden Definition der „katalytischen Kraft" aus, die darin besteht, daß „Körper durch ihre bloße Gegenwart chemische Tätigkeiten hervorrufen, die ohne sie nicht stattfinden". Wesentlich an dieser Definition ist, daß sie auf jede Erklärung der Katalyse verzichtet und sich auf das Beobachtbare beschränkt. In letzterem Punkte weicht die spätere Definition der Katalyse von WILHELM OSTWALD ab, indem sie den Zeitbegriff einführt und von einer Beschleunigung eines mit geringer oder geringster Geschwindigkeit schon stattfindenden Vorganges auch dort spricht, wo eine solche Geschwindigkeit nicht nachweisbar ist. MITTASCH hält es für möglich, daß es der Theorie gelingen könne, auch die selektive Katalyse auf „eine ungeheure Vermehrung gewisser Elementarvorgänge an den niemals im Ruhezustande, sondern immer in innerer Oszillation der Quantenzustände befindlichen Molekeln" zurückzuführen. Doch solange diese Vorgänge nicht meßbar sind, hält er es gerade für den Biologen für besser, an der sich nur auf die tatsächliche Erfahrung stützenden, nicht mit Hypothese belasteten Definition von BERZELIUS festzuhalten.

Die Einseitigkeit der Definition von OSTWALD scheint MITTASCH besonders in den zahlreichen Fällen zutage zu treten, in denen die Reaktion eines Systems, z. B. von Kohlenoxyd und Wasserstoff, je nach der Natur des Katalysators verschiedene Wege gehen kann (neben Wasser können Methan oder Methylalkohol oder höhere Alkohole oder flüssige Kohlenwasserstoffe entstehen), während ohne Katalysator keine dieser Reaktionen beobachtet wird. Hier zeigt sich übrigens neben der bloßen Hervorrufung die katalytische Lenkung einer Reaktion, eine Tatsache, die hervorragende Bedeutung für die Erklärung organismischen Geschehens haben kann.

Beide Definitionen lassen es offen, welcher Reaktionsmechanismus die Katalyse bewirkt. In den meisten Fällen hat es sich gezeigt, daß der Katalysator durch spezifische Affinitäten von Haupt- oder Nebenvalenzen in einen Elementarakt mit den Molekeln des Substrates eintritt. Hierdurch entstehen labile, kurzlebige Zwischenverbindungen oder Zwischenzustände, die je nach der Stelle der Affinitätsbeanspruchung an bestimmten Stellen Lockerungen zeigen, so daß die Grundlage für eine Reaktionslenkung geschaffen wird. Der Katalysator wirkt also nicht allein durch seine Gegenwart, sondern beteiligt sich an dem chemischen Geschehen, geht aber aus diesem immer wieder unversehrt hervor. „Der Katalysator wickelt sich in die Reaktionsteilnehmer ein und wird, nachdem er diese verändert, d. h. gespalten oder verbunden hat, sofort wieder ausgewickelt", im Gegensatz zu den gewöhnlichen chemischen Prozessen, bei denen ein Stoff eingeschaltet wird, ohne sich unmittelbar darauf wieder ausschalten zu können. Zu betonen ist, daß der Katalysator keine Energie im physikalischen Sinne mitzubringen und aufzuwenden braucht, da er nur „freiwillig verlaufende, zuvor irgendwie gehemmte Reaktionen" herbeiführt.

Hiermit nicht zu verwechseln ist die stoffliche Induktion durch Reaktionskopplung, bei der der erregende Körper von der erregten Reaktion selbst allmählich aufgebraucht wird und die von der induzierenden Reaktion entwickelte Energie auf einen an sich nicht freiwillig verlaufenden Vorgang übertragen werden kann.

Eine Beteiligung katalytischer „Urreaktionen" wird man nun überall da vermuten dürfen, „wo ungewöhnlich kleine Mengen eine ungewöhnlich große Wirkung ausüben (L. ANSCHÜTZ). Es ist dies besonders im Reiche des Lebendigen der Fall. Altbekannt sind hier die Fermente, die wegen ihrer Wirkung in kleinsten Mengen, ihrer scharfen Selektivität und Spezifität sowie des ganzheitlichen Zusammenwirkens mit Kinasen, Co-Fermenten und Aktivatoren (vgl. Mehrstoffkatalysatoren) als echte Katalysatoren bezeichnet werden können. Sie werden zwar von der lebenden Zelle gebildet, ihre Wirkung ist aber von deren Gegenwart unabhängig, wenn auch geschwächt. Sie sind lyophile Kolloide mit aktiven Wirkungsgruppen und arbeiten entsprechend der Theorie der allgemeinen Katalyse durch intermediäre, reversible Bildung von Additionsverbindungen (Adsorbaten) zwischen Katalysator und Substrat (WILLSTÄTTER). Schwierig ist es nur, bei einem längeren und oft auch verzweigten Reaktionsverlauf den einzelnen Elementarakt „herauszupräparieren", der unmittelbar durch das Enzym hervorgerufen wird. Bekannte, eingehend untersuchte Vorgänge dieser Art sind die Zellatmung (O. WARBURG) und die Muskelkontraktion (O. MEYERHOF).

Jenseits der Enzyme gibt es nun eine große Zahl Stoffe der Organismen, für die, wie MITTASCH sich vorsichtig ausdrückt, „mannigfache Andeutungen" vorliegen, daß sie als Biokatalysatoren in zahlreiche Teilakte chemischer und kolloidchemischer Prozesse verwoben sind. Es handelt sich um die Toxine, Hormone, Wuchsstoffe,

Vitamine und sogar um die Erbfaktoren oder Gene. Auch hier ist der Katalysatorbegriff „nicht von vornherein abzulehnen". Eine ganze Reihe von Tatsachen spricht dafür, ihn vorerst als Arbeitshypothese zu benutzen.

Ganz allgemein ist daran zu denken, daß im Gebiete des Kolloidchemischen, welches doch für das gesamte Organismische kennzeichnend ist, die Grenzen zwischen chemischer Reaktion und weniger streng definierbaren kapillar- und oberflächenchemischen Adsorptionen, Aggregierungen u. dgl. unscharf sind. Die Hauptsache ist, daß Teilakte gefunden werden, bei denen ein Stoff in kleinster Menge ohne Arbeitleistung im Dienste der Umgestaltung eines „Substrates" einer mehrfachen oder vielfachen Wiederausschaltung mit erneuter Einschaltung fähig ist.

Schilddrüsenhormon bewirkt schon in der Verdünnung 1 : 1 Milliarde die Entwicklung von Kaulquappen; das Vitamin $D_2$ ist im Rattenversuch noch wirksam, wenn 1 Molekel Vitamin auf 800 Millionen Eiweißmolekeln kommt; 0,000 000 02 mg Wuchsstoff geben noch eine deutliche Krümmung bei der Avena-Koleoptile.

Das Buch betont aber auch das Unterscheidende gegenüber den Enzymen. Bei Hormonen, Wuchsstoffen, Vitaminen handelt es sich um „ein unübersichtliches kompliziertes Geschehen, das im wesentlichen nur mittels biologischer Teste verfolgt werden kann, und nicht um eine chemische Verbindung als Endprodukt, sondern um einen morphologischen oder histologischen Endeffekt (z. B. durch Sexualhormone bedingte sekundäre Geschlechtsmerkmale)". Dazu kommt das wunderbare Zusammenspiel der Hormone und „die untrennbare Arbeitsgemeinschaft mit dem Nervensystem", die sich bis in das seelisch-geistige Leben hinein auswirkt und „ohne Vorbild in der gewöhnlichen chemischen Katalyse ist". Auch scheint die Tatsache, daß Hormone und Vitamine für einen störungsfreien Funktionsverlauf dauernd nachgeliefert werden müssen, gegen die Annahme einer unmittelbaren Katalysatorwirkung zu sprechen und mehr auf Induktionswirkung hinzuweisen.

Noch undurchsichtiger liegen die Verhältnisse bei den Organisatoren oder Formbildungsfaktoren und bei den Genen. Gewiß spielen auch hier Richtung gebende Stoffe eine Rolle, aber „Formbildung ist doch mehr als ein chemischer Vorgang" (BERTALANFFY), und Gene „sind an das Materielle gebundene ‚Handgriffe', deren sich das Impulssystem bedient" (v. UEXKÜLL). Jedenfalls sind auch die Mutationen leichter vorstellbar, wenn man sich die Gene als Stoffgruppen denkt, die ihren eigenen Zuwachs katalysieren (R. HESSE, v. EULER). Vielleicht dürfte dann aber einer Mutationsmöglichkeit nach einer beliebigen Richtung hin eine Grenze gesetzt sein, da eine vorhandene materielle Struktur unter äußeren Einwirkungen nur bestimmte, gewissermaßen zwangsläufige (wenn auch nicht gerichtete) Umwandlungen durchmachen kann.

Es ist unmöglich, im Rahmen eines kurzen Berichtes eine Vorstellung von den Überlegungen zu geben, die MITTASCH, natürlich immer mit der nötigen wissenschaftlichen Kritik, über die Beziehungen der Biokatalysatoren zur Reizwirkung und zur Instinkthandlung anstellt. Er vermeidet „jede Schwärmerei" der Vernunft, eingedenk der Mahnung, die schon BERZELIUS in einem Brief an WÖHLER 1836 ausgesprochen hat: „Gott verhüte, daß wir nur nicht anfangen, der katalytischen Kraft zu viel zuzumuten!" So kann es nach MITTASCHS Ansicht auch Katalysatoren „höherer Ordnung" strenggenommen nicht geben, da „der Katalysator wohl immer nur einen winzigen Teilvorgang bestimmt". „Der Biokatalysator kann bei seiner mehr oder minder scharf ausgeprägten Spezifität der Leistung wahrscheinlich niemals als eine „höhere" oder eine „mehrfache Potenz", geschweige „prospektive Potenz" im Sinne von DRIESCH gelten." „Er vermag wohl nie ein Gebieter zu sein, sondern immer nur ein guter Diener und Arbeiter, der am laufenden Bande des Lebens als einseitig ausgebildeter Spezialist seine bestimmte und eng begrenzte Funktion ausübt." Trotzdem wird an der universellen Bedeutung der Katalyse für das Reich des Lebendigen nicht gerüttelt, ja es mag zweifelhaft erscheinen, ob es im Organismus überhaupt nichtkatalytische Prozesse gibt (S. 53). Betrachten wir die stoffliche Grundlage der Organismen, so erscheint unter den drei „Mannigfaltigkeitswundern" neben der Unendlichkeit der Kohlenstoffverbindungen und dem Reichtum des kolloiden Zustandes die Vielgestaltigkeit der Katalyse. Verfasser ist deshalb der Ansicht, daß die allgemeine Anwendung des Begriffes der Katalyse nicht nur eine Frage der Nomenklatur, sondern eine methodische Angelegenheit ist, die auf Grund unseres reichen Wissens über die Katalyse neue Anschauungen und neue Fragestellungen auf dem Gebiete der Physiologie und Biologie möglich macht, so daß die Zurückführung eines Vorganges auf die Katalyse das Ausscheiden vitaler Wirkungsweise für diesen Vorgang bedeutet.

Im 2. Abschnitt seines Buches geht MITTASCH näher auf den wesentlichen Teil der Definition von BERZELIUS ein, auf das Hervorrufen oder Verursachen einer Reaktion durch den Katalysator. Gestützt auf eine reiche Kenntnis des Schrifttums aller in Frage kommenden Gebiete betrachtet er erkenntnistheoretisch die Begriffe Ursache, Zweck, Zufall, Ganzheit, Organismus, Lebenskraft, Lebensstoff und ihre Beziehungen zum Katalysator. Es ist hier nicht möglich, auch nur ein annäherndes Bild von der Reichhaltigkeit der entwickelten Gedankengänge zu geben. Nur einiges sei hervorgehoben.

Mit dem Worte „Verursachung" ist sofort einer der umstrittensten Begriffe in den Bereich der Betrachtung gezogen. Der Mensch erlebt die vielfache Wiederkehr eines annähernd gleichen Geschehens und hat das Bedürfnis, diese Erlebnisse miteinander zu verknüpfen. Er stellt hierfür ein Ordnungsgefüge auf, dessen Vorbild er in seinem auf ein Ziel gerichteten Denken und Wollen sucht. So postuliert er für seine Erlebnisse Ursache und Zweck. Wegen der Unübersehbarkeit des Ursachenkomplexes der Wirklichkeit holt er

einzelne ihm besonders unmittelbar und wichtig erscheinende Ursachen als „auslösende" oder „entscheidende" heraus. Mit diesen Erzeugnissen seines Denkens beschreibt er die sinnlich wahrnehmbaren Vorgänge nach ihren Abhängigkeiten, Wechselwirkungen, Zusammenhängen in Form von „Regeln" und „Gesetzen". Hierbei beschränkt sich die Wissenschaft bewußt auf die Beantwortung der Frage nach dem „Wie" des Geschehens und verweist die „Warum"-Frage nach der Endursache in die Metaphysik. In diesem Sinne kann man z. B. den Katalysator der Ammoniaksynthese neben der „eigentlichen" thermodynamischen Ursache der Affinität zwischen Stickstoff und Wasserstoff als die „unmittelbare" Ursache des Vorganges bezeichnen. Er erfüllt durchaus das übliche Kriterium einer kausalen Verknüpfung, indem er die Voraussage eines Künftigen erlaubt (H. HERTZ, W. OSTWALD).

Zu den Ausführungen über die Beziehungen des Katalysatorbegriffes zu den Begriffen des Zweckes und der Ganzheit wird man je nach dem eigenen Standpunkt eine verschiedene Stellung einnehmen können. Der Begriff der organischen Zweckmäßigkeit ist ja letzten Endes derjenige, der Mechanismus und Vitalismus voneinander trennt. Der Mechanismus sucht das Gebiet des Zweckmäßigen im Organischen möglichst einzuengen oder das Zweckmäßige vor allem auf das Anorganische auszudehnen und schließlich alles organische Geschehen auf reinen Zufall zurückzuführen, der dann der Auslese durch die Umwelt unterliegt. MITTASCH hält den Gegensatz beider naturphilosophischen Richtungen für einen Streit um Schlagworte, für „zwei sich ergänzende Aspekte der gleichen Sache". Die Zweckbetrachtung dient nur im Sinne des „als ob" zum Aufsuchen verwickelter Zusammenhänge, die dann „dem zergliedernden Verstande als Material für Kausalitätsforschung zu überliefern sind". In dieses Gedankengebäude sucht er den Katalysator als „einfachstes Modell gerichteter, ja zweckhaft gelenkt erscheinender Vorgänge" einzufügen.

Wenn es nun auch in ferner Zukunft gelingen sollte, selbst die spezifischen Fähigkeiten solcher Katalysatoren wie der Enzyme auf die „gewöhnlichen Affinitäten" der Materie oder schließlich sogar auf die Gesetze der Atomphysik und der Quantenmechanik zurückzuführen, so bliebe doch das große Wunder bestehen, daß diese lenkenden stofflichen Faktoren „aus dem Substrat selbst heraus erzeugt und nach Bedarf eingesetzt werden". Damit nähern wir uns dem Begriff der Ganzheit, einem der im Grunde undefinierbaren Worte mit „Urbedeutung" (DRIESCH). Es handelt sich um „Korrelationen" im Gleichzeitigen und im Nebeneinander, um Querverbindungen, um Vorgänge, die sich überall im Lebendigen unter Beteiligung allgemeiner und spezieller Katalysatoren finden. Beispiele sind die Atmungsregelung, die Erhaltung des Kolloidzustandes, das Zusammenspiel der Hormone, die Muskelinnervation, das Formensehen u. dgl.

Zu dem Begriffe des Lebens selbst schlägt auch der Katalysator keine Brücke. Das Leben ist aber an den Stoff gebunden, und zwar an Stoffgebilde, die zur Erzielung einer zeitweiligen Widerstandskraft gegenüber der lebensfeindlichen Zunahme der Entropie (Zerstreuung der Energie) mit einer gewissen Reaktionsträgheit ausgestattet sind (Kolloidsubstanzen der Gewebe).

Infolge dieser Reaktionshemmungen ist nicht nur Platz, sondern besteht geradezu die Notwendigkeit „für das Eingreifen beschleunigender, bestimmender und regelnder Faktoren", die ohne energetische Gesamtarbeit „auf dem Wege eines oszillierenden Eingeschaltetwerdens und Sichwiederausschaltens", gewissermaßen „von der Seite her kommend", ihr Spiel treiben. Das ist der tiefste Grund, warum es kein irdisches Leben ohne Katalyse gibt.

Bei der weitgehenden Spezialisierung der Wissenschaften ist der gegenseitige Austausch von Methoden und Ergebnissen sehr wichtig. Diesem Zweck dient das Werk von A. MITTASCH in hervorragendem Maße. Hoffentlich ist es ihm gelungen, dem Biologen die Scheu vor dem geheimnisvollen Katalysatorbegriff zu nehmen. Jedenfalls wird die Biologie, mag auch ihr Streben auf Ganzheit gerichtet sein, in ihrer Forschungsmethode wie bisher analytisch sein müssen und für die Aufhellung der an den Stoff gebundenen Lebensvorgänge den Katalysatorbegriff nicht entbehren können.

## *5. Technik und mechanische Praxis.*

**Vogelflug und Technik des Fliegens IV**[1]. Von KONRAD LORENZ in Altenberg.

### IV. Unterschiede und Übergänge zwischen Rütteln und Gleitrudern.

Die erhebliche Verschiedenheit der Mechanik des Rüttelflugs und des Gleitruderns hat in der Literatur über den Vogelflug große Verwirrungen angerichtet. Je nachdem die Ergebnisse der einzelnen Autoren an einem rüttelnden oder einem gleitrudernden Vogel gewonnen waren, wurden grundsätzlich verschiedene Aussagen über „den Flug" gemacht, von denen naturgemäß in dieser verallgemeinernden Form die einen so unrichtig waren wie die anderen. Insbesondere war dies bezüglich der Streitfrage der Fall, ob der Aufwärtsschlag des Flügels aktiv durch Muskelkraft oder passiv durch die Wirkung des Luftdrucks auf die Flügelunterseite zustande komme. COUVREUR und CHAPEAUX durchtrennten an Tauben die Sehne des wichtigsten Aufschlagmuskels, des Musculus pectoralis minor oder supracoracoideus, ein- und doppelseitig, und fanden daraufhin Flugunfähigkeit des Versuchstieres. Ich habe schon in meiner 1933 erschienenen Arbeit dieses Ergebnis angezweifelt und darauf hingewiesen, daß unter

[1] Vgl. diese Zeitschr. **50**, 33, 78, 119 (1937).

den Bedingungen des Laboratiorumsversuches immer nur das Rütteln, niemals aber die Gleitruderfähigkeit einer Taube untersucht werden kann, da im engen Raume die Taube nicht die psychische Möglichkeit hat, es mit dem Gleitrudern zu versuchen. Unter denselben räumlichen Bedingungen würde sich ein durchaus gesunder Lämmergeier, Albatros oder Tölpel, stets als „absolut flugunfähig" erweisen. Ich konnte damals durch eine Reihe höchst einfacher Versuche nachweisen, daß gewisse Angaben der genannten Autoren über „Flugunfähigkeit" nach Abschneiden der Spitzen der Handschwingen unrichtig sind, da durch diesen Eingriff zwar die Rüttelfähigkeit des Vogels etwas herabgemindert, seine Gleitruderfähigkeit aber überhaupt nicht betroffen wird (Fig. 12). Beim freigelassenen Vogel kommt das sofort zum Ausdruck, unter den Bedingungen des engen Laboratoriums

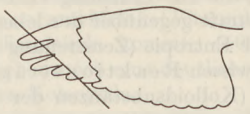


Fig. 12. Flügelumriß der Haustaube. Die gezackte Linie zeigt an, wie weit die im Text besprochene Haustaube gestutzt werden mußte, um ihr die Fähigkeit, rüttelnd vom Boden abzufliegen, zu benehmen. Die Fähigkeit, gleitrudernd sich in der Luft zu erhalten und in beschränktem Maße zu steigen, war gut erhalten. Nach einigen Wochen, nachdem sich die Muskeln den veränderten Flächenverhältnissen angepaßt hatten, konnte der Vogel auch wieder vom Boden abfliegen. Die gerade Linie gibt an, wieviel man nach den Angaben CHAPEAUX' von der Flügelspitze abschneiden muß, um den Flug unmöglich zu machen.

kann tatsächlich Flugunfähigkeit des Versuchstieres vorgetäuscht werden. Ich vermutete, daß die Muskeldurchtrennungen, wie sie von COUVREUR und CHAPEAUX ausgeführt worden waren, in ähnlicher Weise wie ihre Stutzversuche den Vogel nicht wirklich flugunfähig machten, sondern nur seine Rüttelfähigkeit und damit seine Fähigkeit, in stiller Luft vom Boden abzufliegen, vernichteten und schrieb damals: „Man müßte versuchen, eine solche operierte Taube von einem sehr hoch gelegenen Punkt abfliegen zu lassen. Nur dann hat sie die psychische Möglichkeit, durch Sichfallenlassen die zum Gleitrudern nötige Geschwindigkeit ohne Rütteln zu erreichen, also ohne vorheriges Rütteln gleitrudernd abzufliegen." Die Ergebnisse der Versuche von M. SY haben meine Voraussagen nicht nur bestätigt, sondern sogar bei weitem übertroffen. Dieser Autor hat die Fehlerquellen, die in den psychischen Hemmungen des Versuchstieres liegen und auf die ich in meiner damaligen Arbeit hingewiesen habe, von vornherein in mustergültiger Weise in Rechnung gezogen und ausgeschaltet. Er schreibt von einer Taube mit doppelseitiger Durchtrennung des M. supracoracoideus: „Der erste Versuch wurde nach völliger Heilung in der Weise vorgenommen, daß ich die Taube aus etwa 1,5 m Höhe fallen ließ. Sie flatterte fast senkrecht zu Boden und kippte kurz vor dem Auftreffen auf den Rücken. Ich glaube, das dahin deuten zu können, daß sie in alter Gewohnheit kurz vor dem Erdboden zum Abfangen eine Rüttelphase einlegen wollte, sich wohl durch entsprechenden Niederschlag den Schwung zur Aufrichtung des Körpers gab, dann aber infolge Fehlens des M. supracoracoideus den aktiven Rück-(Auf-)Schlag nicht ausführen konnte und durch den Schwung des Niederschlages auf den Rücken geworfen wurde. Dieser Versuch wurde, um das Tier an das Fehlen des Muskels zu gewöhnen, fast täglich wiederholt. Die Sicherheit nahm bald zu, doch suchte sie immer möglichst schnell den Boden zu gewinnen, fiel aber niemals mehr auf den Rücken. Da es nicht zu unterscheiden war, ob das Tier in horizontaler Richtung nicht fliegen wollte oder nicht fliegen konnte, mußte in ihm der ‚Wunsch' zum Horizontalflug geweckt werden. Das Wunschobjekt meiner Taube war ihr Käfig, wie sie durch verstärkte Befreiungsversuche bekundete, sobald sie seiner ansichtig wurde. Mit Hilfe dieses Lockmittels überwand sie bald spielend eine Entfernung von etwas über 2 Metern in horizontaler Richtung. Größere Entfernungen gestattete der zur Verfügung stehende Raum nicht, doch war aus der Leichtigkeit, mit der diese kurze Strecke überwunden wurde, zu entnehmen, daß sie auch weitere Entfernungen würde zurücklegen können. Darum warf ich sie schließlich in einem weiten, allseitig von hohen Hauswänden umgebenen Hof des Zoologischen Museums aus einem Fenster des zweiten Stockes. Auch hier waren zunächst psychische Hemmungen bemerkbar, indem sie zweimal sofort an das Fenster zurückkehrte. Dann aber flog sie in schräger Richtung zum nächsten Stockwerk hinauf (von mir gesperrt!) und schließlich mit großer Schleife auf das noch zwei Stockwerke höhere Dach. Die Fähigkeit zum freien Fluge dürfte damit einwandfrei bewiesen sein. Das einzige, was die Taube in den Wochen der Gefangenschaft nicht gelernt hatte, war das Abfliegen vom ebenen Boden. An Versuchen ließ sie es nicht fehlen, doch immer ohne Erfolg. Trotz kräftigen Flügelschlagens konnte sie sich nicht erheben, um ihren 85 cm hoch stehenden Käfig zu erreichen, wobei deutlich zu erkennen war, daß die Schwierigkeiten im Aufschlag lagen (von mir gesperrt!). Wurde sie gescheucht, so versuchte sie ausschließlich durch Laufen zu entkommen. Eine kleine erhöhte Stellung genügte, um in horizontaler Richtung abfliegen zu können."

Ich glaube wohl, daß man es nach den anatomischen Untersuchungen und den Versuchen von SY als durchaus bewiesen betrachten darf, daß beim Gleitrudern der Aufschlag rein passiv, ja sogar entgegen dem Widerstande der auch während des Aufwärtsgehens der Flügel gespannten und das Gewicht des Vogels tragenden Abschlagmuskulatur erfolgt, daß hingegen beim Rütteln der Aufschlag nicht nur aktiv erfolgt, sondern sogar ein arbeitleistender, den Vogel hebender Takt des Flügelschlagens ist. Die Zweiheit der Flugarten wurde von LILIENTHAL sowie auch von DEMOLL erkannt, wobei der letztere Autor auch schon darauf hingewiesen hat, daß kleine Vögel nur den

Rüttelflug, der von ihm als „Hubflug" bezeichnet wurde, auszuführen vermögen.

Wenn wir uns fragen, wie es kommt, daß so viele Forscher die Verschiedenheit des Rüttelns und des Gleitruderns übersehen haben, so beruht die Antwort wohl vor allem auf menschenpsychologischen Gründen. Man hat im Freien meist gleitrudernde Vögel vor sich; bei den nur-rüttelnden Kleinvögeln erfolgen die Bewegungen zu schnell, um dem Beobachter die Unterschiede zwischen ihnen und frei dahinstreichenden Großvögeln aufzudrängen. Im Zimmer und damit auch im Laboratorium sieht man dagegen immer nur den rüttelnden Vogel und schiebt dann unbewußt die Verschiedenheit des Eindruckes, den eine im Zimmer umherrüttelnde Taube und ein im freien Luftmeer dahinstreichender Bussard hinterlassen, auf die Ungleichheit des sich bietenden Gesamtbildes. Man wird daher nicht zum Vergleichen solchen Forschern, die den Unterschied der Flugarten voll erfassen, finden sich oft Bewegungsphasen als „freier Flug" abgebildet, die noch einem ausgesprochenen Rütteln oder bestenfalls eben dem Übergang vom Rütteln zum Gleitrudern entsprechen.

Wenn wir zunächst der Einfachheit halber annehmen, daß der Flügel eines rüttelnd vom Boden abfliegenden Vogels vom ersten Augenblick an mit gleicher Schlagzahl in der Zeiteinheit arbeitet, so muß mit der Zunahme der Eigengeschwindigkeit des Vogels der Winkel, in dem die Flügelfläche zur Schlagachse steht, eine ständig fließende Veränderung erfahren. Insofern die Kraftquelle dauernd voll ausgenutzt werden soll, also dauernd auf volle Ausnutzung ihrer Leistungsfähigkeit beansprucht werden soll (was bei der lebensrettenden Wichtigkeit eines möglichst raschen Abfluges eine biologisch selbstverständliche Forderung ist),

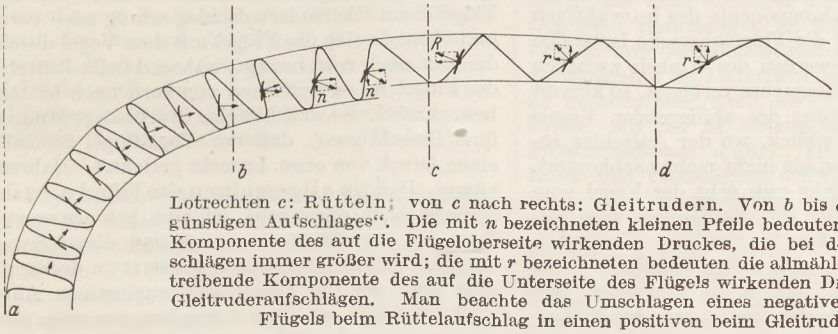



Fig. 13. Schema der Bahn des Flügels eines auffliegenden Vogels, der zuerst ein Stück nach oben rüttelt, dann nach vorn beschleunigt und zum Gleitrudern übergeht. Von der Lotrechten *a* bis zur Lotrechten *c*: Rütteln; von *c* nach rechts: Gleitrudern. Von *b* bis *d*: die „Phase des ungünstigen Aufschlages". Die mit *n* bezeichneten kleinen Pfeile bedeuten die niederdrückende Komponente des auf die Flügeloberseite wirkenden Druckes, die bei den letzten Rüttelaufschlägen immer größer wird; die mit *r* bezeichneten bedeuten die allmählich abnehmende rücktreibende Komponente des auf die Unterseite des Flügels wirkenden Druckes bei den ersten Gleitruderaufschlägen. Man beachte das Umschlagen eines negativen Anstellwinkels des Flügels beim Rüttelaufschlag in einen positiven beim Gleitruderaufschlag.

angeregt. Mir wenigstens erging es so. Auch für mich war das Rütteln stets „der Flug" gewesen und ich zweifle, ob ich je die grundlegende Verschiedenheit der Mechanik der beiden Flugarten erkannt hätte, wenn ich nicht Gelegenheit gehabt hätte, an demselben Vogel, und zwar an der schon eingangs erwähnten zahmen Dohle, unmittelbar hintereinander den Flug im Zimmer und den Flug im Freien zu beobachten. Was mich damals erstmalig auf die Unterschiede zwischen Rütteln und Gleitrudern aufmerksam machte, war nicht zuletzt der Umschlag im Geräusch des Fluges, das plötzliche Verstummen jenes Rauschens, das die beim aktiven Rüttelaufschlag durch die geöffneten Fahnenventile streichende Luft verursacht in jenem Augenblick, in dem der Vogel vom Rütteln zum Gleitrudern übergeht. Ebenso auffallend wirkte auf mich das gleichzeitig zu beobachtende ziemlich plötzliche Waagrechtlegen der beim Rütteln steil aufgerichteten Körperachse.

Da ich die Gegensätzlichkeit der beiden Flugarten so stark betont habe, muß ich nun näher besprechen, wie der Übergang vom Rütteln zum Gleitrudern vor sich geht, der sich jedesmal abspielt, wenn ein Vogel rüttelnd vom flachen Bogen und in stiller Luft abgeflogen ist. Dabei sei gleich gesagt, daß dieser Übergang im allgemeinen viel später statt hat, als meist angenommen wird. So stellen die Bildstreifen von MAREY so gut wie ausschließlich rüttelnde Vögel dar, und selbst bei

muß der Winkel zwischen Schlagachse und der wie ein Propellerflügel wirkenden Flügelfläche fortlaufend spitzer werden. Wenn wir die Vergleichung mit dem Propellerflügel noch weiter durchführen wollen, so können wir sagen, der Flügel verhält sich beim Abflug und beim Beschleunigen des Vogels so, wie der Flügel eines jener Motorbootpropeller mit verstellbarer Schraubenganghöhe, dessen Flügel auf Leerlauf in einer Ebene rechtwinkelig zur Achse stehen und beim Anfahren allmählich aus dieser Ebene so herausgedreht werden, daß die Schraubenganghöhe und damit das Übersetzungsverhältnis der Kraftquelle mit steigender Eigengeschwindigkeit des Bootes zunimmt. Die Kraftquelle leistet während des ganzen Vorganges dauernd die gleiche Arbeit, die im Anfange der Bewegung ausschließlich in Beschleunigung umgesetzt wird, später mehr und mehr, schließlich zur Gänze für die Überwindung der Reibung nötig wird.

Nun wollen wir die Änderungen in der Wirkung betrachten, die der beim Abflug wirksame, den Vogel beschleunigende Abschlag des Flügels beim Rüttelflug durchmachen muß, um zu dem den Vogel hebenden Abschlag beim gleitrudernden Dahinfliegen in freier Luft zu werden. Nehmen wir an, daß ein Vogel, wie in Fig. 13 schematisch dargestellt ist, sich zunächst ziemlich lotrecht vom Boden erhebt und nach Erreichung einer bestimmten Höhe zum waagerechten Gleitrudern übergeht, so wird durch das allmähliche Flacherwerden

sowohl der Flügelschlagachse wie der Flügelfläche selbst die vortreibende, beim Abschlag wirksame Komponente des auf der unteren Flügelfläche lastenden Druckes ganz allmählich kleiner, die hebende dagegen allmählich größer. So geht der vortreibende Rüttelabschlag in einem durchaus fließenden Übergang in den fast ausschließlich potentielle Energie liefernden, hebenden Gleitruderabschlag über.

Anders beim Aufschlage. Hier sinkt mit dem Flacherwerden von Achse und Fläche die dienliche vortreibende Wirkung des Schlages nicht zugunsten einer ebenfalls dienlichen hebenden, sondern zugunsten einer schädlichen, abwärts gerichteten. Daher behält der Vogel beim Aufschlage den beim Abflug einem Rechten stark angenäherten Winkel zwischen Flügelfläche und Schlagachse viel länger bei als beim Abschlage, so daß der Aufschlag auch länger die Kennzeichen des Rüttelfluges beibehält als der Abschlag. Da das Auftreten der schädlichen Abwärtskomponente des beim aktiven Rüttelaufschlag auf die Flügeloberseite lastenden Druckes ein Spitzerwerden des Winkels zwischen Flügelfläche und Schlagachse verbietet, so kommt bei der Beschleunigung des abfliegenden Vogels sehr bald der Augenblick, wo der Aufschlag sozusagen dem Fahrtwinde nicht mehr nachkommt. In diesem Augenblicke nun geht der Vogel vom aktiven, vortreibenden Rüttelaufschlage zum passiven, tragenden, aber bremsenden Gleitruderaufschlag über, und zwar allem Anscheine nach stets ganz plötzlich. Der Vogel vergrößert nun mit einem Male wieder den Winkel zwischen Schlagachse und Fläche, d. h. er stellt seine Flügel steiler an, derart, daß er den nun schon beträchtlichen Fahrtwind mit der Flügelunterseite fängt. Gleichzeitig scheint sich ebenso plötzlich die Dauer des einzelnen Flügelschlages zu erhöhen. Dieser Umschlagspunkt ist in Fig. 13 durch die Vertikale *c* bezeichnet. Daß dieser Umschlag nicht allmählich, sondern tatsächlich mit einem Ruck erfolgt, glaube ich hören zu können. Das schon beschriebene Geräusch der beim aktiven Rüttelaufschlage durch die Fahnenventile streichenden Luft wird nämlich nicht allmählich leiser, sondern verstummt plötzlich, man möchte sagen, von einem Flügelschlage zum nächsten. Namentlich bei großen, langsam schlagenden Vögeln, wie z. B. Störchen, kann man die Rüttelschläge geradezu zählen, die beim Abfluge dem Übergange zum Gleitrudern vorausgehen.

Ebenso wie vor dem Übergange vom Rütteln zum Gleitrudern beim Aufschlage die abwärts wirkende Komponente des auf die Oberseite der Flügel wirkenden Druckes ein ungünstiges Ergebnis herbeiführt, geschieht es unmittelbar nach dem Umschlage durch die rücktreibende Komponente des nun auf die Flügelunterseite wirkenden Luftdruckes. Dieses Verhältnis gestaltet sich beim Erreichen höherer Geschwindigkeiten günstiger. Diese „Phase des ungünstigen Aufschlages" ist bei allen jenen Vögeln der unmittelbaren Beobachtung zugänglich, die einen so schwachen Rüttelvortrieb besitzen, daß sie im Rütteln keine höheren Geschwindigkeiten zu erreichen vermögen, als zum Übergang ins Gleitrudern eben ausreicht. Da nun sehr viele Großvögel nicht schneller rüttelnd in waagerechter Richtung zu fliegen vermögen, als der kleinsten Gleitgeschwindigkeit entspricht, so ist die „Phase des ungünstigen Aufschlages" etwas, das sehr vielen Beobachtern aus eigener Erinnerung bekannt sein dürfte. Während ihrer Dauer sieht man ohne weiteres ein wirkliches Absinken des Vogelkörpers während des Aufwärtsschlagens der Flügel. Dabei wird ungemein deutlich, wie es aussieht, wenn der Vogel während der Dauer des Aufschlages der Flügel zwar nicht völlig der Unterstützung entbehrt, aber doch im wesentlichen widerstandslos der Einwirkung der Schwerkraft überlassen bleibt. MILLA hat in seinem Buche „Die Flugbewegungen der Vögel" hervorgehoben, daß der Flügelaufschlag nie in der Lotrechten erfolgen könne. In der Tat geht der Flügel beim Gleitruderaufschlag schräg nach vorn und oben, da sich der Flügel mit dem Vogel durch die Luft nach vorn bewegt, während beim Rütteln der Flügel im wesentlichen von vorn nach hinten bewegt wird. So weit hat also die Aussage MILLAS ihre Berechtigung, daß der Vogelflügel niemals einen Druck von oben, lotrecht gerichtet, erfahren könne. Daß im allgemeinen der Flügel niemals lotrecht nach oben geht, ist eine betonenswerte Tatsache, und MILLA tat recht daran, diesen Satz, so oft er bei ihm vorkommt, gesperrt zu drucken. Hier aber, in der Phase des ungünstigen Aufschlages haben wir jene Ausnahme vor uns, die uns die Regel deutlicher vor Augen führen kann, als so manches andere. Wenn wir in Fig. 13 jene Teile der Flügelbahn betrachten, auf denen der Flügel während des Aufschlages annähernd genau lotrecht nach oben geht, also etwa die Strecke von *b* bis *d*, so finden wir, daß der MILLAsche Satz hier eine Ausnahme erfährt. Dagegen besteht seine Aussage, daß der Flügel nie Druck lotrecht von oben erhalte, auch hier zu Recht, denn auch während der Phase des ungünstigen Aufschlages wirkt der Druck zuerst (in Fig. 13 auf der Strecke von *b* bis *c*) noch mit einer, wenn auch kleinen, günstigen Komponente vortreibend, später, nach dem Übergange zum Gleitrudern (*c* bis *d* in Fig. 13), mit einer ebenfalls günstigen hebenden Komponente auf den Flügel. Die Zeit, während der die Bahn des aufwärtsschlagenden Flügels, auf die Erde bezogen, ungefähr lotrecht nach oben geht, deckt sich ganz offensichtlich mit der Phase des ungünstigen Aufschlages. Die so offensichtlich mühsamen Bewegungen des Vogels während ihrer Dauer zeigen sehr deutlich, wie nachteilig ein lotrechtes Nachobengehen der Flügel selbst dann ist, wenn eine wesentliche Komponente des auf ihnen lastenden Druckes in einer günstigeren Richtung wirkt. Hier bewährt sich wieder einmal der Satz, daß das Nichtvorkommen eines Vorganges dem Beobachter am besten dann bewußt wird, wenn ein ausnahmsweises Vorkommen vor Augen führt, wie es aussehen müßte, wenn es immer so wäre.

## Neu erschienene Bücher und Schriften.

**Physik für die Oberstufe.** Von Kleiber-Nath. 20. Auflage. Bearbeitet von Joh. Kleiber und Karl Jüngling. X, 454 Seiten mit 772 Abbildungen. München und Berlin: R. Oldenbourg 1936. Preis geb. RM 5,40.

Die neue Auflage ist vor allem durch einen Anhang über „Fluglehre" vermehrt worden, der den ministeriellen Vorschriften gemäß gegliedert und bearbeitet ist. Außerdem sind die Kapitel über die Wechselstromlehre (Wechselstromwiderstand, Phasenverschiebung, Thomsonsche Formel) erweitert worden. Beide Ergänzungen sind als Gewinn für das Buch anzusehen; sie fügen sich in Darstellung und Bildbeigabe gut dem allgemeinen Charakter des Lehrbuches ein.

Das Buch ist in Lehrerkreisen so allgemein und gut bekannt, daß es an dieser Stelle keiner Empfehlung bedarf. Anregen möchte ich, bei einer Neuauflage z. B. die sehr alte Wetterkarte (S. 55) durch eine den heute üblichen besser angepaßte zu ersetzen, Positron und Neutron nicht zu übergehen, vielleicht auch einiges in den Paragraphen über Lichttheorie (§ 197, § 198) dem Verständnis des Schülers stärker anzupassen. *E. Lamla.*

**Physikalische Beobachtungs- und Denkaufgaben des Alltags.** Von H. Weinreich. Mathematisch-physikalische Bibliothek, Reihe I, Band 90. 52 Seiten. Mit 5 Abbildungen. Leipzig u. Berlin: B. G. Teubner 1936. Preis kart. RM 1,20.

Das Büchlein enthält 142 physikalische Fragen, die aus Beobachtungen und Erfahrungen im täglichen Leben erwachsen, und zwar Beobachtungen im Hause, in der uns umgebenden Natur, im Verkehrswesen, am menschlichen und tierischen Körper. Sie betreffen fast alle Gebiete der Physik; der drei- oder vierbeinige Tisch, der pfeifende Teekessel, die beste Lagerung von Eis im Eisschrank, der Tauchsieder werden ebenso behandelt wie etwa Wettererscheinungen, Beobachtungen in der Eisenbahn, im und am Auto und Flugzeug usw. Der Physiklehrer wird aus der kleinen Sammlung vielerlei Anregung für seinen Unterricht schöpfen können, auch wenn er bei einigen Gelegenheiten nicht mit den vom Verfasser überall gegebenen Lösungen voll übereinstimmt. Auch für Schülerbüchereien ist das Büchlein gut geeignet.

*E. Lamla.*

**Mathematik und Marine.** Von Kurt Meusemann und Kurt Stange. Mathematisch-physikalische Bibliothek, Reihe I, Band 89. 48 Seiten. Mit 37 Abbildungen. Leipzig und Berlin: B. G. Teubner 1936. Preis kart. RM 1,20.

Das Heftchen enthält 43 mathematische Aufgaben (mit den ausführlichen Lösungen) aus dem Gebiete des Marinewesens, und zwar Aufgaben über Geschwindigkeit, Wind und Strom, Kreuzeraufgaben (Stellung einnehmen, Sammeln usw.), Aufgaben aus der Seetaktik (Aufdampfen, Aufbleiben u. ä.), Aufgaben über Tiefenbestimmung, Aufgaben über Brennstoffverbrauch und Geschwindigkeit. Es handelt sich um Aufgaben, die wirklich in der Praxis vorkommen, die aber zugleich auch ohne umfangreiche Sacherklärungen verständlich sind. Sie werden zweifellos starkem Interesse bei den Schülern begegnen. Die Sammlung wird daher dem Mathematiklehrer zur Belebung seines Unterrichts willkommen sein.

*E. Lamla.*

**Einführung in die technische Strömungslehre.** Von Dr. Ing. Bruno Eck. Erster Band: Theoretische Grundlagen. VI, 134 Seiten mit 155 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1935. Preis brosch. RM 6,60; geb. RM 7,80.

Aus dem Vorwort: „Eine gründliche und möglichst anschauliche Einführung in die Strömungslehre und die Aerodynamik ist der Hauptzweck dieses Werkes. Es wurde besonderer Wert darauf gelegt, die beim Anfänger erfahrungsgemäß auftretenden Hemmungen zu überbrücken ... Der Physiklehrer der höheren Schulen, der neuerdings die Fluglehre im Unterricht behandeln muß, soll die Strömungslehre mit der Gründlichkeit kennen lernen, mit der er bislang andere Gebiete der Physik anfassen mußte. Der Studierende der Hoch- und Fachschulen soll in einem leicht faßlichen und kurzen Leitfaden möglichst schonend mit den Hauptgrundlagen der Strömungslehre bekannt gemacht werden. Der Ingenieur der Praxis wird in dem Buche das Zahlenmaterial finden, das dem neuesten Stand der Forschungsarbeiten entspricht. Für viele praktische Anwendungen dürfte er sich hier bereits genügend Auskünfte verschaffen können.". Der Rahmen des Buches ist also sehr weit gespannt. Der sachliche Inhalt ist auch reichhaltiger, als die geringe Seitenzahl vermuten läßt. Das Buch ist in 7 Kapitel (bzw. in 40 Abschnitte) eingeteilt: 1. Hydrostatik; 2. Bewegungslehre; 3. Einfluß der Reibung bei durchströmten Körpern; 4. Einfluß der Reibung bei umströmten Körpern; 5. der Tragflügel; 6. Hilfsmittel zur Verringerung des Widerstandes; 7. Hydraulisches Messen. Da der Verfasser längere Zeit wissenschaftlich auf dem Gebiete der Strömungslehre tätig war und seit einigen Jahren den Unterricht in der Strömungslehre an den höheren technischen Staatslehranstalten in Köln leitet, durfte man von seinem Buch erwarten, daß es wissenschaftlich und didaktisch weit über dem Durchschnitt der großen Zahl der neuen Bücher über Strömungs- bzw. Fluglehre stehen würde. Diese Erwartung wird nach der wissenschaftlichen Seite hin bis auf einige kleine Unstimmigkeiten und die leider zahlreichen Druckfehler nicht enttäuscht. Vom didaktischen Standpunkt aus gesehen ist das Buch aber sehr uneinheitlich. Neben geradezu mustergültigen Darstellungen, wie z. B. derjenigen des Bernoullischen Gesetzes fallen andere Abschnitte auf, in denen es wirklich nicht geglückt ist, „die beim Anfänger erfahrungsgemäß auftretenden Hemmungen zu überbrücken". Daß die Reynoldssche Zahl (nicht Reynoldsche Zahl) teilweise auf den Durchmesser, teilweise auf den Halbmesser bezogen wird, ohne daß dies besonders

kenntlich gemacht wird, ist für den Anfänger besonders unangenehm. Die Bemühung, mit möglichst wenig mathematischem Aufwand auszukommen, ist anerkennenswert, kann aber auch gefährlich werden, wenn sie dazu führt, über Schwierigkeiten „durch einfache Überlegungen" hinwegzutäuschen. Das auf S. 60 angegebene Widerstandsgesetz stammt übrigens nicht von Nikuradse, sondern von Schiller und Hermann. Trotz der gekennzeichneten Mängel hat das Buch so viele Vorzüge, daß man seine Beschaffung jedem dringend empfehlen kann, der in Strömungs- bzw. Fluglehre unterrichtet. Die pädagogischen Mängel bedingen aber, daß jemand, der sich in die Strömungslehre erst einarbeiten will, noch andere Werke zum Verständnis hinzuziehen muß. Als besonders wertvoll dürfte empfunden werden, daß man viele Einzelheiten in diesem Buche findet, die sonst nur in den großen Handbüchern oder in den Zeitschriften angegeben sind. Die Ausstattung des Buches und die zahlreichen Abbildungen kann man uneingeschränkt loben. Es ist mit Sicherheit zu erwarten, daß von dem in vieler Beziehung ausgezeichneten Buche bald eine neue Auflage notwendig werden wird. Wenn der Verfasser durch eine gründliche Überarbeitung in allen Abschnitten eine Kunst der Darstellung erreicht, wie er sie in dem Abschnitt über die Bernoullische Gleichung bewiesen hat, so würde er ein für Lehrer an höheren und Fachschulen, sowie für Studierende schlechthin unentbehrliches „Standard"-Werk schaffen können. In der vorliegenden Auflage ist dieses hohe Ziel noch nicht ganz erreicht. *E. Hiedemann.*

**Einführung in die technische Strömungslehre.** Von Dr. Ing. Bruno Eck. Zweiter Band: Strömungstechnisches Praktikum. VI, 96 Seiten mit 140 Abbildungen. Berlin: Julius Springer 1936. Preis brosch. RM 5,70; geb. RM 6,90.

Der zweite Band des Eckschen Werkes gibt nicht nur eine Fülle ausgezeichneter Praktikumversuche an, sondern auch viele schöne Demonstrationsversuche. Der Verfasser hat sich schon seit Jahren um die Schaffung von handlichen Vorführungs- und Übungsapparaten bemüht und im Strömungslaboratorium der H. T. L. in Köln vorbildliche Arbeit geleistet. Es ist daher verständlich, daß er die Einrichtung seines Laboratoriums stark in den Vordergrund seines Buches stellt. Das Buch würde allerdings sehr an Wert gewinnen, wenn auch andere Apparaturen und Einrichtungen einigermaßen ihrer Bedeutung entsprechend behandelt würden. Es hätte dann nämlich gerade das Grundsätzliche und das Gemeinsame der verschiedenartigen Geräte klar herausgestellt werden können. Bei der vom Verfasser gewählten Bevorzugung der im eigenen Laboratorium entwickelten bzw. vorhandenen Lehrmittel läßt sich starke Einseitigkeit natürlich nicht vermeiden. Da aber die meisten angegebenen Versuche auch mit anderen Geräten ausgeführt werden können, so hat der Inhalt des Bandes doch allgemeines Interesse. Der Band ist in sieben Kapitel eingeteilt: 1. Versuchsgeräte (Windkanäle und Waagen); 2. Sichtbarmachung von Strömungen; 3. Schauversuche mit freischwebenden Bällen; 4. Versuche zu den Grundgesetzen der Strömungslehre; 5. Versuche zum Widerstands- und Auftriebsproblem; 6. Schraubenversuche; 7. Versuche zur Demonstration der Gesamtbewegung eines Flugzeuges. Die Versuche sind gut ausgewählt. Sehr schön ist die auf S. 32 angegebene Stromlinienscheibe. Besonders sei aufmerksam gemacht auf die wichtigen Ausführungen auf S. 65—67. Auf Einzelheiten kann hier nicht näher eingegangen werden. Man versteht nicht, daß das didaktisch ausgezeichnete Umlaufgerät, mit dem schon die Gebr. Lilienthal so aufschlußreiche Ergebnisse erzielen konnten, überhaupt nicht erwähnt wird. Wenn in der Besprechung des ersten Bandes gesagt wurde, daß durch geeignete Bearbeitung die Möglichkeit zur Schaffung eines „Standard"-Werkes der Einführung in die Strömungslehre gegeben sei, so gilt dies auch für den zweiten Band. Aber das kann in diesem Falle nur dann gelingen, wenn sich der Verfasser ernstlich darum bemüht, mit größter Sachlichkeit alle brauchbaren Geräte zu behandeln und seine eigenen Geräte nicht mehr in den Vordergrund zu stellen, als es sachlich begründet ist. *E. Hiedemann.*

**Strömungslehre in zwanzig praktischen Aufgaben** mit selbstgebauten Geräten. Von Stud.-Ass. H. Kemper. 27 Seiten mit 22 Abbildungen und 2 Tafeln. Aschendorffs Naturwissenschaftliche Arbeitshefte. Münster: Aschendorff 1936. Preis RM 0,70.

Der Verfasser beschreibt in aller Ausführlichkeit die Selbstanfertigung eines sehr billigen Stromliniengerätes und bemüht sich, eine Einführung in die Strömungslehre an Hand von Versuchen mit diesem, sowie anderem einfachen Gerät zu geben. Die Anfertigung des Gerätes und seine Benutzung könnten in Arbeitsgemeinschaften vielleicht nützlich sein. *E. Hiedemann.*

**Mechanik des Motor- und Segelfluges.** Von Prof. Dr. Emil Everling und Dr. Ing. habil. Horst Müller. 126 Seiten mit 42 Abbildungen. Berlin und Leipzig: Walter de Gruyter & Co. 1936. Sammlung Göschen. Nr. 841. Preis geb. RM 1,62.

Im Schlußwort nennen die Verfasser als Zweck des Buches, die Flugmechanik weiteren Kreisen zugänglich zu machen. Dieser Kennzeichnung des Bändchens kann man sich allerdings nicht anschließen. Da der Band darauf verzichtet, auf die grundlegenden Zusammenhänge näher einzugehen, so kann er natürlich keine Einführung in die Flugmechanik für weitere Kreise geben. Wenn man auf S. 43 beispielsweise liest: „Die Luftschrauben werten mittels tragflügelähnlichen, schräggestellten Blättern die Drehenergie des Motors zum Beschleunigen der Luft in axialer Richtung aus usw.", so wird man kaum die Ansicht teilen können, daß eine solche Art der Darstellung weiteren Kreisen zugänglich ist. In Wirklichkeit ist das Bändchen ein sehr brauchbares und wertvolles kurzes Repetitorium für

Studierende und wird auch jedem in der Fluglehre Unterrichtenden sehr nützlich sein. Inhalt: 1. Einleitung; 2. Kräfte und Momente am Flugzeug; 3. Flugleistungen; 4. Stabilität und Steuerung; 5. Windeinfluß; 6. Sonderbauarten; 7. Fallschirm; 8. Schluß. Das ausführliche Sachverzeichnis am Schlusse wird ebenso freudig begrüßt werden wie das Schrifttumverzeichnis zu Anfang des Bändchens. Das Bändchen verdient eine weite Verbreitung, die es auch sicher finden wird.

*E. Hiedemann.*

**Flugzeug-Berechnung.** Von Dr. Ing. RUDOLF JAESCHKE. Band I. Grundriß der Strömungslehre und Flugmechanik. 174 Seiten mit 88 Abbildungen und 21 Tabellen. München u. Berlin: R. Oldenbourg 1935. Preis brosch. RM 6,50.

„Das vorliegende Buch kommt den seit einer Reihe von Jahren bestehenden Wünschen nach einem Lehrbuch für die rechnerische Behandlung flugtechnischer Fragen entgegen. Seine Ausführungen sind natürlicherweise in erster Linie für Studierende des Luftfahrzeugbaues bestimmt, darüber hinaus aber auch für alle technisch Vorgebildeten, die sich aus beruflichen Gründen oder persönlichem Interesse mit den Grundlagen der Flugzeugberechnung vertraut machen wollen." Inhalt: I. Strömungslehre: 1. Grundbegriffe und Grundgesetze; 2. Strömung in einer Ebene; 3. Strömung im Raum; 4. Messungsergebnisse und ihre Anwendung. II. Kräftegleichgewicht und Flugleistungsberechnung: 1. Gleitflug; 2. Motorflug. III. Momentengleichgewicht und Stabilitätsberechnung: 1. Momentenausgleich, Stabilität und Steuerung; 2. Statische Längsstabilität.

Das Buch gibt keine Strömungslehre im elementaren Sinne, sondern eine Einführung in die technischen Probleme. Es ist daher besonders für diejenigen Lehrer geeignet, die tiefer in die flugtechnischen Probleme eindringen wollen. Für allgemeinere Unterrichtszwecke wird man aber die eingehende Vergleichung verschiedener Profile benutzen können, wobei nicht nur die Polardiagramme, sondern auch die zugehörigen Zahlenwerte angegeben sind. *E. Hiedemann.*

**Konstruktion der Motorflugzeuge.** Von Dipl.-Ing. HERMANN LANDMANN, Dozent an den Vereinigten Technischen Staatslehranstalten für Maschinenwesen und für Schiffsingenieure und Seemaschinisten zu Stettin. 127 Seiten. Mit 100 Abbildungen. Sammlung GÖSCHEN, Bd. 1105. Berlin: W. de Gruyter u. Co. 1937. Preis RM 1,62.

In der richtigen Einsicht, daß eine Anleitung zum Bau von Motorflugzeugen die Aufgabe und den Raum des Bändchens weit überschreiten würde, versucht der Verfasser, das Verständnis für die Konstruktion und die Konstruktionselemente zu vermitteln. Dadurch bringt das Buch auch allen denen Gewinn, die von der Flugphysik, dem Segel- oder Modellflugzeugbau her einen Einblick in Aufgaben und Ausführung des Motorflugzeugbaues gewinnen möchten. Formeln und Berechnungen sind fast ganz vermieden. Zahlreiche Abbildungen erleichtern das Verständnis. *O. Brandt.*

**Konstruktion der Segelflugzeuge.** Von Dipl.-Ing. WALDEMAR BEYER. 121 Seiten. Mit 50 Abbildungen. Sammlung GÖSCHEN, Bd. 1106. Berlin: W. de Gruyter u. Co. 1937. Preis RM 1,62.

Der Verfasser, den man aus der Art der Behandlung des Stoffes sogleich als erfahrenen Praktiker erkennt, widmet nach einigen einleitenden Bemerkungen den Hauptteil der Schrift der eingehenden Anleitung zum Bau der Segelflugzeuge. Die besonderen, wünschenswerten Eigenschaften von Schul-, Übungs- und Leistungsflugzeug bedingen auch besondere konstruktive Überlegungen. Aus diesen kann auch der mit der Fluglehre vertraute Physiker viele Anregungen schöpfen und Einblicke in die Flugpraxis gewinnen. Dem Segelflieger wird eine Vertiefung seiner Kenntnisse und seines Verständnisses über sein Fluggerät geboten. Die ausführlichen Berechnungen und Tabellen, die sich auf die konstruktiven Einzelheiten beziehen, sind für den wertvoll, der sich praktisch mit dem Bau von Segelflugzeugen beschäftigt.

*O. Brandt.*

**Das Kriegsflugzeug.** Flugzeugarten, militärische und technische Anforderungen. Von Oberleutnant a. D. GEORG W. FEUCHTER und Ingenieur RICHARD SCHULZ. 114 Seiten. Mit 33 Abbildungen. Sammlung GÖSCHEN, Bd. 1108. Berlin: W. de Gruyter u. Co. 1937. Preis RM 1,62.

Die Anforderungen, die an einen Flugzeugtyp zu stellen sind, werden bestimmt durch die militärischen Aufgaben, die ihm zufallen. Die technischen Lösungen dieser Aufgaben werden nach dem neuesten Stande beschrieben. Dabei wird unter Verzicht auf die Einzelheiten jeweils das Wesentliche in den Vordergrund gestellt. Das Büchlein interessiert daher den Laien sicher ebenso sehr wie den technischen und militärischen Fachmann. *O. Brandt.*

**Flugmodellbau.** Seine Theorie, Praxis und Methodik. Von Modellbaulehrer KARL ANDERS. 88 Seiten. Mit 113 Abbildungen. Leipzig: Quelle & Meyer 1937. Preis kart. RM 2.—.

Das Vorwort umreißt die Aufgaben des Buches so: „.... Aufbauend auf jahrelanger Erfahrung, entwickelt es zunächst die Theorie für die flugphysikalische und wetterkundliche Seite, wie sie der Lehrer beherrschen muß, um dem Schüler die Gesetze des Fliegens zu erläutern, gibt dann eine Darstellung des notwendigen Arbeitzeuges (Werkstoffe und Werkzeuge) und zeigt endlich methodische und praktische Leitlinien für den Bau der vorgeschriebenen Modellbauserie. Damit dient das Buch den Lehrern aller Schulgattungen. Eine geschichtliche Einführung sowie die Entwicklungsströmungen der Neuzeit wurden vorangestellt." Man kann dem Verfasser gern bestätigen, daß ihm seine Aufgabe gelungen ist. Die Bezeichnung „theoretische Grundlagen" klingt wohl etwas anspruchsvoll. Es handelt sich hier um eine elementare Einführung, die das Verständnis des Flugvorganges vermitteln soll, so weit dies ohne Kenntnis der physikalischen Strömungslehre erreichbar ist. An solchen Einführungen ist in letzter

Zeit kein Mangel gewesen, doch zeichnet sich die des Verfassers durch Knappheit, Klarheit und richtige Beschränkung aus. Sie bietet das, was der Flugmodellbauer wirklich braucht. Auch der Abschnitt „Wetterkundliches" weist dieselben Vorzüge auf. Einen besonderen Gewinn wird der Modellbaulehrer von dem vom Verfasser gegebenen methodischen Lehrgange zur Herstellung der vorgeschriebenen Modelle haben. Abschnitte über „Startarten", „Wettbewerbe" und eine Rekordliste beschließen die Schrift. *O. Brandt.*

**Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht.** Von A. Nippoldt. Vierte, verbesserte Auflage. 128 Seiten. Mit 9 Tafeln und 13 Abbildungen. Sammlung Göschen, Band 175. Berlin: W. de Gruyter 1937. Preis geb. RM 1,62.

Wie es oft mit den Heften der Sammlung Göschen der Fall ist, enthält auch das vorliegende Werkchen auf engem Raum einen erstaunlich reichen Inhalt. Besprochen werden die Elemente des Erdmagnetismus, der beharrliche Magnetismus der Erde und Sonne, die Variationen des Erdmagnetismus, der Erdstrom, das Polarlicht und das Gesamtbild der magnetischen und elektrischen Kräfte im Weltall. Die Darstellung ist klar und gut verständlich, so daß das kleine Werk einen ausgezeichneten Überblick über das interessante Gebiet gibt, das sonst in den Physikbüchern leicht etwas stiefmütterlich behandelt wird. *E. Lamla.*

**Guericke-Ausstellung.** Führer durch die Sonderschau im Deutschen Museum „Der luftleere Raum in Naturwissenschaft und Technik". Von Dr. Franz Fuchs. Herausgegeben vom Deutschen Museum, 1936. Preis RM 0.50.

Als Oskar von Miller sich einst mit aller seiner Energie für die Gründung des Deutschen Museums einsetzte, leitete ihn der Gedanke, in diesem Museum eine Stätte des Wissens, der Anregung und Belehrung zu schaffen, aus der die Jugend Begeisterung zu großen Taten schöpfen könne. Ganz im Sinne dieses Grundgedankens liegt es, wenn das Deutsche Museum im vorigen Jahre das Gedächtnis des vor 250 Jahren verstorbenen deutschen Mannes, dem wir die Aufstellung der Lehre vom Luftdruck und die Konstruktion der ersten Luftpumpe verdanken, dadurch feierte, daß es eine Sonderausstellung veranstaltete, in welcher der tiefgehende Einfluß dem Beschauer vor Augen geführt wurde, den die Guerickesche Erfindung auf Wissenschaft und Technik ausgeübt hat. Der vorliegende, mit vielen Abbildungen ausgestattete kleine Führer durch diese Sonderausstellung zeigt, daß das Deutsche Museum in vortrefflicher Weise die vorgenommene Aufgabe gelöst hat. Nachdem der Besucher im ersten Saal durch die dort ausgestellten Originalapparate und Bildnisse einen Einblick in die Forschungsarbeit Guerickes erhalten hat, wird ihm in den weiteren Räumen eine Vorstellung vermittelt von der gewaltigen Vervollkommnung der Apparate und ihrer Fortwirkung auf die verschiedensten wissenschaftlich-technischen Gebiete. Die Erfindung der Dampfmaschine hat ihren Ausgangspunkt keineswegs in dem Gedanken, die Dampfspannung für eine zu leistende Arbeit in Anspruch zu nehmen, sondern vielmehr in dem Gedanken, den von Guericke als recht beträchtlich erwiesenen Luftdruck nutzbar zu machen, wobei dem Dampf nur sekundär die Aufgabe zufällt, bei seiner durch plötzliche Abkühlung erfolgenden Kondensation ein Vakuum herzustellen. Sodann erhält der Besucher einen Einblick in die mannigfachen technischen Anwendungen des Vakuums bei der Saugluftförderung (Rohrpost, Getreideförderung, Staubsauger), der Saugluftbremse, der Erniedrigung des Siedepunktes (Vakuumdestillation, Vakuumverdampfung, Vakuumtrocknung, Vakuumimprägnierung) und der wärmeisolierenden Eigenschaft (Thermosflasche, Glühlampe). Zum Schluß wird dem erst durch die Erfindung der Luftpumpe erschließbar gewordenen Wissensgebiet, das an die elektrische Entladung in der Luftleere anknüpft, ein breiter Raum gewidmet. Dort gewinnt der Beschauer einen Überblick über die neueren Errungenschaften in der Beleuchtungstechnik, über die Entwicklung der Verstärker- und Senderöhren, der Photozellen, Röntgenröhren usw. bis zur Verwendung der Kathodenstrahlröhren beim Fernsehempfänger. Man kann nur wünschen, daß jeder, der im Sommer 1936 nach München kam, sofern er nur ein wenig Interesse den Naturwissenschaften entgegenbrachte, sich diese einzigartige Ausstellung im Deutschen Museum angesehen haben möchte. Der kleine Führer wird ihm darüber hinaus mit seinen trefflichen Erläuterungen geholfen haben, das in der Ausstellung Geschaute innerlich weiter zu verarbeiten. *P. Steindel.*

**Chemie des Alltags.** Praktische Chemie für Jedermann. Von H. Römpp. 2. Aufl. 248 Seiten, 11 Abbildungen. Stuttgart: Franckhsche Verlagshandlung 1936. Preis geb. RM 4,80.

Oft genug wird der Chemielehrer von seinen Schülern nach der Zusammensetzung eines Handelsartikels gefragt, und nicht selten kommt es vor, daß er nur ungefähre, wenn nicht gar überhaupt keine Auskunft geben kann. Was ist z. B. Imi, Fewa, Persil? was wird als Saatbeizmittel verwendet und wie wirkt es? wie werden Metallätzungen ausgeführt? wie werden Fingerabdrücke sichtbar gemacht? usw.; das sind Fragen, die man in den wenigsten Chemielehrbüchern beantwortet findet. Hier schließt das Buch von Römpp eine Lücke. Es wird nicht nur angegeben, wie die betreffenden Stoffe zusammengesetzt sind, sondern es werden auch einfache Untersuchungsverfahren und Versuche beschrieben, die über deren Zusammensetzung und Eigenschaften Auskunft geben.

Das vorliegende Buch zerfällt in zwei Teile. Der erste bringt eine kurze, gedrängte Einführung in die wichtigsten chemischen Grundbegriffe, sowie eine praktische Anleitung zu einfachen chemischen Untersuchungen. Im zweiten, weit größeren Teile werden die einzelnen Stoffe und Stoffgruppen in alphabetisch angeordneten Abschnitten behandelt.

Das Buch wird auch für Jungen geeignet sein, die gern zu Hause experimentieren; allerdings darf bei dieser Empfehlung nicht verschwiegen werden, daß einige der angegebenen Versuche in der Hand des Unerfahrenen vielleicht doch zu kleineren Unglücksfällen führen können, nämlich dann, wenn die angegebenen Vorsichtsmaßregeln nicht eingehalten werden. Aber schließlich ist es noch besser, ein Junge experimentiert zu Hause nach einer Anleitung, in der auf mögliche Gefahren hingewiesen wird, als daß er ohne sie noch weit gefährlichere Versuche anstellt, von deren Gefährlichkeit er nichts ahnt. *R. Scharf.*

**Lehrbuch der physikalischen Chemie.** Von KARL JELLINEK. V. Band. 14. Lieferung. 1. und 2. Auflage. Mit 22 Tabellen und 185 Textabbildungen. Stuttgart: Ferdinand Enke 1935. Preis geh. RM 27,—.

Die vorliegende Lieferung des groß angelegten Lehrbuches der physikalischen Chemie von JELLINEK behandelt den Bau der Atomhüllen und Atomkerne. Nach einer übersichtlichen Darstellung der Elektronen und der positiv geladenen Teilchen wird der Aufbau der Atome aus dem Kern und der Elektronenhülle behandelt. Ihrer Bedeutung entsprechend sind die Spektren und die Röntgenspektren recht eingehend und klar dargestellt, anschließend die Theorie des periodischen Systems der Elemente. Dieser vortrefflichen Behandlung der Elektronenhülle stellt sich der Teil der jetzigen Lieferung gleichwertig an die Seite, der den Bau des Kerns enthält. Wie schon bei den Besprechungen der früher erschienenen Lieferungen betont worden ist, gibt dieses umfassende Lehrbuch gerade demjenigen Leser — und ich denke hierbei gerade an die Lehrer der Physik und Chemie an den höheren Schulen — in recht klarer und erschöpfender Weise Auskunft über Ergebnisse der Forschung, dem die Fachzeitschriften meistens schwer zugänglich sind. Das mühsame Studium dieser Originalliteratur ist den oben genannten Kreisen oft unmöglich. Ihnen wird das JELLINEKsche Werk ein vortrefflicher Führer und Lehrer sein. *H. Petzold.*

**Kolloidik,** eine Einführung in die Probleme der modernen Kolloidwissenschaft. Von A. VON BUZÁGH. 323 Seiten mit 68 Abbildungen und 18 Tabellen. Dresden und Leipzig: Theodor Steinkopff 1936. Preis geh. RM 15,—.

Der Verfasser will in seinem Buch eine möglichst kritische und objektive Darstellung der Grundlehren der Kolloidchemie und der Kolloidphysik geben, zweier zusammenhängenden Gebiete, die er nach dem SPIROschen Vorschlag einheitlich als Kolloidik bezeichnet. Er betont, daß er es für ebenso unmöglich ansieht, die Kolloidik als ein von allen anderen Disziplinen losgelöstes, nur Eigengesetzlichkeiten gehorchendes Wissenschaftsgebiet zu betrachten, wie es ein Irrweg ist, die Kolloidik in die klassischen Gesetze der physikalischen Chemie pressen zu wollen. Das vorliegende Buch soll besonders demjenigen dienen, der mit den Grundbegriffen vertraut ist. In 12 Kapiteln behandelt der Verfasser disperse und difforme Systeme und ihre Morphologie, die Eigenart kolloider Dimensionen, die Aggregate und Grenzflächenerscheinungen, die Entstehung und Vernichtung von Kolloidlösungen und die innere Zustandsänderung der Kolloide. Die Darstellung des Gebietes der Kolloide, das in dem letzten knappen Vierteljahrhundert sich ungeheuerlich ausgedehnt hat, ist übersichtlich und recht verständlich. Bei der Bedeutung der Kolloidwissenschaft nach ihrer theoretischen wie ganz besonders praktischen Seite hin ist zu erwarten, daß dieses Buch eine erfolgreiche Verwendung in der Hand aller finden wird, die in der Kenntnis der elementaren Erscheinungen des kolloiden Zustandes eine übersichtliche, theoretisch weiterführende Darstellung der Kolloidik suchen. *H. Petzold.*

**Die allgemeine Energiewirtschaft** mit Energiewirtschaftsgesetz und Energierecht. Grundriß und Kommentar mit Nebengesetzen über Elektrizität, Licht, Funk, Rundfunk, Wasserkraft, Wärme, Wind, Schall und chemische Energie, Radium, Kohle, Gase, Flüssiggase, Öle, Torf, Holz usw. von A. KLOESS. 181 Seiten. Frankfurt a. M.: Fritz Knapp 1936. Preis geb. RM 4,20.

Energiewirtschaft, Energienrecht und das Energiewirtschaftsgesetz sind die 3 Teile des vorliegenden Buches. Der Physik- und Chemieunterricht können an der wirtschaftlichen Eingliederung der praktischen Anwendungen der Physik und Chemie heute nicht mehr vorübergehen. Wenn auch im allgemeinen der Inhalt des Buches über diese Anforderungen weit hinausgeht, so sind es doch zwei Dinge, die dem Lehrer dieses Buch wertvoll machen: einmal ist die Beschäftigung mit ihm für den Lehrer selbst von Bedeutung, weil er für die nationalpolitische Behandlung seiner Lehrfächer hierdurch manchen Fingerzeig erhält, zum andern sind die Zusammenstellungen und Angaben, die das Buch enthält, als Quellen im Unterricht gut zu verwerten. *H. Petzold.*

## Korrespondenz.

**Ausgestaltung der naturwissenschaftlichen Unterrichtsräume und Lehrmittelsammlungen.** Die vom Reichserziehungsministerium getroffene Anordnung, daß bei der Aufstellung von Um- und Neubauentwürfen für die naturwissenschaftlichen Unterrichtsräume bei höheren Schulen und bei der Ausgestaltung der Lehrmittelsammlungen für diesen Unterricht die Mitwirkung der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht in Berlin vor Aufstellung des Entwurfs in Anspruch zu nehmen sei, ist durch den Ministerialerlaß E III c 236 II, E III a, E I b vom 26. Juli 1937 dahin ergänzt worden, daß für die Zukunft das folgende Verfahren vorgeschrieben wird:

1. Vor Aufstellung eines Entwurfs klärt die Schule im Einvernehmen mit dem Preußischen Staatshochbauamt durch Schriftwechsel mit der Hauptstelle den Umfang des Bedarfs, die Art und das Ziel der Umgestaltung und sonstige besonderen Wünsche.

2. Nach Klärung dieser Grundlagen sind Entwurfsskizzen durch das Hochbauamt im Benehmen mit Anstaltsleitern und Schulaufsichtsbehörde aufzustellen und der Hauptstelle zur Stellungnahme zuzuleiten, deren Anregungen — soweit dies im Rahmen der Gesamtplanung möglich ist — bei dem Vorentwurf zu berücksichtigen sind.

3. Nach Prüfung und Genehmigung des Vorentwurfs durch die Zentralinstanzen — bzw. in einfach gelagerten Fällen durch den Oberpräsidenten — besucht der Fachlehrer und bei größeren baulichen Maßnahmen (über 20 000 RM) auch der bauleitende Beamte oder dessen Vertreter die Musterräume der Hauptstelle. Hierbei ist der Vorentwurf in den Einzelheiten zu besprechen und zu klären und im Anschluß daran der ausführliche Entwurf aufzustellen.

Der Erlaß ermächtigt noch die Oberpräsidenten, die bei den staatlichen höheren Schulen durch die Reise der Fachlehrer entstehenden Unkosten auf Ausgabetitel 27 des Schulkassenanschlags zur Zahlung anzuweisen.

Ist durch diesen Erlaß die Form geregelt, wie die staatlichen höheren Schulen die Beratung durch die Hauptstelle pflichtmäßig in Anspruch zu nehmen haben, so bleibt nach wie vor die Möglichkeit bestehen, daß auch nichtstaatliche höhere Schulen und Volksschulen von der Hauptstelle kostenlos Rat erhalten können, soweit Mathematik, Physik, Chemie, Biologie und Erdkunde in Frage kommen. Die Staatliche Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht befindet sich in Berlin NW 40, Invalidenstr. 57/62, Ecke Alt-Moabit (Fernruf 35 3918/19). Bei Besuchen ist vorherige Vereinbarung über die Zeit erforderlich.

Für die Vorarbeit zur Aufstellung von Entwürfen empfiehlt es sich, die folgenden im Buchhandel erhältlichen Schriften zu Hilfe zu nehmen: M. HANE, Der Schulbau. 166 S. Berlin 1931, Weidmannsche Buchhandlung, Preis RM 3,35; Mitteilungshefte der Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht (im Verlage Quelle & Meyer in Leipzig erschienen), Heft 9, Berechnung des Raumbedarfs für den naturwissenschaftlichen und erdkundlichen Unterricht. 71 S. mit 32 Abbildungen, 1928, Preis RM 3,60; Heft 10, Musterverzeichnis für Erdkunde. 66 S. mit 18 Abbildungen, 1929, Preis RM 3,60; Heft 12, Die elektrische Schulausrüstung. 95 S. mit 37 Abbildungen, 1930, Preis RM 4,30; Heft 13, Die neuen Arbeitsräume der Hauptstelle als Muster für Bauberatung. 136 S. mit 79 Abbildungen, 1936, Preis RM 6,—.

Bei der raschen Entwicklung der technischen Hilfsmittel ist es aber unmöglich, sich allein auf diese Bücher zu stützen. Die Hefte eignen sich dazu, die Anfragen an die Hauptstelle vorzubereiten, aber sie können die Beratung nicht ersetzen.

**40. Herbstferienlehrgang der Staatlichen Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht** in Berlin vom 7. bis 16. Oktober 1937.

I. Vorlesungen.

1. Dr. v. SENGBUSCH: Pflanzenzüchtung und Rohstoffversorgung. — 2. Prof. STEINDEL: Ebbe und Flut. — 3. Dr. ULMANN: Neuere Erzeugnisse der Textilchemie. — 4. Dr. RÖHRS: Kunststoffe, ihre Herstellung, Verarbeitung und Verwendung. 5. SCHOENE: Die Durchforschung des deutschen Bodens nach nutzbaren Lagerstätten (Anwendung geophysikalischer Verfahren in Deutschland).

II Übungen.

1. Oberstudienrat Dr. VOLKMANN: Ausgewählte physikalische Schulversuche. — 2. Dr. MOELLER: Übungen am Wechselstromnetz und mit Hochfrequenz zur elektrischen Resonanz. — 3. Professor Dr. SCHÜTT: Schulversuche aus der Fluglehre. — 4. Studienrat Dr. ZORN: Übungen in der Werkstatt nebst Anleitung zur Anfertigung physikalischer Apparate, mit besonderer Berücksichtigung deutscher Werkstoffe. — 5. Studienrat Dr. SCHARF: Schulversuche aus der anorganischen und organischen Chemie unter besonderer Berücksichtigung zeitgemäßer Rohstofffragen. — 6. Oberstudienrat Dr. OTTO: Übungen aus verschiedenen Gebieten der Biologie mit Berücksichtigung des Vierjahresplanes. — 7. Studienrat Dr. LIPS: Erbbiologische Übungen mit Anwendungen auf Rassenhygiene und Vierjahresplan. — 8. Studienrat Dr. SCHEER: Übungen zur Benutzung der Hilfsmittel des erdkundlichen Unterrichts mit Beispielen aus gegenwartsnahen Gebieten.

III. Besichtigung.

Abteilung Kulturfilm der Universum-Film-A.G. (Vorführung von Kulturfilmen und Besichtigung von Aufnahmeräumen).

**Heft 16 der Abhandlungen zur Didaktik und Philosophie der Naturwissenschaft** ist erschienen. Diese bereits in Heft 3 des laufenden Jahrgangs [50, 128 (1937)] angekündigte Veröffentlichung: FRIEDRICH MOELLER, Versuche zur elektrischen Resonanz mit hochfrequenten und niederfrequenten Wechselströmen (Versuche mit kleinen Röhrengeneratoren); mit einer kurzen theoretischen Erörterung zur elektrischen Resonanz, kann durch jede Sortimentsbuchhandlung bezogen werden und kostet RM 4,80.

Für die Redaktion verantwortlich: Professor H. Matthée, Berlin W 9.
Nachdruck nur mit Quellenangabe und mit Genehmigung der Verlagsbuchhandlung gestattet.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz A.G., Würzburg.